

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE ECONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

FLÁVIO JOSÉ MARQUES PEIXOTO

NANOTECNOLOGIA E SISTEMAS DE INOVAÇÃO:
IMPLICAÇÕES PARA POLÍTICA DE INOVAÇÃO NO BRASIL

RIO DE JANEIRO

2013

FLÁVIO JOSÉ MARQUES PEIXOTO

**NANOTECNOLOGIA E SISTEMAS DE INOVAÇÃO:
IMPLICAÇÕES PARA POLÍTICA DE INOVAÇÃO NO BRASIL**

Tese de Doutorado submetida ao Instituto de
Economia da Universidade Federal do Rio de
Janeiro como requisito parcial para a obtenção
do título de Doutor em Economia.

Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Cassiolato

RIO DE JANEIRO

2013

As opiniões expressas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do autor.

Flávio José Marques Peixoto

**Nanotecnologia e Sistemas de Inovação: Implicações para Política de
Inovação no Brasil**

Tese de Doutorado submetida ao Instituto de Economia
da Universidade Federal do Rio de Janeiro como requisito
parcial para a obtenção do título de Doutor em Economia.

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. José Eduardo Cassiolato (Orientador)
Universidade Federal do Rio de Janeiro



Prof. Dr. Eduardo da Motta e Albuquerque
Universidade Federal de Minas Gerais



Profª. Dra. Marina Honório de Souza Szapiro
Universidade Federal do Rio de Janeiro



Profª. Dra. Noela Invernizzi
Universidade Federal do Paraná



Prof. Dr. Paulo Bastos Tigre
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Rio de Janeiro, maio de 2013.

FICHA CATALOGRÁFICA

P379 Peixoto, Flávio José Marques.

Nanotecnologia e sistemas de inovação : implicações para política de inovação no Brasil / Flávio José Marques Peixoto. Rio de Janeiro, 2013.
380 f.; il. : 31 cm.

Orientador: José Eduardo Cassiolato.

Tese (doutorado em Economia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro,
Instituto de Economia, Programa de Pós-Graduação em Economia, 2013.

Bibliografia: f. 337-356.

1. Nanotecnologia. 2. Sistemas de inovação. 3. Política de inovação - Brasil. I. Cassiolato, José Eduardo. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Instituto de Economia. III. Título.

*Dedico este trabalho à minha esposa Paula por
todo incentivo, carinho, paciência, dedicação e
amor. Você foi fundamental.*

AGRADECIMENTOS

Muitas pessoas contribuíram de várias formas, direta ou indiretamente, ao longo desses anos. Não poderei lembrar-me de todos, por isso, desculpo-me desde já qualquer momentâneo esquecimento.

Ao Prof. José Eduardo Cassiolato, que mais uma vez aceitou ser meu orientador, meus sinceros agradecimentos por todo o apoio, incentivo e generosidade durante todo este processo. Além da confiança sempre depositada em mim, agradeço a inspiração e por sempre me instigar o desafio de ir mais além.

Aos professores Paulo Tigre e Marina Szapiro pelos comentários e valorosas sugestões no momento da qualificação. Suas contribuições muito me ajudaram no desenvolvimento desta tese.

No Instituto de Economia, meu afetuoso agradecimento ao Prof. Fabio Erber, com quem pouco convivi, mas muito aprendi. Sua disponibilidade, conhecimento e generosidade foram muito importantes para mim. A Professora Lia Hasenclever, pela sua atenção e interesse no meu trabalho. A Professora Maria da Graça Fonseca, pelas interessantes discussões teóricas em sala e seu interesse em ajudar. A Professora Julia Paranhos, por quem tenho grande carinho e admiração, se tornou uma querida amiga. A Ana Elizabeth Yaparraguirre e Ronei José Gomes, por todo o suporte ao longo desses quatro anos.

Na RedeSist, agradeço a todos pelo imenso carinho, suporte e incentivo que sempre me dispensaram. Foi um prazer conviver com vocês: Eliane Alves, Maria Clara Soares, Gabriela Podcameni, Fabiano Geremia, Fabio Stallivieri, Ariela Diniz, Mayra Bezerra, Marina Szapiro, João Chataignier, Patrick Fontaine e Patrícia Vasconcellos. A Carlos Bianchi, Danilo Arruda, Fabio Mota, João Marcos e Marcelo Matos, além da amizade e apoio, agradeço por todas as conversas, críticas, discordâncias e sugestões que sempre me foram extremamente valiosos. A Cristina Amorim, Fabiane Moraes, Tatiane Moraes e Max Santos, por sempre estarem disponíveis e darem todo o apoio e carinho.

A Adriana Soares, pela competência e dedicação durante todo o trabalho de coleta dos dados e entrevistas para a pesquisa desta tese. Sua participação foi essencial. Muito obrigado!

A todos os entrevistados nas empresas e institutos de pesquisa. Muito obrigado pelo tempo e paciência.

Ao IBGE, pelo privilégio de me conceder uma licença para a realização do meu doutoramento. Em especial, agradeço o apoio e incentivo, de diversas maneiras e em diversos momentos, de Alexandre Brandão, Alciléia Santos, Aline Visconti, Belmiro José, Cristiano Santos, Fernanda Vilhena, Flávio Magheli, Isabella Nunes, Manuel Campos, Marcus José, Roberta Bussi e Sandra Coelho.

Ao incentivo da minha família, sempre presente e interessada; aos meus pais José Antonio e Edir, por sempre me incentivar, apoiar e inspirar, não apenas durante a tese, mas sempre. Devo muito a vocês! Aos meus irmãos Fernanda e Rafael, por toda torcida e apoio. Também tenho aprendido muito com vocês. Aos cunhados e cunhada, Marcílio, Hugo e Nique, pela torcida e apoio. Ao meu sogro e sogra, Paulo e Solange, pelo constante interesse e torcida. Às minhas lindas sobrinhas Isa e Sophia, por toda a alegria. Aos meus tios, tias e meu afilhado Guilherme pela torcida e incentivo. Obrigado a todos!

À minha querida esposa Paula, a quem dedico este trabalho, além da paciência, compreensão e incentivo inabaláveis, ainda programou meu questionário em *excel*. Além de tudo, ainda me deu o melhor presente de todos: o pequeno Danilo.

Por fim, agradeço a todos os amigos e bons espíritos por toda inspiração.

Obrigado a todos!

“Quando o intelecto toma um conceito falso por verdadeiro e se satisfaz sem continuar investigando, ou, então, se engana em suas indagações e se estabelece um fundamento falso, decorre necessariamente que tudo o que depende desse fundamento pode não ser verdadeiro e, conseqüentemente, as providências que se tomam acreditando serem apropriadas não surtem o efeito desejado”.

Antonio Serra (1613)

RESUMO

PEIXOTO, F. J. M. Nanotecnologia e Sistemas de Inovação: Implicações para Política de Inovação no Brasil. Rio de Janeiro: Instituto de Economia/Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013. Tese de Doutorado.

Este trabalho tem como tema central a análise da política de inovação brasileira para as nanotecnologias a partir do referencial teórico neo-schumpeteriano de Sistemas de Inovação. A análise busca considerar a consistência e articulação dos programas e instrumentos desenhados ao longo da última década, considerando estes como elementos de uma política de inovação no âmbito do sistema nacional de inovação. Partindo do pressuposto de que a nanotecnologia é um conjunto de ‘tecnologias de propósito geral’ com o potencial de afetar diversas áreas e setores da economia, argumenta-se que o avanço na elaboração de políticas de inovação, consistentes com os objetivos que se propõem, está relacionado ao melhor entendimento da dinâmica inovativa dos sistemas tecnológicos relativos às nanotecnologias. Para analisar este processo, esta tese apresenta evidências empíricas que mostram as diversas características e particularidades das nanotecnologias e de suas principais atividades inovativas. Deste modo, propõe-se um quadro analítico baseado nas ‘trajetórias nanotecnológicas’ em curso e em potencial no Brasil. A partir deste, propõe-se que as políticas de inovação devam ser pensadas de forma sistêmica, indo além da construção de capacidades de pesquisa. Isto envolve a articulação de agentes e a coordenação de instrumentos capazes de proporcionar as condições estruturais necessárias para a dinamização das inovações das nanotecnologias.

Palavras-Chave: Nanotecnologia; Sistemas de Inovação; Política de Inovação.

ABSTRACT

PEIXOTO, F. J. M. Nanotechnology and Systems of Innovation: Implications for Innovation Policy in Brazil. Rio de Janeiro: Economics Institute/Federal University of Rio de Janeiro, 2013. PhD Thesis.

The central objective of this work is to analyse the Brazilian nanotechnology innovation policy based on the theoretical Neo-Schumpeterian systems of innovation approach. The analysis aims to consider the consistency and articulation of the programs and instruments designed throughout the last decade, by considering them as constituents of the innovation policy in the scope of the national system of innovation. Stemming from the assumption that nanotechnology is a set of ‘general purpose technologies’ with the potential to spread and affect different areas and economic sectors, it is argued in this thesis that the progress in the innovation policy making, in order to be consistent with the objectives it aims to achieve, is associated with the better understanding of the innovative dynamics of the technological systems related to the nanotechnologies. In order to analyse this process, this thesis presents empirical evidences that reveal the different features and particularities of the nanotechnologies and their main innovative activities. Therefore, it is proposed an analytical framework based on the ongoing and potential ‘nanotechnological trajectories’ in Brazil. It is then argued that innovation policies ought to be systemically conceived, with actions going beyond the fostering of research capacities. Thus it involves agents’ articulation and instruments’ coordination capable of providing the necessary structural conditions to the promotion of nanotechnology innovation.

Key Words: Nanotechnology; Systems of Innovation; Innovation Policy.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Tabela 1 – Taxa de crescimento real do PIB e taxa de investimento em relação ao PIB – 1999-2010.....	117
Tabela 2 – Total dos Fundos Setoriais como proporção do PIB – 1999-2010.....	119
Tabela 3 – Número de empresas inovadoras com atividades em nanotecnologia, segundo as faixas de pessoal ocupado e década de estabelecimento – período 2006-2008.....	163
Tabela 4 – Tipo de inovação das empresas com atividades em nanotecnologia no Brasil, segundo descrição da CNAE 2.0 – período 2006-2008.....	165
Tabela 5 – Participação das empresas com atividades em nanotecnologia que realizaram atividades inovativas por atividades da indústria e P&D – período 2006-2008.....	166
Tabela 6 – Participação das empresas inovadoras com atividades em nanotecnologia que realizaram atividades contínuas e ocasionais de P&D – 2008	167
Tabela 7 – Pessoas ocupadas nas atividades internas de P&D, contínua e ocasional, por formação básica, segundo o nível de qualificação, nas empresas inovadoras que realizaram atividades em Nanotecnologia no Brasil - 2008.....	168
Tabela 8 – Empresas inovadoras com atividades em nanotecnologia que receberam apoio do governo para atividades inovativas, por tipo de programa, segundo as faixas de pessoal ocupado – período 2006-2008	170
Tabela 9 – Número de grupos de pesquisa e pesquisadores por áreas de conhecimento - 2012	176
Tabela 10 – Grupos de pesquisa por subáreas de conhecimento - 2012	177
Tabela 11 – Pesquisadores e linhas de pesquisa por subáreas de conhecimento	178
Tabela 12 – Grupos de pesquisa, linhas de pesquisa e pesquisadores por regiões -2012	181
Tabela 13 – Áreas de especialização dos artigos publicados por pesquisadores brasileiros em N&N – período 1990-2011	184
Tabela 14 – Universidades e outras Instituições de Ciência e Tecnologia como fonte de informação e cooperação para empresas inovadoras que realizaram atividades em Nanotecnologia no Brasil – período 2006-2008.....	196
Tabela 15 – Natureza das atividades cooperativas entre as instituições de pesquisa e empresas inovadoras que realizaram atividades em Nanotecnologia no Brasil – período 2006-2008.....	198
Tabela 16 – Interação entre os grupos de pesquisa em nanotecnologia e o setor produtivo segundo tipo de instituição de pesquisa - 2012.....	199
Tabela 17 – Interação entre os grupos de pesquisa em nanotecnologia e o setor produtivo segundo áreas de conhecimento - 2012	201
Tabela 18 – Tipo de interação entre os grupos de pesquisa em nanotecnologia e o setor produtivo segundo áreas de conhecimento - 2012	202
Tabela 19 – Empresas pesquisadas que desenvolveram atividades em nanotecnologia no Brasil, segundo classificação por atividade econômica e faixa de pessoal ocupado....	209
Tabela 20 – Idade das empresas pesquisadas que desenvolveram atividades em nanotecnologia no Brasil, segundo faixa de pessoal ocupado.....	211
Tabela 21 – Período em que as empresas desenvolveram atividades em nanotecnologia	212
Tabela 22 – Inserção e grau de novidade das nanotecnologias nas empresas, segundo classificação por atividade econômica	214

Tabela 23 – Atividades relacionadas à utilização e desenvolvimento de nanotecnologias nas empresas, segundo classificação por atividade econômica.....	217
Tabela 24 – As nanotecnologias utilizadas e desenvolvidas nas empresas, segundo classificação por atividade econômica	220
Tabela 25 – As nanotecnologias utilizadas e desenvolvidas nas empresas, segundo faixa de pessoal ocupado	223
Tabela 26 – As principais áreas de conhecimento associadas às nanotecnologias utilizadas e desenvolvidas nas empresas	225
Tabela 27 – As técnicas de produção na escala nanométrica associadas às nanotecnologias desenvolvidas nas empresas	228
Tabela 28 – Projetos relacionados às principais aplicações das nanotecnologias desenvolvidas nas empresas	231
Tabela 29 – Atividades inovativas relacionadas aos projetos de nanotecnologias nas empresas, segundo grupos de nanotecnologias	271
Tabela 30 – Componentes críticos para o processo de inovação em nanotecnologia, segundo as empresas.....	275
Tabela 31 – Conhecimento e utilização dos programas e instrumentos para nanotecnologia no Brasil	292
Quadro 1 – Ondas Longas de Mudança Tecnológica.....	18
Quadro 2 – Políticas de ciência, tecnologia e inovação	52
Quadro 3 – Prefixos de unidades.....	62
Quadro 4 – Comparações de Tamanhos	63
Quadro 5 – Taxa Média de Crescimento Anual do Número de Patentes Americanas nos Principais Temas de Nanotecnologia: 1981-2006.....	78
Quadro 6 – Comparação das Patentes Relacionadas à Nanotecnologia vs. Demais	79
Quadro 7 – Investimentos governamentais destinados à P&D em nanotecnologia, 1997-2010 (milhões de dólares).....	109
Quadro 8 – Áreas de investimento do governo em nanotecnologia em diferentes países	114
Quadro 9 – Estrutura da PDP	122
Quadro 10 – Instrumentos da PDP Selecionados no Manual.....	124
Quadro 11 – Panorama da Subvenção Econômica (2006-2010).....	137
Quadro 12 – A Nanotecnologia na Subvenção Econômica: Número de Projetos e Recursos Disponibilizados (2006-2010)	140
Quadro 13 – Frequência dos termos de busca associados aos grupos de pesquisa e pesquisadores.....	155
Quadro 14 – Número de empresas por seções e atividade da economia (CNAE 2.0) .	162
Quadro 15 – Configuração analítica dos grupos referentes aos nanomateriais.....	236
Quadro 16 – Configuração analítica dos grupos referentes às nanobiotecnologias	243
Quadro 17 – Configuração analítica dos grupos referentes aos nanoeletrônicos	249
Quadro 18 – Configuração analítica dos grupos referentes à nanoenergia e meio ambiente	258
Quadro 19 – Configuração analítica dos grupos referentes à nanomedicina, cosméticos e saúde	266
Quadro 20 – Atividades econômicas impactadas pelos projetos de nanotecnologia na Subvenção Econômica (2006-2010).....	295
Quadro 21 – Porte das empresas com projetos de nanotecnologia na Subvenção Econômica (2006-2010)	296

Quadro 22 – Idade das empresas por temas de nanotecnologia na Subvenção Econômica (2006-2010)	297
Quadro 23 – Projetos selecionados por ano de contratação	298
Figura 1 – O Modelo Linear de Inovação.....	24
Figura 2 – A Concepção Ampla do Sistema Nacional de Inovação.....	41
Figura 3 – Comparação entre grandezas nas escalas nano e macro	63
Figura 4 – Convergência das Técnicas de produção <i>top-down</i> e <i>bottom-up</i>	66
Figura 5 – Marcos Históricos da Nanotecnologia	71
Figura 6 – Evolução do orçamento da NNI americana no período 2000-2012 (em milhões de US\$)	107
Figura 7 – Organização Institucional da Área de Nanotecnologia na PDP.....	126
Figura 8 – Participação das empresas por Grande Região – período 2006-2008.....	164
Figura 9 – Crescimento dos grupos de pesquisa em N&N por ano de estabelecimento - Brasil.....	174
Figura 10 – Grupos de pesquisa por instituições - 2012.....	179
Figura 11 – Pesquisadores por instituições - 2012	180
Figura 12 – Distribuição geográfica das instituições de pesquisa - 2012.....	180
Figura 13 – Evolução das publicações de pesquisadores brasileiros em N&N – período 1990-2011	182
Figura 14 – Instituições das publicações de pesquisadores brasileiros em N&N – período 1990-2011.....	183
Figura 15 – Agências financiadoras das publicações de pesquisadores brasileiros em N&N – período 1990-2011	185
Figura 16 – Natureza Jurídica das Instituições do Setor Produtivo.....	203
Figura 17 – Principais objetivos das empresas em relação ao uso e desenvolvimento da nanotecnologia.....	278
Figura 18 – Principais motivações das empresas para o uso e desenvolvimento de nanotecnologia.....	281
Figura 19 – Principais desafios e dificuldades para o uso e desenvolvimento de nanotecnologia.....	283
Figura 20 – Número de projetos aprovados na Subvenção Econômica por tipo de nanotecnologia (2006-2010).....	294
Figura 21 – Instrumentos e mecanismos considerados importantes como forma de apoio às atividades em nanotecnologia	309

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	1
PARTE I: REFERENCIAL TEÓRICO E ANALÍTICO	9
CAPÍTULO 1 – O PROCESSO DE INOVAÇÃO E A POLÍTICA DE INOVAÇÃO: ELEMENTOS DE UMA ANÁLISE SISTÊMICA	9
1.1 – Paradigmas, revoluções e inovação: a dinâmica das trajetórias tecnológicas e sua consolidação	11
1.1.1 - Paradigmas e trajetórias tecnológicas	11
1.1.2 - Revoluções tecnológicas e paradigmas tecno-econômicos	13
1.1.3 - Ondas de inovação e janelas de oportunidade para novas trajetórias de desenvolvimento	15
1.2 – Características do processo de inovação	20
1.2.1 - Impulso pela oferta e indução pela demanda: abordagens complementares no tempo?	21
1.2.2 - Ciência, Tecnologia e Inovação: desconstruindo uma abordagem linear	23
1.2.3 - A difusão como consolidação da inovação: um processo simultâneo	26
1.2.4 - A inovação como um processo sistêmico	29
1.3 – Os sistemas de inovação: elementos para análise do objeto no espaço.....	30
1.3.1 - Sistemas e complexidade	31
1.3.2 - Sistemas de inovação: abordagem tecnológica no contexto nacional.....	34
1.3.3 - Sistema nacional de inovação	38
1.3.4 - Sistema tecnológico de inovação	43
1.4 – Políticas de inovação: para além das políticas de Ciência e Tecnologia.....	47
1.4.1 - O Estado como formulador de políticas: as políticas implícitas e explícitas.....	48
1.4.2 - Política de inovação no Sistema Nacional de Inovação.....	50
1.4.3 - A avaliação de política como um processo de aprendizado: um breve comentário	55
1.5 – Considerações parciais	57
CAPÍTULO 2 – NANOTECNOLOGIA E INOVAÇÃO: ASPECTOS PARA A CONSTITUIÇÃO DE SISTEMAS NANOTECNOLÓGICOS DE INOVAÇÃO	60
2.1 – Nanotecnologia: definição e técnicas de produção na nanoescala	61
2.1.1 - A nanotecnologia como um indicador de medida.....	61
2.1.2 - As técnicas de produção na nanoescala.....	64
2.1.3 - Nanociência e nanotecnologia.....	66
2.2 – Histórico do desenvolvimento da nanotecnologia.....	68
2.3 – Novas propriedades no nível atômico: revelando potenciais de inovação	71
2.4 – A economia da nanotecnologia: percepções teóricas e analíticas	75
2.4.1 - A nanotecnologia como uma tecnologia de propósito geral	76
2.4.2 - A multidisciplinaridade da nanociência e nanotecnologia: tecnologias baseadas na ciência.....	80
2.4.3 - O papel das empresas novas e estabelecidas no desenvolvimento da nanotecnologia.....	85
2.5 – Percepções das nanotecnologias no Brasil: delineando uma nova trajetória?88	
2.5.1 - Nanomateriais.....	92
2.5.2 - Nanoeletrônica	93
2.5.3 - Nanofotônica	94
2.5.4 - Nanobiotecnologia	95
2.5.5 - Nanoenergia	96

2.5.6 - Nanoambiente.....	98
2.6 – Outros aspectos das nanotecnologias: algumas observações sobre questões ambientais, de saúde e segurança	99
2.7 – Considerações parciais	101
CAPÍTULO 3 – A POLÍTICA DE NANOTECNOLOGIA NO BRASIL.....	103
3.1 – A nanotecnologia no mundo: das primeiras iniciativas a atualidade.....	105
3.1.1 - Estados Unidos, Japão e Europa	105
3.1.2 - China	110
3.1.3 - As principais áreas de investimento	114
3.2 – Cenário da política de inovação brasileira: o contexto do surgimento da política de nanotecnologia	116
3.2.1 - O contexto	116
3.2.2 - O cenário da política	119
3.2.3 - A inserção da nanotecnologia na Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP)	124
3.3 – A iniciativa brasileira em nanotecnologia: redes, programas e financiamento	126
3.3.1 - Financiamento às empresas: o FUNTEC e a Subvenção Econômica ...	132
3.4 – Os limites da política de nanotecnologia: um olhar crítico	141
3.5 – Conclusão: questões para a análise empírica.....	146
PARTE II: ANÁLISE DE DADOS E EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS.....	151
CAPÍTULO 4 – MÉTODO DE PESQUISA.....	151
4.1 – Tipo de pesquisa	151
4.2 – Fonte de dados e seleção dos sujeitos da pesquisa	153
4.3 – Captura das informações	156
4.4 – Tratamento e análise dos dados	158
4.5 – Limitações do método	159
CAPÍTULO 5 – A DIFUSÃO E CAPACITAÇÃO EM NANOTECNOLOGIA NO BRASIL: UMA APROXIMAÇÃO A PARTIR DAS EMPRESAS INOVADORAS E DOS GRUPOS DE PESQUISA	160
5.1 – A inserção da nanotecnologia nas empresas inovadoras no Brasil: um contorno a partir da PINTEC 2008.....	161
5.1.1 – Tipo de inovação e atividades inovativas	165
5.1.2 – Atividades internas de P&D	167
5.1.3 – Apoio do governo	169
5.2 – Os grupos de pesquisa em nanotecnologia no Brasil	172
5.2.1 – Áreas do conhecimento dos grupos de pesquisa em nanotecnologia ...	175
5.2.2 – Instituições e regionalização.....	178
5.2.3 – A produção científica em nanotecnologia no Brasil: um panorama a partir do ISI <i>Web of Knowledge</i>	181
5.3 – O papel das universidades e a relação com o setor produtivo no sistema nacional de inovação: implicações para a nanotecnologia	186
5.4 – Interação entre empresas e instituições de ciência e tecnologia: elementos a partir do diretório de grupos de pesquisa e da PINTEC	193
5.4.1 – Relação com universidades e instituições de ciência e tecnologia: a perspectiva das empresas.....	194
5.4.2 – Relação com empresas do setor produtivo: a perspectiva dos grupos de pesquisa	198
5.5 – Considerações parciais	204

CAPÍTULO 6 – AS ATIVIDADES EM NANOTECNOLOGIA NO BRASIL: UMA ANÁLISE A PARTIR DA PESQUISA DE CAMPO	207
6.1 – Características das empresas	208
6.2 – As nanotecnologias nas empresas.....	219
6.2.1 – As áreas de conhecimentos.....	223
6.2.2 – As técnicas de produção	226
6.2.3 – As principais aplicações	229
6.3 – Identificando trajetórias nanotecnológicas: uma proposta analítica.....	232
6.3.1 – Nanomateriais	233
6.3.2 – Nanobiotecnologia.....	240
6.3.3 – Nanoeletrônica.....	247
6.3.4 – Nanoenergia e meio ambiente	255
6.3.5 – Nanomedicina, cosméticos e saúde	263
6.3.6 – Alguns comentários	269
6.4 – Capacitação, aprendizado e inovação nas empresas: atividades e componentes críticos	270
6.4.1 – Atividades inovativas relacionadas ao uso e desenvolvimento das nanotecnologias	270
6.4.2 – Alguns fatores do processo de inovação em nanotecnologia considerados pelas empresas	273
6.5 – Objetivos e motivações.....	276
6.5.1 – Objetivos do uso e desenvolvimento da nanotecnologia.....	277
6.5.2 – Motivações para o uso e desenvolvimento da nanotecnologia.....	279
6.6 – Desafios e obstáculos ao desenvolvimento das nanotecnologias	281
6.7 – Considerações parciais	286
CAPÍTULO 7 – UMA ANÁLISE DAS POLÍTICAS PARA NANOTECNOLOGIA NO BRASIL: IMPLICAÇÕES DE POLÍTICAS A PARTIR DAS EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS	289
7.1 – A difusão dos programas e instrumentos.....	290
7.2 – A Subvenção Econômica: alguns resultados	293
7.2.1 – Perfil das empresas e tipos de nanotecnologia	294
7.2.2 – Resultados parciais dos projetos contratados na Subvenção Econômica	297
7.2.3 – Subvenção Econômica à Inovação em nanotecnologia 2013: um breve panorama	304
7.3 – Mecanismos de apoio à inovação em nanotecnologia: a percepção dos atores	305
7.4 – Dificuldades para aproveitar os instrumentos de política existentes.....	310
7.5 – Elementos para política de nanotecnologia	316
7.6 – Considerações parciais	321
CONCLUSÃO	323
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	337
APÊNDICE – Indicadores de inovação para nanotecnologia: uma breve reflexão	357
1 – O papel dos indicadores de inovação para as nanotecnologias: dados e informação, diagnóstico e política.....	358
2 – Abordagens das pesquisas de inovação	360
3 – Integrando abordagens para pesquisa em nanotecnologia.....	361
4 – Elementos para uma pesquisa de inovação em nanotecnologia: algumas considerações.....	363
ANEXO I – Sugestões de políticas para nanotecnologia segundo os entrevistados	366

ANEXO II – Questionário..... 372

INTRODUÇÃO

De tempos em tempos surgem novas tecnologias com o potencial de modificar a configuração econômica e social de toda uma era. Algumas cumprem as expectativas. Outras, ainda que promissoras, não ultrapassam a barreira das expectativas e desaparecem, ou simplesmente são deixadas à parte a espera de outra oportunidade.

A nanotecnologia tem sido considerada uma das novas tecnologias de propósito geral¹ com o potencial de se tornar uma das principais tecnologias-chave do século XXI, seguindo os passos das tecnologias de informação e comunicação (TICs). Estima-se que a nanotecnologia encontre-se hoje num nível de desenvolvimento similar às aplicações comerciais das tecnologias de informação no final da década de 1960, ou ao advento da biotecnologia nos anos 1980, esperando-se, portanto, descobrimentos impressionantes, transformando os domínios tecnológicos afetados (MIYAZAKI E ISLAM, 2007).

Neste contexto, o desenvolvimento da nanotecnologia oferece uma rara oportunidade de estudar a evolução inicial de um conjunto de novas tecnologias, ou mesmo de uma revolução tecnológica, em tempo real. Reconhecer uma tecnologia como revolucionária, promissora de mudanças radicais, e advogar pela sua exploração nos seus estágios iniciais, constitui-se uma rara oportunidade (ANDERSEN, 2011; LASTRES, 1994).

Ainda que seu potencial já tenha sido revelado em diversas esferas, ainda é um processo em formação. Pouco se sabe a respeito da dinâmica inovativa destas tecnologias. Diversas oportunidades técnicas e econômicas ainda permanecem inexploradas. Muitas soluções para problemas tecno-econômicos ainda são desconhecidas, deixando, portanto, em aberto suas possíveis trajetórias.

É neste contexto que o papel das políticas de inovação se torna evidente no sentido de criar e disponibilizar as condições materiais e estruturais necessárias para que essas inovações potenciais possam se concretizar. E é no âmbito do sistema nacional de inovação que suas ações se tornam proeminentes.

Espera-se que os países que melhor dominam as novas tecnologias emergentes desde o início tenham um papel de destaque no momento de sua difusão. O Brasil parece ter entendido as oportunidades que surgem com as novas tecnologias. Por isso, diversas iniciativas para o desenho de políticas industriais e de inovação para essas

¹ *General Purpose Technologies* (GPTs).

tecnologias emergentes vêm sendo desenvolvidas no país ao longo da última década. Um dos pontos fundamentais dessa política foi o direcionamento para a promoção de áreas consideradas estratégicas para o desenvolvimento da economia, entre elas as nanotecnologias. Essas áreas consideradas “portadoras de futuro” são áreas que também no contexto internacional são consideradas novas e promissoras.

Estas iniciativas estão no âmbito da retomada das políticas públicas explícitas visando o aumento da competitividade da indústria brasileira através do desenvolvimento tecnológico e, principalmente, inovativo².

Assim, este trabalho tem como tema central a análise da inserção das nanotecnologias no Sistema Nacional de Inovação brasileiro e das políticas desenhadas para sua promoção na última década a partir do referencial teórico neo-schumpeteriano. Para isso, as políticas serão analisadas à luz da abordagem de sistemas de inovação, buscando-se considerar a consistência e articulação dos programas e instrumentos desenhados para tal objetivo, como um conjunto de ações denominadas políticas de inovação.

Esta tese foi desenvolvida no âmbito do projeto ‘Observatório de Políticas Públicas Estratégicas de Produção e Inovação no Brasil’, conduzido na Rede de Pesquisa em Sistemas e Arranjos Produtivos e Inovativos Locais (RedeSist), com o objetivo de analisar as políticas de desenvolvimento industrial, científico e tecnológico das áreas chamadas estratégicas, entre elas a nanotecnologia. Um dos elementos centrais da análise esteve focado na relação entre os objetivos, definições e metas definidas pelas políticas para essas áreas. Deste modo, buscou-se analisar a lógica e estrutura dos programas e instrumentos utilizados como políticas voltadas para o desenvolvimento das capacidades nacionais de inovação nessas áreas.

Motivação para a escolha do tema

Os motivos para a escolha do tema desta tese estão relacionados tanto aos interesses pessoais do autor, em relação às abordagens teóricas utilizadas, quanto a interesses práticos, surgidos a partir da necessidade da compreensão de um determinado tema para o desenvolvimento de um trabalho relacionado a trajetória profissional do

² Um importante marco do reconhecimento da inovação como elemento fundamental para o desenvolvimento do país deu-se por ocasião da incorporação do termo ‘inovação’, em agosto de 2011, ao agora Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). Esta mudança marca o reconhecimento explícito de que a inovação vai além da ciência e tecnologia.

autor. Foi na junção desses interesses que surgiu a idéia que passou a nortear o desenvolvimento do tema desta tese.

Por demanda do então Ministério de Ciência e Tecnologia, foi incorporada na Pesquisa de Inovação Tecnológica (PINTEC) uma nova questão que tinha como objetivo fazer um primeiro mapeamento das empresas inovadoras que realizaram alguma atividade relacionada à produção e pesquisa e desenvolvimento (P&D) em nanotecnologia. Estando a autor diretamente envolvido na elaboração desta pesquisa, percebeu-se que uma questão relacionada a um assunto tão amplo e complexo deveria ser mais bem estudado, sobretudo no momento particular de retomada e elaboração de políticas voltadas para o desenvolvimento produtivo e inovativo.

Dois questionamentos foram fundamentais nesse contexto. O primeiro recaía sobre o tratamento do objeto ‘nanotecnologia’ como área estratégica. A questão não estava relacionada à legitimidade da nanotecnologia como uma prioridade da política, mas sim de como este objeto estava posto como elemento fundamental. A nanotecnologia foi tratada como algo homogêneo, sem considerar os diferentes aspectos que envolvem a sua natureza plural e multidisciplinar. Não pareceu haver referência a um tratamento teórico compatível com a natureza dessas tecnologias, sobretudo quando o fenômeno em questão é a inovação. O segundo questionamento recaía sobre os programas e instrumentos utilizados para promover a **inovação** nestas tecnologias. Sem dúvida, as políticas tem cada vez mais se tornado complexas, com importantes avanços sendo observados no sentido de proporcionar a infraestrutura necessária em qualidade e quantidade suficientes. No entanto, do ponto de vista dos instrumentos direcionados para estimular a inovação, tem havido uma incompatibilidade (*mismatch*) entre os objetivos e as ferramentas que, segundo Cassiolato (2010), pode-se argumentar que poderiam ser mais bem equacionados³.

Desta forma, observou-se a necessidade de maior reflexão tanto em relação ao objeto (nanotecnologia) quanto ao fenômeno (inovação). Deixando momentaneamente à parte outras questões que influenciam a configuração das políticas, estas refletiram o escasso entendimento das nanotecnologias que visavam fomentar e das dinâmicas inovativa que as acompanham, resultando em instrumentos voltados para as etapas iniciais do processo inovativo, em especial às atividades de P&D.

³ “(...) there is always the risk that advocates of nanotechnology, whether in government, industry, finance or academia will overpromise and underdeliver”. (MILLER *et al.*, 2005).

Neste contexto, a escolha analítica deste trabalho se justifica uma vez que é no âmbito dos sistemas de inovação que a compreensão da natureza e dinâmica inovativa das tecnologias se torna mais evidente, proporcionando o ambiente de aprendizado necessário para a formulação de políticas de inovação mais consistentes e bem estruturadas.

Objetivos da tese

O objetivo geral deste trabalho é analisar a consistência e articulação das políticas para a nanotecnologia como políticas de inovação no âmbito do sistema nacional de inovação tomando como base o referencial teórico e analítico neoschumpeteriano.

Para isso, definiu-se os seguintes objetivos específicos:

- 1) Buscar entender as características e especificidades das nanotecnologias de modo a identificar trajetórias em andamento e em potencial para auxiliar na definição de prioridades para o desenho de políticas;
- 2) Identificar os principais componentes das atividades inovativas das empresas e instituições de pesquisa, assim como as principais barreiras e desafios para o desenvolvimento das nanotecnologias;
- 3) A partir do reconhecimento das diferenças das nanotecnologias, analisar a lógica das políticas para sua promoção, buscando identificar as inconsistências e lacunas em relação aos objetivos e instrumentos utilizados para alcançá-los;
- 4) Analisar a abrangência e percepção sobre as políticas como instrumentos para promoção das nanotecnologias;
- 5) Analisar os resultados parciais da Subvenção Econômica como instrumento utilizado para promoção da inovação em nanotecnologia no período 2006-2010;
- 6) Buscar elementos para a proposição de políticas de inovação em nanotecnologia no âmbito do sistema nacional de inovação brasileiro.

Mais do que responder as questões aqui levantadas, este trabalho busca direcioná-las para uma abordagem que seja capaz de melhor estruturá-las, propondo mecanismos capazes de criar o ambiente propício para que estas questões sejam

compreendidas, abrindo espaço para atuar sobre elas, sobretudo na forma de desenho de políticas. Dessa forma, pretende-se aqui ser abrangente o suficiente para levantar questões e discutir as abordagens capazes de tratá-las, e ser focada o suficiente para que essas questões não fiquem por demasiado abertas, a mercê de relativismos desnecessários e improdutivos, procurando direcionar as discussões para o âmbito onde elas possam ser discutidas, melhor compreendidas e se atue sobre elas.

Pressupostos para desenvolvimento da análise

Diversas questões surgiram durante o processo de elaboração deste trabalho. A partir delas, alguns pressupostos, baseados tanto nas características do objeto investigado como no que se pretende inferir, foram admitidos no sentido de orientar o desenvolvimento da análise.

De forma geral, o trabalho assume que a nanotecnologia é um conjunto de ‘tecnologias de propósito geral’ espalhada em diversas atividades e setores da economia, incorporadas (*embedded*) em diversos produtos e processos produtivos. Portanto, não pode ser considerada uma indústria ou setor. Mais do que uma revolução científica, pelas suas características e novas propriedades, a nanotecnologia se refere a uma revolução tecnológica em andamento viabilizada, principalmente, em conjunto com importantes descobertas tecnológicas (a partir do desenvolvimento das tecnologias de informação e comunicação, materiais, instrumentos, entre outros). Desta forma, as nanotecnologias são aqui consideradas tecnologias-chave no advento do novo paradigma tecno-econômico que se desenha que, ao invés de substituir, estão sendo desenvolvidas em combinação com outras tecnologias-chave como a biotecnologia e as TICs, por exemplo.

Nesse contexto, tendo como base as características limitadas dos programas e instrumentos desenhados para a promoção da inovação em nanotecnologia - voltados prioritariamente para a parte científica do processo de inovação -, a análise desenvolvida nesta tese pressupõe que a política foi concebida a partir de uma visão linear do processo de inovação. Por isso, procurou-se argumentar, no desenvolvimento do trabalho, que a elaboração de políticas de inovação mais consistentes está relacionada a um processo de aprendizado que passa pelo melhor entendimento da dinâmica inovativa dos sistemas tecnológicos dos quais essas nanotecnologias fazem parte.

Metodologia

A elaboração desta tese foi realizada em duas etapas. A primeira consistiu na apresentação do referencial teórico e analítico utilizado para a análise dos objetos e dos fenômenos em foco. A segunda consistiu na análise das evidências empíricas resultado tanto de um processo de coleta e análise de dados primários quanto da análise de dados secundários.

Para a primeira parte desta tese, utilizou-se de extensa revisão da literatura relacionada aos paradigmas científicos; paradigmas e trajetórias tecnológicas; paradigmas tecno-econômicos; processo de inovação; sistemas de inovação; políticas de inovação; nanotecnologia; e as políticas voltadas para a nanotecnologia no Brasil e no mundo. Mais do que uma revisão teórica, a análise procurou inserir e interpretar o objeto à luz dos fenômenos, apontando as particularidades e reconhecendo os limites.

Para a segunda parte deste trabalho, realizou-se a coleta de dados primários através de entrevistas, com roteiros estruturados, com atores representativos no contexto dos objetos e fenômenos em questão. Além disso, utilizou-se base de dados secundárias que serviram tanto para análise introdutória das evidências empíricas quanto para a configuração do painel de instituições relevantes na dinâmica dos fenômenos analisados. Maiores detalhes do posicionamento metodológico da segunda parte desta tese serão apresentados no capítulo introdutório da Parte II.

Estrutura da tese

Esta tese está estruturada em duas partes, além desta introdução, da conclusão e do apêndice. A primeira está relacionada ao referencial teórico e analítico utilizado como pilar dos argumentos desenvolvidos. A segunda está relacionada à análise das evidências empíricas. A organização dos capítulos procura apresentar uma certa lógica nos argumentos partindo de um contexto mais abstrato, onde ocorrem os fenômenos, para um contexto mais específico que trata dos objetos (nanotecnologia e política de inovação) à luz do referencial teórico proposto.

O capítulo 1 buscou apresentar as principais contribuições teóricas e quadros analíticos da teoria evolucionária e neo-schumpeteriana das quais as novas tecnologias revolucionárias e emergentes são passíveis de serem analisadas à luz da formulação de

políticas de inovação. O capítulo discorre sobre como as inovações se constituem em revoluções e seguem trajetórias de modo a se consolidarem como um novo paradigma. Neste contexto, a análise trata da importância de se visualizar a dinâmica do processo de inovação e os principais fatores que o compõe, e aponta os sistemas de inovação como o quadro analítico adequado para a análise, e as políticas de inovação como a forma de atuação sobre este fenômeno. Por fim, insere-se a emergência e evolução das nanotecnologias no contexto da dinâmica inovativa das economias.

No capítulo 2 apresentou-se um panorama das principais características da nanotecnologia e seu histórico de desenvolvimento, ressaltando os principais elementos responsáveis pelo início do seu processo de difusão. A análise sugere que os principais potenciais de inovação das nanotecnologias estão relacionados às novas propriedades e funções dos átomos e moléculas na escala manométrica. Assim, o capítulo procurou trazer algumas percepções teóricas e analíticas a respeito da ‘economia da nanotecnologia’, apontando indícios das trajetórias que se desenham no Brasil.

O capítulo 3 apresentou as principais iniciativas e características das políticas desenhadas para estimular o desenvolvimento das nanotecnologias no Brasil sob a ótica do desenho de política para a inovação no âmbito do sistema nacional de inovação. O capítulo procurou mostrar o surgimento das primeiras iniciativas para o estímulo às atividades de nanotecnologia no Brasil e em outros países, procurando apontar as principais características comuns a estas iniciativas. Nesse contexto, o capítulo também apresentou as principais características e objetivos do principal instrumento utilizado para promover a inovação em nanotecnologia no Brasil, a Subvenção Econômica.

A partir do capítulo 4, desenvolveu-se a análise empírica deste trabalho. O capítulo 4 consistiu na apresentação metodológica utilizada ao longo da parte II desta tese, em especial apontou o tipo de pesquisa; as fontes de dados e seleção dos sujeitos da pesquisa; o procedimento utilizado na captura das informações; o tratamento e análise dos dados; e as principais limitações do método.

O capítulo 5 apresentou um panorama da difusão das nanotecnologias nas empresas e nos grupos de pesquisa das universidades e outras instituições de pesquisa no Brasil, em especial após a implementação dos instrumentos desenhados para a promoção da nanotecnologia como área estratégica no Brasil. Para tal, utilizou-se a Pesquisa de Inovação Tecnológica (PINTEC) e o Diretório dos Grupos de Pesquisa do CNPq. Neste contexto, o capítulo discute o papel das universidades e a relação com o

setor produtivo para o desenvolvimento das nanotecnologias no âmbito do sistema nacional de inovação.

O capítulo 6 se estrutura a partir da necessidade de melhor compreender as principais características das diferentes nanotecnologias de modo a auxiliar o desenho e direcionamento das políticas de inovação para as elas. Assim, o capítulo procurou apresentar os principais resultados da pesquisa de campo realizada em empresas e institutos de pesquisa que utilizam e/ou desenvolvem nanotecnologias no Brasil, buscando reunir elementos para a análise da inserção das nanotecnologias nessas organizações, bem como suas principais atividades inovativas para sua utilização e desenvolvimento.

Por fim, no capítulo 7 procurou-se apresentar um panorama analítico dos principais mecanismos e instrumentos utilizados para promover a nanotecnologia no Brasil na última década baseado nos resultados obtidos a partir das entrevistas com atores em empresas e institutos de pesquisa no país. Pretendeu-se, no capítulo, analisar a difusão dos principais programas e instrumentos utilizados pelas empresas e institutos de pesquisa, além da análise de alguns resultados da Subvenção Econômica. O capítulo apresenta, ainda, as principais percepções dos atores a respeito dos mecanismos e instrumentos de apoio às nanotecnologias, e das principais dificuldades encontradas para sua utilização e aproveitamento. O capítulo termina com a proposição de alguns elementos para as políticas voltadas para as nanotecnologias.

PARTE I: REFERENCIAL TEÓRICO E ANALÍTICO

CAPÍTULO 1 – O PROCESSO DE INOVAÇÃO E A POLÍTICA DE INOVAÇÃO: ELEMENTOS DE UMA ANÁLISE SISTÊMICA

A dinâmica de uma economia capitalista está fundamentalmente baseada na diferenciação e na busca do novo. Não apenas Schumpeter e os economistas evolucionários que partiram de suas principais idéias, como também outros cientistas sociais, consideram a inovação e a mudança técnica como as principais fontes de transformações qualitativas do sistema econômico.

A mudança técnica está associada ao aparecimento e difusão de inovações, que pode ser tanto um processo gradual como explosivo (*disruptive*). A inovação se refere à busca, descoberta, experimentação, desenvolvimento, imitação, e adoção de novos produtos, novos processos de produção, e novas configurações organizacionais. O que se busca não pode ser conhecido com exatidão *a priori* e, conseqüentemente, os efeitos técnicos dos esforços inovativos raramente podem ser conhecidos *ex ante*.

Geralmente as atividades inovativas são motivadas pela busca do lucro diferenciado, envolvendo um tipo de percepção a respeito das oportunidades técnicas e econômicas ainda não-exploradas. Por isso, a inovação contém um elemento fundamental de incerteza que, segundo Dosi (1988a), não se trata simplesmente da falta de informações relevantes a respeito da ocorrência de eventos conhecidos mas, fundamentalmente, se vincula a existência de problemas tecno-econômicos cujos procedimentos para suas soluções são desconhecidos, assim como a impossibilidade de traçar com precisão as conseqüências para as ações.

Além da incerteza, o autor identifica outras quatro características das atividades inovativas que ele chama de ‘fatos estilizados’. A segunda se refere às novas oportunidades tecnológicas advindas dos avanços no conhecimento científico, onde muitas inovações tecnológicas se desenharam a partir de novas oportunidades surgidas dos avanços científicos. O terceiro fato é em relação à natureza das atividades de busca por novos produtos e processos. Neste caso, a crescente complexidade das atividades inovativas e de pesquisa possibilitou o aparecimento de organizações formais (como os departamentos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) das empresas, os laboratórios do governo, as universidades, entre outras). Apesar disso, grande parte das inovações e dos melhoramentos ocorridos depende de processos de aprendizagem (*learning-by doing* e

learning-by-using), nos quais as pessoas e organizações aprendem como utilizar/melhorar/produzir simplesmente pelo processo de fazer as coisas, normalmente através de atividades informais no sentido de resolver os problemas relacionados à produção. Este é o quarto fato estilizado. O quinto e último fato se refere à importância da cumulatividade (*path-dependency*) no processo de inovação. Neste caso, o processo de aprendizado é fundamental no melhoramento e processo de difusão de determinada inovação num determinado período.

Nesse contexto, as inovações são capazes de gerar uma série de mudanças nos diversos sistemas tecnológicos vigentes e acabam por afetar a economia de forma mais ampla. Tais mudanças trazem consigo uma série de oportunidades e também possíveis trajetórias que, para se manifestarem na sua plenitude, ou seja, para que ocorra sua plena difusão, dependem, sobretudo, de arranjos institucionais que podem se configurar de diversas formas no espaço e no tempo. Por isso, tais mudanças ocorrem de forma diferenciada nas diferentes formações socioeconômicas. Dessa maneira, os ganhos econômicos derivados dos processos de inovação e de difusão resultantes das novas tecnologias dessa nova configuração (paradigma) só se dão plenamente na medida em que também ocorram mudanças nas estruturas institucionais.

Essas mudanças dizem respeito, sobretudo, à conformação de um arcabouço técnico, econômico, social e institucional, organizado de forma sistêmica, que possibilite a conformação e consolidação desta nova configuração, e abra caminho para um novo ciclo de desenvolvimento baseado na sua difusão. Muitas vezes, a conformação desse conjunto de parâmetros e componentes não se dá de forma natural, mas impulsionada por diversas fontes de estímulos e financiamentos.

Este capítulo busca tratar os principais aspectos teóricos destas mudanças ao longo do tempo, destacando quatro aspectos fundamentais: i) o papel das mudanças tecnológicas e sua configuração no tempo (revoluções e ondas de inovações), sua consolidação na estrutura econômica e social (paradigmas tecno-econômicos), e as oportunidades surgidas ao longo do tempo nessas mudanças (janelas de oportunidades); ii) as principais contribuições teóricas acerca dos fatores que estimulam o processo de inovação, e como essas abordagens levaram a diferentes visões desse processo; iii) as configurações sistêmicas que compõem o âmbito no qual tais inovações encontram espaço para seu desenvolvimento e difusão (sistemas de inovação); e iv) os principais instrumentos que podem ser utilizados no âmbito dos sistemas de inovação para que sejam aproveitadas as janelas de oportunidades abertas com o advento dessas inovações.

1.1 – Paradigmas, revoluções e inovação: a dinâmica das trajetórias tecnológicas e sua consolidação

Ao longo da história do capitalismo diversas tecnologias surgiram e desapareceram, num processo cíclico de substituição das velhas (e obsoletas) por novas, que trouxeram consigo novas maneiras de se produzir e interagir com a sociedade, mudando toda a concepção até então vigente. Esta nova configuração tecnológica reflete a emergência de um novo paradigma (científico e tecnológico), que traz uma série de mudanças tecnológicas e uma constelação de inovações que afetam não somente as tecnologias e a economia, mas toda a configuração social, que passa a se relacionar como essas “novas” inovações. Nesse sentido, essas mudanças estão relacionadas não somente a um novo paradigma tecnológico, mas também econômico e social. É nesse período de mudanças que surgem “janelas de oportunidade” para que empresas, regiões e mesmo países se destaquem na sua produção e liderança. Esta seção tratará desses pontos.

1.1.1 - Paradigmas e trajetórias tecnológicas

Uma tecnologia, ou um sistema tecnológico, domina o sistema econômico por um determinado tempo, e passa por diversas fases. Nos seus primeiros dias, ela pode ou não ser, parcial ou inteiramente, um fenômeno de laboratório e descobertas científicas aparentemente desconectadas, que podem ser os mais importantes eventos. Somente após demonstrações bem-sucedidas de viabilidade técnica e comercial é que uma difusão em larga escala começa. Esta difusão está associada à emergência de um novo paradigma, que posiciona o novo “senso comum”, guiando a difusão dessas novas tecnologias.

A noção de paradigma está relacionada à idéia de padronização, de uma maneira específica de se tratar um determinado objeto. O termo foi utilizado por Thomas Kuhn (1962) para se referir aos padrões científicos na busca de soluções de determinados problemas vigorem durante certo período de tempo. Assim, Dosi (1982, p.152) descreve um paradigma científico da seguinte forma:

“A scientific paradigm could be approximately defined as an outlook which defines the relevant problems, a model and a pattern of inquiry”.

Em analogia com a definição de paradigma científico, o autor define a idéia de paradigma tecnológico da seguinte maneira:

“We define a technological paradigm as model and a pattern of solution of selected technological problems based on selected principles derived from natural sciences and on selected material technologies” (DOSI, op. cit.).

Essas similaridades se relacionam com os mecanismos e os procedimentos da ciência, por um lado, e com os da tecnologia, por outro. Assim como o paradigma científico determina o campo de inquirição, os problemas, os procedimentos e as tarefas (os “quebra-cabeças”, de acordo com Kuhn), também o faz a tecnologia, ou agrupamento de tecnologias (DOSI, 1984).

Assim, da mesma forma que a ciência normal⁴ constitui a efetivação de uma promessa contida num paradigma científico, o progresso técnico é definido por meio de um certo paradigma tecnológico. Dessa forma, uma trajetória tecnológica pode ser pensada como o padrão da atividade normal de resolução do problema, com base num paradigma tecnológico (DOSI, 1982, 1984).

Em outras palavras, o paradigma tecnológico define as oportunidades tecnológicas das inovações e os procedimentos básicos para sua exploração, direcionando os esforços para determinada direção em detrimento de outras. Assim, a trajetória tecnológica é a atividade do progresso tecnológico definida pelo paradigma.

Seja como for, os paradigmas tecnológicos e as trajetórias são, segundo Dosi (1982), em alguns respeitos metáforas de uma ação combinada entre continuidade e rupturas no processo de incorporação do conhecimento e tecnologia no crescimento industrial. Metáfora, contudo, que deve ajudar a entender os vários aspectos e atores, além de sugerir diferentes maneiras de se abordar a teoria da inovação e mudança técnica.

⁴ “Normal science means research firmly based upon one or more past scientific achievements, achievements that some particular scientific community acknowledges for a time as supplying the foundation for its further practice” (KUHN, 1962, p.10).

Ao analisar os diversos padrões de mudanças técnicas ao longo do tempo, é possível perceber a existência de paradigmas e trajetórias com diferentes níveis de generalidades, em diferentes setores industriais. Em geral, este processo está associado a revoluções tecnológicas, onde uma ou mais tecnologias emergem, se espalham e, invariavelmente, vêm a dominar uma sociedade industrial por algumas décadas antes de abrir caminho, após um período de várias décadas de grandes turbulências, para a próxima.

São nesses períodos que o oximoro Schumpeteriano da ‘destruição criadora’ se torna mais evidente no processo de inovação, ao tornar obsoleto não apenas a estrutura de produção em vigor, como também grande parte do conhecimento acumulado até então.

Autores como Freeman e Louçã (2001) e Perez (2002) usam a expressão paradigma tecno-econômico para descrever tecnologias que se espalham⁵ por toda a economia e que influenciam o comportamento das firmas e diferentes setores industriais em todo o sistema econômico. Em geral, este processo está associado a revoluções tecnológicas, onde uma ou mais tecnologias são capazes de modificar a estrutura da economia.

1.1.2 - Revoluções tecnológicas e paradigmas tecno-econômicos

Uma revolução tecnológica pode ser definida como um poderoso aglomerado de tecnologias, produtos e indústrias novas e dinâmicas, capazes de trazer grande mudança em toda a estrutura da economia, e proporcionar uma longa ascensão de desenvolvimento. É uma constelação de inovações técnicas altamente inter-relacionadas, geralmente incluindo um importante insumo a baixo custo e espalhado por todo o sistema econômico (*pervasive*); normalmente uma fonte de energia, às vezes um material crucial, além de novos produtos e processos, e uma nova infra-estrutura. Esta última normalmente modifica a fronteira em velocidade e confiabilidade do transporte e comunicações, ao mesmo tempo reduz drasticamente seus custos.

Segundo Perez (2002), o principal veículo de difusão desse novo conjunto de tecnologias é o paradigma tecno-econômico. É econômico porque cada transformação tecnológica traz consigo grande modificação na estrutura de preço relativo que guia os

⁵ *Pervasive Technologies*.

agentes econômicos para o intenso uso de novos insumos e tecnologias mais poderosos. É um paradigma, num sentido Kuhniano, porque define o modelo e o território para a prática inovativa “normal”, prometendo sucesso para aqueles que seguirem os princípios arraigados nas indústrias chave (núcleo) da revolução.

Cada revolução tecnológica é, então, uma explosão de novos produtos, indústrias e infra-estruturas que gradualmente abre espaço para o novo paradigma tecnológico, que guia empresários, gerentes, inovadores, investidores e consumidores, tanto nas suas decisões individuais quanto nas suas interações, por todo o período de propagação daquele conjunto de tecnologias.

Antes de se juntarem como uma constelação, e serem reconhecidos como tal, cada revolução tecnológica passa por um período de gestação que pode ser bastante longo, uma vez que muitas inovações provavelmente já eram conhecidas há algum tempo. Por isso, é difícil definir uma data apropriada como de início para cada revolução, e uma opção sensata seria indicar um período mais abrangente.

No entanto, sugere-se que para uma sociedade enveredar na direção de um novo conjunto de tecnologias, um fator de atração visível deve aparecer, simbolizando todo o novo potencial e capacidade de “acender” a imaginação tecnológica e de negócios dos pioneiros. Este fator não é necessariamente uma ruptura (*breakthrough*) técnica, mas algo poderoso o suficiente que deixe claro que os negócios baseados nas inovações associadas serão competitivas em custo. Este evento é definido aqui como o *big bang* da revolução.

Quando cada revolução tecnológica surge, a lógica e os efeitos da anterior ainda são dominantes e exercem forte resistência. A mudança generalizada para a “lógica da nova” requer um período de transição em torno de duas ou três décadas turbulentas, quando a instalação bem sucedida das novas capacidades “superiores” acentua o declínio das antigas (PEREZ, 2002).

Cada revolução tecnológica resulta de uma interdependência “sinérgica” de um grupo de indústrias com uma ou mais redes de infra-estrutura. O aparecimento de um conjunto de indústrias novas e dinâmicas, acompanhadas de uma infra-estrutura de suporte, certamente terá enorme conseqüência tanto na própria estrutura industrial quanto na direção do investimento no período. No entanto, geralmente os modelos organizacionais antigos não podem lidar ou levar vantagens do novo potencial. As novas possibilidades e seus requisitos também despertam uma transformação profunda

na “forma de fazer as coisas” na economia como um todo. Nesse sentido, cada revolução tecnológica invariavelmente induz a uma mudança de paradigma.

Um paradigma tecno-econômico pode ser definido, então, como uma espécie de “padrão”, de um “tipo ideal” de organização produtiva, um senso tecnológico comum, feito de um conjunto de princípios tecnológicos e organizacionais genéricos e “pervasivos”, que, num determinado momento, representa a forma mais eficiente de aplicação de uma revolução tecnológica particular e utilizada para modernizar e rejuvenescer a economia como um todo. Quando amplamente adotada, tais princípios se tornam a base do senso comum para organizar qualquer atividade e estruturar qualquer instituição (PEREZ, 1983, 2002, 2007).

No entanto, é importante ressaltar que o paradigma tecno-econômico serve tanto como um propulsor da difusão quanto uma força retardadora. É uma força propulsora na medida em que apresenta um modelo que pode ser “seguido” por todos, mas sua configuração toma tempo e, dado que cada revolução é por definição diferente da anterior, os novos princípios terão de ser aprendidos socialmente. Contudo, este aprendizado deve sobrepor às forças de inércia (retardadora) que existem do sucesso do paradigma anterior. Sua prevalência é o principal obstáculo para a difusão da próxima revolução.

Uma vez instalado o novo paradigma tecno-econômico surge o grande advento do desenvolvimento, definido aqui como o processo no qual uma revolução tecnológica e seu paradigma se propaga na economia, levando a mudanças estruturais na produção, distribuição, comunicação e consumo, assim como a mudanças profundas e qualitativas na sociedade.

Uma mudança de paradigma traz consigo uma ‘onda de inovações’ e pode abrir janelas de oportunidade para que novas firmas e países se destaquem, enquanto os já estabelecidos estão igualmente aprendendo.

1.1.3 - Ondas de inovação e janelas de oportunidade para novas trajetórias de desenvolvimento

O advento de um novo paradigma tecno-econômico traz consigo uma série de inovações radicais e incrementais que se espalham por todo o sistema econômico e social, levando ao surgimento de toda uma gama de novos produtos, processos,

serviços, sistemas e indústrias, além de afetar praticamente todos os setores de uma economia.

Esse novo paradigma se refere a oportunidades em tecnologias revolucionárias que, em geral, leva tempo para se consolidar, e mais tempo ainda para se difundir por todo o sistema econômico e social, uma vez que sua consolidação também está relacionada a uma série de mudanças institucionais (sociais, políticas e até culturais).

Durante o período de ajuste relacionado ao esgotamento do antigo e a difusão do novo paradigma, o investimento em novos produtos e processos tem um elevado grau de incerteza, uma vez que seu resultado, por definição, não pode ser conhecido *a priori*⁶ (FREEMAN *et al.*, 1982). Esta incerteza, por um lado, leva a uma grande instabilidade no investimento nessas ‘novas inovações’. Por outro lado, uma vez reconhecido o esgotamento da exploração das antigas tecnologias, com uma tendência a redução das margens de lucro e geração de capacidade ociosa, os empresários passam a diminuir os investimentos, levando a economia a uma fase de recessão (crise)⁷. Este período de crise só termina quando o novo paradigma se consolida e recomeça um novo ciclo de investimentos.

É nesse momento que ocorre o processo de “destruição criadora” de Schumpeter, onde a alternância entre recessão e prosperidade não depende apenas do surgimento de inovações, mas também da criação de condições adequadas para sua difusão, onde as velhas estruturas são sucateadas para permitir um novo ciclo de crescimento. A passagem da depressão para o crescimento ocorre após a conclusão do processo de destruição que acompanha as grandes inovações (TIGRE, 2006).

Nesse sentido, Schumpeter utiliza a idéia dos ciclos econômicos de longo prazo (Ciclos de Schumpeter), herdada da discussão das ondas largas de Kondratieff (1925), para explicar os movimentos da economia associados ao surgimento e difusão das inovações ao longo do tempo. Em sua análise, Schumpeter (1939) enfatiza a tendência das inovações se agruparem (*cluster*) em certas indústrias em determinados períodos, e a possível contribuição dessas aglomerações na formação de ciclos de negócios e das “ondas largas” na economia mundial.

⁶ Segundo Freeman e Perez (1988, p.43), “(...) *in the early stages of radical technical innovation uncertainty prevails, so that Schumpeterian entrepreneurship and Keynesian animal spirits are necessary for the first steps*”.

⁷ Esta recessão se agrava quando, ciente da saturação dos mercados, os empresários reduzem seus investimentos e dão preferência a aplicações no mercado financeiro em detrimento da produção (TIGRE, 2006).

Segundo Tigre (2006), embora haja ceticismo sobre a existência de uma lei de ondas largas, o conceito de ciclos longos nos ajuda a entender os impactos das inovações e as características da infra-estrutura dominante em cada paradigma.

Nesse sentido, chamaremos de onda de inovações o conjunto das novas tecnologias que se apresentam e se destacam no atual cenário e abrem espaço para o surgimento de uma nova (possível) configuração tecnológica e econômica.

Assim, novas tecnologias e fontes de energia já foram identificadas por autores neo-schumpeterianos (FREEMAN *et. al.*, 1982; FREEMAN E PEREZ, 1988; FREEMAN E SOETE, 1997; FREEMAN E LOUÇÃ, 2001; PEREZ, 1983; PEREZ, 2002) no âmbito do estudo dos ciclos econômicos e das mudanças de paradigmas como potenciais de assumir o papel do motor de crescimento e desenvolvimento nesta nova onda de inovações que se delineia. À medida que o quinto ciclo se esgotar e a microeletrônica atingir patamares elevados de difusão, e as oportunidades de investimentos começarem a declinar, maiores espaços serão abertos para o desenvolvimento a partir das tecnologias baseadas nas ciências da vida, saúde, ambientais e subatômicas (TIGRE, 2006). Dessa forma, recentes avanços de tecnologias como a biotecnologia e a nanotecnologia, aliadas às tecnologias de informação, deverão apontar o direcionamento do progresso técnico em diferentes áreas do sistema econômico e social.

Para Perez (2002, p.13), essas tecnologias estariam sendo desenvolvidas dentro da lógica da quinta onda proposta por Freeman e Louçã (2001):

“It has often been suggested that biotechnology, bioelectronics and nanotechnology might conform the next technological revolution. Indeed, they are already developing intensely within the logic of the information society. They seem to be at a stage equivalent to the oil industry and automobile at the end of the 19th century or to electronics in the 1940s and 1950s, with vacuum-TV, radar and analog control equipment and telecommunications. The key breakthrough that would make it cheap to harness the forces of life and the power hidden in the infinitely small is still unpredictable. Apart from the ethical questions that are likely to shape the rhythm and the direction of the search, that event is more likely to happen (...)”.

O quadro 1 apresenta as principais características das ondas longas ao longo do tempo. Cada paradigma requer diferentes infra-estruturas física e social para se difundir.

Quadro 1 – Ondas Longas de Mudança Tecnológica

Ondas Largas	Características da Infra-estrutura dominante		
	C&T e Educação	Transporte e Com.	Energia
1) Primeira Revolução Industrial (1780-1830)	Aprender-fazendo, sociedades científicas	Canais, estradas de carroças	Roda d'água (moinhos)
2) Segunda Revolução Industrial (1830-1880)	Engenheiros mecânicos e civis	Estrada de ferro, telégrafo	Energia a vapor
3) Idade da eletricidade (1880-1930)	P&D industrial, química e eletricidade, laboratórios nacionais	Ferrovias (aço) e telefone	Eletricidade
4) Idade da produção em massa – fordismo- (1930-1980)	P&D industrial (empresas e governo) em larga escala. Educação de massa	Rodovias e rádio	Petróleo
5) Idade da microeletrônica (1980 a ?)	Rede de dados, redes globais de P&D; treinamento contínuo	Redes convergentes de telecomunicações em multimídia	Petróleo e gás
6) Tecnologias ambientais, saúde	Biotecnologia, genética, nanotecnologia	Telemática, teletrabalho	Energia renovável

Fonte: Tigre (2006) baseado em Freeman (1997).

Neste quadro, o autor situa a nanotecnologia pertencendo a uma sexta onda. Esta posição é compartilhada por Wonglimpiyarat (2005) e Drechsler (2009). O primeiro argumenta que, baseado na teoria de revoluções científicas de Kuhn e nas considerações de Schumpeter sobre ciclos de negócios, a nanotecnologia representa uma “progressão da ciência normal para uma ‘teoria de resolução de problemas’ na indústria manufatureira”, e pode ser vista como a sexta onda de Kondratieff⁸, que chama de Era na nanoengenharia e nanomanufatura (*Age of nano-engineering and manufacturing*).

O segundo sugere que a sexta onda pode ser determinada pela convergência da bio- e da nanotecnologia, ou de uma convergência mais ampla que também inclua as tecnologias de informação e comunicação. Seja como for, o autor defende que as

⁸ Voltarei a este ponto no próximo capítulo, onde as principais características tecnológicas das nanotecnologias serão apresentadas. Contudo, ressalto, desde já, que apesar de compartilhar a opinião de que a nanotecnologia seja, de fato, uma tecnologia revolucionária em gestação, ainda considero prematuro tratá-la como a *sexta onda de Kondratieff*, por duas razões principais. Primeiro, diversos tipos de nanotecnologias estão intimamente relacionados a outras tecnologias, como a biotecnologia e as tecnologias de informação e comunicação (TICs). Portanto, ainda não está claro se a nanotecnologia é apenas parte da onda das TICs, se é parte de uma nova onda com outras tecnologias, ou se ela sozinha é capaz de ser a principal tecnologia nesta nova configuração. Segundo, e em relação com o primeiro ponto, a análise das ondas longas é, pela própria abordagem, um quadro analítico *ex post*. Neste caso, não faz muito sentido falar da nanotecnologia como o principal fator de desenvolvimento econômico da *sexta onda de Kondratieff* quando ela ainda não ocorreu, como faz Wonglimpiyarat (2005).

chances da nanotecnologia, de fato, vir a ser a tecnologia conducente no próximo paradigma tecno-econômico são altas.

Neste cenário, “janelas de oportunidades” se abrem para que novas firmas e, sobretudo, países ganhem destaque no desenvolvimento das novas tecnologias advindas do novo paradigma, uma vez que muito do conhecimento necessário para se entrar num sistema tecnológico nas suas fases iniciais é, ainda, conhecimento público disponível, por exemplo, nas universidades⁹. Nesses momentos, há tempo para se aprender quando todos estão fazendo o mesmo. É apenas à medida que o sistema se desenvolve que os novos conhecimentos e habilidades se tornam crescentemente de natureza privada e não são tão adquiridos facilmente. Diversos países já identificaram essas tecnologias como tecnologias estratégicas e objeto de políticas específicas de fomento.

A literatura neo-schumpeteriana enfatiza que as trajetórias que emergem de um paradigma tecno-econômico raramente são “naturais”, impulsionadas apenas por fatores científicos e tecnológicos externos. Fatores econômicos e sociopolíticos são também importantes na determinação de trajetórias tecnológicas em diferentes países. Assim, o processo de seleção ocorre dentro de um ambiente específico, onde a qualidade das instituições técnicas e científicas, das estratégias do setor privado, dos estímulos e financiamentos às inovações cumpre papel fundamental.

Nesse sentido, durante seu advento e difusão, políticas públicas são essenciais para internalizar os benefícios e diminuir as incertezas associadas ao surgimento deste novo paradigma. Tais políticas ressaltam a importância da inovação e da mudança técnica para a nova trajetória de desenvolvimento, sendo desenhadas e aplicadas para um ambiente específico. Tirar vantagens dessas oportunidades requer a capacidade de reconhecê-las, a competência e imaginação de traçar uma estratégia adequada, além das condições sociais e políticas para levá-las adiante¹⁰. Dessa forma, a “janela de

⁹ Ainda assim, é necessário não apenas conhecimento para se compreender os novos conhecimentos advindos dos novos sistemas tecnológicos, mas também certa infra-estrutura, capacidade produtiva e recursos humanos qualificados. Segundo Dosi (1991, p.183), “(...) *past technological achievements influence future achievements via the specificity of knowledge they entail, the development of specific infrastructures (...) this has led to the development of path-dependent models*”. Lastres (1994) argumenta que em momentos onde há uma radical descontinuidade nos sistemas tecnológicos, o conhecimento científico se torna extremamente importante na abertura de novas possibilidades de maiores avanços tecnológicos. Para Mytelka (2004, p.396), “*the combinatorial nature of new wave technologies requires both a wide range of knowledge inputs and a strong science and engineering base*”. Nesse sentido, aproveitar essas oportunidades também depende, em grande parte, da trajetória de desenvolvimento já percorrida por um determinado país.

¹⁰ Carlsson e Jacobsson (1993) se referem a estas capacidades e competências como ‘Competências Econômicas’, definidas como a habilidade de identificar, expandir e explorar o conjunto de oportunidades

oportunidade” se refere à ocasião oportuna, não para a realização de *catching up*¹¹, como sugerem Perez e Soete (1988)¹², mas para se trilhar uma nova trajetória de desenvolvimento.

Nesse contexto, as próximas seções discutirão a natureza sistêmica da inovação, as políticas para seu desenvolvimento e o *locus* de sua aplicação.

1.2 – Características do processo de inovação

O processo de inovação envolve uma série de relações complexas entre um conjunto de variáveis essenciais: invenções, inovações, difusão e atividades de investimento. Invenções e inovações, em geral, são idéias bastante relacionadas, sendo muitas vezes difícil sua distinção. A invenção normalmente ocorre quando uma idéia para um novo produto ou processo ocorre pela primeira vez, enquanto a inovação trata-se da primeira tentativa de pôr essa idéia em prática, em geral para ser comercializada. Enquanto a invenção pode ocorrer em qualquer lugar, por exemplo, nas universidades, a inovação geralmente ocorre nas firmas, ainda que possa ocorrer em outro tipo de organização. Para que as invenções possam se concretizar em inovações, uma firma normalmente necessita combinar vários tipos de conhecimento, capacitações, habilidades, e recursos (FAGERBERG, 2005). Segundo Santos (2003, p.47), “não há inovação sem invenção, da mesma forma como não há técnicas sem tecnologias. Uma segue da outra, transformando uma idéia ou descoberta em um fato realizado”. O autor segue argumentando que a invenção é a criação de algo novo a partir de um rearranjo de elementos já existentes, enquanto a inovação é a transformação de invenções em fatos históricos.

surgidas, que juntas à infraestrutura e redes adequadas tornam-se elementos essenciais para o funcionamento de um sistema (tecnológico).

¹¹ Em geral, o termo *catching up* está relacionado a aprender a fazer o que outros já fizeram, seguindo um caminho previamente traçado e percorrido por quem já passou por determinadas etapas do desenvolvimento. Este trabalho sugere que em momentos de mudanças de paradigmas tecno-econômicos, janelas de oportunidade se abrem para que novas firmas e/ou países predominem numa determinada era, não através de um *catch up* tecnológico, mas enveredando tanto em uma nova trajetória tecnológica, como em uma nova trajetória de desenvolvimento.

¹² Os autores se referem às “janelas de oportunidade” como momentos oportunos para que empresas/países façam o *catching up* no fim de um ciclo de vida tecnológico (paradigma), onde há o momento de aprender sobre a nova tecnologia quando todos estarão também aprendendo. Entretanto, é exatamente por tratar-se de uma mudança de paradigma e de toda uma “velha” estrutura relacionada a ela, que considera-se mais conveniente referir-se a essas mudanças como uma nova trajetória tecnológica, ou mesmo de desenvolvimento, dependendo do quão profundas serão as mudanças sócio-tecno-econômicas e institucionais que as novas tecnologias trarão consigo.

No entanto, a velocidade na qual as invenções serão transformadas em inovação e, conseqüentemente, difundidas, dependerão das expectativas formadas em torno dos benefícios e custos dessas novas invenções. Por um lado, a adoção de uma nova tecnologia depende da disponibilidade de insumos complementares, ou até mesmo de toda uma infra-estrutura de apoio. Por outro, uma vez adotadas, sua difusão ainda dependerá das expectativas em relação ao esforço de melhoramentos e contínua superioridade da nova tecnologia em relação às demais (ROSENBERG, 1982; 1994).

Dessa forma, as decisões quanto aos investimentos relacionados às inovações estarão pautadas tanto na incerteza em relação à sua oferta quanto na sua efetiva adoção e difusão (demanda). Seja como for, esses aspectos estão interrelacionados e são interdependentes.

Nesse sentido, é exatamente essa transformação das idéias em fatos realizados, históricos, que tem conduzido as discussões a respeito da gestão da inovação ao longo dos anos, e influenciado diretamente pesquisadores e *policy makers* a pautarem suas ações de investigação e política segundo diferentes entendimentos do processo de inovação. Esta seção procurará abordar as principais perspectivas indutoras do processo de inovação, ressaltando como a adoção dessas visões tem levado até os dias atuais ao tratamento simplificado do processo de inovação.

1.2.1 - Impulso pela oferta e indução pela demanda: abordagens complementares no tempo?

Ao longo das décadas de 1960 e 1970 duas abordagens opostas surgiram tentando explicar os elementos comuns do processo de inovação e os fatores indutores das atividades inovativas: o primeiro enfatizava as forças de mercado como o principal determinante do progresso técnico (teorias da “indução pela demanda” [*demand-pull*]), e a segunda definindo tecnologia (ou ciência) como um processo relativamente autônomo que leva ao progresso técnico (teorias do “impulso pela tecnologia” [*technology-push*]).

Entretanto, diversas são as críticas a ambas abordagens. Um dos principais aspectos das teorias de *demand-pull* é que o mercado supostamente reconhece as necessidades do mercado. Nesse sentido, está implícita nesta abordagem a possibilidade de um conhecimento prévio (*a priori*) da direção na qual o mercado puxa (*pull*) a atividade inovativa dos produtores. Neste caso, não haveria espaço para o surgimento de

inovações mais radicais, disruptivas. Por outro lado, as teorias *technology-push* aceitam o conceito unidirecional da ciência-tecnologia-inovação, onde a primeira representaria um componente exógeno e autônomo capaz de solucionar quaisquer problemas advindos.

De qualquer forma, a relação ciência-tecnologia é de grande relevância para o desenvolvimento das tecnologias genéricas, que geralmente possuem um importante componente baseado na ciência, ainda que esta nem sempre seja um fator determinante para sua concretização.

Nesse sentido, as teorias *technology-push*¹³ podem ser um interessante quadro analítico para a análise das inovações mais radicais, enquanto que as *demand-pull* para as inovações incrementais, que ocorrem no processo de difusão. Segundo Freeman (1993, p.25), “*science and technology ‘push’ tended to predominate in the more radical type of innovation while market demand ‘pull’ was much stronger with incremental innovations*”. Em outras palavras, o “impulso pela tecnologia” pode ser mais relevante no surgimento de uma nova tecnologia e inovações advindas, enquanto a “indução pela demanda” seja mais proeminente quando essas inovações estão se consolidando e melhoramentos são requeridos.

Portanto, as abordagens são mais complementares do que alternativas, fazendo sentido dentro de um contexto específico, em um período determinado. Como destaca Tigre (2006), na prática são encontrados ambos os impulsos, sendo mais freqüente a combinação dos dois.

Seja como for, ambas as abordagens partem de visões lineares do processo de inovação que, para Dosi (1984), não conseguem retratar a complexa estrutura de retroalimentação entre o ambiente econômico e as direções das mudanças tecnológicas, sendo necessário definir, de forma mais geral possível, a natureza dos mecanismos interativos.

Os pontos que seguem buscam fazer uma breve reflexão do lado da oferta e da demanda partindo de uma perspectiva não-linear. No primeiro, a relação Ciência, Tecnologia e Inovação será ressaltada. No segundo, a difusão a partir de uma perspectiva do aprendizado e da relação usuário-produtor será brevemente abordada.

¹³ Tigre (2006, p.77) aponta que “a principal evidência em favor do *technology push* é que a ciência básica vem efetivamente criando oportunidades significativas para algumas aplicações tecnológicas lucrativas. Os avanços da ciência, entretanto, não são autônomos, pois são diretamente influenciados por políticas públicas e trajetórias tecnológicas. A relação entre ciência e tecnologia tem, portanto, um caráter interativo que inclui também o contexto econômico, político e tecnológico de cada país ou região”.

1.2.2 - Ciência, Tecnologia e Inovação: desconstruindo uma abordagem linear

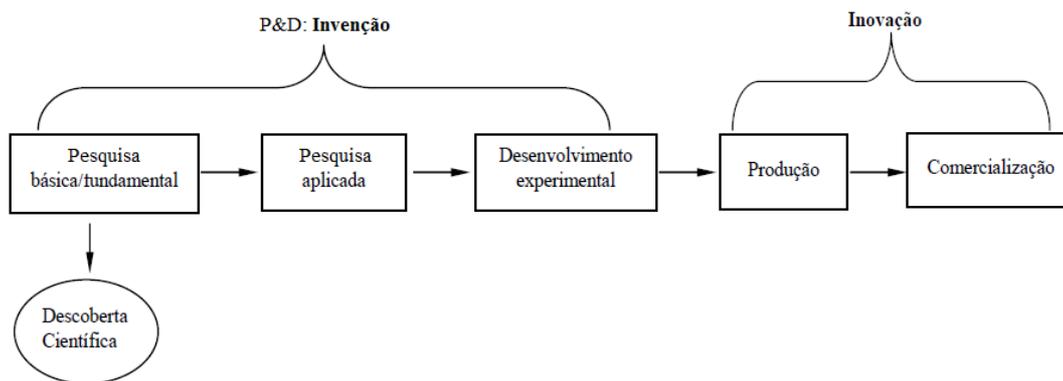
Curiosamente parece ser a partir da própria visão de Schumpeter em torno dos conceitos de invenção, inovação e difusão que os modelos lineares ganharam força. Na sua concepção, esses conceitos apresentam um processo seqüencial e lógico.

As ciências já haviam se tornado importantes na época da Primeira Guerra Mundial, mas foram o Projeto Manhattan e seus resultados em Hiroshima que evidenciaram o poder da Grande Ciência (*Big Science*). Como consequência, após a Segunda Guerra Mundial, o prestígio da P&D organizada e profissional tornou-se muito alto. Nesse sentido, houve uma tendência de se estabelecerem e ampliarem conselhos de pesquisa, laboratórios nacionais de P&D e outras instituições científicas, instigando uma visão linear de impulso da tecnologia pela ciência, muitas vezes dominante nos novos conselhos científicos que assessoravam os governos, como o influente relatório *Science: The Endless Frontier* (1945) de Vannevar Bush do *National Science Foundation* (Freeman e Soete, 1997), sobre a organização dos sistemas de pesquisa dos Estados Unidos, defendendo os interesses dos pesquisadores e cientistas, e das organizações que representam.

O modelo linear está baseado no suposto que inovação é ciência aplicada. É linear porque nele há um conjunto de estágios bem-definidos dos quais se assume que as inovações deveriam passar, partindo da pesquisa (ciência), para o desenvolvimento, e produção e comercialização. Uma vez que a pesquisa vem primeiro nessa seqüência, é fácil pensar que seja o elemento crítico (FAGERBERG, 2005).

Portanto, desde a década de 1950, o processo de inovação foi dominado por esta visão linear, onde um processo seqüencial e hierárquico, partindo da invenção para a inovação foi traduzido como partindo da pesquisa fundamental (básica) para a pesquisa aplicada, e desta para o desenvolvimento do produto/processo e conseqüente produção e comercialização. Essa relação de causalidade, portanto, partia da ciência (na forma da pesquisa básica) para a tecnologia (pesquisa aplicada e desenvolvimento), sendo esta última considerada como a aplicação do conhecimento científico previamente disponível (Figura 1).

Figura 1 – O Modelo Linear de Inovação



Fonte: Marques e Abrunhosa (2005)

Nesta perspectiva, a inovação tem sua origem na descoberta científica resultante das atividades de pesquisa e desenvolvimento (P&D). A ciência, em especial a ciência natural, é um fator reconhecido como autônomo e dominante no processo de inovação; portanto, tem-se a concepção (implícita ou não) de que investimentos em ciências naturais quase automaticamente levam a descobertas que facilmente se transformariam em inovações¹⁴.

Segundo Godinho (2003 *apud* Marques e Abrunhosa, 2005), embora teoricamente ultrapassada, esta concepção do processo de inovação “na prática (...) continua inconscientemente presente em muitos espíritos, sendo ela muitas vezes detectada em medidas e programas direcionados para a C&T e inovação”¹⁵. Em outras palavras, o autor se refere que a adoção do conceito linear de inovação pode levar a conclusão de que investimentos em pesquisa básica refletem-se, necessariamente, em inovação.

Freeman (1982) e Lundvall (1992) destacam que uma das inovações institucionais mais importantes do século XIX foi o estabelecimento de laboratórios de P&D nas grandes empresas privadas, onde as atividades científicas e as mudanças técnicas foram trazidas para mais perto umas das outras e tornaram-se atividades interdependentes. Contudo, ressaltam o fato de que nem todos os *inputs* importantes para o processo de inovação vêm da ciência e dos esforços de P&D. O aprendizado no

¹⁴ O principal argumento então era que a ciência básica produz conhecimento economicamente proveitoso que tem as características de um bem público (CARAÇA *et. al.*, 2009).

¹⁵ Como veremos mais a frente, a política desenhada para a nanotecnologia no Brasil está fortemente baseada nesta concepção do processo de inovação.

processo inovativo é cumulativo e vem, sobretudo, de outras atividades interativas na produção, distribuição e consumo.

Atualmente a visão linear vem sendo cada vez mais combatida no meio acadêmico, em especial por autores neo-schumpeterianos que abordam a política de inovação no contexto dos sistemas de inovação¹⁶. Contudo, as primeiras críticas ao modelo linear de inovação podem ser encontradas nos trabalhos de Rosenberg (1982), Kline e Rosenberg (1986) e Rosenberg (1994)¹⁷.

Em primeiro lugar, a idéia de que a inovação necessariamente advém da ciência é equivocada. Ainda que a ciência seja importante para o processo de inovação, não se pode tratar esta última meramente como ciência aplicada. Grande parte das inovações surgem da utilização e recombinação de conhecimentos previamente adquiridos: *“science is by no means unimportant, but what we need to recognize clearly is that most innovation is done with the available knowledge already in the heads of the people in the organization doing the work (...) the notion that innovation is initiated by research is wrong most of the time”* (KLINE E ROSENBERG, 1986, p.288). Os autores completam a idéia dizendo que em alguns casos (inovações revolucionárias), a pesquisa desencadeia a inovação mas, de qualquer forma, deve passar por um processo de produção e introdução no mercado.

Segundo, na maioria dos casos, o conhecimento tecnológico precede o científico¹⁸. Segundo Kline e Rosenberg (1986, p. 287), *“science often is dependent, in an absolute sense, on technological products and processes for its advances. Over the course of history thus far, it is mood whether science has depended more on technological processes and products than innovation has depended on science”*. E quando a ciência que precede a tecnologia, é apenas quando este novo conhecimento

¹⁶ Uma visão mais abrangente desta discussão será apresentada a seguir.

¹⁷ Wood *et al* (2004, p.7) apresentam uma visão crítica desta idéia em relação à nanotecnologia: *“the relationship between science and technology is not linear. Simple models in which developments in fundamental science are subsequently applied in technology, are highly misleading. In fact, developments in technology have a huge role in accelerating the pace of fundamental science”*.

¹⁸ Muito freqüentemente, os avanços da ciência são dependentes do desenvolvimento de instrumentos e procedimentos tecnológicos: *“Scientific knowledge has been closely dependent upon progress within the technological realm. It would not be difficult to show (...) how instrumentation possibilities have selectively distributed opportunities in ways that have pervasively affected both the rate and the direction of scientific progress”* (ROSENBERG, 1994, p.16). No caso da nanotecnologia, esta relação ocorre de maneira muito interessante. O desenvolvimento de instrumentos para a manipulação na escala nanométrica, técnicas de observação, teste, medida, entre outros, são fatores que propulsionam a parte científica do desenvolvimento da nanotecnologia.

possui vínculos fortes com a tecnologia que pode ter sucesso é que recursos são mobilizados para seu desenvolvimento¹⁹.

Por último, a abordagem linear não leva em conta os efeitos interativos e sistêmicos do processo de inovação. Neste caso, o componente do aprendizado é essencial para o sucesso da inovação.

Em suma, o processo de inovação envolve relações extremamente complexas entre um conjunto de importantes variáveis – invenções, inovações, trajetórias de difusão, e atividades de investimento. A P&D deve ser vista, portanto, como uma condição necessária, porém não suficiente para viabilizar a comercialização de novos produtos e a efetiva aplicação de novas técnicas de produção (ROSENBERG, 1994). Assim, qualquer modelo que descreva a inovação como um processo simples e unívoco, ou atribua a sua origem a uma única fonte, distorcerá a realidade.

1.2.3 - A difusão como consolidação da inovação: um processo simultâneo

Alguns autores apontaram ao longo do tempo que a distinção Schumpeteriana entre ‘inovação’ e ‘difusão’ pode ser bastante enganosa uma vez que suplanta os diversos melhoramentos nos novos produtos e processos durante a fase de difusão. Essa concepção ainda indica que uma inovação aparece como uma ‘criação consumada’ e, portanto, também deixa pouco clara suas próprias origens (SILVERBERG, 1990; CASSIOLATO, 1992). Dosi (1991) argumenta que a invenção é normalmente introduzida, desde o início, como uma inovação por estabelecimentos com uma perspectiva de ganho econômico. A difusão, por sua vez, implica inovações adicionais por parte dos desenvolvedores e usuários. Segundo o autor, a maioria das inovações foi introduzida por empresas grandes e bem estabelecidas, embora empresas de criação recente fossem as principais responsáveis por sua difusão. De qualquer forma, todas as três atividades estão frequentemente associadas a mudanças nas características e incentivos dos, e para os, potenciais inovadores e adotantes.

A difusão de uma inovação se concretiza no momento em que a nova tecnologia se firma como superior a antiga, pelo desempenho técnico, produtividade, redução de custos ou uma combinação desses fatores. Ao mesmo tempo, ela revela os problemas

¹⁹ “(...) even when some basic research does precede a technological breakthrough, it is the establishment of a tangible link between technology and the specific field of science that is responsible for the great intensification of research in that field” (ROSENBERG, 1982, p.155).

que podem ser corrigidos no seu processo. Nesse sentido, a difusão alimenta e direciona a trajetória de inovação.

Esse processo, contudo, não é automático. Ele requer uma interação e adaptação constante entre usuários (demandantes) e produtores. Por um lado, a inovação se efetiva se ela é aceita pelos novos consumidores. Por outro, para que ela seja aceita, os produtores devem realizar uma série de modificações e melhoramentos identificados pelos usuários que, por sua vez, estão também aprendendo a entender a inovação²⁰. Para Cassiolato (1992), quanto mais sofisticado for o usuário, mais ele influenciará a direção da mudança técnica²¹.

Nesse contexto, o processo de difusão envolve aprendizado e modificações constantes, tanto na organização da produção quanto nos próprios produtos. Nesse sentido, a difusão envolve a inovação para o usuário (ROSENBERG, 1976; LUNDVALL, 1988).

Rosenberg (1982, p.122) aponta que as categorias de aprendizado no processo de difusão lidam com a produção de novo conhecimento científico, incorporando novo conhecimento no desenho de um novo produto, aprendendo novas atividades produtivas quando um novo produto é posto em produção, e aprendendo maneiras de melhorar o próprio processo produtivo que vem com a experiência daquele processo. Nesse sentido, o autor diferencia o aprendizado gerado dentro dos processos produtivos (*learning by doing*)²² daquele gerado como resultado de um subsequente uso daquele produto/processo (*learning by using*)²³. Em uma economia com novas tecnologias complexas, existem aspectos essenciais de aprendizado que são função não apenas da experiência envolvida no processo de produção do produto, mas da sua utilização pelo usuário final. Assim, Lundvall (1988) destaca que o conhecimento produzido pelo ‘aprendizado pelo uso’ (*learning by using*) só pode ser transformado em novos produtos se os produtores têm contato direto com os usuários, o que remete a um terceiro tipo de aprendizado: o aprendizado pela interação (*learning by interacting*).

²⁰ Carlsson e Jacobsson (1993, 1997) apontam que quanto mais complexa e customizada a tecnologia, maior a interação requerida entre produtores e usuários para uma transferência e uso bem-sucedidos.

²¹ Lundvall (1985) faz uma interessante distinção entre o consumidor e o usuário profissional. Essa diferenciação reflete nos seus respectivos comportamentos em relação às inovações: “*The professional user is expected to be active in his search for new ways to solve his problems. He will also be expected to adapt his behavior and qualifications when new technical opportunities come forward (...)*The consumer, on the other hand, is expected to be more passive. He will not engage in systematic search for new products and he will not be prone to adopt products, which involve extensive training and changes in behavior”.

²² Arrow (1962).

²³ Rosenberg (1982).

O aprendizado pela interação envolve a contribuição de diversos agentes econômicos e sociais que possuem diferentes tipos de informação e conhecimentos, aumentando a efetividade de um dado conjunto de canais e códigos de informação.

Dessa forma, este conjunto de gerenciamento do conhecimento tácito e de ‘aprendizado baseado na experiência’ (*DUI-Learning*²⁴) complementa o conjunto baseado na produção e uso do conhecimento científico codificado (*STI-Learning*²⁵), combinando a capacidade de absorção enraizada nas capacidades em ciência às capacidades sociais que incluem o uso efetivo do aprendizado nas práticas organizacionais necessárias²⁶ (LUNDVALL, 2010; CASSIOLATO *et al.*, 2008).

Johnson (1992) aponta que os processos criativos podem ser vistos em termos da sinergia dinâmica (*dynamic synergy*) entre pessoas com diferentes informações, habilidades, conhecimentos, competências, incentivos e valores. Tal comunicação e interação parecem aumentar a probabilidade de novas combinações imprevistas (*unforeseen combinations*) abrindo espaço para que descobertas ocorram, podendo gerar novidades inesperadas. Nesse sentido, Santos (2003) destaca que a difusão das inovações é *comunicada* através de certos *canais*, através do *tempo*, entre os membros de um *sistema social*.

A efetivação desses canais e códigos de informação nos quais as inovações são difundidas leva tempo para se consolidar, pois requer uma construção social de confiança e interação. Essa relação, por sua vez, é construída por relações entre membros que dividem um espaço em comum, seja um espaço geográfico (território), econômico, organizacional ou cultural. A importância da proximidade dependerá do tipo de atividade inovativa envolvida (LUNDVALL, 1988, 1993). Para Santos (2003, p.53), “o efeito-proximidade permitiria uma propagação mais rápida da inovação, e as barreiras que dificultam a intercomunicação seriam algo dependentes dos indivíduos, uma vez que o nível de resistência muda de um indivíduo para o outro”.

²⁴ *Doing-Using-Interacting Learning*.

²⁵ *Science-Technology-Innovation Learning*.

²⁶ Cassiolato *et al.* (2008) destacam que os dois ‘modelos’ são complementares. O modelo STI deve ser complementado com o modelo DUI, visto que há mudanças frequentes nas necessidades dos usuários e no conjunto de competidores. A velocidade das inovações baseadas na ciência tende a levar a gargalos, visto que as capacidades para absorver e utilizar eficientemente as novas tecnologias são limitadas. As atividades de P&D precisam ser completamente integradas ao ambiente das empresas e devem ser ancoradas em ligações tácitas à compra, produção e venda. O modelo DUI deve ser complementado com o modelo STI na medida em que as firmas que são bem sucedidas na conexão sistemática de fontes de conhecimento codificado são mais hábeis para encontrar novas soluções e desenvolver novos produtos, que as tornam menos sensíveis à competição de preços.

Quando a inovação está relacionada a tecnologias complexas em constante mudança, maior proximidade entre os produtores e usuários pode ser importante, uma vez que os códigos de informação devem ser flexíveis e complexos. Essa proximidade (geográfica e cultural) se torna ainda mais importante quando a inovação está relacionada a tecnologias que mudam rápida e radicalmente, como no caso de um novo paradigma tecnológico²⁷. Neste caso, as normas e padrões estabelecidos se tornam obsoletos, e os velhos códigos de informação não mais são capazes de transmitir as características das atividades inovativas (LUNDVALL, 1988). Quando isso ocorre, novos padrões, normas e códigos começam a ser desenvolvidos. A velocidade e sucesso desse processo dependerão do quanto esse espaço específico é capaz de se relacionar e constituir um sistema de inovações, de fato, integrado.

Por fim, vale destacar que, visto pela perspectiva da difusão da inovação como um processo de aprendizado e da relação entre produtores e usuários nesse processo, a disputa entre os papéis da oferta e da demanda como determinantes do processo de inovação deixa de ter sentido, uma vez que ambas se relacionam e se complementam em diversos aspectos²⁸.

Deste modo, o processo de inovação ganha uma nova perspectiva em relação aos seus diversos fatores e elementos determinantes e complementares que se relacionam entre si de forma mais ou menos organizada e estruturada.

1.2.4 - A inovação como um processo sistêmico

Viu-se que a inovação se consolida durante seu processo de difusão, no qual diversos tipos de interação e aprendizado ocorrem simultaneamente, de forma complexa e mutuamente interdependente. Outros aspectos da inovação, além da pesquisa científica, passam a ser reconhecidos como relevantes e retratam um conjunto de relações entre diversos tipos de atores, instituições e organizações. Além desses atores, instituições e organizações são também levadas em consideração na análise dos diferentes tipos de atividades inovativas. Nesse contexto, a inovação passa a ser

²⁷ Freeman e Soete (1997) argumentam que, para os autores Neo-Schumpeterianos, os primeiros estágios de desenvolvimento de uma inovação são muito importantes para as economias industrializadas porque é exatamente nesse período que as relações entre produtores e usuários começam a aparecer.

²⁸ Conforme posto por Kline e Rosenberg (1986, p.289-290), *“a perceived market need will be filled only if the technical problems can be solved, and a perceived performance gain will be put into use only if there is a realizable market use. Arguments about the importance of “market pull” versus “technology push” are in this sense artificial, since each market need entering the innovation cycle leads in time to a new design, and every successful new design, in time, leads to new market conditions”*.

analisada de forma mais realista, ou seja, como um fenômeno complexo, interativo e, sobretudo, não-linear.

Conforme ressaltado por Caraça *et. al.* (2009), o processo de inovação não ocorre no vácuo, mas como uma resposta a fatores que o influenciam, estimulam e restringem. Existe, segundo os autores, um ambiente próximo com atores e outras organizações que afetam o processo inovativo – o ambiente micro, que, por sua vez, é envolvido por um conjunto de forças pertencentes a outro ambiente mais amplo composto por estruturas institucionais, macroeconômicas, políticas, sociais e ecológicas em evolução - o ambiente macro.

Nesse sentido, ressalta-se a natureza sistêmica dos processos de inovação, onde firmas não inovam sozinhas, mas em colaboração e interdependência com outras organizações. Essas organizações podem ser outras firmas ou outro tipo de entidades públicas ou privadas, como universidades, escolas, e ministérios. O comportamento dessas organizações também é configurado por instituições – regras, leis, normas e rotinas – que podem servir de incentivos ou obstáculos para a inovação. Tais organizações e instituições são componentes dos sistemas de criação e comercialização do conhecimento. Nesse sentido, as inovações surgem de tais “sistemas de inovação” (EDQUIST, 2005).

1.3 – Os sistemas de inovação: elementos para análise do objeto no espaço

Os processos pelos quais as inovações ocorrem são bastante complexos e estão relacionados à emergência e difusão de elementos do conhecimento (ex. científicos e tecnológicos), bem como a ‘tradução’ desses elementos em novos produtos e processos de produção.

Ainda que grande parte das inovações ocorra nas firmas, por ser um processo complexo, a inovação quase nunca ocorre nelas isoladamente. Pelo contrário, elas interagem com diversas organizações de modo a obter, desenvolver, e trocar vários tipos de conhecimento, informação e outros recursos. Seu comportamento está moldado e condicionado por instituições, que ao mesmo tempo incentivam²⁹ e restringem o processo de inovação de diversas maneiras através das leis, regulações, normas, regras e

²⁹ Perez (1983) diz que quando há um processo de mútuo ajuste entre as mudanças institucionais e tecnológicas, onde ao mesmo tempo as mudanças tecnológicas tendam a provocar mudanças institucionais que, por sua vez, sejam favoráveis à introdução e difusão de novas tecnologias, há uma “boa combinação” (*good match*) entre as instituições e tecnologia.

padrões. A interação entre várias organizações, operando em diferentes contextos institucionais, bem como os atores nesse contexto, são elementos importantes desse sistema que compõe o processo de inovação (EDQUIST, 1997).

É, portanto, nesses sistemas complexos que emergem as inovações em um determinado momento. A abordagem analítica dos sistemas de inovação busca não apenas descrever e entender tais fatores que moldam e influenciam os diferentes processos de inovação, mas também atuar sobre eles.

Esta seção pretende fazer uma breve análise dos sistemas de inovação, focando nos sistemas voltados para o objeto em um determinado local. Nesse sentido, maior destaque será dado aos sistemas tecnológico e nacional de inovação, cujas perspectivas serão mais utilizadas ao longo desta tese. Antes, entretanto, convém destacar o que se entende por sistemas e complexidade nesse trabalho.

1.3.1 - Sistemas e complexidade

Muito se fala em sistemas complexos, entretanto, raramente se define o que se entende por sistema e complexidade. Este subitem tem por objetivo brevemente destacar as principais características do que se pretende chamar de sistema neste trabalho, bem como ressaltar o porquê de ser complexo³⁰.

Um sistema se refere a um conjunto de elementos relacionados que, coordenados entre si, por meio de ações ou idéias, funcionam como uma estrutura organizada tendente a um resultado. Esses elementos, materiais ou ideiais, relacionados a um conjunto de instituições políticas e sociais, e dos métodos por elas adotados, sob um complexo de regras e normas, utilizando técnicas específicas, se relacionam de maneira particular para um fim precípuo.

Esse conjunto de elementos ou componentes, entretanto, se relaciona de forma complexa onde, ao mesmo tempo, se condicionam e se restringem, de modo que o todo complexo funcione juntamente. Nesse sentido, um sistema consiste de componentes e das relações entre eles, que deve formar um todo coerente; com uma função no sentido de realizar ou alcançar algo; onde deve ser possível identificar os seus limites, ou seja, saber sua extensão. Em outras palavras, um sistema é um todo que funciona devido à interação de suas partes (EDQUIST, 1997, 2005; RAMETSTEINER E WEISS, 2006).

³⁰ Não se pretende aqui discutir teorias de sistema e complexidade, apenas trazer para análise alguns elementos relevantes para a análise dos sistemas de inovação.

Nessa mesma linha, Carlsson *et al.* (2002) apontam que os sistemas são feitos de componentes, relações e atributos. Os componentes são as partes operacionais dos sistemas. Podem ser atores ou organizações, artefatos físicos ou tecnológicos, e instituições de vários tipos. As relações são as ligações estabelecidas entre os componentes. É a intensidade das interações entre os componentes que torna os sistemas dinâmicos. Aqui, as propriedades e comportamento de cada componente do conjunto podem influenciar as propriedades e comportamento do conjunto como um todo. Devido à interdependência existente entre os componentes, eles não podem ser divididos em subconjuntos independentes. Nesse sentido, os autores chamam a atenção para o fato de que o sistema é mais do que a soma de suas partes. Por fim, os atributos se referem às propriedades dos componentes e relações entre eles. São eles que caracterizam o sistema. Porque os componentes do sistema interagem, suas características derivam do próprio sistema.

A idéia da complexidade dos sistemas (sistemas complexos) remete ao conceito de caos estruturado. É caótico no sentido de que seu ser apresenta-se dotado de propriedades *não-lineares* ou de *dinâmica*³¹ também ambígua. É estruturado porque, na maior desordem, sempre é possível divisar alguma ordem, pois, se houvesse desordem total, não teríamos sistema, mas algo amorfo, perdido (HOLLAND, 1998)³². Entretanto, a face sistêmica não pode impedir de vislumbrar dinâmicas que desdobram o próprio sistema, realizando a unidade de contrários e de processos idênticos abertos à mudança permanente (DEMO, 2002).

Assim, apresenta-se a primeira característica da complexidade³³: **dinâmica**. Não pode ser complexo o que não for campo de forças contrárias, onde a eventual estabilidade é sempre rearranjo provisório. Não pode ser dinâmico o que executa movimentos permanentes recursivos ou na mesma direção, como são as estruturas sistêmicas. Nesse sentido, as próprias mudanças dentro do sistema levariam a concepção de novas estruturas que culminariam na mudança do próprio sistema. Assim, a dinâmica também atua sobre a estrutura, modificando-a como, por exemplo, os paradigmas científicos, que enquanto é institucionalmente defendido, também é

³¹ Grifo meu.

³² Segundo Boulding (1985 *apud* Lundvall, 1992), “*the broadest possible definition of a system is ‘anything that is not chaos’*”.

³³ O autor identifica sete características da complexidade. São elas: Dinâmica; Não Linearidade; Reconstitutiva; Processo Dialético Evolutivo; Irreversível; Intensidade; e Ambigüidade/Ambivalência. Entretanto, apenas três serão abordadas nesta seção: Dinâmica; Não Linearidade; e Ambigüidade/Ambivalência.

institucionalmente corroído pela dinâmica do tempo sobre as estruturas. Toda dinâmica é dinâmica porque não se repete, mas em toda dinâmica que não se repete há componentes repetitivos.

Assim, a dinâmica indica processo, com componentes controláveis ou não, ou seja, previsíveis ou não. Esse fator nos leva à segunda característica da complexidade: **não linear**. A não linearidade não implica, contudo, desconsiderar a linearidade que faz parte dos processos. Apenas ressalta a impossibilidade de controlar os processos em todas as suas etapas como, por exemplo, no caso das inovações. Ainda que se espere que certas ações possam levar ao estímulo e efetivação de determinado tipo de inovação, essas ações nem sempre são suficientes para envolver todas as relações necessárias para que esse processo se efetive. Nesse sentido, ainda que logicamente uma determinada ação seja elemento importante do processo, sua ação em separado em geral não é suficiente.

A terceira característica dos sistemas complexos aponta para a **ambigüidade/ambivalência**. A ambigüidade aponta para a “unidade dos contrários”, ou seja, a possibilidade do duplo sentido. Essa característica ressalta o que seria uma contradição na perspectiva sistêmica, uma vez que não se satisfaz com a dinâmica para dentro, ou seja, à própria ideia do conceito de sistema vinculado à capacidade de autopoiese³⁴. Na prática, tal perspectiva tem como objetivo desfazer os próprios traços ambíguos do sistema, para que seja mais controlável. A ambivalência refere-se à dinâmica de forças contrárias dentro do sistema. Sendo uma dinâmica não-linear, diversas forças atuam dentro do sistema sem uma ordenação específica.

Em resumo, pela sua complexidade, a dinâmica não-linear dos sistemas produz movimentos ambíguos dos seus componentes que, ao mesmo tempo, estimulam e restringem determinados processos.

É nesse contexto que se insere a abordagem dos sistemas nacionais de inovação como o *locus* onde se pretende atuar de forma relativamente coordenada de modo a estimular os componentes responsáveis pela geração da inovação, por um lado, e a diminuir esse aparente paradoxo entre os componentes que formam barreiras para o

³⁴ A capacidade de autopoiese é um conceito da biologia que se refere à capacidade de auto-reprodução dos seres vivos. Nessa perspectiva, um ser vivo é um sistema caracterizado como uma rede fechada de produções moleculares, onde as moléculas reproduzidas geram interações com a rede de moléculas que as produziu. Nesse sentido, trata-se de um sistema autônomo que mantém interações com o meio e não com um agente externo.

próprio funcionamento do sistema - ou do que se espera desenvolver através da coordenação dos sistemas -, por outro³⁵.

Para Edquist (1997), essas relações complexas entre os elementos constituem uma grande vantagem na utilização da abordagem de sistemas, por um lado, mas constitui também um grande desafio, uma vez que é difícil conhecer todas essas relações, por outro. Entretanto, o próprio autor destaca que utilizar a abordagem de sistema para a análise da inovação não requer que todos os componentes e relações entre eles sejam especificados, pois não seria realista. Convém identificar, então, as funções, atividades, componentes e relações do sistema que sejam mais relevantes para o objeto estudado, e atuar sobre eles.

1.3.2 - Sistemas de inovação: abordagem tecnológica no contexto nacional

À medida que aumentou o interesse pela análise e maior compreensão dos processos de inovação, esses têm sido cada vez mais reconhecidos como processos complexos e sistêmicos. Nesse contexto, um grupo de economistas que partiu da ideia Schumpeteriana da inovação como motor do desenvolvimento começou a analisar a inovação não mais como um processo linear partindo da invenção para inovação e difusão³⁶, mas como um processo que envolve vários tipos de interações entre diversos atores, instituições e organizações.

Nesse sentido, essa nova abordagem Neo-Schumpeteriana está intimamente relacionada às teorias evolucionárias de mudança técnica no sentido de que o aprendizado interativo é um mecanismo através do qual a diversidade é criada. Assim, Edquist (1997) destaca que as teorias de aprendizado interativo junto às teorias evolucionárias de mudança técnica constituem as origens da abordagem dos sistemas de inovação.

Um sistema de inovação se refere aos componentes, suas relações e características, que são determinantes para os processos de inovação. Sua principal função é buscar processos de inovação através das relações entre esses componentes no sentido de desenvolver, difundir e utilizar inovações. Nesse sentido, um sistema de

³⁵ É nesse contexto que as políticas de inovação (coordenadas) ganham maior importância no processo de inovação. Abordarei essas questões mais a frente.

³⁶ É claro que esses componentes estão relacionados. O objetivo não é negar essa relação, mas inserir na análise outras relações que tornam esse processo realizável. Essas relações, como destacado, não são lineares. Pelo contrário, envolve um conjunto de relações complexas e interativas com diversos elementos se influenciando mutuamente.

inovação se refere a todos os fatores econômicos, sociais, políticos, organizacionais e institucionais que são importantes e que influenciam o desenvolvimento, difusão e uso das inovações.

Como organizações, referimo-nos às estruturas formais que são conscientemente criadas e que têm um propósito explícito, são os atores. Já as instituições representam o conjunto de hábitos, normas, rotinas, práticas estabelecidas, regras ou leis que regulam as relações e interações entre os indivíduos, grupos, e organizações. Elas são tratadas como regularidades gerais no comportamento social, as “regras do jogo” na sociedade, ou as limitações impostas que moldam a interação humana (EDQUIST E JOHNSON, 1997; EDQUIST, 2005; NORTH, 1990, 1991)³⁷.

Para Lundvall (1992), um sistema de inovação é um sistema social cuja atividade central é o aprendizado que, por sua vez, é uma atividade social, que envolve interação entre pessoas. Além disso, é um sistema dinâmico, caracterizado por *feedbacks* positivos e repetição, onde os elementos ou se fortalecem na promoção dos processos de aprendizado e inovação, ou se combinam em grupos que bloqueiam esses processos.

Os sistemas de inovação podem ser analisados pelas suas características tecnológicas e setoriais, bem como a nível espacial (local, regional e nacional) para distinguir os diferentes sistemas. Nesse sentido, para explorar a dinâmica tecnológica da inovação, suas várias fases, e como este processo influencia e é influenciado por um contexto social, institucional, e econômico mais amplo, os sistemas tecnológicos se mostram adequados (CARLSSON E STANCKIEWICZ, 1991; CARLSSON E JACOBSSON, 1993; CARLSSON *et al.*, 2002; FREEMAN *et al.*, 1982). Os sistemas setoriais, por sua vez, se referem à dinâmica inovativa a partir da perspectiva das

³⁷ Douglass North (1990; 1991; 2005) procura fazer uma análise da mudança institucional e do desempenho das economias no longo prazo, onde as instituições apresentam-se como mecanismos de redução da incerteza e estruturantes de incentivos que formam o caminho do desenvolvimento das economias, podendo, portanto, servir como indutoras ou limitadoras do crescimento. Esta perspectiva acerca do papel das instituições está de acordo com a perspectiva do seu papel nos períodos de transição de paradigmas tecno-econômicos descritos por Perez (1983; 2002), Freeman e Perez (1988) e Freeman e Louçã (2001). Por um lado, as instituições têm importância fundamental na consolidação de um novo paradigma, uma vez que elas consolidarão as novas regras e *modus operandi*. Por outro, são elas também que “retardam” o processo de mudança de paradigmas, pois são as instituições que mais lentamente mudam neste cenário. Segundo Edquist e Johnson (1997, p.55), “*institutional change is often supposed to be slow and lag behind technical change. This may cause mismatch problems, which prevent the full realization of the productivity potentials of technical innovations, which forestall the reallocation of resources and efforts from mature to emerging technologies, and which generally favor established technological trajectories to new ones*”. Nesse sentido, Johnson (1992) destaca que é impossível encontrar um sistema institucional que garanta permanentemente uma economia inovativa. Por isso, para poder estimular a mudança técnica durante longos períodos, as instituições devem mudar.

características dos diferentes setores. Nesta perspectiva, a análise é focada em um grupo de empresas que desenvolvem atividades inovativas em um setor específico (BRESCHI E MALERBA, 1997; MALERBA, 2005)³⁸.

Os sistemas espaciais, por sua vez, se diferenciam em relação às fronteiras geográficas nas quais atuam. Esses sistemas encontram-se geralmente associados a trajetórias históricas de construção de identidades e de formação de vínculos territoriais (locais, regionais e nacionais), a partir de uma base social, cultural, política e econômica comum. Nesse sentido, existe espaço para se falar em territorialidade, que está ligada a interdependências específicas da vida econômica, não podendo ser definida meramente como localização das atividades. Ela reflete o vivido territorial, em toda sua abrangência e em suas múltiplas dimensões – cultural, política, econômica e social. A territorialidade de uma atividade ocorre quando sua viabilidade econômica está enraizada em ativos (incluindo práticas e ações) que não estão disponíveis em outros lugares e que não podem ser facilmente ou rapidamente criadas ou imitadas em lugares que não as têm. Ela desenvolve-se a partir da existência comum dos agentes exercendo-se sobre um mesmo espaço geográfico (PEIXOTO, 2005; CASSIOLATO E LASTRES, 2003).

Além disso, os sistemas espaciais são delineados em consonância com as fronteiras políticas e administrativas, o que naturalmente tende a desempenhar um papel importante na análise a partir dessa abordagem, e tem se mostrado o âmbito propício para a atuação de *policy makers*.

Dessa forma, o quadro analítico adequado para análise de sistema de inovação vai depender, em última instância, do objeto de estudo em questão e do momento histórico no qual esta análise é feita. É ele que deve influenciar as ferramentas conceituais a serem utilizadas.

É nesse contexto, portanto, que delimita-se o quadro analítico deste trabalho em especial aos sistemas tecnológicos e nacional de inovação. A delimitação se justifica por dois motivos principais. Primeiro, devido ao objeto de análise desta tese: as políticas de inovação em nanotecnologia. Uma vez que a nanotecnologia, na verdade, se refere a um conjunto de tecnologias que possuem processos de inovação muitas vezes bastante

³⁸ Embora alguns autores (EDQUIST, 1997) incluam os sistemas tecnológicos no âmbito dos sistemas setoriais, no sentido de que os setores sejam determinados por tecnologias genéricas, claramente os principais autores dessas abordagens não tratam os sistemas tecnológicos e setoriais como sinônimos. Para os fins analíticos desta tese, considerarei essas abordagens em separado. Devido à natureza do objeto em estudo, i.e., nanotecnologia, a abordagem dos sistemas tecnológicos mostra-se mais adequada do que a setorial, uma vez que a nanotecnologia transcende os diversos setores da economia, não sendo, portanto, considerado uma indústria ou setor.

distintos, argumenta-se que para o desenvolvimento e aplicação de políticas de inovação adequadas para as nanotecnologias, torna-se necessário maior compreensão acerca dos seus diferentes processos de inovação, principalmente quando essas tecnologias ainda são emergentes. Nesse sentido, argumenta-se nesta tese que a abordagem de sistemas de inovação a partir da perspectiva tecnológica mostra-se mais adequada para melhor compreender as diferentes dinâmicas inovativas³⁹.

Em segundo lugar, autores da abordagem de sistema tecnológico, como Carlsson e Stanckiewicz (1991), argumentam que o Estado-Nação muitas vezes constitui-se uma ‘fronteira natural’ de muitos sistemas tecnológicos, dependendo das circunstâncias. Nesse sentido, os sistemas tecnológicos podem ser nacionais, ou constituir-se como elementos dos sistemas nacionais de inovação. Além disso, em geral, as políticas públicas desenhadas para influenciar não apenas os sistemas de inovação, mas a economia como um todo, são desenhadas e implementadas a nível nacional, como é o caso da política para nanotecnologia no Brasil. Assim, a importância dos sistemas nacionais de inovação está relacionada ao fato de que ela é capaz de capturar a relevância dos diferentes aspectos políticos dos processos de inovação⁴⁰. Nesse contexto, destaca-se a importância do Estado (e o seu poder) como importante componente nesta perspectiva.

Por fim, destaca-se que os sistemas tecnológicos serão tratados como subsistemas do sistema nacional de inovação, sendo o primeiro influenciado (estimulado e restringido) por ações (políticas)⁴¹ do último em um determinado período do tempo (histórico). Conforme destaca Lundvall (1992, p.12-13), “*determining in detail which sub-systems and social institutions should be included, or excluded, in the analysis of the system is a task involving historical analysis as well as theoretical considerations. In different historical periods different parts of the economic system, or different inter-faces between sub-systems, may play a more or less important role in the process of innovation*”.

³⁹ As diferentes nanotecnologias possuem diferentes características e diferentes dinâmicas inovativas. A abordagem de sistema tecnológico de inovação busca exatamente captar estas especificidades.

⁴⁰ Os diferentes sistemas (nano)tecnológicos fazem parte de um mesmo arcabouço institucional. Portanto, se, por um lado, faz sentido levar em conta as diferentes nanotecnologias no desenho de políticas, por outro, essas políticas fazem (ou devem fazer) parte de uma lógica institucional integrada e sistêmica nacional, ou seja, voltada para o desenvolvimento, objetivo principal da abordagem de um sistema nacional de inovação (PEIXOTO, 2011d).

⁴¹ Em relação às políticas que afetam os sistemas de inovação, ver discussão do papel das políticas implícitas e explícitas no sistema nacional de inovação no item 1.4.

Nesse contexto, argumenta-se que a nanotecnologia se refere à convergência de diversas tecnologias e surge como uma ‘ponte’ para estas tecnologias emergentes. Seu ‘sistema de inovação’, portanto, está relacionado, e abrange, diversos ‘sistemas tecnológicos de inovação’ (PEIXOTO, 2011a). Assim, é neste momento de emergência das nanotecnologias que os sistemas nanotecnológicos de inovação estão inseridos na dinâmica do sistema nacional de inovação, e sujeitos às suas diversas formas de influencias. Convém, portanto, melhor especificar as principais características desses sistemas.

1.3.3 - Sistema nacional de inovação

Os sistemas nacionais de inovação podem ser definidos como o conjunto de instituições (dos setores público e privado) que, em conjunto ou individualmente, contribuem para a introdução, o desenvolvimento e difusão de novas tecnologias e que proporciona o quadro analítico no qual os governos formam e implementam políticas para influenciar o processo de inovação. Como tal, é um sistema de instituições e atores interconectados em um processo social de aprendizado para criar, armazenar e transferir conhecimento, habilidade e artefatos que definem as novas tecnologias (FREEMAN, 1987; LUNDVALL, 1992; METCALFE, 1997; EDQUIST, 1997; CASSIOLATO E LASTRES, 2005; CARLSSON, 2006).

O conceito dos sistemas nacionais de inovação baseia-se na existência e põe especial ênfase no papel dos Estados-Nação, onde as fronteiras geográficas do sistema de inovação são fixas. Dentro desses limites, os fatores específicos do país que influenciam as capacidades inovativas das empresas nacionais são estudados. Ao utilizar as fronteiras nacionais, atores que compartilham uma cultura comum, história, linguagem, e instituições sociais e políticas são identificados. Assim, a unidade de análise é o país, e o foco dos sistemas nacionais de inovação é identificar a importância das interações entre os diversos agentes e a forma na qual eles promovem o aprendizado que impulsiona a inovação em um determinado país (LUNDVALL, 1992; EDQUIST, 1997).

É importante ressaltar que o elemento nacional não significa dizer que fatores ‘externos’ não sejam relevantes para o processo de inovação, mas que este quadro analítico é importante para destacar que elementos culturais e lingüísticos são fatores

que criam vinculação no sistema, e formam uma visão nacional para as políticas, leis e regulações que determinam o ambiente inovativo (METCALFE, 1997)⁴².

Esta abordagem, portanto, busca entender as interações entre as ‘regras do jogo’ (*institutional set-up*) econômica, social, política e organizacional que influenciam padrões de inovação em um país e servem de guia para as ações dos agentes. Esta compreensão é fundamental para informar o efetivo desenho de política. O entendimento de como as instituições influenciam a intensidade e orientação da mudança técnica é uma das principais idéias nas abordagens dos sistemas de inovação. É esse entendimento que torna possível uma intervenção mais efetiva de quem faz as políticas⁴³ para influenciar a direção da inovação para objetivos socialmente desejáveis (LUNDVALL, 1992; NELSON, 1993).

Nesse contexto, o estabelecimento de novas instituições em um sistema de inovação torna-se um importante elemento na constituição de uma nova trajetória tecnológica, uma vez que pode trazer relativa estabilidade em um ambiente de incertezas e mudanças, definindo (ou apontando) as atividades inovativas de cientistas, engenheiros e técnicos na concepção de um novo paradigma⁴⁴.

É importante saber, portanto, em que contexto específico as políticas nacionais devem intervir para que as ações não sejam incompatíveis com a lógica do próprio sistema e se anulem mutuamente. Aqui, o papel da coordenação das políticas implícitas e explícitas é bastante relevante no sistema nacional de inovação⁴⁵.

O sucesso nessa coordenação, aliado às interações entre os agentes e suas capacidades de absorção em momentos de grandes mudanças técnico-econômicas,

⁴² “*Intranational relationships are normally better than international relationships as means of transferring semi-formal and informal information (...). The creation of new channels of the innovative type is easiest between members of a national production system. Thus the national framework may help to develop a creative response to new international conditions (and even to a new techno-economic paradigm)*” (ANDERSEN, 1992, p.89).

⁴³ Lundvall (2007, p.18) ressalta que “*one of the reasons why policy makers have found the NIS-concept useful is that it combines a specific theoretical perspective on the economy with certain flexibility in terms of what parts of the economy should be included and emphasized in the analysis. From a policy maker’s point of view it is important that the innovation system concept can be used to understand and explain economic growth and economic development*”.

⁴⁴ Da mesma forma que as instituições podem reduzir as incertezas, coordenar o uso do conhecimento, mediar conflitos e propiciar incentivos sistêmicos, ou seja, trazer a estabilidade necessária para a sociedade no estabelecimento de novas trajetórias, elas também podem retardar a emergência de um novo paradigma tecno-econômico exatamente pela sua característica de ‘inércia’. Nesse sentido, se, por um lado, elas são capazes de preservar certas regras e formas de conhecimento que se tornaram improdutivas, por outro, elas também participam do processo de ‘esquecimento’ de tais conhecimentos e hábitos que não mais servem no advento de um novo paradigma (JOHNSON, 1992). É esta coordenação de novas e velhas instituições que se torna um desafio em um sistema nacional de inovação.

⁴⁵ A seção 1.4.1 apresenta essa discussão.

aponta para a habilidade do sistema nacional de inovação em lidar e aprender com essas mudanças e capacidade de explorar as novas oportunidades.

Nesse contexto, é importante destacar que partes dos sistemas estão sendo consideradas para entender a dinâmica da inovação. Cassiolato *et al.* (2007) destacam que há duas variações do conceito de Sistemas Nacionais de Inovação, ambas explicitando que os processos inovativos são resultantes de um esforço coletivo e interativo.

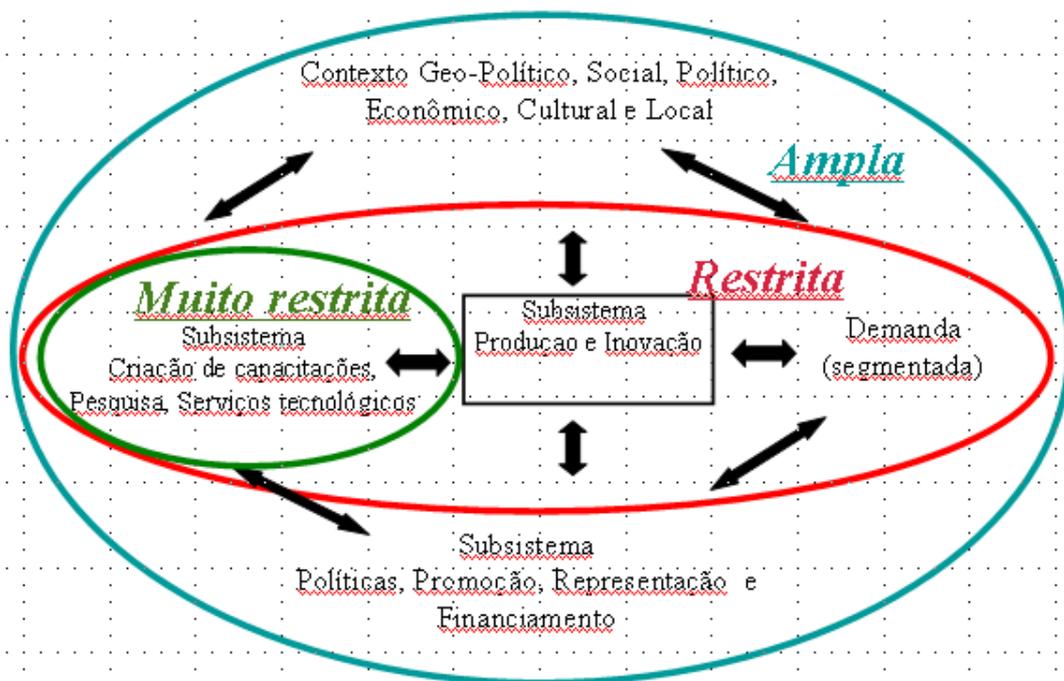
A primeira apresenta uma concepção mais estrita dos sistemas nacionais de inovação que inclui organizações e instituições voltadas à investigação, como os departamentos de P&D nas empresas, os institutos de tecnologia e as universidades. Seu foco prioritário está nas relações sistêmicas entre os esforços de P&D, as organizações de Ciência e Tecnologia (que inclui as universidades) e a política explicitamente dirigida à ciência e tecnologia (LUNDVALL, 1992; CASSIOLATO *et al.*, 2007). Esta visão está mais relacionada à concepção de Nelson (1993) e, em menor grau, Edquist (1997).

A segunda está relacionada a uma concepção mais ampla de sistemas nacionais de inovação e está relacionada aos trabalhos de Freeman (1987) e Lundvall (1988, 1992, 2007)⁴⁶. Esta concepção incorpora diversas partes e aspectos da estrutura econômica e um amplo conjunto de instituições que afetam, sobretudo, o processo de aprendizado interativo e a formação de competências, que influenciam direta ou indiretamente o processo de inovação. Nessa perspectiva, as políticas públicas, além daquelas voltadas para o sistema de ciência e tecnologia, são fundamentais na dinâmica do sistema e das diferentes instituições e organizações que dele fazem parte.

A figura 2 busca sistematizar ambas as concepções, onde a visão restrita apresenta-se como um subconjunto da visão ampla.

⁴⁶ No Brasil esta concepção é amplamente utilizada nos trabalhos desenvolvidos no âmbito da Redesist. Ver Cassiolato e Lastres (2008), Cassiolato *et al.*, 2007, entre outros.

Figura 2 – A Concepção Ampla do Sistema Nacional de Inovação



Fonte: Cassiolato *et al.*, 2007

Este quadro analítico permite maior entendimento não apenas a respeito das interações que ocorrem no sistema nacional de inovação, como também nas políticas adequadas para transformá-lo. Duas considerações merecem destaque.

Primeiro, o quadro aponta a possibilidade de identificar e atuar sobre determinadas partes do sistema que, eventualmente, possam necessitar de atuação específica. Além disso, também indica a inserção de sub-sistemas de produção e inovação dentro do sistema nacional, como os sistemas tecnológicos. Nesse sentido, fica evidente a possibilidade de influir nesses sub-sistemas de forma pontual, observando, evidentemente, que eles fazem parte de um sistema mais amplo (nacional). Logo, as políticas que forem desenhadas para esses sub-sistemas devem estar em sintonia com aquelas voltadas para e desenhadas no âmbito do sistema nacional.

Segundo, exatamente por possibilitar a atuação em sub-sistemas, pode haver distorções no conceito de sistema nacional de inovação, principalmente no desenho de políticas. Lundvall (2007) e Cassiolato *et al.* (2007) apontam que tem havido excessiva ênfase nas inovações baseadas na ciência, na infra-estrutura tecnológica formal e na subordinação de todo o trabalho acadêmico à lógica do mercado. Aspectos como gastos em P&D têm recebido mais prioridade do que, por exemplo, capacitação, interação e

relações que estimulem o aprendizado. Essas distorções estão associadas ao uso da concepção restrita de sistema nacional de inovação e refletem resquícios do modelo linear de inovação⁴⁷, evidenciando os chamados ‘paradoxos da inovação’, que deixa supostamente sem explicação diversos elementos do processo de inovação e, em última instância, do desempenho econômico.

Portanto, observa-se que a política no âmbito do sistema nacional de inovação tem o duplo papel de, por um lado, ser específica para os diferentes sub-sistemas - como os sistemas tecnológicos de inovação - e, por outro, ser mais ampla (genérica), capaz de atingir os outros aspectos relacionados que fazem parte e afetam aquele sistema. Deste modo, é no âmbito do sistema nacional de inovação que as relações micro e macro são estabelecidas, e é nesse âmbito, por conseguinte, que as políticas explícitas e implícitas também vão interagir imprimindo a dinâmica do sistema em relação aos processos de inovação que neles se formam.

Por fim, convém questionar se um sistema nacional de inovação pode ser conscientemente criado pelo Estado através da ação de políticas. Para Nelson e Rosenberg (1993), um sistema nacional de inovação não pode simplesmente ser criado ou desenvolvido por *policy makers*. Para eles, os elementos no sistema podem estar em constante conflito uns com os outros, influenciando as inovações para direções opostas. Em sua definição de sistema, os autores deixam clara sua posição em relação a esta possibilidade bem como o funcionamento das instituições que nele interagem:

“There is no presumption that the system was, in some sense, consciously designed, or even that the set of institutions involved works together smoothly and coherently. Rather the “systems” concept is that of a set of institutional actors that, together, plays the major role in influencing innovative performance” (NELSON E ROSENBERG, 1993, p. 4-5).

Os autores ressaltam, portanto, a natureza paradoxal dos sistemas nacionais, uma vez que neles contêm elementos que, ao mesmo tempo, estimulam e restringem os

⁴⁷ *“In terms of analysis it is reflected in studies of innovation policy that focus on science-based innovation and on the formal technological infrastructure. In terms of policy it is reflected in a bias in favor of stimulating science-based innovation and in highly problematic attempts to subordinate all academic scientific work to the logic of the market (...) the distorted analytical perspective produces ‘paradoxes’ (...) that reflect remnants of the linear model and narrow definitions of the innovation systems (...)”* (LUNDVALL, 2007, p.7).

diferentes processos de inovação. Nesse contexto, ressalta-se o papel das políticas implícitas atuando no sistema, que podem tanto reforçar as demais políticas (explícitas) desenhadas para um determinado fim como anulá-las.

Para Edquist (1997), há elementos dos sistemas de inovação que são conscientemente desenhados pelos atores (*policy makers*) e outros que parecem desenvolver-se espontaneamente ao longo de extensos períodos.

Esta posição certamente parece mais condizente com a realidade. Naturalmente não há como desenhar todo um sistema nacional de inovação, mas certamente é possível imaginar, influenciar e atuar diretamente sobre importantes partes, como os sistemas tecnológicos.

Assim, mais uma vez, ressalta-se a atuação do Estado enquanto formulador de políticas para o estímulo à inovação e, mais do que isso, para coordenar as políticas de forma que elas não se anulem e tenham o efeito desejado sobre o sistema que se pretende criar/estimular/desenvolver, ou seja, atuar para que ele funcione como um sistema (coordenado). Quando organizado apropriadamente, um sistema nacional de inovação pode ser um importante ferramenta para o progresso. Por outro lado, se mal organizado e conectado, pode seriamente inibir o processo de inovação (FREEMAN, 1987).

1.3.4 - Sistema tecnológico de inovação

Um sistema tecnológico de inovação está relacionado a uma tecnologia específica e, portanto, inclui fatores que são específicos àquela tecnologia estudada. O conceito foca em todos os elementos estruturais (instituições, atores e redes) que influenciam diretamente o desenvolvimento e difusão de uma determinada tecnologia (NEGRO, 2007). Torna-se, portanto, uma ferramenta interessante quando o objetivo é identificar as características de um sistema associado a uma tecnologia emergente, bem como sua dinâmica.

Nesse sentido, a abordagem de sistema tecnológico de inovação está relacionada à concepção mais restrita dos sistemas nacionais de inovação (figura 2), concernente ao subsistema de produção e inovação.

Carlsson e Stanckiewicz (1991) e Carlsson e Jacobsson (1993) foram os primeiros autores a desenvolver o conceito dos sistemas tecnológicos de inovação,

embora alguns elementos já pudessem ser identificados em Freeman *et al.* (1982) e Freeman (1987).

A abordagem dos sistemas tecnológicos de inovação foi desenvolvida para estudar o aparecimento e desenvolvimento de novas tecnologias ao longo do tempo, e identificar os padrões gerais responsáveis pelo curso de tais processos (MARKARD E WORCH, 2009). Assim, os sistemas tecnológicos de inovação podem ser definidos como um conjunto de redes de agentes (atores e instituições) interagindo em uma determinada tecnologia sob o arcabouço de uma infraestrutura institucional específica, envolvida na geração, difusão e utilização dessa tecnologia. Os atores e instituições interagem conjuntamente em um determinado campo tecnológico, contribuindo para a geração, difusão e utilização de variantes dessa nova tecnologia e/ou novo produto (CARLSSON E STANCKIEWICZ, 1991; CARLSSON E JACOBSSON, 1993; CARLSSON *et al.*, 2002; MARKARD E TRUFFER, 2008).

Carlsson *et al.* (2002) argumentam que esta definição possibilita abrir caminhos para diferentes maneiras de se delinear o sistema, cada uma envolvendo um nível diferente de análise. Para os autores, a abordagem sistêmica pode ser proveitosamente aplicada em pelo menos três níveis de análise: para uma tecnologia no sentido de um campo do conhecimento, para um produto ou artefato, ou para um conjunto de produtos e artefatos relacionados que visam atender uma função particular. E para delinear o sistema, deve-se ter uma tecnologia específica (ou um conjunto de tecnologias bem relacionadas no sentido de um campo de conhecimento específico) e analisá-la em certa aplicação, ou em todos os seus usos.

Bergek *et al.* (2008) ressaltam que os sistemas tecnológicos de inovação não só incluem os componentes dedicados às tecnologias em foco, como também todos os componentes que influenciam o processo de inovação daquele conjunto de tecnologias⁴⁸. Para alguns autores, um sistema tecnológico de inovação pode ser um sub-sistema de um sistema setorial⁴⁹, ou pode, mais provável, atravessar diversos setores (quando o foco está mais voltado para um campo do conhecimento “genérico” onde diversos setores se beneficiam deste).

⁴⁸ Afirmar que a abordagem é capaz de reunir e analisar todos os componentes que influenciam os processos de inovação parece uma assertiva um tanto forte, especialmente no caso das nanotecnologias onde os processos de inovação podem ser bastante distintos.

⁴⁹ Para maiores detalhes sobre os sistemas setoriais, vide Braschi e Malerba (1997) e Malerba (2002; 2005).

No caso das nanotecnologias, a abordagem dos sistemas tecnológicos de inovação representa um quadro analítico interessante⁵⁰. Por um lado, do ponto de vista analítico, cada nanotecnologia representa um mundo em si, um sistema quase independente. Por outro, as diferentes nanotecnologias representam também diferentes sistemas, podendo ser consideradas diferentes sub-sistemas de nanotecnologia, como uma área do conhecimento “genérico”. Seja como for, é fato que muitas das diferentes nanotecnologias interarem entre si, formando muitas vezes sistemas interdependentes. É nesse contexto, portanto, que é sugerido, neste trabalho, a noção de sistemas nanotecnológicos de inovação como quadro analítico para desenvolvimento de políticas de inovação.

Existem, portanto, diversos sistemas tecnológicos de inovação em um país. Ainda que as fronteiras nacionais não necessariamente constituam a fronteira do sistema, ele é influenciado por questões culturais, lingüísticas e outras circunstâncias que facilitem ou impeçam as conexões entre as unidades dentro do sistema (CARLSSON, 1994; NEGRO, 2007; CARLSSON *et al.*, 2002). Nesse sentido, os sistemas tecnológicos constituem elementos de um sistema nacional de inovação, ou seja, fazem parte desse sistema, não são independentes.

Carlsson e Jacobsson (1993) argumentam que o objetivo principal do sistema tecnológico e da política governamental deve ser o de influenciar o processo de difusão da nova tecnologia, onde a difusão está relacionada às atividades inovativas locais no desenvolvimento de novas gerações ou variedades de uma tecnologia. Em períodos de rápidas mudanças técnicas, envolvendo uma série de transições tecnológicas baseadas nas novas tecnologias genéricas, o Estado pode ter um papel particularmente importante na modelagem dos sistemas tecnológicos.

O ‘bom’ funcionamento e o sucesso de um sistema tecnológico, naturalmente, dependem do quão bem conectadas estão suas partes e da percepção na identificação de áreas importantes para se concentrar os esforços tecnológicos e novos investimentos⁵¹. A interação entre os sistemas de ciência e tecnologia, por exemplo, pode aumentar as percepções de oportunidades tecnológicas. O aprendizado no sistema tecnológico fica então mais rápido, afetando a inovação e sua difusão.

50 Vale à pena ressaltar que a abordagem dos sistemas setoriais de inovação não se aplica como um quadro analítico neste estudo uma vez que a nanotecnologia não constitui um setor ou atividade, e sim um conjunto de tecnologias pervasivas que se espalha em diversos setores da economia.

⁵¹ Segundo Freeman (1987, p.55), “*serious mistakes in identifying the crucial new areas of investment could lead to enormous waste of resources and clearly ‘accuracy’ in this context refers to both future trends in technology and future trends in world markets and society generally*”.

Portanto, a política deve focar, sobretudo, no aumento dessa conectividade, que está diretamente relacionada à ‘competência econômica’, ou seja, à habilidade de identificar, expandir e explorar um conjunto de oportunidades, que é crítica para o funcionamento do sistema tecnológico mas é desigualmente distribuída entre os atores, especialmente as firmas.

Nesse sentido, Carlsson (1994) e Carlsson *et al.* (2002) destacam a importância do aumento da ‘capacidade de absorção’⁵² no sistema tecnológico através do estabelecimento de relações de trabalho mais próximas entre os atores do sistema de forma a aprenderem uns com os outros. Argumentam que ao formar redes com outras unidades do sistema (firmas, institutos de pesquisa, instituições acadêmicas, etc.) aumenta-se sua conectividade. Assim, o papel da política está mais relacionado à criação de ‘instituições de ligação’ (*bridging institutions*) que sirvam para estabelecer relações entre atores até então desconectados dentro do sistema, por um lado, e estimular a criação de novos sistemas, por outro. Em outras palavras, aumentar a conectividade entre as partes constituintes do sistema, e/ou criar novas relações, através de novas instituições e redes capazes de monitorar, desenvolver, aplicar e difundir as novas tecnologias, aproveitando as janelas de oportunidades abertas nas transições tecnológicas⁵³. Nesse contexto, evidencia-se que os sistemas tecnológicos podem ser conscientemente criados por ação do Estado.

Entretanto, a natureza precisa da intervenção nos sistemas tecnológicos variará de caso para caso, em diferentes sistemas tecnológicos dentro de um país, ou entre países (CARLSSON E JACOBSSON, 1993).

Seja como for, ainda que as políticas voltadas para um ou mais sistemas tecnológicos tenham um caráter mais restrito/específico⁵⁴, as políticas públicas que influenciam o sistema de inovação são desenhadas e implementadas a nível nacional, no âmbito do sistema nacional de inovação. São nesses sistemas onde se capturam a

⁵² “(...) the concept of absorptive capacity in which it is argued that the ability to see, evaluate, and utilize new knowledge is largely a function of the level of previously accumulated, related knowledge. The particular type of ‘path’ that the firm is set on (involving a particular technological trajectory) would therefore be expected strongly to shape the technological and commercial opportunity set (...)” (EHRNBERG E JACOBSSON, 1997, p.322).

⁵³ Ehrnberg e Jacobsson (1997, p.338) também sugerem que “a firm can be ‘locked in’ to the old technology because its technological system might not provide the right technology and forecasts of the future – it exhibits path-following behavior at times when path breaking would be more appropriate”.

⁵⁴ Em geral as políticas voltadas para a promoção de novas tecnologias estão relacionadas a políticas explícitas no âmbito microeconômico para fomentar determinadas tecnologias e áreas emergentes. Ver próxima seção para breve análise da coexistência dessas políticas no ambiente de políticas macroeconômicas implícitas.

importância dos diferentes aspectos políticos (*political* e *policy*) dos diferentes processos de inovação que ocorrem no âmbito dos diferentes sistemas tecnológicos de inovação. Nesse sentido, não se trata apenas de uma questão geográfica, mas também da importância do Estado-Nação e do poder que vem com ele⁵⁵.

1.4 – Políticas de inovação: para além das políticas de Ciência e Tecnologia

Do mesmo modo que a percepção do processo de inovação tem evoluído a partir de uma visão linear para uma perspectiva mais sistêmica, o mesmo, pode-se dizer, tem ocorrido com as políticas de inovação. Considerando-se o sistema nacional de inovação na sua concepção restrita, onde as instituições formais de ciência e tecnologia são ressaltadas como os elementos principais no processo de inovação, as políticas nesse âmbito concentram-se, primordialmente, na formação e desenvolvimento das redes de instituições de ciência e tecnologia⁵⁶. Por outro lado, na sua concepção ampla, o sistema nacional de inovação abrange todas as instituições que afetam a introdução e difusão de novos produtos, processos e sistemas no âmbito de uma economia nacional. As políticas, nesse contexto, buscam analisar e redesenhar as ligações entre as partes do sistema com maior ênfase nas instituições e organizações do que nas políticas de ciência e tecnologia, sem desconsiderá-las como partes fundamentais do sistema.

Esta seção apresenta o papel do Estado na aplicação das políticas de inovação no âmbito do sistema nacional de inovação, bem como a importância da coordenação na aplicação das políticas no contexto nacional. Essa coordenação está relacionada ao papel e influência das políticas explícitas (relacionadas aos aspectos microeconômicos) e das políticas implícitas (macroeconômicas) no contexto de uma economia nacional. Dessa forma, serão apresentados os principais aspectos das políticas de ciência, tecnologia e inovação, ressaltando que o desenho de política também se caracteriza como um processo de aprendizagem à medida que aumenta a compreensão acerca dos processos de inovação que se pretende estimular, principalmente no período de surgimento e desenvolvimento de novas tecnologias. A avaliação das políticas e o desenho de alguns indicadores são essenciais nesse processo.

⁵⁵ “*It is not only a matter of geographical delimitation; the state, and the power attached to it, is also important*” (EDQUIST, 1997, p. 12).

⁵⁶ Nesse contexto, há uma preferência por políticas genéricas na forma de auxílios às atividades de P&D.

1.4.1 - O Estado como formulador de políticas: as políticas implícitas e explícitas

Koeller (2007) aponta que a discussão do papel do Estado e da Política de Inovação deve ser feita tendo como referência o contexto macroeconômico ao qual ela é subordinada, onde os sistemas e políticas macroeconômicas, ao invés de neutras, influenciam as decisões microeconômicas, tendo impactos significativos sobre padrões de financiamento, concorrência e mudanças técnicas. Portanto, o papel do Estado enquanto formulador de política de inovação deve ser considerado à luz da política macroeconômica adotada, que também tem impacto no comportamento microeconômico⁵⁷.

Neste sentido, chama-se de políticas explícitas o conjunto de políticas que afetem diretamente um determinado objeto que se deseja promover, por exemplo, políticas relacionadas e desenhadas para a promoção de inovações específicas. Por outro lado, são implícitas as políticas cujo objetivo não é afetá-lo diretamente, mas que nem por isso deixa de fazê-lo, muitas vezes negativamente.

A discussão em torno da diferenciação entre as políticas implícitas e explícitas inicia-se com Herrera (1971) e ganha força com Sagasti (1978) no âmbito do Projeto sobre Políticas Científicas e Tecnológicas (STPI), no *Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo* (CIID). Naquele momento, observou-se uma desarticulação entre as políticas científicas, tecnológicas e industriais, porém com necessidade de integração entre elas. Como ressalta Koeller (2009), a questão então era como identificar os instrumentos e as políticas de ciência e tecnologia que foram concebidos para impactar e alterar a capacidade local de ciência, tecnologia, daquelas políticas cujo desenho não previa este impacto, mas que terminavam por afetar indiretamente esta capacidade.

Por isso, adotaram-se duas categorias de análise para a diferenciação entre políticas: explícitas, cujo desenho tinha a intenção de afetar diretamente a capacidade local de ciência e tecnologia; e as implícitas, em que o objetivo não era afetar diretamente esta capacidade, “(...) *afectándolas supuestamente de modo indirecto, a través de efectos y concecuencias secundários de otras decisiones tomadas en la*

⁵⁷ A relação entre os componentes macro e microeconômicos é discutida por Jorge Katz em diversos trabalhos. Para uma síntese de sua contribuição ver Cassiolato *et al.* (2012).

industria, el gobierno, o las propias organizaciones de ciencia y tecnologia” (SAGASTI, 1978, p.30).

Essa distinção é importante para ressaltar a relevância da integração entre essas duas esferas, uma vez que os instrumentos e políticas implícitas podem limitar e, até mesmo, anular o impacto potencial dos explícitos. Nesse sentido, interessa destacar o papel que a política macroeconômica possui para a determinação da dinâmica econômica, e como esta pode interferir na implementação de uma política explícita (GORDON, 2010).

Quando o Brasil passou a adotar o receituário do Consenso de Washington e a meta de manutenção da estabilidade monetária, combinando abertura comercial, câmbio apreciado e altas taxas de juros, o país foi obrigado a abandonar gastos em atividades de investimentos ao desenvolvimento científico e tecnológico, e produtivo. A política macroeconômica adotada, então, inviabilizou a expansão do sistema produtivo e inovativo nacional, devido a um cenário macroeconômico maligno⁵⁸.

Deste modo, pode-se afirmar que um regime macroeconômico maligno é aquele que pode representar o papel de uma política implícita que dificulta ou anula a evolução e/ou adoção de políticas explícitas para o desenvolvimento produtivo e inovativo de um país⁵⁹.

Quando os governos escolhem o tipo de política econômica que desejam implementar, tais políticas, supostamente, fazem parte de uma agenda de desenvolvimento como parte de uma trajetória que se pretende seguir no longo prazo. Neste cenário, as políticas macroeconômicas desempenham um papel fundamental, uma vez que elas podem influenciar diretamente nos investimentos gerais e, conseqüentemente, nos investimentos em inovação de uma economia (PEIXOTO *et al.*, 2011).

Logo, a integração das políticas implícitas e explícitas torna-se fundamental para o (bom) funcionamento de um sistema nacional de inovação; tendo o Estado grande

⁵⁸ “Regimes macroeconômicos benignos são aqueles capazes de combinar baixas taxas de juros a taxas de câmbio relativamente subvalorizadas (ou seja, condições que promovam mais valor agregado doméstico bem como mais estímulo às exportações). Por outro lado, regimes macroeconômicos malignos são aqueles que combinam taxas de juros elevadas a taxas de câmbio sobrevalorizadas, prejudiciais à produção doméstica e à competitividade das exportações do país” (COUTINHO, 2005, p.431).

⁵⁹ No caso do Brasil, Koeller e Gordon (2010) mostram que esse tipo de política criou um sistema assimétrico que dificultou a integração das políticas de inovação com outras políticas, impedindo, portanto, o desenvolvimento de um sistema nacional de inovação integrado.

responsabilidade na condução em diversas esferas no desenho das políticas de desenvolvimento.

1.4.2 - Política de inovação no Sistema Nacional de Inovação

Por muito tempo chamou-se de política de inovação o apoio aos instrumentos do “lado da oferta”, como apoio e subsídios às atividades de P&D (ciência pura e aplicada e desenvolvimento de tecnologia) ou a absorção de novos produtos ou processos do exterior. Esta concepção, claramente influenciada pela visão linear do processo de inovação, considerava os instrumentos integrantes das políticas de ciência e tecnologia como política de inovação.

As principais questões relativas às *políticas de ciência* estão relacionadas à suficiente alocação de recursos para a ciência, para distribuí-los de forma eficiente entre as atividades, e garantir que os recursos sejam utilizados eficientemente e que contribuam para o bem-estar social. Os elementos do sistema de inovação que são focados são as universidades, institutos de pesquisa, institutos tecnológicos e laboratórios de P&D. Os instrumentos utilizados são baseados em decisões orçamentárias para a alocação de fundos para organizações de pesquisa públicas, como universidades, e subsídios ou benefícios fiscais para empresas (LUNDVALL E BORRÁS, 2005).

Já as políticas voltadas para a *tecnologia* referem-se àquelas políticas cujo foco são tecnologias e setores, e são complementares às de ciência. A era da política tecnológica é aquela onde especialmente as tecnologias baseadas em ciência são vistas como o cerce do crescimento econômico. São elas que definem as ‘tecnologias estratégicas’ e, algumas vezes, os setores que as produzem também são definidos como setores estratégicos. Os elementos do sistema de inovação em foco são também as universidades, institutos de pesquisa, institutos tecnológicos e laboratórios de P&D. Contudo, a atenção vai da universidade para as engenharias, e da organização interna das universidades para como elas se conectam com a indústria. Existem diversos possíveis instrumentos usados na promoção de tecnologias e setores específicos. Os mais eficientes podem estar relacionados a combinações de instrumentos em campos onde a compra pública esteja envolvida. Além da compra pública, incentivos econômicos diretos na forma de subsídios e redução de impostos podem ser oferecidos às empresas. Pesquisas de apoio em universidades atuantes nos campos das ciências nas

quais as novas tecnologias estão enraizadas podem, também, ser uma parte importante da missão da política pública (*Ibidem*).

Com o advento da perspectiva dos sistemas de inovação, o “paradigma da política de inovação” tem sido gradualmente difundido e ido além das - mas ainda abrangendo as - políticas para a ciência, pesquisa, tecnologia e desenvolvimento (BORRÁS, 2009).

Nesse sentido, Lundvall e Borrás (2005) ressaltam que a política de inovação está relacionada ao conceito de ‘sistema de inovação’. Esta perspectiva indica que os maiores campos de política devem ser considerados à luz de como ela contribui para a inovação. Um aspecto fundamental da política de inovação se refere à revisão e desenho das conexões entre as partes do sistema, e põe maior ênfase nas ‘instituições’ e ‘organizações’ do que as políticas de ciência e tecnologia. Desenhar uma política de inovação adequada requer percepções específicas das características do sistema nacional.

Ainda, os autores destacam que entre os instrumentos utilizados, destacam-se, por exemplo, a regulação dos direitos de propriedade intelectual e acesso ao capital de risco (*venture capital*). E, uma distinção fundamental na política de inovação se dá entre as iniciativas voltadas à promoção da inovação dentro do contexto institucional e, respectivamente, às políticas voltadas à mudança do contexto institucional com o objetivo de promover a inovação. A primeira categoria coincide com instrumentos usados nas políticas de ciência e tecnologia. A segunda inclui reformas nas universidades, educação, mercado de trabalho, mercado de capitais, regulação das indústrias e leis da competição, por exemplo. A política de inovação dá especial atenção às dimensões institucionais e organizacionais dos sistemas de inovação, incluindo a criação de capacitação (*competence building*) e desempenho organizacional. Nesse sentido, a política de inovação procura ‘abrir a caixa-preta’ dos processos de inovação, entendida como um processo social e complexo.

O quadro 2 apresenta um panorama estilizado das principais características das políticas de ciência, tecnologia e inovação. O objetivo não é apresentar possíveis fronteiras dessas políticas, tampouco limites para suas aplicações. Pelo contrário, busca-se ressaltar sua inter-relação e evidenciar que as políticas de ciência e tecnologia são, de feito, sub-conjunto das políticas de inovação.

Quadro 2 – Políticas de ciência, tecnologia e inovação

Características das políticas	Ciência	Tecnologia	Inovação
Objetivos	Produção de conhecimento científico	Desenvolvimento e comercialização de tecnologias e setores, especialmente baseados na ciência	Promover inovação através da interação sistêmica
Elementos	-Universidades; -Instituições de pesquisa; -Instituições de tecnologia; -Laboratórios de P&D	Mesmos de ciência, com foco na engenharia e organização das ICTs e interação com a indústria	Instituições e organizações que contribuam para a inovação no âmbito do sistema nacional de inovação
Instrumentos	-Fundos de pesquisa; -Subsídios; -Isenção de impostos para empresa privada (para atividade de P&D); -Direito de propriedade; -Interação Instituições de Ciência e Tecnologia (ICTs) e indústria	-Compras públicas; -Subsídios; -Redução de impostos; -Estímulo à pesquisa em tecnologias emergentes e estratégicas	-Criação de capacitação; -Estímulo ao aprendizado individual e organizacional; -Acesso à informação; -Regulação; -Leis; -Proteção ao consumidor; -Desenvolvimento local, regional e nacional
Atores	<u>Públicos</u> : Ministérios da Educação, de C&T (e inovação no Brasil), Planejamento, Fazenda, Conselhos de pesquisa, organizações civis	-ICTs; -Universidades; -Empresas	Indivíduos, instituições, e organizações relacionados direta ou indiretamente às atividades inovativas da economia

Fonte: Elaboração própria.

Seguindo este raciocínio, Cassiolato e Lastres (2005) argumentam que a concepção da política de inovação está baseada na idéia de que a inovação é um processo de aprendizado não-linear, cumulativo, específico da localidade e conformado institucionalmente, onde atores e instituições interagem entre si e se influenciam simultaneamente de forma sistêmica. O processo de inovação é um processo caracterizado por contínuas e numerosas interações e *feedbacks* (OECD, 1990).

A concepção sistêmica utilizada neste trabalho, portanto, implica que os sistemas de inovação são fenômenos específicos no tempo e no espaço. Por conseguinte, as políticas de inovação não apenas devem ser específicas para cada realidade, como também adequadas para atender as nuances dos diferentes processos e sistemas⁶⁰. Nesse contexto, as políticas que antes eram direcionadas para inovação passam a ser direcionadas para os sistemas de inovação.

⁶⁰ Nessa linha de argumentação, Lundvall (2007) ressalta que uma “teoria geral” dos sistemas de inovação que abstraia do tempo e espaço destruiria pouco a pouco a utilidade do conceito tanto como ferramenta analítica como ferramenta de política.

Bianchi (2012) destaca que a abordagem sistêmica obriga à elaboração de um arcabouço de políticas complementares que apresentem também uma lógica sistêmica. Essas políticas estariam relacionadas a uma combinação (*mix*) adequada de políticas, no tempo e espaço, capazes de dar conta de um processo complexo. E é exatamente essa combinação que seria responsável pela articulação entre as políticas implícitas e explícitas⁶¹. Alguns processos políticos levam algum tempo para sobreviver. O uso de um instrumento de política constitui uma intervenção em um determinado momento do tempo, num contínuo fluxo de eventos que ao mesmo tempo criam as condições e/ou atrapalham a evolução de um dado instrumento, e que são influenciados por ele.

A idéia da combinação de política (*policy mix*) traz para o foco da discussão a ‘complexidade da política’ e a ‘coordenação de política’. Segundo Flanagan *et al.* (2010), o termo sugere um foco nas interações e interdependências entre diferentes políticas na medida em que os resultados pretendidos são alcançados na magnitude desejada. Essa abordagem, portanto, reconhece a racionalidade sistêmica e o papel dos instrumentos e medidas ‘diretas’ e ‘indiretas’. Logo, ao relacionar o conceito de *policy mix* à análise das políticas de inovação, chama atenção o *trade-off* entre as políticas na medida em que impactam na extensão dos objetivos finais pretendidos e na medida em que os resultados da política de inovação são realizados, em um determinado espaço e tempo.

De qualquer forma, Flanagan *et al.* (2011) ressaltam, em outro trabalho, que mesmo as ‘boas combinações’ terão algum tipo de ambigüidade, natural em qualquer sistema complexo, como ressaltado anteriormente neste capítulo. Assim, o foco deve se voltar para os atores, instrumentos, instituições e interações que, em última instância, serão os elementos utilizados para a moldagem das políticas de inovação, adaptados ao contexto nacional específico⁶².

Nesse sentido, a emergência da visão sistêmica nas políticas de inovação vai além da visão restrita de ciência e tecnologia (lado da oferta) para uma visão mais abrangente

⁶¹ “(...) nominally similar policy instruments are not necessarily stable in terms of their rationales, goals, use and impacts across time, space or policy domains. Nor does public policy pursue a single goal or even a coherent and hierarchical set of goals – rather it pursues a broad and ever-changing range of more or less explicit and implicit, final and intermediate goals and objectives, many of which will conflict in the sense that one can only be obtained at the expense of another. It is these policy rationales and policy goals, and the means by which they are implemented, that are often in tension or conflict in the policy mix (...) and are key in determining the effects of public policies. These effects are felt across space and across time” (FLANAGAN *et al.*, 2010, p.20-21).

⁶² “Ideally, a policy mix takes into account possible interactions among instruments (positive and negative) and ensures balanced support for the range of challenges faced by a country’s innovation system. Policy mixes need to be adapted to national circumstances (...)”(OECD, 2010, p.13).

onde, por exemplo, fatores de demanda, regulação e política educacional também passaram a ser considerados. Borrás (2009) caracteriza esse processo como a ‘ampliação’ (*widening*) e o ‘aprofundamento’ (*deepening*) da política de inovação, com a introdução de novos e mais sofisticados instrumentos de política (ampliação) e expansão da esfera de ação da política de inovação (aprofundamento).

Fica patente nessa discussão que não há uma política de inovação ‘ótima’, mas políticas de inovação que dependem do contexto no qual estão inseridas e no momento em que são aplicadas⁶³. É à luz desse contexto que as políticas de inovação para a nanotecnologia no Brasil serão analisadas. Por um lado, tem-se as políticas mais gerais, abrangentes, de caráter horizontal, desenhadas para atingir todas as nanotecnologias, independente das suas especificidades. Essas estão inseridas no âmbito mais abrangente do sistema nacional de inovação. Por outro, a possibilidade de políticas mais restritas, específicas, explícitas para determinadas nanotecnologias e relacionadas às suas especificidades. Essas, por sua vez, pertencem ao âmbito mais restrito dos sistemas nanotecnológicos de inovação.

Dessa forma, o desenho das políticas de inovação tem como principal componente o entendimento do processo de inovação que se pretende estimular. O desenho de política de inovação é em si um processo de aprendizado que ocorre junto ao entendimento do processo de inovação. O aprendizado não está, portanto, restrito aos processos de inovação, ele ocorre também nos processos de política.

Como o processo de inovação, a política de inovação é também uma dinâmica que envolve aprendizado. Não é possível analisar as políticas de inovação à parte do processo de se fazer política (KAY, 2006; FLANAGAN *et al.*, 2010). E este processo está relacionado ao entendimento do próprio processo de inovação.

Como apontam Mytelka e Smith (2002), o processo de aprendizado geralmente ocorre dentro de um contexto institucional dinâmico que inclui instituições de políticas e ações. Desse modo, o entendimento do processo de inovação está intimamente ligado aos efeitos do aprendizado dentro dos sistemas de política. O processo de aprendizado não pode estar separado do desenvolvimento do próprio campo da inovação, de modo que teoria e política são vistos como co-evoluindo; ou ainda, o processo de política pode

⁶³ Em retrospectiva, certos “sucessos” podem ser atribuídos a políticas específicas desenhadas em um momento específico, aproveitando uma janela de oportunidade específica. Essas ações passam a ser analisadas como pertencentes a um contexto histórico e passam a servir de exemplos para ações do presente.

ser pensado como um subconjunto da categoria mais abrangente dos processos de inovação.

Deste modo, reconhecer que a concepção da política de inovação é um processo de aprendizado, que co-evolui como entendimento do processo de inovação, é então reconhecer que é um processo dinâmico, com múltiplas e complexas influências, e constantemente mutável no tempo e no espaço. O contexto e implementação de um instrumento pode ser 'fluido' no tempo à medida que os instrumentos são interpretados e reinterpretados à luz das racionalidades cambiantes, ou nas mudanças de paradigmas, utilizando a concepção Kuhniana.

Nesse sentido, os instrumentos utilizados nas políticas de inovação não podem ser analisados e avaliados fora do contexto no qual foram concebidos, uma vez que eles estão relacionados a uma combinação de vários outros instrumentos que, como visto, se afetam mutuamente, implícita ou explicitamente. Esta complexidade, portanto, atrapalha a análise e avaliação dos instrumentos de política de forma estática, discreta e independente. Segundo Flanagan *et al.* (2010), poucos estudos exploraram sistematicamente as interações entre diferentes instrumentos, quer ao longo do tempo ou em outras dimensões do processo político.

Assim sendo, fica saliente a relevância da análise e avaliação das políticas no âmbito dos sistemas de inovação, bem como o papel dos indicadores de inovação nesse contexto.

1.4.3 - A avaliação de política como um processo de aprendizado: um breve comentário

Não é incomum que a análise e avaliação das políticas de inovação subestime o desafio que a complexidade impõe à coordenação de políticas. Pela natureza dinâmica e complexa dos sistemas de inovação, as políticas também são dinâmicas e complexas, baseadas em um constante processo de aprendizado.

Nesse contexto, com o aumento dos programas e políticas voltadas para ciência, tecnologia e inovação, tem crescido também o interesse das autoridades públicas em avaliar os efeitos e impactos dos gastos públicos nestas áreas (LUNDVALL E BORRÁS, 2005; LUNDVALL, 2007).

Lundvall e Borrás (2005) destacam que deve haver processo sistemático de avaliação dos programas, ou dos gastos públicos relacionados, em termos do quanto

eles atingiram seus objetivos. Aliado a isso, ressaltam que esta avaliação também deve ser considerada como um elemento do processo político no qual os administradores públicos tentam chegar a alguma conclusão e tirar lições das experiências passadas de forma a aproveitá-las no futuro.

Esta idéia, como visto anteriormente, está relacionada ao aprendizado da política (*policy learning*), que junto com o aprendizado tecnológico, organizacional e institucional, é parte da economia do aprendizado. Portanto, o próprio processo de fazer política é um processo de aprendizado⁶⁴, especialmente no âmbito de um sistema nacional de inovação.

O aprendizado, nesse contexto, é um processo interativo que ocorre no âmbito da co-evolução da concepção das políticas com os estudos teóricos e empíricos de um novo campo ou área (MYTELKA E SMITH, 2002), como as nanotecnologias. Dessa forma, utiliza-se aqui o argumento de que é necessário entender os diversos aspectos dos processos de inovação das diferentes nanotecnologias de modo que o desenho de políticas seja compatível com os objetivos que se deseja alcançar.

Esse maior entendimento se justifica por duas razões principais: Primeiro, em geral, as políticas de inovação se confundem com as políticas científicas e tecnológicas, como ocorreu com a política desenhada para nanotecnologia no Brasil⁶⁵. Ampliar o entendimento dos processos de inovação, portanto, torna-se um elemento importante para a própria concepção da política de inovação. Segundo, os indicadores de inovação existentes são bastante limitados na captação de importantes características dos processos de inovação de tecnologias específicas, principalmente nas tecnologias emergentes como as nanotecnologias. Deste modo, indicadores que sejam capazes de captar os principais componentes sistêmicos dos processos de inovação, por um lado, e as especificidades desses processos de inovação em tecnologias específicas (como as nanotecnologias), por outro, são de grande importância para a concepção e aplicação de política de inovação⁶⁶.

⁶⁴ Lundvall (2007) destaca que, em geral, os *policy makers* pouco sabem da realidade na qual o processo de inovação de fato ocorre. Normalmente, isso ocorre porque ou eles são ‘generalistas’, onde se utilizam de ferramentas analíticas gerais como análise de custo-benefício e modelos de teoria dos jogos, ou são ‘especializados’, onde podem tender a reproduzir velhas rotinas que já se tornaram obsoletas. O primeiro tem a vantagem de se adaptar com certa facilidade a mudanças, e o segundo tem a vantagem de melhor entender o sistema no qual está intervindo. Apesar de dizer que no mundo real encontra-se uma mistura dos dois tipos na mesma organização, e que individualmente os *policy makers* combinam ambas as características, ressalta que atualmente existe uma tendência para o predomínio dos modelos generalistas.

⁶⁵ Vide capítulo 3.

⁶⁶ Vide Apêndice para breve reflexão acerca das abordagens dos indicadores de inovação.

Por fim, é importante ressaltar que avaliar as políticas e programas de ciência, tecnologia e inovação é uma tarefa bastante difícil, uma vez que seus efeitos se espalham por todo o sistema. Por isso, avaliações no nível micro, ou seja, de programas específicos, são mais confiáveis do que aquelas que buscam avaliar o impacto de determinadas políticas na competitividade de uma economia de forma mais ampla (LUUKKONEN, 1998; LUNDVALL e BORRÁS, 2005).

1.5 – Considerações parciais

Neste capítulo, buscou-se trazer para foco de análise as principais contribuições teóricas e quadros analíticos da teoria evolucionária e neo-schumpeteriana das quais as novas tecnologias revolucionárias e emergentes são passíveis de serem analisadas à luz da formulação de políticas de inovação. Nesse contexto, insere-se a análise da emergência e evolução das nanotecnologias no contexto da dinâmica inovativa das economias.

A partir da concepção de paradigmas e trajetórias tecnológicas, procurou-se destacar como determinadas mudanças e novas lógicas foram, e são, capazes de trazer transformações revolucionárias com potencial de modificar toda uma estrutura econômica e social. Essas transformações estão relacionadas à emergência de novas tecnologias genéricas que trazem consigo uma nova lógica capaz de modificar as relações sociais e econômicas de toda uma geração (ou gerações), configurando-se como um novo paradigma tecno-econômico.

É nesse contexto que se busca identificar novas tecnologias ainda não consolidadas e com grande potencial revolucionário. Esse período, apesar de grande incerteza, configura-se como uma janela de oportunidade para empresas e países se destacarem no conhecimento e na produção dessas tecnologias. Desse modo, argumenta-se neste trabalho que as nanotecnologias vêm se consolidando, ao longo das últimas décadas, como tecnologias capazes de trazer uma nova onda de transformações revolucionárias.

Nesse contexto, o Estado possui um papel de atuação particularmente importante na concepção do ambiente no qual essa nova trajetória de desenvolvimento será configurada. Este papel está relacionado à elaboração e coordenação de políticas que estimulem e criem as condições necessárias para que esta nova concepção sobrevenha.

Argumentou-se, ainda, que os sistemas de inovação se configuram como o ambiente no qual as inovações se desenvolvem. Nesse sentido, as principais características do processo de inovação foram apresentadas, destacando a evolução do entendimento desse processo a partir de uma visão linear para uma perspectiva mais complexa e, sobretudo, sistêmica.

Assim, destacou-se os sistemas tecnológicos e nacional de inovação como os âmbitos mais adequados tanto para a análise da evolução quanto para a aplicação de políticas de inovação voltadas para as nanotecnologias emergentes. Por um lado, os sistemas tecnológicos apresentam-se como o quadro analítico adequado para a análise das diferentes nanotecnologias, destacando suas principais características e especificidades, permitindo um maior entendimento da nanotecnologia específica. Sugeriu-se, assim, a concepção dos sistemas nanotecnológicos de inovação como quadro analítico para melhor compreender a dinâmica das diferentes nanotecnologias e poder agir sobre elas. Por outro, é no âmbito e dentro da lógica do sistema nacional de inovação que esses sub-sistemas nanotecnológicos se desenvolvem.

Deste modo, se, por um lado, a abordagem de sistemas tecnológicos se apresenta como o quadro analítico que permite pensar e estruturar a análise das nanotecnologias mais especificamente, por outro, a abordagem de sistema nacional de inovação é o quadro adequado para a análise da dinâmica evolutiva e sistêmica do processo de inovação mais amplo. E é nesse âmbito, ainda, que as políticas implícitas e explícitas interagem de modo a estimular e/ou atrapalhar a dinâmica inovativa das tecnologias emergentes. O papel do Estado e da política de inovação, nesse contexto, está relacionado à coordenação sistêmica desse *mix* de políticas no âmbito do sistema nacional de inovação.

Igualmente, discutiu-se em que sentido as políticas de inovação incorporam e são mais amplas do que as políticas de ciência e tecnologia. Nessa perspectiva, a promoção da inovação vai muito além do estímulo às atividades de P&D, que são muito mais eficazes para promover a invenção do que a inovação. Esse argumento é de fundamental relevância para a discussão das nanotecnologias como tecnologias baseadas na ciência (capítulo 2), pois apesar da atividade de P&D ser elemento necessário para o desenvolvimento das diferentes nanotecnologias, ela é insuficiente para tal, se não coordenada com outras atividades.

Assim, argumentou-se que as políticas de inovação têm o papel de moldar os sistemas de inovação para que estes funcionem de forma adequada a atender os

objetivos pretendidos. Sendo a política de inovação um processo de aprendizado de política que co-evolui com o entendimento dos processos de inovação em questão, o papel das políticas de inovação no âmbito do SNI é, então, o de criar e estimular os mecanismos de aprendizado necessários para que os processos de inovação ocorram.

Nesse sentido, a discussão em relação à política de inovação para as nanotecnologias está voltada para a importância do melhor entendimento dos processos de inovação das diferentes nanotecnologias, de modo que as políticas de inovação desenhadas sejam mais adequadas para seu efetivo desenvolvimento e consolidação, em um processo contínuo de aprendizado.

Logo, as políticas de inovação no advento de um novo paradigma estão relacionadas à criação das condições estruturais e institucionais para que uma nova trajetória tecno-econômica seja viável.

CAPÍTULO 2 – NANOTECNOLOGIA E INOVAÇÃO: ASPECTOS PARA A CONSTITUIÇÃO DE SISTEMAS NANOTECNOLÓGICOS DE INOVAÇÃO

A percepção das oportunidades advindas das novas tecnologias não costuma ser um atino explícito para a grande maioria das organizações e instituições do sistema econômico, em especial para as empresas. Imbuídas em uma trajetória tecnológica (em geral no paradigma que se enfraquece), as diferentes organizações, em geral, possuem o que Fransman (1990) chama de ‘visão limitada’ (*bounded vision*) a respeito das novas oportunidades, ou seja, a habilidade de perceber a importância de várias áreas da ciência e tecnologia e se mobilizar para assimilar e desenvolver essas áreas. Como resultado, as novas tecnologias emergentes levam tempo para serem assimiladas e incorporadas⁶⁷.

Viu-se anteriormente que a habilidade de perceber novas oportunidades está relacionada à ‘capacidade de absorção’ das organizações. Esta capacitação não se limita apenas à capacidade de perceber e explorar novas oportunidades, mas também está relacionada ao entendimento do conjunto de oportunidades em constante mudança. Nesse contexto, um ambiente que promova um processo de aprendizado constante e dinâmico é fundamental. Algumas instituições possuem papel fundamental neste processo.

Para Dalum *et al.* (1992), existe uma grande interdependência entre a tecnologia e as instituições, onde a primeira não existe por si mesma, mas está incorporada em um arcabouço institucional. Para os autores, as capacitações de uma firma, por exemplo, dependem não apenas das ferramentas utilizadas, mas também da capacidade de organização de seu processo produtivo. Esta capacidade, por sua vez, depende das suas relações institucionais com diversos atores, como fornecedores, consumidores, agências públicas, institutos de pesquisa, etc., ou seja, com os diversos atores do sistema nacional de inovação.

De qualquer forma, a capacidade de resposta das organizações e instituições para a mobilização nas novas tecnologias também dependem do contexto em que operam, ou seja, dos diferentes sistemas tecnológicos.

Dessa forma, reconhecer que uma tecnologia, ou grupo de tecnologias, possui elevado potencial inovativo, quando ainda é pouco difundida, trata-se de uma rara

⁶⁷ “(...)the resulting bounded vision implies that new technologies emerging from neighbouring areas where the corporation does not have current activities are likely to take some time to penetrate the corporation’s field of vision” (FRANSMAN, 1990).

oportunidade para o fortalecimento e/ou formação dos sistemas tecnológicos correspondentes. É nesse contexto que este capítulo analisa a evolução das nanotecnologias como um conjunto de novas tecnologias com o potencial de revolucionar diversos setores da indústria, não apenas através de inovações nesses setores, mas também pela criação de tecnologias genéricas capazes de penetrar e transformar essas indústrias, a economia e a sociedade como um todo. Nesse sentido, as principais características das nanotecnologias, sua evolução ao longo do tempo e alguns elementos dos seus processos inovativos serão abordados neste capítulo.

2.1 – Nanotecnologia: definição e técnicas de produção na nanoescala

A nanotecnologia tem sido considerada uma tecnologia emergente que traz novas dimensões para a ciência e tecnologia com a possibilidade de manipular átomos e moléculas na escala nanométrica.

Segundo Martins (2008), a nanotecnologia pode ser apresentada em duas formas. Na primeira, ela se caracteriza através de dois aspectos: i) a nanotecnologia se refere a um indicador de medida; e ii) a nanotecnologia se refere a um conjunto de técnicas utilizadas para manipular a matéria na escala dos átomos e moléculas. Na segunda forma, considera-se a diferenciação entre nanociência e nanotecnologia, sendo a primeira o estudo dos princípios fundamentais de moléculas e estruturas, e a segunda a aplicação destas moléculas e nanoestruturas em dispositivos nanométricos.

2.1.1 - A nanotecnologia como um indicador de medida

Quando se fala em nanotecnologia, devemos ter em mente que a forma que se enxerga o mundo passa a ser diferente. A relação entre grande e pequeno deve ser tratada de outra maneira. No mundo da ‘macro’ escala, no qual estamos mais acostumados, os objetos que observamos, em geral, estão dentro da mesma escala de tamanho, ou possui poucas ordens de magnitude de diferença. Costuma-se representar a ordem de magnitude em potências de 10, o que quer dizer que quando uma coisa é 10 vezes maior do que outra ela possui uma ordem de magnitude maior.

No entanto, existem coisas muito maiores e outras muito menores. O objeto mais distante que se pode observar encontra-se a 10^{18} centímetros de distância (10^{16} m). Por outro lado, a menor coisa existente no universo é conhecida como o comprimento de

Planck, e equivale a 4×10^{-35} centímetros. Dessa forma, a diferença entre a maior e a menor coisa conhecida existente no universo é de 53 ordens de grandeza. De modo geral, o tamanho das coisas envolvidas no nosso dia a dia possui cerca de sete ordens de grandeza, ou seja, está mais ou menos compreendido entre o tamanho de uma pulga e da linha do horizonte (ABDI, 2010a).

Entretanto, muitas coisas altamente significativas ocorrem fora desta faixa de tamanho. Em geral, pertencem ao mundo da micro ou da nanoescala. Tais prefixos centi, mili, micro e nano são representações de uma determinada grandeza e estão associados às potências de 10. Desse modo, da mesma forma que o quilo corresponde a um fator 10^3 , mili corresponde a 10^{-3} . Assim, na escala nano (nm), o fator de grandeza corresponde a 10^{-9} do metro, ou seja, a um bilionésimo do metro. O quadro 3 apresenta os prefixos que descrevem as grandezas.

Quadro 3 – Prefixos de unidades

Prefixo	Símbolo	Grandeza	Nome
Exa	E	10^{18}	Quintilhão
Peta	P	10^{15}	Quatrilhão
Tera	T	10^{12}	Trilhão
Giga	G	10^9	Bilhão
Mega	M	10^6	Milhão
Kilo	K	10^3	Milhar
Unidade		10^0	Um
Centi	c	10^{-2}	Centésimo
Mili	m	10^{-3}	Milésimo
Micro	μ	10^{-6}	Milionésimo
Nano	n	10^{-9}	Bilionésimo
Pico	p	10^{-12}	Trilionésimo
Fento	f	10^{-15}	Quadrilionésimo
Atto	a	10^{-18}	Quintilionésimo

Fonte: Wilson *et. al.* (2002).

O prefixo ‘nano’ é derivado da palavra grega para anão, e é exatamente nessa escala de tamanho que a nanotecnologia é trabalhada e os objetos são concebidos. É

também nessa escala que estão os átomos e moléculas⁶⁸. Para efeito de comparação, um único fio de cabelo tem aproximadamente 80.000 nm de largura, uma célula de sangue vermelho tem aproximadamente 7.000 nm de largura. Os átomos estão abaixo de um nanômetro em tamanho, enquanto que muitas moléculas, incluindo algumas proteínas, variam de um nanômetro para cima. Da mesma forma, a proporção entre um nanômetro e uma bola de futebol equivale a comparar uma moeda de 1 centavo (que mede aproximadamente 1,7cm) com a Lua. O quadro 4 e a figura 3 apresentam essas comparações entre grandezas.

Quadro 4 – Comparações de Tamanhos

Átomo (H)	0,1 nm
DNA	2 nm
Proteínas	5-50 nm
Vírus	75-100 nm
Bactérias	1000-10000 nm
Células Brancas	10000 nm

Fonte: ADBI (2010).

Figura 3 – Comparação entre grandezas nas escalas nano e macro



Fonte: <http://www.tecmundo.com.br/amd/2539-o-que-e-nanotecnologia-.htm> (26/09/2012)

⁶⁸ Lembrando que molécula é um conjunto de átomos; e o átomo é um conjunto de partículas. Assim, partícula < átomo < molécula.

É interessante observar que são necessários dez átomos de hidrogênio colocados lado a lado para ter um nanômetro. Na escala nanométrica, as bactérias e as células brancas são bastante grandes. É nesse sentido, portanto, que o prefixo ‘nano’ se refere a um indicador de medida, uma escala e não a objetos.

Além de indicador de medida, a nanotecnologia se refere, também, a uma série de técnicas utilizadas para manipular a matéria em escala de átomos e moléculas (MARTINS, 2008).

2.1.2 - As técnicas de produção na nanoescala

Dois procedimentos são utilizados para se obter materiais na escala nanométrica. O primeiro, chamado de procedimento “de baixo para cima” (*Bottom-up*), consiste em tentar construir o material a partir de seus componentes básicos, ou seja, seus átomos e moléculas. É a chamada de “abordagem química”⁶⁹. O segundo, chamado de procedimento “de cima para baixo” (*Top-down*), consiste em fabricar um objeto nanométrico pela eliminação do excesso de material existente em uma amostra maior de material. É também chamada de “abordagem física” (MELO E PIMENTA, 2004).

A técnica *bottom-up* proporciona a construção de estruturas de átomo por átomo, ou molécula por molécula mediante três alternativas (ROYAL SOCIETY, 2004):

- a) Síntese química (*chemical synthesis*): Método utilizado para produzir matérias-primas, nas quais são utilizadas moléculas ou partículas nano, que podem ser usadas ou diretamente nos produtos na sua forma estrutural desordenada, ou como os blocos de construção de materiais ordenados mais avançados, produzidos utilizando as técnicas seguintes.
- b) Automontagem (*self assembly*): Método onde os átomos ou moléculas organizam-se de forma autônoma por meio de interações físicas ou químicas, construindo assim nanoestruturas ordenadas. Diversos sais em formas de cristais são obtidos por esta técnica;
- c) Montagem determinada (*positional assembly*): Neste método, os átomos e moléculas, ou agrupamentos (*clusters*) são deliberadamente

⁶⁹ Para Whatmore (2001) a técnica *top-down* possui uma abordagem de engenharia e tende a produzir estruturas regulares e bem-definidas. Por outro lado, a técnica *bottom-up* possui uma abordagem química e biológica que procura construir entidades mais complexas.

manipulados e posicionados em determinada ordem, um por um. Técnicas como SPM (*Scanning Probe Microscopy*)⁷⁰ e pinças óticas no espaço livre (*optical tweezers*) são utilizadas para isso. Esta técnica é bastante laboriosa e não é adequada como um processo industrial na escala atômica.

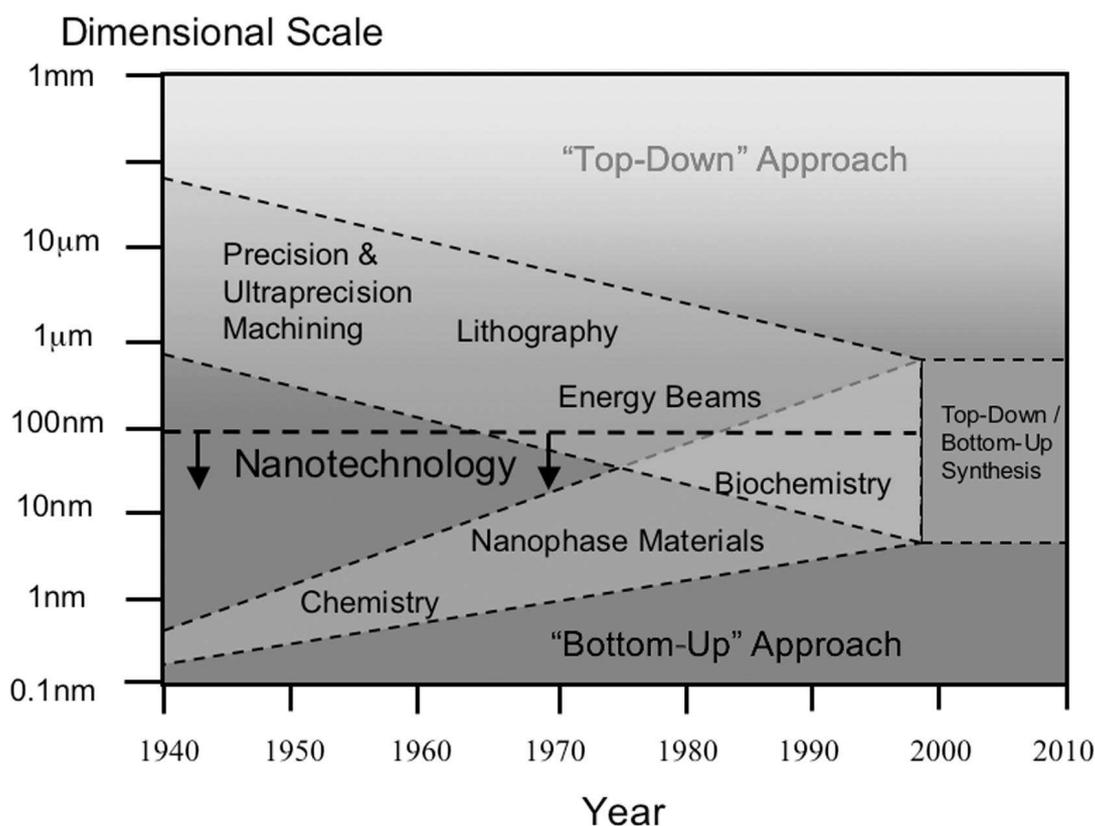
Na técnica *top-down*, o objetivo é produzir algo em menor escala que o original e com maior capacidade de processamento de informações (miniaturização), por exemplo, em um *chip*. Os principais métodos de manipulação na técnica *top-down* são (INSTITUTO INOVAÇÃO, 2005):

- a) Fotolitografia: Nesta técnica, o material a ser trabalhado é recoberto com uma camada de material fotossensível. Neste material é aplicado uma “máscara” com furos nanométricos. Em seguida, aplica-se luz ultravioleta. O material fotossensível sofre alterações químicas nos pontos predeterminados, permitindo trabalhar com o material que foi recoberto. Uma limitação deste processo é que ele não permite que se trabalhe com partículas muito menores do que 100 nm. É uma técnica muito utilizada na fabricação de microprocessadores.
- b) Nanolitografia de raios de elétrons: Este método utiliza raios de elétrons para alterar o material. Contudo, trata-se de um método demorado e que utiliza maquinário de alto custo. Ainda não pode ser utilizado para produção em massa.
- c) Nanolitografia de raios de íons: Método similar a nanolitografia de raios de elétrons. A diferença é que os íons interagem química e fisicamente com o material, permitindo a construção de materiais com novas propriedades.

Atualmente já se fala na convergência das duas técnicas. A figura 4 ilustra a evolução de ambas as abordagens no tempo e a forma que as variedades dimensionais endereçadas por cada uma delas estão se sobrepondo (WHATMORE, 2001).

⁷⁰ Termo coletivo que engloba novas tecnologias de microscopia desenvolvidas, sendo as mais populares o Microscópio de Varredura de Tunelamento Eletrônico (*Scanning Tunneling Microscope – STM*) e o Microscópio de Força Atômica (*Atomic Force Microscope – AFM*).

Figura 4 – Convergência das Técnicas de produção *top-down* e *bottom-up*



Fonte: Whatmore (2001).

Por um lado, a abordagem *top-down* mostra o desenvolvimento da precisão dos artefatos até o final do século XX. Por outro lado, a abordagem *bottom-up* mostra como que os processos evoluíram no sentido de controlar estruturas cada vez menores através de avanços no processamento químico. Segundo Royal Society (2004), “*the dimensions that can be controlled by either approach are of similar order, and this is leading to exciting new hybrid methods of manufacture*”.

A partir dessas técnicas a compreensão acerca da diferença entre nanociência e nanotecnologia se torna mais clara.

2.1.3 - Nanociência e nanotecnologia

A segunda maneira de se apresentar a nanotecnologia parte da distinção entre nanociência e nanotecnologia. Ainda que elas se confundam em diversas situações, esta diferenciação é particularmente importante neste trabalho, uma vez que, como será

argumentado, ela reflete no desenho e nos resultados esperados das políticas de inovação para a nanotecnologia no Brasil.

Deste modo, os termos nanociência e nanotecnologia se referem, respectivamente, ao estudo e às aplicações tecnológicas de objetos e dispositivos que tenham ao menos uma de suas dimensões físicas menor que, ou da ordem de, algumas dezenas de nanômetros. De acordo com Royal Society (2004):

Nanoscience is the study of phenomena and manipulation of materials at atomic, molecular and macromolecular scales, where properties differ significantly from those at a larger scale.

Nanotechnologies are the design, characterization, production and application of structures, devices and systems by controlling shape and size at nanometer scale.

Segundo Metha (2002), nanotecnologia é um termo “guarda-chuva” para uma ampla diversidade de tecnologias. Espera-se que a nanotecnologia surja das descobertas da nanociência. Ela representa a convergência da física quântica, biologia molecular, ciência da computação, química e engenharia. As inovações advindas da nanociência costumam ser comercializadas à medida que o controle sobre a construção de átomos e das moléculas melhoram. Da mesma forma que os computadores analisam e distribuem dados num formato binário (0,1), a nanotecnologia trata da construção de novos materiais (orgânicos e inorgânicos) ao tratar átomos e moléculas como blocos de construção.

Nanociência e nanotecnologia são vistas como genuinamente interdisciplinares, induzindo a colaboração entre pesquisadores em, até então, diferentes áreas para compartilhar conhecimento, ferramentas e técnicas, possuindo um enorme potencial em diversas áreas de pesquisa científica (física, química, ciências de materiais, biologia, engenharia) e aplicações tecnológicas (saúde e ciências da vida, energia e meio-ambiente, eletrônica, comunicação e computação, manufatura e materiais).

Essa distinção entre ciência e tecnologia é importante na discussão da nanotecnologia no atual estágio em que se encontra o conhecimento científico que a torna possível e o que, de fato, já se desenvolveu a partir desse conhecimento. Em outras palavras, essa distinção é importante para diferenciar o que é possível (em termos de conhecimento científico) do que é factível e/ou provável (em termos de tecnologia).

Segundo Hall (2005, p.35), “*both science and engineering involve the discovery of natural law and its application to the real world. The difference is that the scientist is trying to discover the most general law possible, applicable to any situation, while the*

engineer is trying to discover recipes to build machines that work in exactly one situation: when built as specified”.

Nesse sentido, a nanociência está preocupada em compreender os efeitos e influência das (novas) propriedades do material na nanoescala, enquanto as nanotecnologias buscam explorar esses efeitos para criar estruturas, dispositivos e sistemas com novas propriedades e funções devido ao seu tamanho.

Assim, na escala nanométrica, elementos e produtos não são apenas menores, mas mudam suas propriedades (ver item 2.3). Através do controle do tamanho e da forma dos nano-objetos, as nanotecnologias aproveitam essas mudanças de propriedades na escala nanométrica para a preparação de novos dispositivos tecnológicos com finalidades específicas.

Nesse sentido, a nanotecnologia se torna uma poderosa tecnologia transformadora, e é crucial que se entenda de onde ela vem e para onde está indo (Drexler, 1987) ou, pelo menos, aonde se quer chegar com ela.

2.2 – Histórico do desenvolvimento da nanotecnologia

As raízes da teoria atômica encontram-se nos tempos da Grécia Antiga com Leucipo de Mileto, considerado o mestre do filósofo grego Demócrito de Abdera, considerado o maior expoente da teoria atômica. No entanto, ainda que não haja certeza se a teoria foi concebida por ele ou por Leucipo de Mileto, parece não haver dúvidas de ter sido Demócrito quem de fato sistematizou o pensamento e a teoria atomista, segundo a qual, tudo o que existe é composto por elementos indivisíveis chamados átomos.

Seja como for, eles desenvolveram o conceito dos elementos como substâncias básicas das quais todas as formas de matéria podem ser construídas. Acreditava-se que quando os quatro maiores elementos (terra, fogo, ar e água) eram combinados em proporções corretas, eram capazes de produzir todas as demais substâncias. A idéia de que os elementos são os ‘blocos de construção’ da matéria é consistente com o conhecimento que possuímos hoje, com a diferença de que sabemos atualmente que existem diferentes elementos que compõem toda a matéria na Terra. Isso inclui alguns elementos que não existem naturalmente, mas que foram feitos nos laboratórios (WILSON *et. al.*, 2002).

Os gregos acreditavam que a matéria podia ser dividida infinitamente, mas tal hipótese não estava baseada em resultados de experimentos científicos. Foi apenas em

1807 que o professor inglês John Dalton (1766-1844) recuperou o conceito de átomos e propôs uma teoria atômica baseada em fatos e evidência experimental. A essência da teoria se manifestava nos seguintes postulados, conhecidos como Leis Ponderais de Dalton (WILSON *et al.*, 2002):

- Os elementos são compostos por partículas indivisíveis chamadas átomos;
- Todos os átomos de um dado elemento são idênticos⁷¹; os átomos de elementos diferentes são diferentes de alguma maneira fundamental;
- Os compostos químicos são formados quando os átomos se combinam entre si. Um dado composto sempre tem o mesmo número relativo e tipos de átomos;
- As reações químicas implicam remanejamentos de átomos de um conjunto de combinações para outro. Os átomos em si não se modificam na reação química.

A teoria atômica de Dalton foi o marco inicial no desenvolvimento da química. A maioria das premissas de sua teoria ainda é válida, no entanto, algumas de suas afirmações foram modificadas para acomodar novas observações que foram feitas ao longo do tempo.

Apesar de todos os avanços do conhecimento na primeira metade do século XX, o marco inicial considerado como o momento definidor das nanociências e nanotecnologias como atividade científica foi associado à palestra do físico americano Richard Feynman, em 1959, realizada no Instituto de Tecnologia da Califórnia (Caltech), intitulada “*There’s Plenty of Room at the Bottom*”. Nela, Feynman sugeriu que o homem conseguiria manipular objetos de dimensões atômicas e assim construir estruturas de dimensões nanométricas, dizendo que a principal barreira para a manipulação em escala nanométrica era a impossibilidade de vê-la: “*Is there no way to make the electron microscope more powerful?*” (FEYNMAN, 1959).

Ainda assim, o termo ‘nanotecnologia’ não havia sido utilizado até 1974 quando Norio Taniguchi, um pesquisador da Universidade de Tóquio (Japão), o utilizou para referir à habilidade de construir materiais precisamente ao nível do nanômetro.

⁷¹ O que já se sabe ser incorreto.

A barreira para a visualização na escala nanométrica foi quebrada apenas em 1981 quando dois físicos da IBM de Zurich, Gerd Binnig e Heinrich Rohrer, conseguiram a patente do Microscópio Eletrônico de Tunelamento de Varredura (*Scanning Tunneling Microscope – STM*) que permitiu, a partir de então, a visualização de imagens em escala nanométrica. A partir desse microscópio foi desenvolvido, em 1986, o Microscópio de Força Atômica (*Atomic Force Microscope – AFM*), compondo a Microscopia Eletrônica de Varredura por Sonda (*Scanning Probe Microscopy – SPM*), permitindo, então, a visualização e manipulação de átomos e moléculas (Box 1).

Box 1: Microscopia de Varredura por Sonda (SPM)

A **Microscopia de Tunelamento de Varredura (STM)** se baseia no princípio da Mecânica Quântica do comportamento do elétron, que ora se comporta como partícula, ora como onda. Dessa forma, ele pode penetrar em locais que antes não seria possível. A partir de uma tensão elétrica entre a agulha de tungstênio e a superfície analisada, aumenta-se a probabilidade de transferência de elétrons, pois esta proximidade permite que os elétrons da agulha sejam tunelados para a amostra. Assim, essa agulha se move sobre a superfície da amostra, fazendo uma varredura sobre ele, gerando uma corrente elétrica capaz de levantar a topografia dos átomos, permite a visualização de superfícies em nível atômico. Dessa forma, pode-se, por exemplo, analisar a topografia de materiais condutores ou semicondutores com resolução atômica. Além disso, o STM permite que a análise seja feita em câmara de ultra-vácuo com facilidades para crescimento e análise de nanoestruturas, superfícies e filmes finos. Como STM não apenas a visualização de átomos e moléculas tornou-se possível, mas também sua medição e manipulação.

Junto a STM, a **Microscopia de Força Atômica (AFM)** faz parte da Microscopia de Varredura por Sonda (SPM) de altíssima resolução capaz de apresentar resolução na ordem de frações de um nanômetro, o que a torna um instrumento essencial para gerar imagem, mensurar e manipular matéria na escala nanométrica. A AFM gera uma imagem topológica ao mover-se sistematicamente uma ponta bem afiada presa no vértice de uma ‘viga suspensa’ sobre a superfície que contenha uma mostra preparada. À medida que a ponta localiza a superfície, a força entre esta ponta e a superfície leva a viga a torcer. Um dispositivo chamado alavanca óptica mede o quanto esta viga se moveu. Esta técnica permite, por exemplo, a topografia da superfície de materiais condutores e isolantes em escala nanométrica, incluindo biomoléculas, polímeros e filmes finos. Além disso, permite a espectroscopia e mapeamento de forças caracterizando propriedades de superfície e interface.

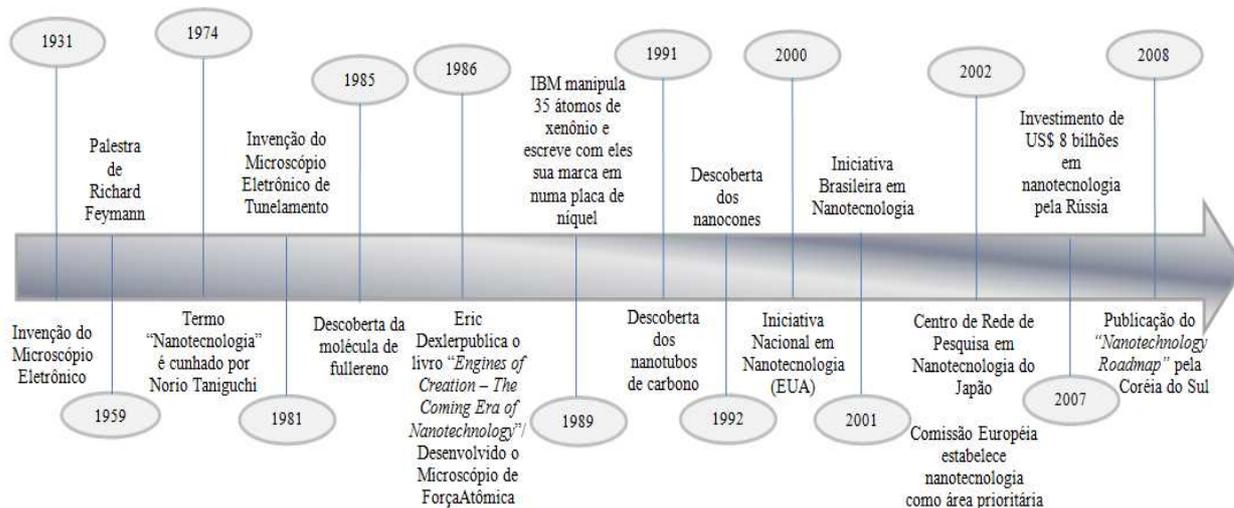
Fonte: Elaboração própria com base em Wilson *et al.* (2005); Divisão de Metrologia de Materiais (INMETRO); Consulta internet.

Estas ferramentas usam sondas para projetar imagens em uma superfície com resolução atômica, e também são capazes de coletar, ‘deslizar’ e arrastar átomos ou moléculas pelas superfícies para construir nanoestruturas rudimentares. Num famoso experimento ocorrido em 1989, Don Eigler e Erhard Schweizer da IBM manipularam xenônio (Xe) sob uma superfície de níquel para escrever o logo da empresa, um laborioso processo que tomou um dia inteiro sob condições bem controladas.

Outra descoberta importante para a nanotecnologia foi o nanotubo de carbono, em 1991, por Sumio Iijima no Japão. Os nanotubos de carbono são estruturas cilíndricas formadas por átomos de carbono que, além de possuírem alta resistência a

ruptura, são bons condutores. Considerado revolucionário por suas características, pode ser aplicado a diversos setores industriais.

Figura 5 – Marcos Históricos da Nanotecnologia



Fonte: Elaboração própria adaptado de Instituto Inovação (2005)

Todas essas descobertas foram bastante importantes para trazer a nanotecnologia para o foco da discussão, culminando no lançamento da Iniciativa Nacional da Nanotecnologia (*National Nanotechnology Initiative – NNI*), em 2000, no Instituto de Tecnologia da Califórnia (Caltech), que proporcionou investimentos na ordem de US\$ 495 milhões, dando grande visibilidade a esse campo de pesquisa (ABDI, 2010a).

Muitas promessas foram realizadas ao longo dessa última década com relação às aplicações da nanotecnologia. No entanto, há de se levar em consideração que muito do que é propagado não considera alguns aspectos relevantes para o mundo quântico (SANTOS, 2008). Nesse sentido, uma questão de grande relevância é em relação às propriedades na escala nanométrica.

2.3 – Novas propriedades no nível atômico: revelando potenciais de inovação

Geralmente, quando se fala em nanotecnologia, a classificação de tamanho que atrai interesse é aquela menor a 100 nm até o nível atômico (aproximadamente 0,2 nm), porque é neste nível que os materiais podem ter propriedades diferentes e reforçadas se comparadas com os mesmos materiais numa escala maior. As duas principais razões para tais mudanças no comportamento são: i) crescente área de superfície relativa; e ii) dominância de efeitos quânticos.

Um aumento na área de superfície (por unidade de massa) resultará num aumento correspondente na reatividade química, fazendo com que alguns nanomateriais sejam úteis como catalisadores para melhorar a eficiência de células combustíveis e baterias. À medida que o tamanho da matéria é reduzido a dezenas de nanômetros ou menos, os efeitos quânticos podem começar a desempenhar um papel, e estes podem mudar significativamente as propriedades óticas, magnéticas ou elétricas dos materiais⁷².

Em alguns casos, as propriedades dependentes do tamanho têm sido exploradas há séculos. Por exemplo, as partículas de ouro e prata (partículas com diâmetro menor do que 100 nm) têm sido utilizadas como pigmentos coloridos em vitrais e cerâmicas desde o século X. Dependendo do seu tamanho, partículas de ouro podem parecer vermelha, azul ou dourada na coloração. O desafio de antigos alquimistas era tornar todas as nanopartículas do mesmo tamanho (e também da mesma cor). A produção de nanopartículas de um único tamanho ainda é um desafio na atualidade.

Mesmo não sendo, até então, possível a visualização e manipulação ao nível atômico, o próprio Feynman (1959) já falava das diferentes propriedades na nanoescala:

“When we get to the very, very small world (...), we have a lot of new things that would happen that represent completely new opportunities for design. Atoms on a small scale behave like nothing on a large scale, for they satisfy the laws of quantum mechanics”.

Em outra passagem diz:

“At the atomic level, we have new kinds of forces and new kinds of possibilities, new kinds of effects. The problems of manufacture and reproduction of materials will be quite different”.

Vejamos alguns exemplos. Os nanotubos de carbono são materiais na fronteira entre a física mesoscópica e a nanofísica. São tubos de carbono com um diâmetro compreendido entre alguns nanômetros e algumas dezenas de nanômetros. Seu comprimento alcança às vezes vários micrometros. São formados por folhas de grafite

⁷² Por exemplo, uma partícula de tamanho 30 nm possui 5% de seus átomos na sua superfície; a 10nm 20% dos átomos; e a 3nm 50% dos seus átomos.

enrolados em si mesmas, como rolos de uma grade. Suscitam um grande entusiasmo, pois são muito sólidos, condutores ou semicondutores, dependendo do caso, e apresentam uma condutividade térmica elevada. Pesquisas vêm sendo realizadas para que sejam utilizados como condutor elétrico ou como canal de novos tipos de transistores⁷³. Eles contêm muitos elétrons, e, como seu comprimento é grande em relação a seu segmento, a corrente elétrica que circula por ele tem um comportamento clássico: a lei de Ohm se aplica, ou seja, sua intensidade é inversamente proporcional à resistência elétrica do fio, o que significa que os elétrons circulam menos facilmente num fio que apresenta uma forte resistência. Assim, quanto mais estreito o fio, mais elevada à resistência. Os elétrons progredem então com mais dificuldade num fio estreito. Entretanto, quando o segmento de um fio metálico atinge algumas dezenas de nanômetros, um interessante efeito aparece: a resistência não aumenta mais continuamente quando o segmento diminui, como acontecia antes. Ela aumenta por “saltos”: enquanto o segmento do fio diminui, ela permanece constante, depois, subitamente, ela aumenta, e assim por diante, cada degrau correspondendo a um “quantum” elementar de resistência (JOACHIM E PLÉVERT, 2008).

Com o advento da microscopia de tunelamento, os átomos passaram a poder ser “controlados” e manipulados, desde que a agulha do microscópio esteja a uma distância menor que 0,2 nm acima do átomo, o que garante sua interação com ele, alterando sua interação com a superfície. Assim, o átomo “cai em uma armadilha”, e essa armadilha se desloca quando a agulha do microscópio de tunelamento se desloca. Essa técnica, portanto, permite a manipulação de átomo por átomo (*bottom-up*).

Dessa forma, diversas possibilidades de aplicações para a construção a partir do nível atômico tornam-se, em teoria, possíveis. Esse entendimento das novas propriedades dos materiais abre espaço não apenas para a manipulação a partir do átomo, como também possibilita o inverso, ou seja, o processo de miniaturização, uma vez que permite entender até que ponto é possível obter as mesmas funcionalidades em dispositivos cada vez menores.

⁷³ “Carbon nanotubes (CNTs) are extended tubes of rolled grapheme sheets, single-walled and multi-walled types. CNTs have assumed an important role in the context of nanomaterials, because of their novel chemical, physical and electrical properties. They are mechanically very strong as stiff as diamond, flexible about their axis and can conduct electricity extremely well (...)” (MIYAZAKI E ISLAM, 2007, p.661). “Further, nanotubes have a current carrying capacity of one billion amps per square centimeter while copper wires burn out at one million amps per square centimeter. They also have more than 20 times the tensile strength of high-steel alloys, but are lighter than aluminum. Finally, it is estimated that nanotubes can transmit nearly twice as much heat as pure diamond and are likely to remain stable in higher temperatures than metal wires” (MILLER et al., 2005, p.18).

Em áreas relacionadas aos eletrônicos, optoeletrônicos e das tecnologias de informação e comunicação (TICs), a tendência para a utilização de uma das técnicas de produção, a miniaturização (*top-down*) é bastante aparente. A nanociência envolvida nesta área apresenta os mesmos objetivos das demais aplicações da nanotecnologia, quais sejam, um maior entendimento das propriedades dos materiais e dispositivos na nanoescala, e avanços na fabricação e processo de tecnologia para satisfazer crescentes e rigorosas tolerâncias dimensionais, além, é claro, da exploração de tecnologias alternativas que possam oferecer benefícios econômicos e maior desempenho.

Na bionanotecnologia e nanomedicina, as mais complexas e funcionais máquinas na nanoescala que conhecemos estão naturalmente ocorrendo nos conjuntos moleculares que regulam e controlam os sistemas biológicos. A bionanotecnologia está preocupada com as propriedades na escala molecular e com as aplicações das nanoestruturas biológicas e, como tal, se situa na interface entre as ciências químicas, biológicas e físicas. Ao utilizar técnicas e processos de nanofabricação de auto-agrupamento molecular, a bionanotecnologia possibilita a produção de materiais e dispositivos incluindo tecidos e armações celulares (*cellular engineering scaffolds*), motores moleculares, e biomoléculas para sensores, transporte de medicamento (*drug delivery*) e aplicações mecânicas.

Nesse sentido, como ressaltado, a nanociência está preocupada em compreender os efeitos e influência das propriedades do material. As nanotecnologias, por sua vez, buscam explorar esses efeitos para criar estruturas, dispositivos e sistemas com novas propriedades e funções.

Por conseguinte, as possibilidades de inovação a partir das nanotecnologias estão relacionadas às novas combinações de elementos já existentes associados à manipulação e combinação de átomos e moléculas de diversas maneiras, desde que não viole as leis da Física. A inovação em nanotecnologia pode estar relacionada a novas maneiras de se produzir e/ou, essencialmente, melhorar produtos já existentes. Se, por um lado, a inovação pode redefinir a forma de se produzir um produto já existente, e ao fazer isso cria-se um paradigma de tecnologia de produto novo ou superior, esta inovação é dita desestruturante (*disruptive*). Este tipo de inovação é mais provável de ocorrer a partir da técnica *bottom-up*⁷⁴. Por outro lado, se a inovação se sustenta no paradigma de tecnologia de produto corrente, a inovação é evolucionária. Neste caso, a técnica *top-*

⁷⁴ A técnica *Bottom-up* ainda se defronta com diversos gargalhos, especialmente ao se considerar o relação custo-eficiência de escala de algumas das técnicas para uso industrial (OECD, 2010).

down é essencialmente uma continuação incremental das trajetórias de P&D na Física. Esta natureza revolucionária vs. evolucionária é uma característica fundamental no processo de política (ROMIG *et al.*, 2007).

Conseqüentemente, a nanotecnologia pode possibilitar tanto inovações incrementais quanto descontínuas. Elas podem ter grande impacto nas empresas à medida que requerem novas competências que podem até mesmo romper com as competências nelas existente. Esta situação traz para discussão a importância da formação de competências nas diferentes nanotecnologias, bem com o papel das empresas novas e estabelecidas no âmbito das descontinuidades tecnológicas, e como essas empresas administram o conhecimento e recursos. Como a técnica *top-down* está relacionada a aspectos incrementais, as empresas já estabelecidas podem ser favorecidas, enquanto a técnica *bottom-up* pode abrir espaço para a entrada de novas empresas, mais relacionadas com aspectos de descontinuidade (OECD, 2010).

Para Martins (2008), são exatamente esses comportamentos distintos referidos que interessam diretamente ao processo industrial em curso, uma vez que proporciona avanços incrementais na elaboração de produtos já conhecidos e aponta também para a introdução de novos produtos. A próxima seção abordará alguns desses aspectos relacionadas à economia da nanotecnologia.

2.4 – A economia da nanotecnologia: percepções teóricas e analíticas

Nas diferentes eras relacionadas às inovações tecnológicas normalmente surgem tecnologias-chave que têm funções essenciais na geração e difusão de inovações em diversos campos. Essas inovações podem ser incrementais ou radicais. Em geral, são as inovações radicais que impulsionam as incrementais em áreas complementares, introduzindo, assim, efeitos econômicos e sociais de amplo alcance, trazendo consigo uma série de inovações complementares, tecnológicas e organizacionais. Quando as novas tecnologias têm o potencial de ampla utilização, elas são chamadas de Tecnologias de Propósito Geral (OTT *et al.*, 2009). Uma vez difundidas no sistema econômico, elas funcionam como “motores do crescimento” durante um longo período de tempo (PALMBERG E NIKULAINEN, 2006).

Tendo o potencial de afetar diversos setores da economia, essas tecnologias geralmente estão relacionadas a distintos campos do conhecimento científico e técnicas de produção, o que as caracterizam como um conjunto de tecnologias

multidisciplinares. Nesse contexto, distintas empresas estão relacionadas à produção e difusão dessas novas tecnologias. Esta seção busca trazer algumas questões teóricas e analíticas da economia da ‘mudança nanotecnológica’ que podem ser importantes para a compreensão da natureza e difusão das nanotecnologias.

2.4.1 - A nanotecnologia como uma tecnologia de propósito geral

Uma tecnologia de propósito geral (TPG) é um termo utilizado para descrever uma tecnologia que tem como principal característica afetar e se espalhar por todo o sistema econômico. Essas tecnologias possuem um amplo leque de aplicações que muitas vezes afetam as condições de produção e distribuição em todos, ou quase todos, os setores da economia.

Segundo Palmberg e Nikulainen (2006, p.10), “*a General Purpose Technology consists of a basic ‘breakthrough’ technology that is dependent on a range of complementary incremental technological and organisational innovations for its diffusion and ultimate effects*”. Essas tecnologias surgem de forma aparentemente exógenas e se tornam endógenas ao sistema econômico através da difusão e uso por parte das empresas e indústrias à medida que inovações incrementais aparecem. Os exemplos mais marcantes são a energia à vapor, a eletricidade, a combustão interna e, mais recentemente, as tecnologias de informação e comunicação.

Para alguns autores, algumas características fundamentais das TPG podem ser descritas como (HELPMAN E TRAJTENBERG, 1994; BRESNAHAN E TRAJTENBERG, 1996):

- i. Difusibilidade (*pervasiveness*): Uma TPG deve se espalhar nos setores;
- ii. Melhoramento (*improvement*): Uma TPG deve apresentar melhorias com o tempo, de modo que reduza os custos para seus usuários;
- iii. Divulgação das inovações (*innovation spawning*): Uma TPG deve facilitar a invenção e produção de novos produtos e processos.

Essas características também aparecem em Lipsey *et al.* (1998) quando identificam quatro critérios para identificar uma TPG. Em primeiro lugar, uma TPG tem que ter significativo **espaço para melhorias** ao longo de dimensões economicamente

relevantes, de modo que seus custos de operação caiam ao longo do tempo⁷⁵. Relacionado a isso, o segundo critério é que uma TPG tenha uma ampla **variedade de usuários** à medida que se desenvolve e seus custos caiam. Em outras palavras, ela encontra aplicação em uma variedade crescente de produtos e processos em diferentes setores da economia. Terceiro, deve haver uma considerável **variedade de diferentes usos** no sentido de que uma grande proporção da atividade produtiva na economia use a tecnologia. Por fim, ela deve provocar uma série de outras **novas tecnologias e inovações complementares**.

Dessa forma, ainda não é possível afirmar categoricamente que a nanotecnologia seja, de fato, uma tecnologia de propósito geral, principalmente devido ao fato de ainda estar nas suas fases iniciais. No entanto, espera-se que a nanotecnologia afete significativamente a economia e a sociedade nas próximas décadas.

Atualmente a nanotecnologia está aberta a uma infinidade de usos, impactando diversas áreas da economia e da sociedade, além de já estar embutida (*embedded*) em diversos produtos.

Diversas áreas e aplicações já foram identificadas associadas às nanotecnologias, o que as conferem um forte caráter difusivo (*pervasiveness*). Hullmann (2007) argumenta que, ao analisar cada subárea, é fácil perceber como a nanotecnologia **melhora** produtos e processos já existentes, além de facilitar o desenvolvimento de novos. Por exemplo, os nanomateriais podem ter grande influência em áreas onde os materiais possuam um papel de destaque, tão logo seu desenvolvimento em larga escala seja economicamente viável. A nanoeletrônica tem um importante impacto nas tecnologias de informação e comunicação ao aumentar consideravelmente a capacidade de armazenamento e processamento. A nanobiotecnologia terá importante papel na medicina, farmacêutica e diagnóstico, nos processos industriais, agricultura e indústria alimentícia. As nanoferramentas são nanotecnologias que possibilitam que novas

⁷⁵ Um exemplo pode ser encontrado em Invernizzi (2011, p. 2255): “*The rapid increase in the number of companies and their production capacity shows, on the one hand, a dynamic market for these key nanomaterials, and therefore a growing incorporation of them into several intermediate and final products. On the other hand, (...) the rapid increase in production capacity by companies is a signal that industry is gaining precision control over nanoscale processes. This, in turn, has effects on prices, decreasing the cost of nanomaterials, a condition for further diffusion. Just a few years ago, nanotubes were sold for over US\$ 1,000 per gram. Although there is more demand than there is product available, increased productivity has dropped prices, and today single-walled nanotubes are available between 95 and 200 dollars per gram, and multi-walled nanotubes’ price ranges from US\$ 5-15 per gram, depending on their purity*”.

tecnologias sejam desenvolvidas, por exemplo, no desenvolvimento de microscópios eletrônicos e máquinas de alta-precisão.

Longe de ser considerado um indicador consistente de inovação, Youtie *et al.* (2008) apontam que a contagem do número de patentes no ano (crescimento no tempo) e/ou patentes por classificação de patentes (apontando sua crescente diversificação), apesar das limitações, é comumente utilizada para se argumentar que a nanotecnologia é uma tecnologia de propósito geral.

O quadro 5 mostra a taxa média de crescimento anual dos principais temas da nanotecnologia, assim como o número de patentes concedidas pelo USPTO (*United States Patent and Trademark Office*) no período 1981-2006.

O crescimento anual das patentes relacionadas à nanotecnologia como um todo foi de 12,9% no período, dobrando o número de patentes num período pouco inferior a seis anos. Já o crescimento das patentes gerais do USPTO no período foi exatamente três vezes menor (4,3%) do que o relacionado às nanotecnologias, demorando pouco mais de 16 anos para dobrar o número de patentes concedidas.

Todos os temas relacionados à nanotecnologia tiveram uma taxa de crescimento parecida ao campo da nanotecnologia como um todo. O único cuja taxa de crescimento foi apenas um pouco inferior foi medicina e biologia (12,3%).

Quadro 5 – Taxa Média de Crescimento Anual do Número de Patentes Americanas nos Principais Temas de Nanotecnologia: 1981-2006

Tema	Patentes concedidas	Crescimento anual (%)	Tempo em que dobra o nº de patentes concedidas (anos)
Materiais	7.132	17	4,4
Eletrônica e Informática	5.502	16,5	4,5
NEMS*	742	16,4	4,6
Meio Ambiente	143	14,1	5,3
Metrologia	2.372	13,9	5,3
Ótica e fotônica	5.800	13,9	5,3
Energia	833	12,9	5,7
Medicina e Biologia	6.950	12,3	6,0
Nanotecnologia	19.305	12,9	5,7
USPTO	2.894.359	4,3	16,3

* *Nanoelectromechanical Systems* (Sistemas Nano Eletromecânico).

Fonte: Science-Metrix (2008); ABDI & CGEE (2010a).

Wong *et al.* (2007) apresentam o crescimento médio anual das patentes em nanotecnologia em comparação com as demais patentes concedidas pelo USPTO no período entre 1976 e 2004. Segundo os autores, o crescimento anual das patentes de nanotecnologia no período pré-1990 foi de 24,1%, portanto, bastante superior ao

crescimento das demais patentes (2,4%), apesar de poucas patentes de nanotecnologia ter sido concedida no período. Foi apenas a partir de 1990 que o número de patentes começou a crescer significativamente. Em 1992, mais de cem patentes foram concedidas, com uma produção anual sempre em ascensão, atingindo 1183 patentes em 2003.

Assim, a taxa de crescimento das patentes em nanotecnologia há anos vem sendo maior do que a taxa das demais patentes, principalmente no período 2000-2004, quando cresceu a uma taxa mais de vinte vezes às demais patentes. Como resultado, a participação das patentes de nanotecnologia no total de patentes cresceu de 0,19% nos anos 1990 para 0,45% entre 2000 e 2004 (quadro 6).

É interessante ressaltar que o maior crescimento das patentes em nanotecnologia a partir da década de 1990 ocorre no momento de importantes descobertas tecnológicas ocorridas pouco antes como o Microscópio de Varredura de Tunelamento Eletrônico (*Scanning Tunneling Microscope* – STM) em 1981 e o Microscópio de Força Atômica (*Atomic Force Microscope* – AFM) em 1986. Somam-se a isso, as técnicas de manipular átomos sob superfície (1990), a descoberta dos nanotubos de carbono (1991) e dos nanocones (1992), por exemplo.

Quadro 6 – Comparação das Patentes Relacionadas à Nanotecnologia vs. Demais

	Nanotecnologia	Demais patentes
Crescimento médio anual de patentes (%)		
Taxa de crescimento 1976-1989	24,1	2,4
Taxa de crescimento 1990-1999	30,0	6,1
Taxa de crescimento 2000-2004	16,5	0,7
Participação no total de patentes (%)		
1976-1989	0,02	-
1990-1999	0,19	-
2000-2004	0,45	-

Fonte: Adaptado de Wong *et al.* (2007).

É importante ressaltar que o exame do crescimento das patentes está longe de ser um indicativo robusto para a análise da difusão de uma TPG no tempo. Ela é apenas um indicativo interessante, sobretudo, no início desse processo; contudo, não se sustenta no tempo. Quando a TPG em questão apresenta os primeiros indicativos de seu potencial, é normal que haja um interesse maior em tentar “proteger” as novas descobertas. Nesse momento, a taxa de crescimento das patentes das novas tecnologias, comparadas às

demais, aponta um grande interesse pelas novas tecnologias. Entretanto, o próprio processo de patenteamento pode atrapalhar o desenvolvimento e difusão das novas tecnologias. Nesse sentido, a redução do crescimento do número de patentes não significa que a nova tecnologia seja desinteressante. Pelo contrário, os atores simplesmente podem ter encontrado novas formas de proteger suas descobertas sem atrapalhar a difusão na nova TPG.

À medida que novas versões da TPG se tornam disponíveis, elas vão sendo aos poucos adotadas por um número crescente de setores que, por sua vez, são acompanhadas por maiores avanços, aumentando a atratividade para mais aplicações. Assim, há um aumento na demanda pela nova TPG, induzindo melhoramentos desta TPG que, então, induz um novo ciclo de avanços nos setores de aplicação, e assim por diante. Conforme esses efeitos se tornam significativos no nível agregado, a TPG finalmente afeta o crescimento de forma abrangente (OTT *et al.*, 2009). É o que se espera ocorrer com a nanotecnologia num futuro próximo⁷⁶.

Deste modo, Freeman (2003, p.5) destaca que *“in this perspective it is perhaps not surprising that both policy-makers and visionary scientists are sometimes engaged in trying to identify the next great “general purpose technology” which should be promoted in good time in order to keep pace with world development or even gain an early lead in world competition”*. É nesse contexto que novas políticas se tornam necessárias para auxiliar este conjunto de novas (nano)tecnologias se tornarem TPG incipientes.

2.4.2 - A multidisciplinaridade da nanociência e nanotecnologia: tecnologias baseadas na ciência

Viu-se que a nanociência e a nanotecnologia se referem, respectivamente, ao estudo e às aplicações tecnológicas de objetos e dispositivos que tenham ao menos uma de suas dimensões físicas menores que, ou da ordem de, algumas dezenas de nanômetros. Nanociência e nanotecnologia são vistas como genuinamente interdisciplinares, induzindo a colaboração entre pesquisadores em, até então, diferentes áreas para compartilhar conhecimento, ferramentas e técnicas, possuindo um enorme

⁷⁶ *“Nanotechnology has yet to make its presence felt as a GPT but its potential is so obvious and developing so quickly that we are willing to accept that it is on its way to being one of the most pervasive GPTs of the 21st century”* (LIPSEY *et al.*, 2005, p.132).

potencial em diversas áreas de pesquisa científica (física, química, ciências de materiais, biologia, engenharia) e aplicações tecnológicas (saúde e ciências da vida, energia e meio-ambiente, eletrônica, comunicação e computação, manufatura e materiais).

Meyer-Krahmer (1997) argumenta que as tecnologias emergentes do século XXI, como as nanotecnologias, não podem ser separadas segundo as disciplinas convencionais. A formação de suas bases de conhecimento é crescentemente multi- e interdisciplinar. Essas novas tecnologias não se encaixam na lógica de resolução de problemas baseada na especialização que caracteriza as ciências modernas, onde as disciplinas científicas estão embebidas (*embedded*) nos paradigmas que condicionam a maneira de pensar, legitimar as práticas e reger as atividades científicas (POPPER, 1970; KUHN, 1970). Quando uma nova disciplina surge dentro de um novo paradigma, testemunha-se a criação de novos campos de estudo inteiramente dedicados à nova disciplina e novas aplicações. Entretanto, a nanotecnologia parece contrariar esse esquema ao integrar múltiplas disciplinas científicas em torno de uma mesma tecnologia. Dessa forma, atravessar as barreiras científicas significa enfrentar outros métodos, práticas e formas de pensar (BATTARD, 2012). Nesse sentido, a nanotecnologia é em si um novo paradigma.

Deste modo, salienta-se a importância de atividades que promovam a melhoria da comunicação entre as diferentes disciplinas. Essas atividades expressam a necessidade de cooperação entre cientistas em diferentes instituições. Tais atividades cooperativas além das fronteiras das diferentes disciplinas são geralmente resumidas sob o título de ‘interdisciplinaridade’. E o objetivo comum desta forma de atividade de cooperação científica é revelar as principais similaridades e diferenças (MEYER-KRAHMER, 1997).

No caso das nanotecnologias, esta interação e convergência se mostram bastante evidentes. A nanotecnologia biomédica, apenas para dar um exemplo, é capaz de construir partículas combinando materiais inorgânicos e orgânicos, produzindo avanços no diagnóstico, terapêutica, biologia molecular e bioengenharia (LACAVA E MORAIS, 2004). Requer, portanto, domínio e interação da física, química, biologia e engenharia.

Nesse sentido, as atividades relacionadas ao desenvolvimento das nanotecnologias estão fortemente relacionadas aos avanços do conhecimento científico nas diferentes áreas do conhecimento, ainda que não seja uma condição determinante. Assim, sua base cognitiva está relacionada à pesquisa e descobertas científicas para a

geração de produtos e processos. Quando uma tecnologia possui tais características, diz-se que ela é uma ‘tecnologia baseada em ciência’.

Uma tecnologia baseada em ciência é aquela que sua base cognitiva está relacionada à pesquisa e descoberta científicas para a geração de produtos e processos. A pesquisa científica é desenvolvida com a intenção deliberada de fornecer subsídios ao conhecimento que são reconhecidos como essenciais para a exploração de uma nova tecnologia (ROSENBERG, 1982).

No entanto, não se trata de pensar a tecnologia como uma mera aplicação de um conhecimento científico prévio. Fazer isso significa deixar de considerar um importante elemento da tecnologia. As firmas, em verdade, somente se beneficiam da ciência de forma indireta. O conhecimento tecnológico está sujeito a uma dinâmica interna específica que é relativamente independente dos avanços científicos (PAVITT, 1990; BONACCORSI E THOMA, 2007). Para Rosenberg (1982, p.143), “*technology is itself a body of knowledge about certain classes of events and activities. It is not merely the application of knowledge brought from another sphere. It is a knowledge of techniques, methods, and designs that work, and that work in certain ways and within certain consequences, even when one cannot explain exactly why*”.

Nesse sentido, ao dizer que a nanotecnologia é uma tecnologia baseada em ciência, não significa dizer que há uma causalidade que parte da ciência para a tecnologia, mas que o resultado do conhecimento científico existente pode ser uma importante ferramenta intelectual, conceitual, ou de um novo quadro que pode ser aplicado para uma ampla variedade de fenômenos em várias diferentes áreas da nanotecnologia.

Assim, argumenta-se que esta relação entre a (nano)ciência e a (nano)tecnologia não é puramente linear. Quaisquer modelos que simplifiquem essa relação e argumentem que os desenvolvimentos nas ciências fundamentais são posteriormente aplicados nas tecnologias são falaciosos (WOOD *et al.*, 2004; ROSENBERG, 1982; KLINE E ROSENBERG, 1986).

No caso da nanotecnologia, cuja “parte tecnológica” ainda se encontra em sua fase inicial de desenvolvimento, há um forte envolvimento de instituições de pesquisa que, aos poucos, interagem com empresas comerciais e as encorajam à aplicação e desenvolvimento de aplicações específicas. É nesse sentido que a nanotecnologia, e outras tecnologias emergentes, são consideradas “baseadas na ciência”; e, é por isso, também, que esta relação direta é facilmente confundida (PEIXOTO, 2011c).

Cassiolato *et al.* (2007) apontam que empresas envolvidas com esse tipo de tecnologia caracterizam-se, na maioria, pela existência de laboratórios de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) formalizados e com investimentos destinados às atividades de P&D proporcionalmente elevados. Nestes casos, o componente científico das atividades se torna evidente.

O trabalho em tais laboratórios é normalmente determinado pela dinâmica dos problemas técnicos práticos que, em geral, não refletem a estrutura de divisão da ciência em disciplinas. Geralmente os problemas técnicos não se enquadram no esquema de classificação de uma disciplina específica, mas de várias disciplinas ao mesmo tempo. Conseqüentemente, os laboratórios de P&D industrial estariam mais acostumados às atividades de pesquisa multi- ou interdisciplinares (MEYER-KRAHMER, 1997).

Entretanto, quando a ‘tecnologia baseada em ciência’ em questão é ainda emergente e diversos riscos e incertezas estão envolvidos na consolidação de seu regime tecnológico, tais características não são facilmente observadas.

Nestes casos, como observa Orsenigo (1993) para a biotecnologia, pela sua natureza baseada na ciência e pela novidade de sua base de conhecimento, as aplicações industriais da tecnologia requerem a formação de sólidas capacitações científicas como pré-requisito para a acumulação de capacitações tecnológicas. Ademais, pela sua natureza interdisciplinar, esta base de conhecimento pervasiva é também bastante complexa. Assim, o desenvolvimento de capacitações tecnológicas passa pelo acúmulo de capacitações numa ampla variedade de disciplinas científicas, novas e velhas tecnologias e, acima de tudo, pela integração delas. Portanto, a reorientação e redefinição das divisões existentes entre os departamentos acadêmicos nas universidades, entre as divisões nas empresas, e entre as indústrias, fazem-se necessárias.

Dessa forma, a formação dessa capacitação estaria relacionada à pesquisa básica nas empresas. Contudo, as empresas investem pouco em pesquisa básica, o que torna necessário constante treinamento dos cientistas industriais e engenheiros em princípios científicos básicos e técnicas de pesquisa nos seus campos específicos. E cabe às universidades o papel central de prover esse treinamento (PAVITT, 1993).

Nesse sentido, um importante elemento para o processo de inovação em nanotecnologia passa pela integração de diferentes disciplinas e capacitações. Uma vez que grande parte do conhecimento científico ainda está localizado nos laboratórios das

universidades, maior interação do sistema produtivo com a academia torna-se necessária⁷⁷.

Para Dalum *et al.*, (1992), a política educacional vai muito além da quantidade de recursos governamentais disponíveis. A habilidade do sistema de educação nacional e de treinamento para se adaptar aos novos desenvolvimentos sociais e tecnológicos é extremamente importante na nova era. Nesse sentido, o crescente caráter sistêmico das novas tecnologias, onde as antigas fronteiras entre as disciplinas técnicas e científicas não mais se aplicam, faz que seja necessária uma revisão da tradicional organização departamental da pesquisa e treinamento acadêmico.

Dosi (1984) ressalta que sempre que emerge uma tecnologia radicalmente baseada em novo conhecimento científico, há mecanismos cruciais para a seleção e tradução desse conhecimento em trajetórias tecnológicas de aplicação factível. Nesse âmbito, diversas instituições contribuem para a seleção do conjunto de possíveis aplicações econômicas dessa nova tecnologia. Seu sucesso dependerá do quão bem articulados estejam os atores desses novos sistemas tecnológicos no âmbito do sistema nacional.

No Brasil, tecnologias e “indústrias” baseadas na ciência constituem o que tem sido denominado de áreas “portadoras de futuro”, principalmente no âmbito das políticas industriais (PICTE, PDP)⁷⁸. Essas áreas, entre elas a nanotecnologia, têm sido consideradas fundamentais para quaisquer perspectivas de desenvolvimento do país.

Segundo o estudo “Perspectivas do Investimento na Economia do Conhecimento” (CASSIOLATO, 2010), estas áreas são importantes, principalmente, por três fatores. Primeiro, diversos países desenvolvidos e em desenvolvimento, como a China, têm avançado significativamente na endogeneização dessas atividades em sua economia e sociedade, colocando-as como prioridade estratégica de suas políticas. Segundo, trata-se de atividades que, pela sua própria natureza, exigem uma abordagem mais genérica e sistêmica das políticas industriais e tecnológicas⁷⁹. Por último, pelo seu

⁷⁷ O capítulo 5 desta tese explorará com mais detalhes a relação entre as empresas e universidades estabelecidas no Brasil em relação às nanotecnologias na última década. Vale ressaltar, igualmente, que outros atores, além das empresas e universidades, desempenham papéis fundamentais no processo de inovação. Entre eles, destacam-se: governo, investidores, produtores e usuários.

⁷⁸ A análise da nanotecnologia como “portadora de futuro” e a lógica das políticas desenhadas no âmbito do PICTE e PDP será realizada no próximo capítulo desta tese.

⁷⁹ No caso da nanotecnologia, viu-se que o termo ‘nanotecnologia’ se refere a uma ampla variedade de diferentes tecnologias que têm em comum a nanoescala. Essas tecnologias, em geral, possuem processos de inovação bastante distintos. Dessa forma, uma abordagem mais genérica e sistêmica certamente é importante e desejável, desde que não se perca de vista as particularidades das diferentes (nano)tecnologias e sua importância para determinadas estratégias de desenvolvimento.

caráter ligado a revoluções tecnológicas em curso, abre espaço para as “janelas de oportunidade” em países em desenvolvimento, como o Brasil.

Nesse sentido, o estudo identificou quatro subsistemas nas indústrias baseadas na ciência - **nanotecnologia**, biotecnologia, novas fontes de energia e aeroespacial - que compartilham algumas características (ALBUQUERQUE *et al.*, 2010):

- 1) Forte relação com a infraestrutura científica;
- 2) Possibilidade de existência de “janelas de oportunidade” para a entrada do Brasil nas atividades;
- 3) Todas têm trajetórias tecnológicas que podem encontrar pontos de partida em setores/indústrias com tradição no país;
- 4) A importância desses setores para uma renovação da base tecnológica do Brasil;
- 5) A existência de uma acumulação científica nacional inicial (em universidades e institutos de pesquisa) já capaz de ser um ator no processo de entrada da indústria do país nessas áreas.

A implicação da nanotecnologia como área portadora de futuro e prioritária na política brasileira na última década será avaliada ao longo desse trabalho. Convém, antes, retornar à análise das características das nanotecnologias de modo que maior compreensão sobre seu desenvolvimento fique mais evidente.

2.4.3 - O papel das empresas novas e estabelecidas no desenvolvimento da nanotecnologia

É comum considerar-se as novas (e pequenas) empresas como aquelas que, em geral, introduzem tecnologias emergentes no mercado, principalmente quando tal tecnologia tem um componente de descontinuidade e ruptura no que diz respeito às capacitações e base do conhecimento das empresas já estabelecidas (incumbentes). Do ponto de vista do ciclo de vida de uma indústria, quando o conhecimento está se modificando muito rapidamente, existe alto grau de incerteza e as barreiras à entrada são baixas⁸⁰. Neste cenário, novas firmas costumam se destacar como as maiores

⁸⁰ Rosenberg (1994, p.106) destaca que “*the history of industries that have recently been undergoing rapid technological change – such as electronics and biotechnology – suggests that the flexibility offered by small firms may be highly advantageous to experimentation and exploration, especially in the early stages of the development of a new technology. Large firms, operating through layers of management*”

inovadoras, e são reconhecidas como os elementos chave na dinâmica industrial (PALMBERG E NIKULAINEN, 2006; MALERBA, 2002).

Por um lado, as empresas estabelecidas possuem um conhecimento tácito e *know-how* já incorporados nas rotinas das organizações existentes. Suas rotinas não podem mudar rapidamente. Por outro lado, as empresas recém-estabelecidas introduzem novas rotinas na indústria. Elas chegam para preencher uma “lacuna de conhecimento” ao incorporar o novo conhecimento produzido nos instrumentos - por exemplo, os microscópios STM e AFM, entre outros instrumentos – e ao evidenciar para os usuários e *stakeholders* o amplo valor da tecnologia inovadora pelo posicionamento em nichos de mercado (BOZEMAN *et al.*, 2007).

Todavia, Alfred Chandler (1990 *apud* Rosenberg, 1994, p.106) ressalta que “*as new technologies have gradually matured and entered commercialization on a national and eventually global scale, large firms have come to play a far more prominent role*”. Nesse sentido, com a maturação das então novas tecnologias, as firmas estabelecidas recuperam suas posições devido, principalmente, aos seus ativos complementares, e assimilam essas novas tecnologias através de aquisições; invariavelmente mudando o *loci* da competição da inovação para preços. Na ótica da dinâmica industrial, com o desenvolvimento e maturação de uma indústria, e as mudanças tecnológicas seguindo trajetórias bem definidas, economias de escala, curvas de aprendizado, barreiras à entrada e recursos financeiros se tornam fatores importantes no processo competitivo. Assim, grandes empresas (estabelecidas) com algum poder de mercado tomam a frente do processo de inovação (*Ibdem*).

Como ressaltado anteriormente, as inovações em nanotecnologia se referem a novas combinações de elementos já existentes, associadas à manipulação e combinação de átomos e moléculas de toda forma que não viole as leis da física. Essas inovações dizem respeito a novas formas de se produzir e/ou melhorar produtos já existentes. Sendo revolucionária, a inovação pode redefinir a maneira de se produzir produtos já existentes, podendo criar um novo paradigma tecnológico. Sendo incremental, a inovação se sustenta no paradigma tecnológico atual.

A nanotecnologia permite ambos os tipos de inovação. Tal característica tem grande impacto nas empresas, uma vez que requerem novas capacitações que podem

with rigid rules, are not well-suited to environments undergoing rapid changes and requiring frequent, on-the-spot decisions. Where technological uncertainties are high, it is often far more efficient to be able to conduct experiments on a small scale in small firms”.

romper a base de capacitações existente. Tal situação traz para discussão o papel e a força que empresas novas e já estabelecidas possuem ao se depararem com tecnologias desse tipo, e como elas lidam com os novos conhecimentos e seus recursos. Mencionou-se que a técnica *top-down* está mais relacionada ao aspecto incremental; empresas já estabelecidas podem ser favorecidas. Por outro lado, a técnica *bottom-up* tem um caráter de descontinuidade; a entrada de novas empresas pode ser favorecida.

Palmberg e Nikulainen (2006, p.20) ressaltam que “*top-down nanoscale engineering approaches are more likely to enhance rather than destroy the capabilities and knowledge bases of incumbents firms*⁸¹ (...) and as nanotechnology also contains many discontinuous elements especially related to bottom-up nanoscale engineering approaches which might favour new entrants over large incumbents with fixed investments in traditional manufacturing techniques”.

Seja como for, qualquer avaliação ainda possui um caráter especulativo, dado que a nanotecnologia ainda encontra-se nas primeiras fases de desenvolvimento. De qualquer maneira, tal discussão possui aspectos muito interessantes que podem ter grande influência na própria dinâmica da produção e interação das empresas engajadas em nanotecnologia. Por exemplo, novas empresas (*start-ups*) estão surgindo como fornecedoras de produtos intermediários na nanoescala para serem usados como componentes em produtos finais, quando analisado na ótica de cadeias de valor.

Esta relação pode sugerir uma co-existência simbiótica das novas empresas entrantes e as grandes empresas já estabelecidas (ROTHAERMEL, 2001). Nesse sentido, as firmas estabelecidas podem se empenhar em formar alianças com as novas empresas para evitar os riscos dos estágios iniciais da nanotecnologia.

Este tipo de aliança pode ser analogamente relacionado à análise de Szapiro (2005) sobre a incorporação da microeletrônica nas telecomunicações e a nova organização industrial, onde destaca que “*ao mesmo tempo em que persiste a rivalidade entre as diferentes empresas que disputam fatias de mercado, novas formas de cooperação entre elas vêm sendo estabelecidas (...), cada vez mais as empresas necessitam de conhecimentos sobre tecnologias-chave e bases de conhecimento de outros segmentos ou camadas, sob as quais não têm domínio (...)*” (*Ibidem*, p.71), em um contexto marcado pelo surgimento de alianças estratégicas.

⁸¹ Por esta lógica, grandes empresas já estabelecidas em indústrias que produzem “produtos finais”, como química, eletrônica e metalurgia estariam em boa posição para assimilar nanotecnologia.

Neste cenário, diversas trajetórias relacionadas aos sistemas nanotecnológicos podem surgir e se consolidar. Os diferentes processos de inovação, a coordenação das políticas e a interação sistêmica dos diferentes atores, instituições e organizações são elementos fundamentais nesse processo.

2.5 – Percepções das nanotecnologias no Brasil: delineando uma nova trajetória?⁸²

A nanotecnologia está relacionada a um conjunto de diferentes tecnologias e abordagens que têm em comum a manipulação da matéria na dimensão nanométrica, onde as propriedades físicas e funções da matéria diferem daquelas observadas nas escalas micro e macrométricas.

Nesse sentido, o estado-da-arte das diferentes nanotecnologias possui uma espécie de “núcleo-duro” baseada no conhecimento ‘genérico’ acerca das ciências e técnicas de manipulação na nanoescala. No entanto, ainda que as nanotecnologias possuam elementos em comum, elas podem ser bastante diferentes entre si. Dessa forma, para se ter uma dimensão mais apurada das suas potencialidades e desvantagens, e ter maior percepção das novas trajetórias traçadas (ou em construção), faz-se necessário, quando possível, analisar as suas subáreas das nanotecnologias, como os nanomateriais, nanoeletrônica, nanobiotecnologia, nanofotônica, nanoenergia, nanoinstrumentos, entre outras.

A possibilidade de uma nova trajetória baseada nas nanotecnologias ainda é um processo em aberto, mas que já mostra evidentes sinais de seu delineamento em diversos países do mundo, inclusive no Brasil. Dosi (1982, 1984) salienta que a trajetória tecnológica constitui um agrupamento de possíveis direções tecnológicas, cujos limites se definem pela natureza do paradigma. Assim, as trajetórias tecnológicas possuem algumas características em termos dos paradigmas tecnológicos:

1. *Pode haver trajetórias mais genéricas ou mais circunscritas*: sendo a nanotecnologia um conjunto de tecnologias, essa possibilidade torna-se mais evidente. Por exemplo, os nanomateriais reúnem uma série de características que o permitem

⁸² Parte desta seção está baseada nos resultados preliminares do “Estudo Prospectivo Nanotecnologia: 2008-2025” desenvolvido pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) e pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) com o objetivo de subsidiar a Iniciativa Brasileira Nacional de Inovação em Nanotecnologia. As principais políticas para nanotecnologia desenvolvidas no Brasil serão abordadas no próximo capítulo deste trabalho.

serem utilizados em diversas outras nanotecnologias, por exemplo, na nanoeletrônica e nanoenergia, com os nanotubos de carbono.

2. *Estas são geralmente complementaridades entre diversas formas de conhecimento, experiência, habilidades etc.:* muito do conhecimento das nanotecnologias são comuns entre si, portanto, complementares. Assim, o desenvolvimento de certa nanotecnologia pode estimular (ou atrapalhar) o desenvolvimento de outras.

3. *Uma fronteira tecnológica se refere ao mais alto nível alcançado em relação a uma trajetória tecnológica, com respeito às dimensões tecnológicas e econômicas relevantes:* neste caso, a nanotecnologia ainda está longe de estar na fronteira tecnológica. Pelo contrário, o delineamento de sua trajetória ainda está no início. De qualquer forma, já há indícios da superioridade tecnológica de materiais nanotecnológicos frente aos existentes, por exemplo.

4. *O “progresso” numa trajetória tecnológica pode conservar certos aspectos cumulativos, ou seja, os futuros avanços na trajetória estão relacionados com a posição que uma empresa (ou país) ocupa vis-à-vis a fronteira tecnológica existente está relacionada:* no caso da nanotecnologia, o tipo de empresa, sua capacidade de absorção e sua inserção e estruturação dos sistemas tecnológicos e nacional são essenciais.

5. *Uma trajetória “poderosa” pode mudar uma trajetória alternativa:* neste caso, quando um paradigma tecnológico muda, muitas vezes é preciso partir (quase) do início na nova atividade de resolução do problema. No caso da nanotecnologia, ainda não é possível verificar uma trajetória nanotecnológica se sobrepondo à outra. É mais provável, pela natureza dessas tecnologias, que elas mais se complementem do que se excluam.

6. *É questionável a possibilidade de, a priori, comparar e avaliar a superioridade de certa trajetória tecnológica em relação à outra. Esta avaliação somente pode ser feita ex-post, a partir de certos critérios objetivos:* neste caso, apenas quando a nova trajetória tecnológica se consolida e constitui um novo paradigma esta avaliação pode ser pensando, ainda que com restrições.

É neste contexto que se desenvolvem estudos sobre o desenvolvimento de nanotecnologias reconhecidas como promissoras e estratégicas para o Brasil, como o Estudo Prospectivo Nanotecnologia (2008-2025) desenvolvido pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), que busca fornecer as bases para a estruturação

de uma agenda com diretrizes e ações de curto, médio e longo prazos para o desenvolvimento das aplicações de nanotecnologias promissoras.

Foram identificados seis temas de nanotecnologia - e diversos tópicos associados - apontados como mais promissores e estratégicos para o Brasil: nanomateriais, nanoeletrônica, nanofotônica, nanobiotecnologia, nanoenergia e nanoambiente.

É importante ressaltar que o estudo apontou que os temas possuem graus diferenciados de maturidade tecnológica, portanto, espera-se que seus impactos econômico e social ocorram em momentos distintos. Nesse sentido, as ações e diretrizes do estudo vinculam-se aos tópicos tecnológicos e suas trajetórias em cada tema.

Além disso, foram identificados diversos fatores condicionantes diretamente responsáveis pelo futuro das trajetórias nanotecnológicas que se desenham no Brasil em três períodos do tempo (ABDI, 2010b):

1) Período 2008-2010:

- Existência de uma infraestrutura laboratorial conforme estado-da-arte;
- Educação em todos os níveis;
- Continuidade da nanotecnologia como prioridade do estado (C,T&I e política industrial);
- RH em nível técnico e graduado;
- Maior volume de capital de risco;
- Insumos básicos para P&D;
- Parcerias público-privadas;
- Impactos da nanotecnologia (estado-da-arte mundial);
- Difusão científica;
- Regulamentação técnica e metrologia vinculadas à nanotecnologia;
- Percepção da sociedade quanto ao valor das nanotecnologias.

2) Período 2011-2015:

- Educação em todos os níveis;
- RH em nível técnico e graduado;
- Existência de uma infraestrutura laboratorial conforme estado-da-arte;
- Lançamento de produtos com características únicas impulsionando novas indústrias;

- Parcerias público-privadas;
- Difusão científica;
- Insumos básicos para P&D;
- Nanoética (legislação, *risk assessment* institucionalizado, valores em relação ao uso das nanotecnologias);
- Exigência de escala de produção;
- Impactos da nanotecnologia (estado-da-arte mundial);
- Continuidade da nanotecnologia como prioridade do estado (C,T&I e política industrial);
- Regulamentação técnica e metrologia vinculadas à nanotecnologia.

3) Período 2016-2025:

- Lançamento de produtos com características únicas impulsionando novas indústrias;
- Educação em todos os níveis;
- Existência de uma infraestrutura laboratorial conforme estado-da-arte;
- Insumos básicos para P&D;
- Exigência de escala de produção;
- Uso de energias limpas;
- Impactos da nanotecnologia (estado-da-arte mundial);
- Maior volume de capital de risco;
- RH em nível técnico e graduado;
- Continuidade da nanotecnologia como prioridade do estado (C,T&I e política industrial).

O Estudo mostra que alguns condicionantes são considerados relevantes nos três períodos, o que reflete sua importância e o caráter mobilizador desses fatores ao longo de toda a trajetória de desenvolvimento dos temas de nanotecnologias.

Assim, será apresentado um breve panorama dos seis temas de nanotecnologias considerados prioritários no Brasil.

2.5.1 - Nanomateriais

Os nanomateriais estão presentes em muitos setores da economia. Eles utilizam-se de diversas técnicas de preparação, *bottom-up* e *top-down*, rotas químicas ou processos físicos, além de uma ampla gama de técnicas de caracterização e de diversas aplicações, incluindo sua utilização como insumos básicos para nanotecnologia.

No Brasil, os nanomateriais estão associados a seis principais tópicos com impacto em diversos setores da economia, segundo Estudo Prospectivo (ABDI, 2010b). São eles: i) *Nanomateriais estruturais*: classe de nanomateriais criados pela introdução de nanopartículas e outros nanobjetos em um meio macroscópico; ii) *Nanobjetos e materiais nanoestruturados*: referem-se a objetos construídos em nanoescala que podem ser funcionalizados para aplicações específicas (nanofios, nanotubos, nanopartículas e etc.); iii) *Nanomateriais semicondutores e magnéticos*: incluem semicondutores orgânicos e inorgânicos; iv) *Revestimentos nanoestruturados*: incluem engenharia de superfícies e interfaces, filmes finos para otimização de propriedades superficiais; e v) *Nanomateriais funcionais*: incluem nanocompósitos, filmes finos e materiais moleculares.

Os principais setores impactados são: Aeronáutico; automotivo; têxtil; couro e calçados; plásticos; celulose e papel; petróleo e energia; biocombustíveis; construção civil; defesa; energia solar; químicos; material eletrônico e aparelhos de comunicações; medicina e saúde; instrumentação e automação; meio ambiente; higiene e cosméticos; e fármacos.

O país hoje encontra-se em situação favorável em relação à infraestrutura dos nanomateriais, embora ainda necessite alocação de recursos para a aquisição de equipamentos de grande porte para os laboratórios. No entanto, em relação aos recursos humanos, há carência nos diferentes níveis, técnicos, superior e pós-graduação, uma vez que a quantidade é insuficiente, ainda que seja de alta qualificação. Assim, as ações relacionadas aos recursos humanos e infraestrutura devem constituir prioridades de curto prazo, junto com o marco regulatório, segundo o Estudo Prospectivo.

Além disso, também identificou-se a inexistência de capital de risco e a necessidade de maior volume de investimentos. Estando os nanomateriais em condições de implantação de novos produtos e processos em larga escala, a participação do Estado através de compras governamentais e programas de financiamento de longo prazo se faz necessária.

2.5.2 - Nanoeletrônica

A nanoeletrônica se refere à nanodispositivos eletrônicos que utiliza nanoestruturas para manipular elétrons. Em nenhuma outra área a tendência para a utilização de uma das técnicas de produção, a miniaturização (*top-down*) é tão aparente. Contudo, geralmente, os nanodispositivos estão baseados em tecnologias integradas *top-down* e *bottom-up*. A nanociência envolvida nesta área da nanotecnologia apresenta os mesmos objetivos das demais aplicações da nanotecnologia, quais sejam, um maior entendimento das propriedades dos materiais e dispositivos na nanoescala, e avanços na fabricação e processo de tecnologia para satisfazer crescentes e rigorosas tolerâncias dimensionais, além da exploração de tecnologias alternativas que possam oferecer benefícios econômicos e maior desempenho.

No Brasil, a nanoeletrônica está associada a quatro principais tópicos com impacto em diversos setores da economia. São eles: i) *Dispositivos eletrônicos e optoeletrônicos à base de materiais nanoestruturados e suas arquiteturas*: dispositivos de memória, processadores, sensores, moduladores, fotodetectores, *displays*, células solares, dispositivos de microondas etc.; ii) *NEMS e atuadores*: referem-se a objetos construídos em nanoescala que podem ser funcionalizados para aplicações específicas; iii) *Fabricação de nanodispositivos*: incluem semicondutores orgânicos e inorgânicos; e iv) *Dispositivos não convencionais à base de materiais nanoestruturados e suas arquiteturas*: incluem engenharia de superfícies e interfaces, filmes finos para otimização de propriedades superficiais.

Os principais setores impactados são: Aeroespacial; aeronáutico; automotivo; petróleo; energia; energia solar; gás natural e petroquímica; defesa; material eletrônico e aparelhos de comunicações; e instrumentação e automação.

A evolução da nanoeletrônica está relacionada basicamente a duas vertentes. Uma consiste em continuar a evolução da integração de dispositivos, com a utilização de novos materiais. A segunda se refere a dispositivos inovadores que explorem outras características além da carga do elétron. Para tanto, será necessário intenso trabalho de pesquisa para adaptar as técnicas de fabricação desses dispositivos à escala de fabricação atual de estruturas C-MOS⁸³.

⁸³ C-MOS (*complementary metal-oxide-semiconductor*) significa semicondutor metal-óxido complementar, que se trata de um tipo de tecnologia empregada na fabricação de circuitos integrados

Apesar do Brasil já estar desenvolvendo inovações em células solares com nanocompósitos, *displays OLEDs* com nano e tecnologia *roll-to-roll*⁸⁴ para nanocompósitos, por exemplo, ainda há muito o que fazer em nanoeletrônica para concretizar sua trajetória nesta nanotecnologia. Para tanto, intenso trabalho de pesquisa e formação de recursos humanos foram identificados como fatores essenciais para que a nanoeletrônica ocupe lugar de destaque no Brasil.

2.5.3 - Nanofotônica

A fotônica é a ciência da geração, controle e detecção dos fótons⁸⁵. Ela surge como resultado dos primeiros semicondutores emissores de luz e os dispositivos fotônicos de semicondutores incluem o armazenamento óptico de dados, telecomunicações por fibra ótica, impressora a *laser*, entre outros. Suas aplicações potenciais são diversas e incluem, dentre outras, a síntese química⁸⁶ e a comunicação de dados *on-chip*.

A nanofotônica vai além e permite a formação de nanocristais de baixa densidade, que permitirão refratar e/ou direcionar o feixe de luz na direção desejada. Nesse sentido, os nanocristais fotônicos são tipos de cristais que podem manipular os sinais de luz e direcioná-lo para qualquer lugar dentro de uma estrutura sólida (WILSON *et al.*, 2002).

No Brasil, a nanofotônica está associada a sete principais tópicos com impacto em diversos setores da economia. São eles: i) *Displays*: compreendem uma das mais importantes aplicações da fotônica, presente em uma grande variedade de dispositivos; ii) *LEDs orgânicos*: referem-se aos dispositivos emissores de luz com base em materiais orgânicos; iii) *LEDs inorgânicos*: referem-se aos dispositivos emissores de luz com base em materiais inorgânicos; iv) *Aplicações de nanofotônica em dados e telecomunicações*: compreende os *lasers*, fotodetectores, chaveadores, dispositivos fotônicos e tecnologias voltadas para a transmissão, processamento, armazenamento de dados de natureza clássica e quântica; v) *Outros dispositivos optoeletrônicos*:

onde se incluem elementos de lógica digital, microprocessadores, microcontroladores, memórias RAM etc.

⁸⁴ O processo *roll-to-roll* se refere ao processo de criar dispositivos eletrônicos em um rolo de plástico flexível ou folha de metal.

⁸⁵ Partícula elementar medidora da força eletromagnética.

⁸⁶ Como mencionado anteriormente, a síntese química é uma dos métodos de manipulação da técnica *bottom-up*.

compreendem os *lasers*, fotodetectores, chaveadores, atuadores, comando e controle, e outros nanodispositivos que usam luz e eletrônica em nanoescala; vi) *Células solares*: compreendem dispositivos com aplicação específica na captação e transformação de energia solar em energia elétrica; e vii) *Sensores fotônicos*: compreendem dispositivos com propriedades fotônicas que são alteradas por parâmetros externos a serem monitorados.

Os principais setores impactados são: Fabricação de material eletrônico e de aparelhos e equipamentos de comunicações; automotivo; aeronáutico; instrumentação e automação; medicina e saúde; energia; segurança; defesa; indústria naval; petróleo; gás natural e petroquímica; construção civil; alimentos (embalagens); e meio ambiente.

O estudo aponta que, por ser uma área emergente no mundo, o Brasil pode se tornar um importante ator na produção da nanofotônica desde que forme recursos humanos especializados, consolide a infraestrutura existente e o marco regulatório, além de agregar o setor empresarial e atrair articulações internacionais industriais.

2.5.4 - Nanobiotecnologia

A bionanotecnologia está preocupada com as propriedades na escala molecular e com as aplicações das nanoestruturas biológicas e, como tal, se situa na interface entre as ciências químicas, biológicas e físicas.

Foi dito que ao utilizar técnicas e processos de nanofabricação de auto-agrupamento molecular, a nanobiotecnologia possibilita a produção de materiais e dispositivos incluindo tecidos e armações celulares (*cellular engineering scaffolds*), motores moleculares, e biomoléculas para sensores, transporte de medicamento (*drug delivery*) e aplicações mecânicas.

No Brasil, a nanobiotecnologia está associada a sete principais tópicos com impacto em diversos setores da economia. São eles: i) *Materiais nanoestruturados biocompatíveis*: compreendem materiais (polímeros, cerâmicas, metais, etc.), e seus compósitos, estruturados em escala nanométrica e biocompatíveis. Podem ter aplicações em reconstrução de órgãos para transplantes, produção de insumos e próteses, etc.; ii) *Sistemas de entrega e liberação controlada*: refere-se a uma das mais importantes aplicações da nanobiotecnologia, explorando nanobiomateriais com propriedades terapêuticas (fármacos) e cosméticas; iii) *Biossensores*: compreendem uma classe de sensores biológicos e sondas inteligentes *in-vivo* e *lab-on-a-chip*, com base em efeitos

na escala molecular, com aplicações em Medicina (ex.diagnóstico), agricultura, etc.; iv) *Imageamento molecular*: compreende uma nova classe de técnicas e métodos de diagnóstico em nível molecular ou usando sistemas moleculares para geração de imagens; v) *Materiais nanoestruturados para aplicação em agricultura*: refere-se ao uso e nanopartículas biodegradáveis para controle e liberação de fertilizantes e defensivos agrícolas; vi) *Revestimentos e filmes biofuncionais*: referem-se ao uso de nanopartículas com atividades antimicrobianas aplicadas nos setores médico-hospitalar, de embalagens e têxteis; e vii) *Nanorobôs*: compreendem dispositivos programáveis construídos em nanoescala que podem ser funcionalizados para aplicações médicas e terapêuticas.

Os principais setores impactados são: Medicina e saúde; fabricação de produtos químicos e fármacos; higiene, perfumaria e cosméticos; meio ambiente; madeira e móveis; nutrientes; agroindústrias; alimentos; e têxteis.

No Brasil, a maioria dos tópicos associados à nanobiotecnologia se encontra no estágio de P&D, com previsão de alcance de produção efetiva de produtos e processos até 2015.

No entanto, mais uma vez, os gargalos mais críticos identificados no curto prazo referem-se a investimentos em formação de recursos humanos e infraestrutura. Além disso, aspectos mercadológicos em conjunto com regulamentação também são identificados como importantes no médio prazo, principalmente para a inserção de empresas nacionais no mercado externo. Por fim, no longo prazo, aspectos relacionados às discussões éticas também serão imprescindíveis.

Nesse sentido, o estudo aponta que o desenvolvimento e completa sedimentação dos setores envolvidos em nanobiotecnologia dependem de ações estratégicas e da criação de políticas específicas para fomento, gestão e comercialização de bens, produtos e processos relacionados ao tema.

2.5.5 - Nanoenergia

A nanoenergia compreende o estudo de dispositivos em nanoescala ou processos que agem sobre energia em suas várias formas (térmicas, química, elétrica, radiante, nuclear, etc.) para geração de energia, transmissão, uso e armazenamento em aplicações baseadas em elétrica, hidrogênio, solar ou biocombustíveis.

No Brasil, a nanoenergia está associada a seis principais tópicos com impacto em diversos setores da economia. São eles: i) *Células solares*: compreendem células solares à base de semicondutores orgânicos e inorgânicos; ii) *Baterias e capacitores*: referem-se a microbaterias, supercapacitores e materiais nanoestruturados para eletrólitos sólidos (membrana poliméricas condutoras); iii) *Células a combustível*: referem-se também a todos os materiais e dispositivos relativos à economia do hidrogênio, como membranas condutoras protônicas e nanocatalisadores; iv) *Nanofibras e nanotubos de carbono*: referem-se ao desenvolvimento de compósitos para uso em equipamentos do ciclo do combustível nuclear e emprego como suporte de catalisador nos dispositivos de geração e armazenamento de energia, como suporte de catalisador na cadeia produtiva de biocombustíveis e reforma catalítica; v) *Nanocatalisadores*: incluem tanto novos catalisadores nanoestruturados como os já em uso comercial; e vi) *LEDs para iluminação*: compreendem dispositivos orgânicos e inorgânicos.

Os principais setores impactados são: Energia; instrumentação e automação; meio ambiente; fabricação de material eletrônico e de aparelhos e equipamentos de telecomunicações; aeronáutica; automotivo; indústria naval; defesa; petróleo, gás natural e petroquímica; biocombustíveis; e construção civil.

Diversos tópicos das nanotecnologias aplicadas à energia já se encontram em um estágio de interfaces entre o P&D e inovação, produção e comercialização no mundo. No Brasil, identificam inúmeras oportunidades tecnológicas nas aplicações no refino de petróleo, no aumento da eficiência em processos industriais e na produção e utilização e etanol. Os processos de geração de biodiesel podem utilizar catalisadores heterogêneos nanoparticulados e/ou nanoestruturados, em substituição aos catalisadores homogêneos atualmente empregados. Esses geram grande quantidade de rejeitos, dificultando a separação e a purificação dos produtos, o que leva a um aumento do custo de produção. No caso da produção de etanol, os nanocatalisadores podem competir ou até mesmo substituir os catalisadores enzimáticos, que são os mais promissores para este processo.

Seja como for, a formação de recursos humanos em nível de ensino médio, graduação e pós-graduação é atualmente considerado o principal gargalo para o desenvolvimento, inovação, produção e comercialização da nanoenergia.

2.5.6 - Nanoambiente

O nanoambiente se refere às interações entre nanoestruturas e o meio ambiente, tendo em vista o desenvolvimento de dispositivos e processos para controle de poluição, remediação, tratamento de resíduos e gestão ambiental, bem como estudos de toxicidade e bioacumulação para avaliar os riscos advindos do uso de nanotecnologias.

No Brasil, o escopo de área de nanoambiente pode ser expandido para abranger as oportunidades inerentes à biodiversidade e agropecuária, que vão desde insumos agrícolas e produção de alimentos até a inclusão do conceito de biorrefinaria, explorando-se também o uso da nanotecnologia para a produção de novos materiais (plásticos, resinas, fibras, elastômeros, entre outros) de fontes renováveis, complementarmente ao que tem sido feito para bioenergia.

O nanoambiente está associado a nove principais tópicos com impacto em diversos setores da economia. São eles: i) *Nanosensores para aplicação ambiental*: compreendem sensores nanoestruturados para detecção e/ou quantificação de pesticidas, nutrientes e metais; biossensores baseados em enzimas e material genético para detecção e/ou quantificação de contaminantes ou nutrientes orgânicos de origem agrícola, industrial e natural presentes em água, em solos, atmosferas e nos produtos agrícolas; ii) *Membranas e filtros para uso ambiental*: referem-se a membranas e filtros nanoestruturados com a propriedade de permitir o transporte seletivo de componentes de uma mistura em seus componentes líquidos ou em fase gasosa; iii) *Nanomateriais para controle microbiano em meio ambiente, alimentos e bioprocessos*: desenvolvimento de nanomateriais bioativos para controle e/ou eliminação de contaminação microbiana; iv) *Nanodispositivos para tratamento de água e resíduos*: referem-se a interações entre nanoestruturas e o meio ambiente, tendo em vista o desenvolvimento de dispositivos e processos para separação, tratamento e remediação de resíduos; v) *Nanomateriais com atividade catalítica para meio ambiente*: desenvolvimento de catalisadores para gás natural e biocombustíveis; vi) *Técnicas de monitoramento e diagnóstico de nanomateriais*: compreendem técnicas e sensores para detecção, monitoramento e diagnóstico de nanopartículas em alimentos, no meio ambiente e em seres vivos; vii) *Sistemas nanoestruturados para liberação controlada de nutrientes, pesticidas e fármacos*: referem-se ao desenvolvimento de sistemas nanoestruturados para liberação controlada de nutrientes, pesticidas e fármacos para otimizar a dosagem e minimizar os impactos ambientais; viii) *Nanomateriais de fontes*

renováveis e/ou biodegradáveis: referem-se ao desenvolvimento de processos para produção de materiais de fonte renovável e/ou biodegradável com impactos reduzidos no meio ambiente; e ix) *Análise de ciclo de vida de nanomateriais*: compreende o desenvolvimento de metodologias para análise de ciclo de vida, análise toxicológicas, reprocessamento e reciclagem; e aspectos de legislação e regulamentação para emissão de relatórios de impacto ambiental.

Os principais setores impactados são: Agroindústrias; biocombustíveis; meio ambiente; alimentos; têxtil; medicina e saúde; higiene, perfumaria e cosméticos; plásticos; automotivo; petróleo, gás natural e petroquímica; fabricação de fármacos; indústria química; nanometrologia; sociedade e educação.

Espera-se no Brasil grandes oportunidades de utilizar nanotecnologia para minimizar o uso de insumos poluentes, monitorar a quantidade destes na agricultura e meio ambiente, descontaminação do meio ambiente e possibilitar o desenvolvimento de novos produtos de fonte renovável e biodegradáveis.

Além de aspectos relacionados à formação de recursos humanos, infraestrutura física e investimentos, outros aspectos de fundamental relevância são os éticos e socioculturais, relacionados à incorporação responsável de novas tecnologias e sua aceitação pela sociedade. Nesse sentido, os marcos regulatórios, riscos avaliados, medidas de segurança e metrologia devidamente definidos e regulamentados são fundamentais, não apenas para o desenvolvimento das nanotecnologias relacionadas ao meio ambiente, mas em geral.

2.6 – Outros aspectos das nanotecnologias: algumas observações sobre questões ambientais, de saúde e segurança

O potencial e capacidade da nanotecnologia em transformar diferentes aspectos da sociedade levam também diversas preocupações em relação aos riscos potenciais que ela traz consigo. Nesse sentido, não apenas os benefícios devem ser levados em consideração, mas também as preocupações éticas, ambientais e de segurança que fazem parte do desenvolvimento das nanotecnologias.

A nanotecnologia opera em uma escala onde as estruturas e sistemas apresentam diferentes propriedades e funções. Dessa forma, é importante saber como que materiais na nanoescala interagem com o corpo humano e com o meio-ambiente, de modo que seja possível identificar e caracterizar potenciais exposições, determinar os possíveis

impactos na saúde humana, bem como desenvolver métodos apropriados de controle e redução da exposição ao trabalhar com materiais na nanoescala.

Nesse sentido, uma série de ações em nível internacional devem ser desenvolvidas, implementadas e melhoradas, com impactos diretos nas regulações, padronização e leis relacionadas ao desenvolvimento e uso das nanotecnologias nas indústrias e sociedade.

Chen e Roco (2009) destacam que indústrias, agências governamentais especializadas, organizações civis e o público em geral rapidamente reconheceram os aspectos relacionados ao meio-ambiente, saúde e segurança das nanotecnologias. Por conseguinte, sugerem que três aspectos imediatos e contínuos devem ser tratados simultaneamente ao desenvolvimento de produtos na nanoescala e financiamentos de projetos de P&D.

Em primeiro lugar, destacam que laboratórios de pesquisa e unidades industriais devem entender as conseqüências das nanotecnologias para o meio-ambiente, saúde e segurança, e desenvolver medidas apropriadas de segurança tanto para os trabalhadores quanto para os consumidores. Exemplos de preocupações mais urgentes incluem a toxicidade das nanopartículas; mecanismos e rotas de exposição de nanoproductos no ar, água e solo; eficácia de equipamentos de proteção pessoal como roupas especiais, respiradores, e controle de engenharia; comportamento das células na presença de nanoestruturas; e prevenção de liberação de nanopartículas sintéticas no meio-ambiente. À medida que o conhecimento sobre os nanoproductos se desenvolve, as regulações já existentes sobre meio-ambiente, saúde e segurança devem ser melhoradas e reforçadas.

O segundo aspecto se refere à necessidade de padronização da linguagem dos pesquisadores das diferentes disciplinas e setores econômicos e industriais. Dessa forma, é necessário o desenvolvimento de nomenclaturas, normas, padrões e regulações internacionalmente aceitas de modo a apoiar o progresso da ciência, engenharia, tecnologia e novos mercados em nanotecnologias. Exemplos desse tipo se referem ao desenvolvimento de instrumentação específica, sensores, e padrões para nanopartículas no ar, água e solo.

Terceiro, metodologias para análise de risco e governança devem ser desenvolvidas para a gestão de novos produtos e das tecnologias criadas no setor privado e governo.

Por último, é importante destacar que o desenvolvimento da nanometrologia é fundamental neste contexto. Trata-se da ciência da mensuração na escala nanométrica.

Sua aplicação sustenta toda a nanociência e nanotecnologia, uma vez que a habilidade para mensurar e caracterizar os materiais (determinar seu tamanho, forma, e propriedades físicas) na nanoescala é vital se os nanomateriais e dispositivos estão para ser produzidos a um alto grau de precisão e confiabilidade, e as aplicações da nanotecnologia estão para ser realizadas.

À medida que as técnicas para se fazer tais mensurações avançam, avança também a compreensão do comportamento na escala nanométrica e, conseqüentemente, a possibilidade de melhorar os materiais, processos industriais e a confiabilidade da produção, além da possibilidade de melhor avaliar os aspectos relacionados ao meio-ambiente, saúde e segurança.

Nesse sentido, o progresso da nanometrologia é fundamental para o avanço da nanotecnologia. Mensurações como comprimento, força e, num horizonte de tempo mais longo, moléculas individuais, são essenciais para o desenvolvimento da nanotecnologia. Ainda assim, será um grande desafio integrar os dados da metrologia no processo de produção.

2.7 – Considerações parciais

Este capítulo procurou apresentar um panorama das principais características da nanotecnologia e seu histórico de desenvolvimento, ressaltando os principais elementos responsáveis pelo início do seu processo de difusão.

Apresentada como um conjunto de tecnologias emergentes com o potencial de afetar diversas áreas da economia e sociedade, a nanotecnologia se refere a diversas tecnologias distintas que têm em comum a capacidade de visualizar e manipular átomos e moléculas na nanoescala. Este conjunto de tecnologias que geralmente é tratada por ‘nanotecnologia’ possui um caráter dúplice. Por um lado, é caracterizada por um conjunto de conhecimentos comuns a todas as nanotecnologias, em especial relacionados aos conhecimentos científicos básicos (química, física, matemática, etc.) e às técnicas de manipulação na nanoescala. Este é o ‘caráter geral’ da nanotecnologia. Por outro lado, as nanotecnologias podem ser bem diferentes entre si, com distintos processos de inovação e produção. Ainda que possuam um pilar científico comum, as nanotecnologias podem ser bastante específicas em relação ao tipo de conhecimento envolvido na sua inovação e produção. O processo de inovação relacionado à nanotecnologia, na verdade, diz respeito a diversos processos de inovação que, muitas

vezes, a única semelhança com outras nanotecnologias é a manipulação e desenvolvimento na escala nanométrica, com diferentes técnicas de manipulação e produção. Este é o ‘caráter específico’ da nanotecnologia.

São estas características, em última instância, que conferem às nanotecnologias um caráter multidisciplinar, científico e difusivo. Entretanto, essas características também salientam que seu caráter científico é parte de um processo que não se restringe apenas à ciência, mas envolve também todo um conjunto de relações, tecnológicas e institucionais, que efetivam a nanotecnologia.

Nesse contexto, três considerações merecem destaque em relação às nanotecnologias. Primeiro, ressalta-se a diferença entre nanociência e nanotecnologia. Embora sejam muitas vezes equivocadamente tratadas como sinônimos, as nanociências diferem das nanotecnologias da mesma forma que ciência e tecnologia são distintas na ‘macroescala’, ainda que possuam profundas relações.

Segundo, por serem distintas em diversos aspectos, seus processos de inovação também são distintos, possuindo uma lógica própria. Dessa forma, argumenta-se que o entendimento desses processos passa pela análise dos diferentes sistemas nanotecnológicos de inovações.

Por fim, a compreensão dessas características, o melhor entendimento dos processos de inovação das nanotecnologias e as possíveis trajetórias que se desenham para o Brasil, abre espaço para o desenho de políticas de inovação para a construção e desenvolvimento desses sistemas nanotecnológicos capazes de afetar o desenvolvimento do sistema nacional de inovação em nanotecnologia no país.

Por conseguinte, o grande desafio posto pelas nanotecnologias é a exploração de suas diferentes ‘caixas-pretas’, num esforço de melhor compreender os determinantes específicos das diferentes inovações, ou das diferentes categorias de inovações relacionadas, de modo que se possa desenhar políticas para seu fomento.

O próximo capítulo apresenta as principais políticas para a nanotecnologia desenhadas e implementadas no Brasil na última década.

CAPÍTULO 3 – A POLÍTICA DE NANOTECNOLOGIA NO BRASIL

A percepção de que uma tecnologia (ou grupo de tecnologias) é revolucionária e promissora de mudanças radicais, capazes de mudar toda estrutura de um país, e advogar pela sua exploração nos seus estágios iniciais, sem dúvida, trata-se de uma rara janela de oportunidade, apesar dos riscos e incertezas envolvidos. O papel do Estado, nesse contexto, se torna fundamental no desenho de políticas que visem disponibilizar as condições materiais e estruturais necessárias para que essas inovações potenciais se concretizem.

Geralmente, os países que melhor dominam essas tecnologias emergentes desde o início costumam ter papel de destaque no momento de sua difusão. No final dos anos 1950 e ao longo da década de 1960, os EUA estabeleceram uma definitiva fronteira tecnológica de semicondutores induzida, sobretudo, por mecanismos de coordenação e planejamento implicitamente propiciados por políticas públicas. No final desse processo, emergiu uma liderança tecnológica norte-americana muito fortalecida (DOSI, 1984).

A crise econômica que ganha força, principalmente, a partir de 2008 abre espaço para discutir se se trata de uma crise estrutural relacionada ao esgotamento do atual padrão produtivo e mudança de paradigma, ou se ela está relacionada a um período de especulação (com taxas de lucro ainda em ascensão) que se reflete na economia real⁸⁷.

Seja como for, em ambos os casos a mudança técnica está presente, e novas tecnologias vêm ganhando cada vez mais espaço nas diversas políticas industriais e de inovação em diversas economias, reforçando a idéia de que vivencia-se um período onde novas tecnologias com o potencial de modificar o cenário produtivo mundial estão se consolidando (PEIXOTO, 2013).

Diversas novas tecnologias e fontes de energia vêm sendo apontadas como potenciais para assumir um papel de destaque no advento de um novo ciclo de crescimento e desenvolvimento. Entre essas, a nanotecnologia tem sido considerada uma tecnologia estratégica chave, sendo objeto de políticas específicas de fomento em diversos países.

⁸⁷ Segundo Mohun (2010, p.22), “(...) there are long periods of downswing in the rate of profit, associated with a particular pattern of technical progress, and culminating in a profitability crises. And there are long periods of upswing in the rate of profit, associated with a different pattern of technical progress, culminating in speculative excess and financial crisis which then spills into the real economy. Crises are associated with turning points in the time-trend of the rate of profit”.

É nesse contexto que diversas iniciativas para o desenho de políticas industriais e de inovação para tecnologias e áreas consideradas estratégicas, como as nanotecnologias, vêm sendo desenvolvidas no Brasil.

Essa postura reflete uma mudança da política econômica brasileira nos últimos anos, não apenas no contexto doméstico, mas também no internacional. O Brasil claramente vem assumindo uma posição de destaque entre as potências emergentes, expandindo e reivindicando maior participação nas decisões no tabuleiro mundial.

Esta mudança de postura se reflete implícita e explicitamente nas diretrizes de política que o país vem adotando nos últimos anos. Um dos pontos fundamentais nessa política foi o direcionamento para a promoção de áreas consideradas estratégicas para o desenvolvimento da economia. Chama a atenção que essas áreas consideradas “portadoras de futuro” são áreas que também no contexto internacional são consideradas novas e promissoras. Essa postura de entrar na “corrida” por tecnologias emergentes parece apontar para a importante decisão de reduzir a dependência tecnológica em relação aos países mais avançados e, conseqüentemente, aumentar a competitividade no comércio internacional.

No entanto, reconhecer a importância dessas áreas como importantes na configuração do paradigma que se desenha não é condição suficiente, ainda que necessária. Este reconhecimento deve estar aliado à existência de condições estruturais fundamentais, como um bom sistema educacional, de ciência e tecnológica, infraestrutura diversas, entre outros, para que as interações sistêmicas possam ocorrer. Além, é claro, da sintonia entre as diversas esferas de políticas que sirvam de estímulo para que diferentes atores, em diferentes instâncias, tenham incentivos e competência para que as relações e iniciativas tenham êxito.

Dessa forma, o presente capítulo tem por objetivo apresentar as principais diretrizes das políticas desenhadas para a nanotecnologia no Brasil ao longo da última década. Essas políticas serão analisadas à luz da abordagem de sistemas de inovação, onde o foco se concentra na promoção de um conjunto de elementos e interações capazes de gerar inovações.

O capítulo está estruturado em cinco seções. A primeira apresenta as primeiras iniciativas para o desenho de políticas para nanotecnologia no mundo, particularmente os casos dos Estados Unidos, Japão, União Européia e China. A seção 3.2 procura dar mostras do contexto no qual começou-se a desenvolver o arcabouço das políticas de inovação no Brasil, sobretudo, o cenário no qual surge e floresce a iniciativa brasileira

em nanotecnologia, desde a formação das primeiras redes, os principais programas e o principal instrumento de financiamento às empresas. A seção 3.4 apresenta uma visão crítica da política para a nanotecnologia no Brasil, em particular do principal instrumento de financiamento às empresas, a Subvenção Econômica. Por fim, o capítulo encerra com um panorama da primeira parte e considerações para a análise empírica na parte II desta tese.

3.1 – A nanotecnologia no mundo: das primeiras iniciativas a atualidade

Em geral os primeiros países a perceber as oportunidades das novas tecnologias são aqueles que de uma maneira ou outra dominam as tecnologias-chave do paradigma vigente. Nesse sentido, não é surpreendente que as primeiras iniciativas para o desenvolvimento das nanotecnologias tenham derivado da tríade EUA, Japão, UE. Entretanto, importantes países emergentes como a China vêm aproveitando as janelas de oportunidades das novas tecnologias⁸⁸. Esta seção traça um breve panorama de algumas iniciativas para o florescimento das nanotecnologias nesses países.

3.1.1 - Estados Unidos, Japão e Europa

Uma das primeiras grandes iniciativas no desenho de políticas de fomento à nanotecnologia no mundo ocorreu no ano 2000, quando o então presidente Bill Clinton anunciou oficialmente a criação da Iniciativa Nacional de Nanotecnologia (*National Nanotechnology Initiative – NNI*) no dia 21 de janeiro na Universidade da Califórnia, mesmo lugar onde 41 anos antes Richard Feynman proferiu sua famosa palestra.

O programa reuniu dez departamentos e agências independentes: departamentos de Defesa; de Energia; de Justiça; de Transportes; de Agricultura; a Agência de Proteção Ambiental; a NASA; o Instituto Nacional de Saúde; o Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia; e a Fundação de Ciências Naturais (VON DE KOKEN, 2006). Com a sua criação, diversas pesquisas na área de nanotecnologia foram desenvolvidas em centros interdisciplinares. Atualmente, dois outros departamentos e uma agência

⁸⁸ “The competition for the promised US\$ 2.5 trillion nanotechnology market by 2015 is reflected in the fierce funding competition among US, the EU and Japan, and the addition of China as a new global player” (INVERNIZZI, 2011, p. 2251).

fazem parte das agências da NNI. São elas: Departamento de Segurança Nacional; Departamento de Comércio; e a Comissão de Segurança de Produto ao Consumidor⁸⁹.

Os princípios objetivos da política de nanotecnologia americana podem ser divididos em três estágios (ROCO, 2011):

1. Entre 2001 e 2005: Neste primeiro período, a pesquisa em nanotecnologia no âmbito da NNI estava focada em cinco tipos de investimento: i) pesquisa fundamental; ii) áreas de pesquisa prioritárias⁹⁰; iii) centros de excelência; iv) infraestrutura; e v) implicações sociais e educação.

2. Entre 2006 e 2010: Neste período, quatro foram as principais metas de pesquisa na NNI: i) Promover avançado programa de P&D em nanotecnologia; ii) fomentar a transferência de novas tecnologias para produtos para benefício comercial e público; iii) desenvolver e manter recursos para educação, força-de-trabalho qualificada, e infraestrutura de apoio e ferramentas para desenvolver nanotecnologia; e iv) auxiliar o desenvolvimento responsável da nanotecnologia.

Além dessas metas, o programa apresenta categorias de investimento chamados de Áreas Componentes do Programa (*Program Component Areas - PACs*) que são as áreas críticas e que auxiliam a realização das metas anteriores. São elas: Fenômenos e processos fundamentais na nanoescala; Nanomateriais; Dispositivos e sistema na nanoescala; Instrumentação, pesquisa, metrologia, e padrões para nanotecnologia; Instalações de pesquisa e aquisição de instrumentos; Nanofabricação; Meio-ambiente, saúde e segurança (EHS); e Aspectos educacionais e sociais.

3. A partir de 2011: A NNI introduzirá três ‘iniciativas de sinalização’ (*signature initiatives*) de P&D para oportunidades de aplicação das nanotecnologias nos curto e longo prazo. São elas: Aplicações de nanotecnologia para Energia Solar; Nanomanufatura sustentável; e Nanoeletrônica para 2020 e além.

O orçamento inicial da NNI foi de US\$ 300 milhões para o ano 2000. Contudo, alguns senadores temiam que, com tão pouco recurso, as descobertas norte-americanas

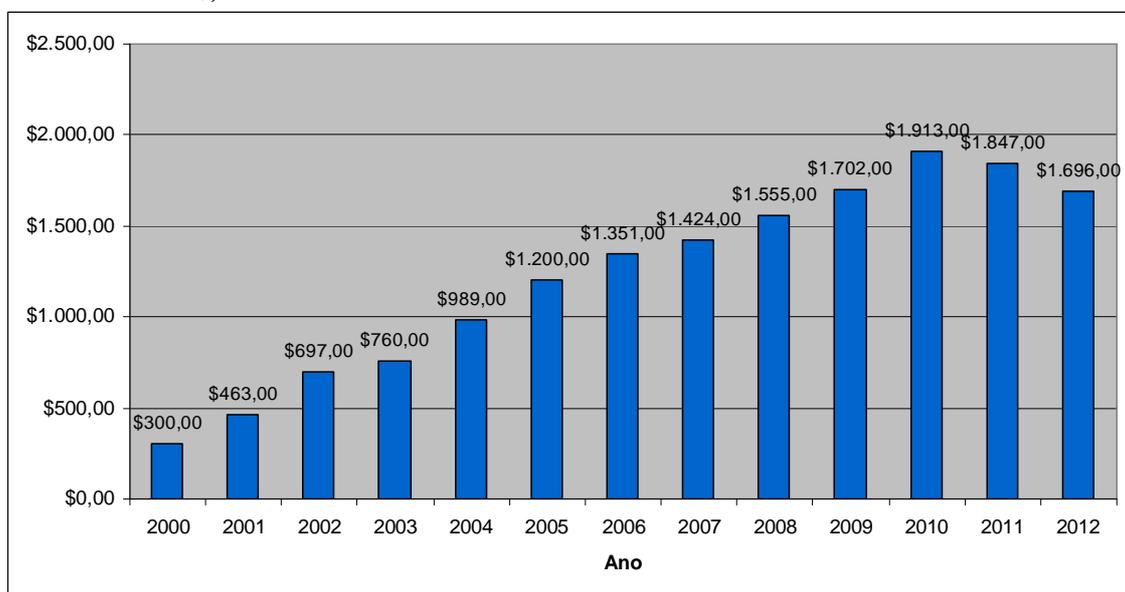
⁸⁹ *National Nanotechnology Initiative* (<http://nanodashboard.nano.gov/>). Acesso em outubro de 2012.

⁹⁰ Essas áreas eram conhecidas como ‘grandes desafios’ que focavam em nove áreas específicas de P&D diretamente relacionadas a aplicações de nanotecnologia, também identificadas como tendo potencial de concretizar significativos impactos econômicos, governamentais e sociais. São as áreas: Materiais nanoestruturados; Manufatura na nanoescala; Detecção e proteção de explosivos químicos-biológicos-radiológicos; Instrumentação na nanoescala e metrologia; Nanoeletrônica, nanofotônica e nanomagnetismo; Saúde, terapêutica e diagnósticos; Conversão e estocagem eficiente de energia; *Microcraft* e robótica; Processos na nanoescala para melhoramento ambiental; e Programas de pesquisa e infraestrutura para a formação de uma ‘comunidade nano’ com forte infraestrutura de P&D e novas programas educacionais de nanotecnologia.

sobre as nanotecnologias corresse o risco de ser utilizadas pelo Japão e pela Europa, que poderiam desenvolver novas tecnologias mais rapidamente que os Estados Unidos (JOACHIM E PLÉVERT, 2008).

Nesse sentido, a partir de 2001, apenas um ano após a criação da NNI, os investimentos públicos e privados somaram US\$ 463 milhões, passando para US\$ 697 milhões em 2002. Neste mesmo ano (2002), o setor público dos EUA investiu US\$ 434,3 milhões no Projeto Genoma Humano, sendo assim gasto uma quantia maior em nanotecnologia (VON DE KOKEN, 2006). A figura 6 apresenta a evolução do orçamento da NNI americana desde o ano 2000.

Figura 6 – Evolução do orçamento da NNI americana no período 2000-2012 (em milhões de US\$)



Fonte: elaboração própria a partir de dados de Roco (2011) e NNI (<http://nanodashboard.nano.gov/>).

É importante destacar que o aumento do interesse (e recursos) voltado para as nanotecnologias não estavam apenas relacionados à percepção estratégica para o desenvolvimento sustentável do planeta, mas, sobretudo, para o desenvolvimento americano em particular. As nanotecnologias foram de imediato consideradas importantes para a microeletrônica, indústria química e farmacêutica. No entanto, ela também foi considerada estratégica para as ofensivas militares do governo George W. Bush, que destinou mais de US\$ 200 milhões apenas em 2003 para o desenvolvimento de novas tecnologias e estratégia militar, direcionados à Marinha, Aeronáutica e Exército dos Estados Unidos, em projetos de desenvolvimento de nanoestruturas,

nanocompostos, nanoeletrônica, nanomagnetismo e nanofotônica (VON DE KOKEN, 2006; JOACHIM E PLÉVERT, 2008).

Além dos EUA, diversos outros países estão investindo em nanotecnologia. O Japão considerou a nanotecnologia uma das suas principais prioridades de investigação a partir de 2001, lançando o Plano Básico de Ciência e Tecnologia – 2001-2005 (*Science and Technology Basic Plan – 2001-2005*), no âmbito do Conselho para Política de Ciência e Tecnologia (*Council for Science and Technology Policy - CSTP*), contendo quatro metas estratégicas: i) Ciência da Vida; ii) Telecomunicação e Informação; iii) Meio Ambiente; e iv) Nanotecnologia e Materiais.

Em relação a esta última, o plano estabelece algumas metas específicas (JAPAN, 2006): Nanodispositivos e novos materiais para a próxima geração de sistemas de tecnologia da informação; Novos materiais para conservação do meio-ambiente e consumo eficiente de energia; Nanobiologia baseada em mecanismos biológicos, microsistemas e novos materiais para uso médico; Tecnologias básicas como instrumentação, avaliação, processamento, análise/simulação numérica, etc.; Materiais inovativos com propriedades e/ou funções físicas avançadas.

A política de nanotecnologia europeia tem início com a Política para Nanociências e Nanotecnologia da União Europeia: Plano de Ação 2005-2009 (*EU Policy for Nanosciences and Nanotechnologies: Action Plan for Europe 2005-2009*). Seu objetivo faz parte de uma ação integrada para “manter e fortalecer a P&D europeia em nanociências e nanotecnologias”, considerada essencial na criação e exploração do conhecimento em benefício da sociedade. Nesse sentido, as ações do plano vão no sentido de (COM, 2004):

- Aumentar o investimento e coordenação de P&D para reforçar a exploração industrial das nanotecnologias, ao mesmo tempo em que mantém a excelência científica e competição;
- Desenvolver uma infraestrutura de P&D mundialmente competitiva (“pólos de excelência”) que leve em consideração as necessidades tanto da indústria quanto das organizações de pesquisa;
- Promover educação interdisciplinar e treinamento de pessoal de pesquisa junto promovendo uma mentalidade empreendedora mais forte;

- Garantir condições favoráveis para a transferência de tecnologia e inovação para garantir que a excelência europeia em P&D seja traduzida em produtos e processos geradores de riqueza;
- Integrar as condições sociais aos processos de P&D em seus estágios iniciais;
- Trazer para discussão os potenciais riscos de saúde pública, segurança e meio-ambiente, e riscos ao consumidor, gerando dados para avaliação de riscos; integrando tais avaliações em todas as etapas do ciclo de vida de produtos baseados em nanotecnologia; adaptando as metodologias existentes e, quando necessário, desenvolver novas;
- Complementar as ações descritas acima com apropriada cooperação e iniciativas de nível internacional.

Segundo o COM (2004), as ações descritas estão de acordo com o Conselho Europeu de Lisboa (2000) - com o compromisso de desenvolver uma economia e sociedade dinâmicas baseadas no conhecimento -, Conselho Europeu de Gothenburg (2001) – visando o desenvolvimento sustentável – e Conselho Europeu de Barcelona (2002) – visando a aplicação de 3% do PIB em pesquisa.

O quadro 7 apresenta os investimentos governamentais destinados à P&D de diferentes países entre 1997 e 2010.

Quadro 7 – Investimentos governamentais destinados à P&D em nanotecnologia, 1997-2010 (milhões de dólares)

Região	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
EUA	116	190	255	270	464	697	862	989	~1200	1351	1425	1554	1702	~1762
Japão	120	135	157	245	~465	~720	~800	~900	~950	950	~950	~950	~950	
UE	126	151	179	200	~225	~400	~650	~950	~1050	~1150	~1450	1700	1900	
Outros	70	83	96	110	~380	~550	~800	~900	~1000	~1200	~2300	~2700	~2700	
Total	432	559	687	825	~1534	~2367	~3112	~3739	~4200	4651	6125	6904	7252	
% 1997	100%	129%	159%	191%	355%	548%	720%	866%	972%	1076%	1417%	1598%	1678%	
% EUA do Total	27%	34%	37%	33%	30%	29%	28%	26%	29%	29%	24%	23%	23%	

Fonte: *National Science Foundation e Roco (2011)*.

Pelo quadro, é possível verificar que os investimentos governamentais em P&D destinados às nanotecnologias aumentaram significativamente desde 1997, com aumento de mais de 1600% no período. Os EUA, Japão e os países da União Europeia lideram os investimentos na área de nanotecnologia, aumentando a cada ano. Afora o

grupo de países da tríade, a UE foi a região que apresentou o maior crescimento relativo nos gastos em P&D no período (1508%), seguida dos EUA (1467%) e Japão (791%). Tomando apenas a participação norte-americana, tem-se uma participação expressiva dos gastos em relação ao total, com uma participação média de em torno de 28% no período em questão.

Até o ano 2000 esses países eram responsáveis por mais de 80% do total dos gastos governamentais em P&D em nanotecnologia. No entanto, a participação dos demais países também vem aumentando ao longo dos anos. Países como Coreia do Sul, Taiwan, Austrália, Canadá, China, Índia, Israel, Malásia, Nova Zelândia, Filipinas, Singapura, Tailândia e países da América Latina e África também vêm aumentando seus investimentos em nanotecnologia.

Em um interessante trabalho sobre indicadores e estatísticas de nanotecnologia, Palmberg *et al.* (2009) mostram que em 2004, ao abrir a categoria ‘outros’, os dez países que realizaram maiores investimentos público em P&D em nanotecnologia foram Estados Unidos, Japão, China, Alemanha, Coreia do Sul, França, Taiwan, Austrália, Reino Unido e Itália. Assim, países como China e Coreia do Sul ganham espaço como importantes atores. O Brasil aparece na 19ª posição, atrás de países como Indonésia e Índia, mas a frente de países como Finlândia, Suécia e Dinamarca.

Convém analisar com mais detalhe o caso Chinês.

3.1.2 - China

Depois que países como EUA, Japão, União Européia e outras nações lançaram uma série de estratégias de desenvolvimento de nanotecnologias no final da década de 1990 e início dos anos 2000, os responsáveis pela política chinesa perceberam que o país também deveria entrar na ‘corrida’ para não ficar para trás na exploração desta nova tecnologia emergente.

Compartilhando a idéia desenvolvida por Perez e Soete (1988) de que quanto mais cedo e sólido fosse o comprometimento com a nova tecnologia, maior a possibilidade da indústria autóctone se desenvolver e efetivamente competir à medida que a nova tecnologia se tornasse mais madura. Em outras palavras, a política chinesa entendeu que a emergência das nanotecnologias se tratava de uma importante ‘janela de oportunidade’ para que o país desenvolva e se torne referência quando as

nanotecnologias se tornarem as novas tecnologias-chave na nova trajetória que se desenha.

Para tanto, foi estabelecido em novembro de 2000 o Comitê Nacional para Nanociência e Nanotecnologia para supervisionar as políticas nacionais e coordenar as ações em todo o país. O ministro de Ciência e Tecnologia foi o diretor do comitê. Entre os vice-diretores incluíam os vice-ministros daquele ministério, o vice-presidente da Academia Chinesa de Ciências, e o vice-presidente da Fundação Nacional de Ciência Natural. Além desses, representantes do Ministério da Educação, da Comissão Nacional de Desenvolvimento e Reforma (uma agência ministerial), e da Comissão de Ciência, Tecnologia e Indústria para Defesa Nacional também estavam envolvidos como membros do comitê. O Comitê Nacional para Nanociência e Nanotecnologia envolveu, ainda, todas as organizações financiadoras de P&D no país, buscando realizar ações de políticas combinadas a nível nacional. Como resultado, o comitê desenhou o primeiro documento de política nacional voltado para promover o desenvolvimento da nanotecnologia, anunciado como a Estratégia Nacional para Desenvolvimento da Nanotecnologia⁹¹ (2001-2010), incluindo estratégias bastante similares ou iniciativas anunciadas em outros países, em especial da NNI (HUANG e WU, 2011).

A ‘Estratégia’ chinesa enfatizou a importância da ciência básica para a nanotecnologia, demandando assim maior suporte financeiro do governo. O objetivo era priorizar a comercialização da nanotecnologia e propriedade intelectual a partir da P&D⁹². Huang e Wu (2011) apontam que a ‘Estratégia’ se baseava na idéia de que o desenvolvimento bem-sucedido da nanotecnologia dependia de pessoal competente de P&D, bem como enfatizava a necessidade de treinamento e manutenção de cientistas na área, evidenciando uma visão de política de longo prazo.

Nesse sentido, foi criado o Centro Nacional para Nanociência e Nanotecnologia⁹³ em dezembro de 2003 pela Academia Chinesa de Ciências e o Ministério da Educação, integrando-se a esse centro as duas principais universidades chinesas, Perking University e Tsinghua University. Os objetivos principais do Centro foram a construção de uma plataforma tecnológica e a execução de uma pesquisa básica em nanociência com equipamentos modernos, sendo aberta à comunidade científica chinesa e aos colaboradores internacionais. A pesquisa foi focada principalmente na

⁹¹ *National Nanotechnology Development Strategy*.

⁹² Veremos mais adiante que o Brasil também priorizou a ciência básica e P&D como estratégia de desenvolvimento das nanotecnologias.

⁹³ *National Center for Nanoscience and Technology of China*.

nanofabricação, nanodispositivos, nanomateriais, nanoestruturas, nanobiologia, nanomedicina e caracterização e medidas com um corpo de, aproximadamente, 100 pesquisadores. Uma das suas principais ações tem sido a cooperação internacional, por exemplo, com a Alemanha, França, Dinamarca, Reino Unido, EUA, Suíça e Japão (FAZZIO, 2011).

Como resultado, a China passou a ser o terceiro país que mais investe em P&D em nanotecnologia, atrás apenas dos EUA e Japão. Entre 2005 e 2007 os governos norte-americanos e japoneses investiram US\$ 1,816 milhões e US\$ 1,060 milhões, respectivamente, em P&D em nanotecnologia. Neste mesmo período, a China investiu US\$ 893 milhões (PALMBERG *et al.*, 2009; HUANG e WU, 2011). Desse total, quase dois terços foi proveniente de recursos públicos, diferentemente de países como EUA, Japão, Alemanha e Coreia do Sul, que têm nas corporações os grandes provedores de recursos para investimentos em nanotecnologia.

Além da P&D, a China também conquistou importante espaço entre os países em relação às publicações científicas. Em uma década, a China ultrapassou o Japão em número de publicações em nanotecnologia, conquistando o segundo lugar no *ranking* de países que mais publicam nesta área, atrás apenas dos EUA. De uma participação de apenas 6% nas publicações em nanotecnologia em 1998, a China chega em 2008 com 23% das publicações mundiais na área, com uma taxa de crescimento anual em torno de 92% no período. Países como EUA, Japão, Alemanha, França, Reino Unido, Itália e Rússia tiveram um crescimento anual entre 8% e 15% no mesmo período (HUANG E WU, 2011). Levando em consideração a participação das publicações em nanotecnologia de cada país em relação ao total de publicações no mundo, Palmberg *et al.* (2009) mostram que no período entre 1991 e 2007 os EUA aparecem como o país que tem maior participação das publicações em nanotecnologia (22%), seguido da China (11%), Japão (10%), Alemanha (8%), França (6%) e Reino Unido (5%), sendo esses seis países responsáveis por 63% das publicações relacionadas às nanotecnologias.

Tomando-se a taxa de crescimento médio anual das publicações em nanotecnologia no período de 1996 a 2006, o cenário é diferente, com destaque para os ‘recém-chegados’ entre os países com maior taxa de crescimento. São eles: Singapura, China, Coreia do Sul, Índia, Taiwan, Brasil, Polônia, Espanha, Austrália e Canadá nas dez primeiras posições.

O Brasil ocupa a 18ª posição entre os países que mais publicam em nanociência e nanotecnologia. Ainda que seja uma participação tímida quando comparado com os países líderes, o Brasil notabilizou-se como o 6º país com maior taxa de crescimento médio (em torno de 28%) das publicações científicas em nanotecnologia entre 1996 e 2006 (*Ibid.*).

No que diz respeito às patentes, a participação da China é bem menos expressiva no cenário mundial do que em relação às publicações científicas. Até 2005, a participação de patentes chinesas representa pouco menos de 1% das patentes mundiais, diferente dos EUA que possuem em torno de 38%. Em relação às patentes em nanotecnologia, segue o domínio norte-americano, com 48% das patentes mundiais em nanotecnologia, bem na frente do Japão, que aparecem em segundo lugar com 14% das patentes, e da Alemanha com 10%. A China aparece na 14ª posição com menos de 1% das patentes em nanotecnologia.

Apesar disso, a China foi o quarto país com maior taxa de crescimento anual de patentes em nanotecnologia entre 1995 e 2004, com crescimento de pouco mais de 40%. O país com maior taxa de crescimento foi a Coreia do Sul com 70%, seguida da Índia (53%) e Polônia (52%). O Brasil aparece na 17ª posição, com taxa de crescimento de em torno de 20% no período considerado.

Nesse contexto, esses indicadores apontam que a China, de fato, vem avançando no sentido de se aproximar dos países líderes em termos de investimentos público e privado em pesquisa, publicações e mesmo patentes, para se tornar um importante ator no cenário mundial da nanotecnologia. No entanto, embora tenha avançado positivamente, Huang e Wu (2011) chamam atenção para o fato de que a comercialização em grande escala depende de uma série de outros fatores além do investimento público que, apesar de ser uma condição necessária, não se apresenta como uma condição suficiente para o desenvolvimento e comercialização bem-sucedidos das nanotecnologias emergentes.

O desenvolvimento da nanotecnologia na China vem sendo dominada pelas atividades de P&D nas universidades e institutos de pesquisa. Contudo, o desenvolvimento de produtos à base de nanotecnologia, comercialização e sua aplicação ainda são tímidos se comparadas com sua crescente capacidade de pesquisa, o que indica uma significativa lacuna entre sua base de pesquisa e o desenvolvimento industrial. Assim, não obstante sua forte capacidade de pesquisa pública e sua tradição em se comprometer em ações de desenvolvimento de longo prazo, as empresas

nacionais chinesas ainda estão incipientes nas inovações e desenvolvimento industriais relacionados às nanotecnologias, com desempenho ainda insuficiente para se tornar um líder mundial, apesar do seu potencial para tal.

Veremos, mais a diante, que esta concepção de política baseada no fortalecimento da ciência básica e capacidade de pesquisa em nanotecnologia também foi aplicada no Brasil, ainda que em menores proporções. Como na China, o Brasil também ainda não foi capaz de unir sua também crescente capacidade de pesquisa com o desenvolvimento industrial e geração e difusão de inovações em nanotecnologias.

3.1.3 - As principais áreas de investimento

Viu-se anteriormente que uma das principais características da nanotecnologia é a sua multidisciplinaridade. Os campos da nanociência e da nanotecnologia são amplos e envolvem quase todas as disciplinas e áreas de relevância. Por isso, os investimentos dos países sempre estão relacionados a uma variada gama de nanotecnologias. O quadro 8 apresenta as principais áreas de investimento em nanotecnologias que governos de diferentes países começaram priorizando.

Quadro 8 – Áreas de investimento do governo em nanotecnologia em diferentes países

País	Materiais/ Manufatura	Dispositivos (eletrônicos e ópticos)	Energia e meio- ambiente	Biotecnologia e medicina	Instrumentos	Educação
Alemanha	X	X		X	X	
Argentina	X					
Austrália	X	X	X	X		
Brasil	X	X		X		
Canadá	X	X		X		
EUA	X	X	X	X	X	X
França	X			X		
Índia	X	X		X	X	X
Itália	X	X		X	X	
Japão	X	X	X	X	X	
Reino Unido	X	X		X		
Suíça	X	X		X	X	

Fonte: *International Dialogue on Responsible Research and Development of Nanotechnology (2004); Zanetti-Ramos e Creczynski-Pasa (2008).*

Apenas os EUA estavam investindo em todas as principais áreas contempladas pelo estudo considerado. No caso do Japão, seus investimentos estavam condizentes com as diretrizes estratégicas do seu Plano Básico de Ciência e Tecnologia.

Destacaram-se como as principais áreas de investimento os nanomateriais e manufatura, priorizada por todos os países em questão; e a nanobiotecnologia e nanomedicina, onde apenas a Argentina não configura como tendo investido nesta área. Além dessas, também relevante foram os nanodispositivos, também priorizados pela maioria dos países, exceto Argentina e França.

Um dos reflexos dos investimentos daqueles países nessas áreas apresentadas no quadro 8 pode ser percebido pela distribuição das patentes por subáreas das nanotecnologias. Palmberg *et al.* (2009) mostram, baseados em números do PCT (*Patent Cooperation Treaty*)⁹⁴, que no período 1995-2005 a maior participação das patentes em nanotecnologia esteve concentrado nos nanomateriais, com 38% das patentes. Na sequência aparecem os nanoeletrônicos (25%), nanobiotecnologia (13%), nano-ótica (11%), instrumentação (9%) e nanomagnetismo (4%). Além disso, mostram também que três países possuem 72% das patentes de nanotecnologia depositadas nesta base internacional até 2005. São eles: Estados Unidos (48%), Japão (14%) e Alemanha (10%).

Segundo Zanetti-Ramos e Creczynski-Pasa (2008), das amplas oportunidades de P&D, os países estão desenvolvendo áreas que correspondem às suas necessidades estruturais, com o foco variando, principalmente, entre ciência (ex. EUA e França) e indústria (ex. Coréia do Sul). Ressaltam, ainda, que o ponto-chave dos benefícios econômicos da nanotecnologia será o estabelecimento de uma infraestrutura capaz de educar e treinar um número adequado de pesquisadores, professores e profissionais técnicos, criando uma nova geração de profissionais hábeis, com perfis multidisciplinares que serão necessários para o rápido progresso da ciência. Entretanto, apesar de acentuarem a importância do estabelecimento dessa infraestrutura educativa multidisciplinar, o quadro apresentado pelos autores mostra que a educação em nanotecnologia foi priorizada apenas pelos governos norte-americano e indiano.

⁹⁴ O PCT consiste em um levantamento de pedidos de patentes recém publicados em todo o mundo, que contém os pedidos de patentes depositados e publicados em mais de 70 países, inclusive o Brasil. Esta fonte oferece uma ampla cobertura internacional, além de evitar algumas tendências para países que usam dados dos escritórios nacionais, como o USPTO (*US Patent Office*) ou o JPO (*Japanese Patent Office*). Esta base compõe a base de dados de patentes da OCDE.

3.2 – Cenário da política de inovação brasileira: o contexto do surgimento da política de nanotecnologia

Koeller e Cassiolato (2009) evidenciam que é essencial para uma análise da política de inovação no Brasil levar-se em consideração o contexto macroeconômico do período em ela foi concebida. Não apenas no Brasil, mas em toda a América Latina, as políticas voltadas para indústrias e setores foram prejudicadas, e mesmo anuladas, pela aplicação das políticas macroeconômicas de estabilização. Nunca as relações micro e macroeconômicas foram tão evidentes, assim como o papel das políticas implícitas (positivas e, principalmente, negativas) em um determinado contexto⁹⁵.

Esta seção apresenta algumas observações acerca do cenário que antecedeu e possibilitou a retomada da política de inovação no Brasil, a partir de um contexto de restrições e crescimento da economia brasileira. É nesse contexto que surge a política para a nanotecnologia no Brasil.

3.2.1 - O contexto

O período que se inicia a partir da abertura comercial na década de 1990, e reforçado a partir do Plano Real em 1994, conduz o governo a voltar suas forças para combater a instabilidade macroeconômica. Políticas de desenvolvimento produtivo e inovativo, bem como políticas sociais, foram subjugadas e anuladas pelas políticas de estabilização em vigor, evidenciando, por um lado, o conflito entre políticas aplicadas descoordenadamente, e, por outro, por quanto à política macroeconômica afeta as variáveis microeconômicas.

Nesse cenário, no fim dos anos 1990 era evidente que o setor produtivo brasileiro estava bastante fragilizado e vulnerável, sobretudo, às flutuações financeiras externas. Os déficits persistentes no balanço de pagamentos levaram o país a uma posição insustentável nas suas taxas de câmbio, culminando em uma grande desvalorização cambial em janeiro de 1999, e na mudança no regime de taxa de câmbio fixa para um regime de taxas flutuantes, impactando diretamente a política de comércio

⁹⁵ Cassiolato *et al.* (2012) analisam as relações micro e macroeconômicas na América Latina à luz dos estudos de Jorge Katz no contexto da escola estruturalista latino-americana cepalina e da abordagem dos sistemas de inovação.

exterior. Junto a esta mudança, o Brasil também começou a adotar uma política fiscal bastante restrita, como parte de um regime de metas de inflação.

Com um regime flutuante, as taxas de câmbio eram ocasionalmente sobrevalorizadas, o que estimulava as importações em detrimento do setor produtivo doméstico. Soma-se a isso, a falta de investimentos em atividades inovativas, que levou a uma perda de competitividade, ocasionando aumento no estímulo à importação, particularmente de bens com maior valor agregado e mais intensivos em tecnologia. Além disso, a política fiscal restritiva também levou a uma redução nos investimentos pelo governo federal, entretanto investimentos em infraestrutura que, por sua vez, se tornaram gargalos a produção (KOELLER E GORDON, 2010).

Como resultado, o crescimento real do Produto Interno Bruto (PIB) diminuiu acompanhado da taxa de investimento na economia. Após a estagnação que ocorreu em 1999, os anos seguintes foram de crescimento lento e padrões divergentes, tanto na tendência do PIB quanto na do investimento, como mostra a tabela 1.

Tabela 1 – Taxa de crescimento real do PIB e taxa de investimento em relação ao PIB – 1999-2010

Período	PIB – Taxa de crescimento real (%)	Investimento/PIB (%)
1999	0,3	17,75
2000	4,3	16,80
2001	1,3	17,00
2002	2,7	16,40
2003	1,1	15,30
2004	5,7	16,10
2005	3,2	15,90
2006	4,0	16,40
2007	6,1	17,50
2008	5,2	18,70
2009	-0,6	16,70
2010	7,5	18,40

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES)

Neste cenário, recursos foram alocados como reservas contingenciais, reduzindo, portanto, o orçamento disponível para os ministérios destinados à implantação de políticas, afetando, por conseguinte, o orçamento destinado à política de inovação (tabela 2).

Apesar disso, o Governo Federal passou a reconhecer a necessidade de intervenção com respeito ao desenho de políticas para inovação, particularmente no estabelecimento de parcerias entre instituições científicas e tecnológicas e empresas. Segundo Koeller e Cassiolato (2009), a racionalidade vigente era de que a falta de interação entre as instituições de ciência e tecnologia e as firmas estava impedindo a estrutura científica brasileira de “produzir” inovações.

Para esse fim, visando à implementação de uma política de inovação, o Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT) arquitetou um esquema para proporcionar novos financiamentos. Assim, os Fundos para Desenvolvimento Científico e Tecnológico, os Fundos Setoriais, foram estabelecidos com o objetivo de reconstruir a capacidade de conceder incentivos para financiar P&D e inovação. Tais fundos possibilitaram o estabelecimento de comissões de coordenação com representantes do governo, do setor privado, e da academia, responsáveis pelo estabelecimento de diretrizes, selecionando e monitorando projetos para serem financiados. Além disso, esses projetos de pesquisa a serem financiados tinham que incluir empresas e instituições científicas e tecnológicas (*Ibid*).

Como resultado, a tabela 2 mostra o crescimento dos recursos totais disponíveis para as atividades científica, tecnológica e de inovação através da evolução dos fundos setoriais como percentual do PIB no período entre 1999 e 2010, apesar das oscilações. Observa-se que os fundos acumulados e o montante utilizado cresceram no período, apesar da restrição no orçamento imposta pelo governo federal a partir de 2001, como resultado da nova política de restrição fiscal, na forma de reservas contingenciais mencionadas anteriormente.

Nesse sentido, uma parte dos fundos foi retida pelo Ministério da Fazenda como uma ‘contribuição’ para os recém-criados fundos contingenciais. Esses fundos foram estabelecidos para controlar as despesas orçamentais. Assim, no período de 2001 a 2005 os recursos canalizados para os fundos contingenciais foram maiores do que o volume dos recursos efetivamente aplicados pelos fundos setoriais. Apenas a partir de 2006 o montante pago foi maior do que os fundos contingenciais. Esta situação favorável estava consistente com o crescimento do PIB e dos investimentos, apesar da queda em 2009, devido à crise que tem afetado o mundo desde o fim de 2008, e posterior retomada em 2010 (tabela 1). A diminuição da Lei Orçamentária de 0,074 em 2008 para 0,044 em 2009 também explica esse fato.

Tabela 2 – Total dos Fundos Setoriais como proporção do PIB – 1999-2010

Período	Fundos Acumulados	Lei do Orçamento	Fundos Contingenciados	Montante Pago
1999	0.010	0.010	-	0.003
2000	0.021	0.025	-	0.011
2001	0.035	0.050	0.029	0.024
2002	0.062	0.057	0.023	0.021
2003	0.078	0.072	0.069	0.033
2004	0.073	0.073	0.042	0.031
2005	0.075	0.075	0.040	0.035
2006	0.080	0.074	0.029	0.042
2007	0,076	0,071	0,024	0,041
2008	0,083	0,074	0,031	0,037
2009	0,083	0,044	0,014	0,036
2010	0,076	0,081	0,083	0,083

Fonte: Atualizado a partir de Koeller e Cassiolato (2009)

Por fim, observa-se em 2010 uma recuperação da economia, com PIB e investimento novamente crescendo. Neste ano, tanto o recurso pago quanto os fundos contingenciados cresceram em comparação com o ano anterior, exibindo o mesmo valor.

Assim, a criação desses fundos expandiu a capacidade de financiamento do Sistema Brasileiro de Ciência e Tecnologia. Além disso, proporcionou ao MCT os instrumentos para aumentar os recursos financeiros e proporcionar estabilidade ao sistema de Ciência, Tecnologia e Inovação (C,T&I); eleger setores produtivos como centro de suas ações; e criar uma ambiente institucional que conduza a uma gerência compartilhada dos fundos por agências governamentais, como a agência Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (PEREIRA, 2005). Foi nesse contexto que a política de inovação, em geral, e a política de nanotecnologia, em particular, foi concebida no Brasil.

3.2.2 - O cenário da política

As diretrizes e estratégias da política de inovação implementada no Brasil a partir de 1999 estavam voltadas, sobretudo, a criação de um ambiente que estimulasse a inovação através da reconstrução da capacidade de promover e/ou financiar P&D e inovação, além da mudança do quadro institucional, visto como um empecilho do processo de inovação nas empresas.

Em 2003 o MCT submeteu, com sucesso, ao Congresso uma série de propostas com o objetivo de estabelecer novos mecanismos para o financiamento de atividades inovativas, assim como de reestruturar os incentivos fiscais para a Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e inovação (KOELLER E GORDON, 2010). Como resultado, dois instrumentos legais foram introduzidos em 2004 e 2005, ambos com vistas à promoção da inovação através de incentivos fiscais ou subsídios não-reembolsáveis, e subsídios em taxas de juros: a “Lei do Bem” (Lei Nº 11.196) e a “Lei da Inovação” (Lei Nº 10.973). O primeiro se trata de um mecanismo para promoção da inovação através de incentivos fiscais, beneficiando firmas que realizam atividades de P&D. O segundo está focado na constituição de um ambiente para o estabelecimento de parcerias entre empresas, institutos de pesquisa e tecnológicos, e universidades, criando incentivos para a participação desses institutos no processo de inovação e para a inovação dentro das firmas⁹⁶. Tais instrumentos se tornaram importantes ferramentas para as políticas e programas desenhados no período.

O lançamento da Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior (PITCE) em 2004 marca a retomada de políticas de desenvolvimento competitivo da indústria brasileira. A PITCE buscava aumentar a eficiência da estrutura produtiva, da capacidade de inovação das empresas e o aumento da competitividade no cenário internacional. Sua linha de ação estava estruturada em três eixos principais:

1. Linhas de ação horizontais: inovação e desenvolvimento tecnológico; inserção internacional (exportação); modernização industrial; capacidade de produção e escala; opções estratégicas.
2. Promoção de setores estratégicos: Semicondutores; *software*; Bens de capital; fármacos e medicamentos.
3. Atividades portadoras de futuro: Biotecnologia; **nanotecnologia**; energias renováveis.

⁹⁶ A principal crítica em relação, principalmente, à “Lei do Bem” é que este mecanismo de conceder incentivos fiscais não se trata de um mecanismo adequado para mudar estratégias de longo prazo dos agentes no setor produtivo. Seria mais um elemento secundário para incentivar a inovação. As firmas, nesse contexto, investiriam com ou sem incentivos fiscais caso esse investimento fosse parte de suas estratégias de longo prazo (KOELLER E GORDON, 2010). Além disso, tais incentivos estão especificamente voltados para firmas que realizam atividades de P&D, o que traz implícito um conceito restrito da inovação (KOELLER, 2007).

Com a PITCE, a temática da inovação é claramente incorporada além das políticas de ciência e tecnologia, com destaque para o incentivo a áreas estratégicas, portadoras de futuro, mostrando uma concepção muito similar à idéia de paradigma tecnológico emergente, como destaca Bianchi (2012) em referência à biotecnologia, semelhante às nanotecnologias.

Apesar da idéia de contemplar medidas horizontais para diversas atividades econômicas, a PITCE foi bastante criticada pela falta de clareza e objetivos aos principais setores mais intensivos em mão-de-obra que são importantes empregadores no Brasil (IPEA, 2010a, 2010b). De qualquer maneira, a estratégia brasileira apontava, a partir de então, para a promoção da inovação e de setores estratégicos. Nesse sentido, e em decorrência das críticas, o governo lança no ano de 2008 a Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP). A PDP surge como um aprofundamento da PITCE, procurando preencher as lacunas da política anterior e lançar novas metas de acordo com sua nova posição no cenário econômico e político mundial, bem como o tipo de estrutura produtiva que se pretende alcançar. Uma nova era de política de inovação explícita parece se desenvolver a partir da PDP.

A PDP foi lançada em maio de 2008 como parte de um cenário bastante positivo para a economia brasileira. Depois de um período de baixo crescimento, o país retomou um ciclo mais dinâmico a partir de 2004 (PEIXOTO, 2011b). O país contava também com as contas externas equilibradas e nível elevado de reservas. Além disso, o Brasil estava às vésperas de ser elevado à categoria de grau de investimento, e vinha também obtendo superávits comerciais consistentes (IPEA, 2010a). A inflação estava baixa e pouco volátil, com mercados de crédito e de capitais em expansão, redução do desemprego, aumento do emprego formal, além do setor privado com recursos para investir. Isto é, a economia brasileira apresentava as condições necessárias para um novo ciclo de crescimento.

Nesse cenário, a PDP fora apresentada como um conjunto de incentivos e regulamentos voltado ao setor industrial, com o objetivo de propiciar crescimento econômico, impulsionado pelo desenvolvimento industrial, com resultados na geração de empregos e aumento da competitividade, além de dar sustentabilidade ao então ciclo de expansão da economia.

A partir dos desafios estabelecidos na PDP⁹⁷, suas principais metas foram divididas em dois grupos: as macrometas e as metas por programas específicos. O primeiro grupo tratava-se de metas reconhecidamente desafiadoras a serem monitoradas com o objetivo de acompanhar a política, verificando os resultados alcançados e corrigindo os rumos quando necessário. O segundo grupo de políticas já estava relacionado a políticas de mais longo prazo, voltado para mudanças estruturais de fundamental importância para o desenvolvimento produtivo do país no longo prazo. É este segundo grupo que nos interessa aqui.

As metas por programas específicos abrangem políticas em três diferentes níveis: i) Ações sistêmicas; ii) Programas estruturantes para sistemas produtivos; e iii) Destaques estratégicos.

Esses três níveis de políticas disponibilizam instrumentos com recursos financeiros e incentivos fiscais definidos e direcionados tanto para setores específicos da economia quanto de abrangência geral para todos os setores na indústria brasileira, sendo os Programas Estruturantes para Sistemas Produtivos aqueles cujos instrumentos e recursos estão bem definidos no âmbito da PDP. O quadro 9 apresenta um quadro esquemático da estrutura da PDP.

Quadro 9 – Estrutura da PDP

Objetivo Central	Dar sustentabilidade ao atual ciclo de expansão			
Desafios	Ampliar capacidade de oferta	Preservar robustez do balanço de pagamentos	Elevar capacidade de inovação	Fortalecer MPES
Metas	Macrometas 2010			
	Metas por programas específicos			
Políticas em 3 níveis	Ações Sistêmicas: Focadas em fatores geradores de externalidades positivas para o conjunto da estrutura produtiva			
	Programas Estruturantes para sistemas produtivos: orientados por objetivos estratégicos tendo por referência a diversidade da estrutura produtiva doméstica			
	Destaques estratégicos: temas de política pública escolhidos deliberadamente em razão da sua importância para o desenvolvimento produtivo do país no longo prazo			

Fonte: Brasil (2008).

Nesse sentido, os principais setores específicos da indústria que estão em destaque na PDP e estão nos três principais programas estruturantes são:

⁹⁷ Os desafios propostos para dar sustentabilidade ao ciclo de expansão foram: ampliar a capacidade de oferta; preservar a robustez do balanço de pagamentos; elevar a capacidade de inovação; e fortalecer as micros e pequenas empresas (MPES).

- Programas Mobilizadores em Áreas Estratégicas: Complexo Industrial da Saúde (CIS); Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs); Energia Nuclear; Complexo Industrial da Defesa; **Nanotecnologia**; e Biotecnologia. Coordenação: Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT).
- Programas pra Fortalecer a Competitividade: Complexo Automotivo; Bens de Capital; Têxtil e Confecções; Madeira e Móveis; Higiene, Perfumaria e Cosméticos; Construção Civil; Complexo de Serviços; Indústria Naval e Cabotagem; Couro, Calçados e Artefatos; Agroindústrias; Biodiesel; e Plásticos. Coordenação: Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC).
- Programas para Consolidar e Expandir a Liderança: Complexo Aeronáutico; Petróleo, Gás Natural e Petroquímica; Bioetanol; Mineração; Siderurgia; Celulose e Papel; e Carnes. Coordenação: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES).

Os principais instrumentos da PDP estão relacionados às seguintes esferas:

1. Incentivos: Incentivos fiscais, crédito, capital de risco, e subvenção econômica;
2. Poder de Compra do Estado: Compra da administração direta e de empresas estatais;
3. Regulação: Técnica, econômica e concorrencial;
4. Apoio Técnico: certificação e metrologia, promoção comercial, propriedade intelectual, capacitação de recursos humanos e capacitação empresarial.

Tais instrumentos estão divididos em quatro áreas, apresentados nas seguintes divisões (DECOMTEC, 2009):

- Investimentos: Financiamento via crédito ou subvenção econômica (sem contrapartida da empresa), programas, incentivos fiscais e fundos de participação;
- Tecnologia: Financiamento via crédito ou subvenção econômica (sem contrapartida da empresa), incentivos fiscais e fundos de participação;

- Exportação: Financiamento via crédito ou subvenção econômica (sem contrapartida da empresa), incentivos fiscais;
- Instrumentos Complementares: Serviços.

O quadro 10 apresenta a proporção das áreas nas quais os instrumentos estão divididos, sendo que a maioria relacionada ao apoio a investimento e tecnologia.

Quadro 10 – Instrumentos da PDP Selecionados no Manual

Instrumentos PDP Selecionados	Total (%)
Investimento	44%
Tecnologia	27%
Exportação	16%
Instrumentos Complementares	13%
Total	100%

Fonte: DECOMTEC (2009).

É, portanto, no âmbito dos Programas Mobilizadores em Áreas Estratégicas que é idealizada a política com o objetivo de elevar a capacidade de inovação para a nanotecnologia no Brasil no âmbito da PDP.

3.2.3 - A inserção da nanotecnologia na Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP)

A nanotecnologia aparece na PDP como uma área considerada estratégica onde é possível obter ganhos de competitividade mediante à incorporação de conhecimento científico-tecnológico.

A partir de um cenário do mercado mundial em expansão, percebeu-se que no Brasil poucas empresas desenvolviam e utilizam nanotecnologias. Apesar disso, considerou-se que o Brasil já contava com uma infraestrutura científica básica estruturada. Assim, a abordagem, por parte do Governo Federal, buscava ampliar o acesso da indústria aos desenvolvimentos da nanotecnologia, bem como estreitar as relações desta com as instituições de pesquisa.

Nesse sentido, a PDP parte de três grandes desafios para a nanotecnologia: i) desenvolver uma base produtiva e tecnológica e capacitação de RH; ii) atrair P&D para o Brasil; e iii) adequar o marco normativo.

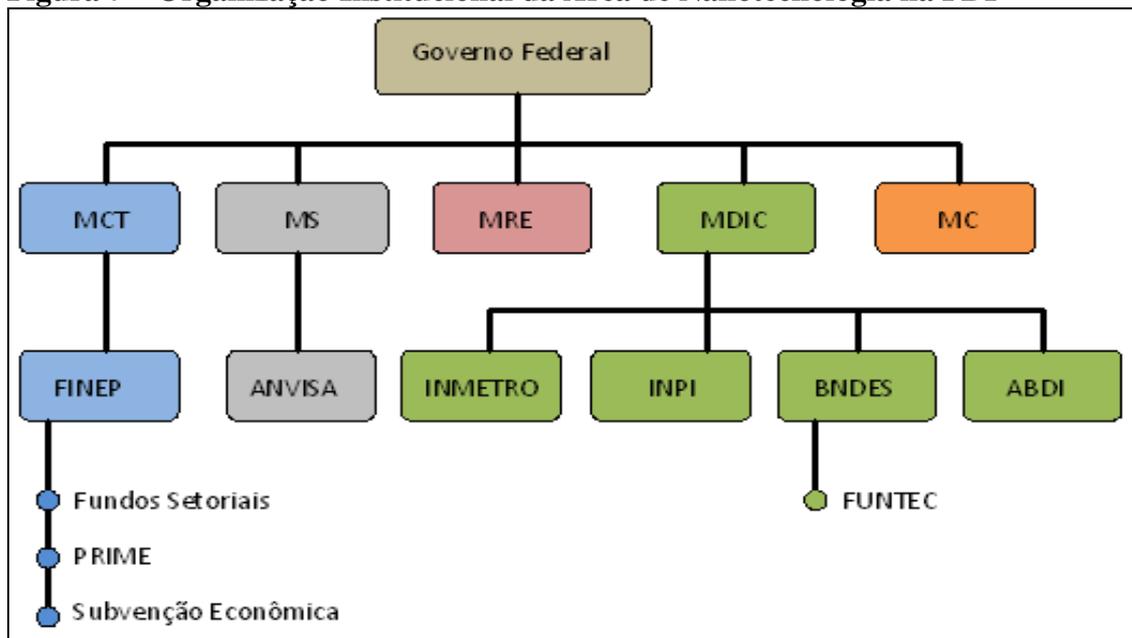
Para isso, o Governo Federal tinha a intenção de utilizar-se de diversos instrumentos e instituições já existentes, ou seja, já definidas anteriormente, sobretudo no âmbito da PITCE.

Para o desenvolvimento da base produtiva e tecnológica e capacitação de RH, o Governo Federal propôs os seguintes instrumentos: (i) Programa Nacional de Nanotecnologia, administrado pelo MCT; (ii) os Fundos Setoriais, gerenciado pela FINEP; (iii) incentivos fiscais, possíveis pela Lei de Inovação; (iv) o Fundo Tecnológico (FUNTEC), administrado pelo BNDES; (v) estratégia nacional de nanotecnologia, sob gestão da ABDI; (vi) normas técnicas, sob responsabilidade da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT); (vii) o Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE); (viii) gestão da propriedade intelectual, sob responsabilidade do Instituto Nacional de Propriedade Intelectual (INPI); (ix) metrologia, normatização e certificação, sendo o órgão responsável, o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO); (x) compras governamentais, sob gestão do Ministério da Saúde; (xi) regulação sanitária, sob responsabilidade da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA).

Para atrair P&D para o Brasil, o Governo Federal contava com: (i) incentivos fiscais, viabilizados pela Lei de Inovação; (ii) Programa Nacional de Nanotecnologia, sob responsabilidade do MCT; (iii) promoção comercial, sob responsabilidade da APEX e do MDIC; (iv) o programa de atração de investimentos, sob gestão da Casa Civil; (v) acesso a mercados exteriores e promoção comercial, sob responsabilidade do Ministério das Relações Exteriores (MRE); (vi) propriedade industrial, sob gestão do INPI.

O último desafio foi o de adequar um marco normativo. Para isso, o Governo contava com: (i) Programa Nacional de Nanotecnologia, sob gestão do MCT; (ii) propriedade industrial, sob responsabilidade do INPI; (iii) metrologia, normatização e certificação, sob responsabilidade do INMETRO; e (iv) regulação sanitária, sob responsabilidade da ANVISA.

A figura 7 apresenta a organização institucional da nanotecnologia na PDP.

Figura 7 – Organização Institucional da Área de Nanotecnologia na PDP

Fonte: Brasil (2008).

Entretanto, apesar da presença de diversas instituições e esferas de governo no quadro institucional da política para nanotecnologia na PDP, na prática, as ações ficaram restritas ao MCT, tendo o programa de Subvenção Econômica da FINEP o principal instrumento de financiamento às empresas.

3.3 – A iniciativa brasileira em nanotecnologia: redes, programas e financiamento

Reconhecendo a importância e impacto das nanociências e nanotecnologias para o desenvolvimento, o MCT junto a sua principal agência de fomento até então, o CNPq, dão início em novembro de 2000 a uma iniciativa com vistas à formação de uma ação coordenada para o desenvolvimento dessa nova área emergente. Até então, poucos cientistas trabalhavam, sobretudo de maneira independente, na área. Além disso, a nanotecnologia não fazia parte da Agenda Brasileira de Ciência e Tecnologia (C&T).

O primeiro passo para a conformação de uma política brasileira de nanotecnologia foi dado então no fim do ano 2000 quando o MCT e o CNPq organizaram o *workshop* “Tendências em Nanociências e Nanotecnologias”, onde participaram 32 pesquisadores de diversas áreas das ciências físico-naturais e engenharias, que chegaram a um consenso sobre a necessidade de lançar um programa que estimulasse esta área emergente no Brasil e no mundo. Assim, foi criado um grupo

de trabalho com o objetivo de mapear as competências brasileiras em nanotecnologia e elaborar uma agenda (INVERNIZZI *et al.*, 2011).

Contudo, a nanotecnologia começou mesmo a ganhar visibilidade no Brasil após a Conferência Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação, realizada em 2001, quando uma seção lhe foi dedicada no “Livro Verde” da Conferência⁹⁸. De acordo com o Livro, as políticas de C&T tinham, até então, contribuído para desenvolver com êxito uma boa infraestrutura de pesquisa, bem como constituir recursos humanos qualificados, não obstante não ter conseguido integrar o sistema de C&T com o sistema produtivo, de modo a auxiliar este último a desenvolver competitividade através da inovação.

Nesse sentido, utilizou-se os Fundos Setoriais⁹⁹, cujos mecanismos buscam permitir a participação do setor privado e da academia na definição de projetos a serem financiados e, ao mesmo tempo, incentivar a formação de parcerias em projetos de pesquisa.

A operacionalização dos fundos foi feita no escopo de ações, linhas ou programas de desenvolvimento disponíveis na FINEP, agência responsável pela gestão destes recursos, que compõem o Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT), a partir da orientação dada pelas diretrizes e planos anuais de investimentos definidos por cada um dos Comitês Gestores (KOELLER, 2009).

Assim, a implementação dos Fundos Setoriais ocorreu através do lançamento de editais pela FINEP ou pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), segundo diretrizes estabelecidas pelos Comitês Gestores de cada um dos fundos, prevendo o financiamento não-reembolsável (FINEP) da parte referente às universidades dos projetos de pesquisa em parceria entre universidade e empresas, com a possibilidade de concessão de bolsas de pesquisa (CNPq).

Dessa forma, ainda em 2001, o CNPq lança uma chamada para formar redes de pesquisadores com objetivos comuns na área de nanociência. Esta chamada tinha como

⁹⁸ O “Livro Verde” se refere a uma publicação em Ciência, Tecnologia e Inovação publicada pelo então Ministério da Ciência e Tecnologia e pela Academia Brasileira de Ciências. O documento busca fazer um diagnóstico da situação científica e tecnológica do Brasil no período, estabelecendo algumas metas para o desenvolvimento da ciência e tecnologia para um período de uma década.

⁹⁹ Os Fundos Setoriais são instrumentos de financiamentos a projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação criados em 1999. A lógica para a instituição destes mecanismos foi, por um lado, para permitir a participação do setor privado e da academia na definição dos projetos a serem financiados e, por outro, incentivar a formação de parcerias em projetos de pesquisa (KOELLER, 2009). Havia 16 Fundos Setoriais, sendo 14 relativos a setores específicos e dois transversais. Destes, um é voltado à interação universidade-empresa (FVA – Fundo Verde-Amarelo), enquanto o outro é destinado a apoiar a melhoria da infra-estrutura de ICTs (Infra-estrutura).

objetivo fomentar a constituição e consolidação de redes cooperativas integradas de pesquisa básica e aplicadas em nanociência e nanotecnologia (KNOBEL, 2004).

Segundo Carlsson (1994), a formação de redes possibilita uma relação de trabalho mais próxima, onde os atores podem aprender uns com os outros mais facilmente. Ao estabelecer redes com outras unidades (outras empresas, institutos de pesquisa, instituições acadêmicas, etc.), estabelece-se maior conectividade no sistema, criando um processo de ajuda mútua no sistema. Além disso, esta ação está relacionada à importância das ‘instituições ponte’, capazes de estabelecer uma ligação entre atores até então desconectados dentro do sistema, particularmente entre a pesquisa acadêmica e o setor produtivo.

Assim, quatro redes foram formadas e financiadas por quatro anos a partir da aglutinação de 12 projetos em diversas áreas. Foram elas: Rede de Materiais Nanoestruturados; Rede de Nanotecnologia Molecular e Interfaces; Rede de Pesquisa em Nanobiotecnologia; e Rede Cooperativa para Pesquisa em Nanodispositivos Semicondutores e Materiais Nanoestruturados. As redes envolveram cerca de 300 pesquisadores, 600 estudantes de Doutorado, 77 universidades e centros de pesquisas e 13 empresas de diferentes regiões do país (INVERNIZZI *et al.*, 2011).

Em paralelo ao programa de redes nacionais, o MCT criou em 2003 um Grupo de Trabalho (GT) para elaborar o documento-base do Programa de Desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia. Dessas discussões identificaram-se demandas que serviram de base à elaboração e inserção do Programa de Desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia no Plano Plurianual (PPA 2004-2007).

O programa estabelecia como principal objetivo o desenvolvimento de novos produtos e processos baseados em nanotecnologia para aumentar a competitividade da indústria nacional. Incluiu-se, no plano, ações como a construção de laboratórios e redes de pesquisa, assim como a implementação de projetos institucionais de P&D.

Nesse contexto, a política de inovação em nanotecnologia começa a ganhar forma, primeiro, no âmbito da Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior – PITCE (2003-2007), nas linhas de ações voltadas para as atividades “portadoras de futuro” e depois no âmbito do Programa de Desenvolvimento Produtivo – PDP (2008-2010), nos “programas mobilizadores em áreas estratégicas”. Na PITCE, o objetivo foi ter uma relação entre ciência e tecnologia com indústria e comércio exterior. Na PDP, buscou-se fazer uma política de maior interação com políticas de outros ministérios, além de dividir a coordenação com esses ministérios e outras instituições. De qualquer

forma, ambas pretenderam ter o papel de fomentar os setores produtivos nacionais, onde as políticas não ficavam mais restritas apenas ao Ministério de Ciência e Tecnologia.

Assim, duas políticas foram diretamente relacionadas à nanotecnologia, embora a segunda não fosse restrita a ela: O Programa Nacional de Nanotecnologia (PNN) e o Plano de Ação de Ciência, Tecnologia e Inovação para o Desenvolvimento Nacional (PACTI).

O Programa Nacional de Nanotecnologia (PNN) foi então lançado em 2005 e possuía um escopo de ação no período 2005-2008, sendo composto por um conjunto de ações apoiadas com recursos orçamentários do Plano Plurianual – PPA (2004-2007) e dos Fundos Setoriais, tendo como objetivo atender as demandas estratégicas identificadas pela comunidade envolvida com o desenvolvimento da nanociência e da nanotecnologia e colocar em prática uma das medidas da Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior (PITCE)¹⁰⁰, que definia a nanotecnologia como uma área “portadora de futuro”.

Dessa forma, o programa é uma junção dos objetivos do PPA para o Desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia com os recursos da Ação Transversal¹⁰¹ para nanotecnologia em 2005.

Assim, o programa “Desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia” possui quatro ações principais: i) Implantação de Laboratórios e Redes de Nanotecnologia; ii) Apoio a Redes e Laboratórios de Nanotecnologia; iii) Fomento a Projetos Institucionais de Pesquisa e Desenvolvimento em Nanociência e Nanotecnologia; e iv) Gestão de Programa.

Em relação às atividades apoiadas pela “Ação Transversal”, são elas: i) Jovens Pesquisadores; ii) Programa de Laboratórios Nacionais; iii) Programa de Laboratórios Estratégicos; iv) Cooperação entre Empresa e Instituições de Pesquisa; v) Programa de Redes de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação; vi) Cooperação Internacional; vii) Incubadoras de Empresas; e viii) Editoração de Material de Divulgação da Nanotecnologia.

Nota-se, portanto, que os objetivos dos programas são bastante semelhantes, percebendo uma grande preocupação com a construção de um arcabouço científico para

¹⁰⁰ MCT (www.mct.gov.br).

¹⁰¹ Definidas em julho de 2004 pelo Comitê de Coordenação dos Fundos Setoriais, as Ações Transversais são programas estratégicos do MCT que tinham ênfase na Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior (PITCE) do Governo Federal à época. Hoje a referência das Ações é o Programa Brasil Maior (http://www.finep.gov.br/fundos_setoriais/acao_transversal/acao_transversal_ini.asp).

a área de nanotecnologia, principalmente quando se percebe a preocupação em criar e fortalecer os laboratórios de pesquisa e o estímulo a jovens pesquisadores. Nesse sentido, existe um destaque para que o setor científico possa ter maior robustez nessa área e, por isso, criam-se instituições que sejam capazes de fortalecer a nanociência (GORDON, 2010; PEIXOTO, 2011d).

Nesse contexto, uma nova chamada para a formação de redes em nanotecnologia é feita pelo CNPq em 2005 no âmbito da nova política industrial como ação do PNN. Como resultado, dez novas redes foram criadas com a vinculação de cerca de 1000 pesquisadores nas áreas de nanofotônica, nanobiotecnologia e materiais bioestruturados, nanotecnologia molecular e interfaces, nanobiomagnetismo, revestimentos nanoestruturados, microscopia, nanotubos de carbono, simulação de nanoestruturas, glico-nano-biotecnologia e nanocosméticos. O perfil de investigação das redes está mais orientado à aplicação produtiva e envolveu cooperação com empresas (INVERNIZZI *et al.*, 2011).

Também no âmbito do PNN, a partir de 2006 a agência Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) passou a financiar projetos de P&D em empresas e em cooperação com universidades e centros de pesquisa, e ainda apoiou incubadoras de empresas de nanotecnologia¹⁰².

Nesse sentido, observa-se que o PNN busca, pelo lado do PPA, fortalecer as atividades de pesquisa científica e, pelo lado dos Fundos Setoriais, estimular as atividades de cooperação entre instituições de pesquisa e as empresas.

Em relação ao PACTI (2007-2010), o plano define uma série de iniciativas, ações e programas conduzidos pelo MCT para a consolidação do Sistema Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Várias das iniciativas previstas no Plano estão voltadas para estimular as empresas a incorporarem as atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação (P,D&I) no seu processo produtivo.

As prioridades do Plano estão diretamente relacionadas com os quatro eixos estratégicos que norteavam a Política Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (C,T&I):

- I – Expansão e Consolidação do Sistema Nacional de C,T&I;
- II – Promoção da Inovação Tecnológica nas Empresas;
- III – P,D&I em Áreas Estratégicas; e

¹⁰² Veremos com mais detalhes as características do financiamento às empresas por parte da FINEP mais adiante.

IV – C,T&I para o Desenvolvimento Social.

No que diz respeito à nanotecnologia, ela aparece junto a Biotecnologia como ‘Áreas portadoras de futuro’ nas políticas de P,D&I em áreas estratégicas.

As linhas de ação desta prioridade estão voltadas para programas de P&D em áreas consideradas estratégicas para o país e se destinam ao desenvolvimento, pesquisa e inovação para a formação de recursos humanos e cooperação. Seu objetivo é estabelecer prioridades e criar as condições institucionais, materiais e de recursos humanos para um maior estímulo à inovação por meio da agilização do processo de transferência de conhecimento para a geração de produtos e processos que utilizarão a biotecnologia e a nanotecnologia (MCT, 2010)¹⁰³.

Nesse sentido, mais uma vez, parece clara a relação estabelecida entre a ciência e a inovação, através da transferência de conhecimento e cooperação entre as instituições de P&D e as empresas.

Gordon (2010) destaca que o PACTI reforça a preocupação do PNN para a elaboração de uma infraestrutura adequada de Ciência e Tecnologia nas atividades ligadas à nanociência e nanotecnologia no país, enfatizando que a idéia que se parece construir sobre as políticas de nanotecnologia é que, por ser uma nova tecnologia, ela está relacionada com as descobertas e atividades científicas em nanociência¹⁰⁴.

Ainda no contexto do PACTI, uma nova chamada para formação de redes foi feita pelo CNPq em 2010 com o objetivo de “dar continuidade ao processo de expansão e consolidação de competências nacionais em Nanociência e Nanotecnologia, apoiando a formação de Redes Cooperativas Integradas de Pesquisa Básica e/ou Aplicada”. Como resultado, 17 redes foram financiadas, sendo 16 relacionadas a universidades e uma empresa pública (EMBRAPA). As áreas temáticas priorizadas foram: armazenamento, produção e/ou conservação de energia; nanomateriais; tratamento de água e/ou remediação ambiental; redução e/ou tratamento da poluição; incremento da

¹⁰³ MCT (www.mct.gov.br).

¹⁰⁴ Considerável parte do conhecimento científico relacionado à escala nanométrica já existia há algum tempo. Como posto no capítulo 2, foi com o advento de determinadas tecnologias que a manipulação dos átomos se tornou possível, possibilitando, portanto, o desenvolvimento da técnica na escala nanométrica. Assim, o que convencionalmente se trata de forma mais ampla como nanotecnologia, possui tanto um componente cumulativo relacionado ao conhecimento científico quanto um componente revolucionário relacionado às tecnologias que permitiram a aplicação do conhecimento “nano” científico.

produtividade agrícola; detecção e/ou controle de vetores e pragas; liberação controlada de fármacos; e monitoramento e/ou diagnóstico em saúde¹⁰⁵.

Deste modo, as políticas desenhadas para a nanotecnologia no Brasil sem dúvida foram essenciais para a constituição de um importante arcabouço científico e tecnológico no país, não apenas para a consolidação das redes, mas também para a constituição de grupos de pesquisa e formação de pesquisadores na área¹⁰⁶. No entanto, em relação ao financiamento às empresas, as políticas foram mais limitadas.

3.3.1 - Financiamento às empresas: o FUNTEC¹⁰⁷ e a Subvenção Econômica

São dois os principais instrumentos de financiamento às empresas que usam e/ou desenvolvem nanotecnologia no Brasil. O primeiro, o Fundo Tecnológico do BNDES (Funtec), atua de forma indireta através da promoção de parcerias entre instituições tecnológicas e empresas. O segundo, a Subvenção Econômica da FINEP, provê subsídios diretos não-reembolsáveis para empresas que desenvolvem atividades de P&D.

O Fundo Tecnológico (Funtec) é operado pelo BNDES e destina-se a apoiar financeiramente projetos de pesquisa aplicada executados por instituições tecnológicas que pretendem estimular o desenvolvimento tecnológico e a inovação de interesse estratégico para o país. A seleção dos projetos é feita de acordo com focos de atuação divulgados anualmente pelo BNDES.

As principais diretrizes de planejamento e operação do Funtec estão relacionadas à aceleração da busca por soluções para gargalos e oportunidades tecnológicas para o desenvolvimento; concentração de esforços e recursos em temas específicos nos quais as empresas possam assumir papel de destaque ou liderança no plano mundial; assegurar a continuidade de esforços desenvolvidos em áreas selecionadas, objetivando acelerar a obtenção de resultados de pesquisas, além de conjugar esforços de instituições de pesquisa e empresas; apoiar projetos que prevejam a efetiva introdução de inovação no mercado; fomentar a aproximação entre Instituições Tecnológicas e empresas, promovendo a aplicação de conhecimento gerado na academia ao setor

¹⁰⁵ <http://www.cnpq.br/editais/ct/2010/docs/074.pdf>. Visitado em Fev. 24, 2012.

¹⁰⁶ Uma apresentação mais detalhada dos grupos de pesquisa e pesquisadores de nanotecnologia será feita no quinto capítulo.

¹⁰⁷ Diversas informações provieram de entrevistas realizadas com funcionários do BNDES responsáveis pelo instrumento.

produtivo; e incentivar a estruturação de projetos que combinem diferentes instrumentos de apoio com recursos do BNDES Funtec¹⁰⁸.

O recurso do Funtec vem do lucro acumulado do banco. A cada ano é feita uma divisão interna entre o Funtec e outros fundos não-reembolsáveis existentes no banco. Uma parcela desses recursos fica, então, reservada para o Funtec. Sendo os recursos mais escassos, é necessário ter prioridade. Assim, optou-se por trabalhar com focos bem específicos, que normalmente são revisados a cada ano, contudo, sem uma obrigação de mudança de foco. Dessa forma, é necessário escolher os projetos de forma sistemática, com *ranking* e critérios de avaliação bem definidos. Em geral, os critérios para priorização dos projetos se referem aos desafios tecnológicos envolvidos; o grau de ineditismo; a aplicação potencial da tecnologia em outros setores (transversalidade); e o grau de credibilidade da instituição e da equipe.

Os projetos são avaliados considerando os objetivos estratégicos do BNDES Funtec e suas diretrizes. Em 2012, o fundo priorizou projetos de pesquisa aplicada, desenvolvimento tecnológico e inovação direcionados aos seguintes focos: Energia; Meio Ambiente; Eletrônica; Novos Materiais; Química; e Veículos Elétricos. Ademais, a análise dos projetos no banco é dividida por setores, onde cada setor analisa os projetos referentes à sua área específica. Cada área define sua prioridade de acordo com vários critérios. No entanto, busca-se ter uma coerência com os interesses nacionais, sobretudo aqueles explicitados nas políticas do governo, como a PDP.

Diferente de instituições como a FINEP, por exemplo, que lançam editais em período específico no ano, o BNDES recebe projetos de forma contínua, em qualquer momento do ano. O critério de escolha dos projetos é feito através do Comitê Consultivo do BNDES Funtec (CCTEC), onde participam o superintendente da área de planejamento do BNDES, um representante do MCT (representante da FINEP), o representante da área operacional do banco e um especialista externo convocado. Esse comitê se reúne três vezes no ano para discutir e escolher os projetos. São necessários, portanto, quatro votos para a escolha dos projetos.

É importante destacar que as empresas são beneficiadas de forma indireta pelo Funtec, uma vez que são as Instituições Tecnológicas e as Instituições de Apoio para o desenvolvimento de projetos de pesquisa aplicada, desenvolvimento tecnológico e inovação que podem receber recursos do Funtec. A empresa participante do projeto

¹⁰⁸ http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Apoio_Financeiro

deve figurar como interveniente no contrato de colaboração financeira no âmbito do Funtec, e exercer atividade econômica diretamente ligada ao escopo do projeto.

Como mencionado anteriormente, o objetivo é aproximar as empresas das instituições de pesquisa básica e aplicada. Nesta perspectiva, a empresa não inova sem o conhecimento criado nas universidades e outras instituições. No entanto, na ótica de inovação do Funtec, o papel das empresas é o de fazer a ponte para o mercado. É ela quem leva a inovação ao mercado. Portanto, ainda que não seja o foco direto do instrumento, não há inovação sem empresa.

Sua participação no projeto só pode ser dispensada quando o objeto social da Instituição Tecnológica ou Instituição de Apoio contemplar, além das atividades de pesquisa, as atividades de produção e comercialização dos produtos ou processos resultantes do projeto. Além disso, projetos encaminhados por Instituições de Apoio devem apresentar uma Instituição Tecnológica como executora do projeto, que poderá intervir na operação de financiamento, a critério do BNDES.

Sendo um banco, com papel de financiar projetos, tem-se um olhar sobre a capacidade inovadora das instituições em questão. Assim, não se trata apenas de conceder crédito para um projeto de inovação, mas sim de perceber a real capacidade daquelas instituições e empresas em levar ao mercado o projeto de inovação em questão.

A nanotecnologia aparece explicitamente no Funtec relacionada ao foco de Meio Ambiente, com soluções nanotecnológicas e/ou biotecnológicas para tratamento de resíduos, efluentes, águas e solos contaminados. Apesar disso, não há um foco específico voltado para a nanotecnologia. Por ser uma tecnologia transversal, entende-se que a nanotecnologia deve estar inserida nas outras atividades. Por exemplo, se um projeto de energia renovável envolve nanotecnologia, ele passa a ser prioritário a um que não envolva. Ainda que este critério não esteja explícito no documento, está na regra da resolução do Funtec. Dessa forma, é uma regra de escolha interna do banco, assim como quando há parceria e/ou o projeto estiver mais próximo de se chegar ao mercado, ganha-se prioridade sobre os demais.

Deste modo, destaca-se o olhar setorial do BNDES. Por isso, não há (nem pode haver, segundo entrevistado do banco), por exemplo, um departamento de nanotecnologia no BNDES. Nesta perspectiva, não faz sentido ter um olhar de tecnologia, mas de setores. Assim, não obstante o Funtec figurar como um dos principais instrumentos para a promoção da nanotecnologia na PDP, ele o faz apenas

indiretamente, quando a nanotecnologia em questão está relacionada (e mesmo subordinada) a outra área de interesse específica. Dessa forma, o Funtec possui o dúbio papel de ser ao mesmo tempo uma política explícita (como instrumento da PDP) e implícita, beneficiando a nanotecnologia de forma secundária. Apesar disso, isso não significa que o banco não acompanhe os estudos e direcionamentos para a nanotecnologia no país.

Em vista disso, optou-se neste trabalho por priorizar a análise de instrumentos e programas que tiveram um foco específico, ainda que limitado, para a nanotecnologia. Dessa forma, convém analisar a Subvenção Econômica como um instrumento de financiamento direto às empresas que usam e/ou desenvolvem nanotecnologia no país.

A Subvenção Econômica é um instrumento utilizado em diversos países que tem o objetivo de conceder às empresas subsídio direto, proveniente de recursos orçamentários, sobretudo para o apoio ao engajamento em **atividades de P&D**. O objetivo da Subvenção Econômica é “promover um significativo aumento das atividades de **inovação** e o incremento da **competitividade** das empresas e da economia do país”¹⁰⁹, baseado na idéia de que ao dividir os custos e riscos associados a tais atividades, o setor público estará induzindo as empresas a incorporarem a inovação em suas estratégias de negócio.

A Subvenção Econômica foi legalmente criada em 2001, mas só foi efetivamente implementada a partir de 2006 sob a coordenação do MCT e executada no âmbito da FINEP, quando a arrecadação consolidada do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT) passou para R\$ 1,85 bilhões¹¹⁰. A partir de então, a FINEP passou a conceder recursos não-reembolsáveis para financiar inovação nas empresas na forma de subvenção econômica. Foi então considerada uma nova experiência, só viável por conta da institucionalização da “Lei da Inovação” em 2004 e da “Lei do Bem” em 2005 (ANDRADE, 2009). Os recursos são disponibilizados através de chamada pública, e é desde então um dos principais instrumentos utilizados para promover projetos de P&D e inovação em nanotecnologia no Brasil.

A idéia por trás deste mecanismo é apoiar e fortalecer empresas inovadoras, através da concessão de fundos não-reembolsáveis para aquelas que submeterem

¹⁰⁹ http://www.finep.gov.br/programas/subvencao_economica.asp

¹¹⁰ “Nas décadas de 1980 e 1990, as receitas do FNDCT, que dependiam exclusivamente do orçamento ordinário da União, encontravam-se em patamares muito baixos e instáveis. Em 1999, a sua arrecadação inicial foi composta apenas pelo fundo setorial de petróleo, CT-Petro, que apresentou receita no valor de R\$ 109 milhões” (ANDRADE, 2009, p.8).

projetos de inovação que estejam de acordo com as categorias definidas pelas chamadas públicas. Assim, a principal lógica que norteou a criação da subvenção econômica foi trazer as empresas para o foco da política, baseada na idéia de que elas eram consideradas o *locus* principal da inovação (KOELLER, 2009; KOELLER E GORDON, 2010).

O programa de Subvenção Econômica iniciou-se com a Chamada Pública MCT/FINEP/Subvenção Econômica à Inovação – 01/2006, lançada em setembro de 2006. Seu objetivo foi “selecionar propostas empresariais para subvenção econômica à pesquisa e desenvolvimento de processos e produtos inovadores no país”. Sua finalidade era “compartilhar custos, diminuindo o risco tecnológico da inovação e estimulando a ampliação das atividades de inovação no universo empresarial brasileiro” (FINEP, 2006). As propostas deveriam contemplar os temas relacionados às prioridades definidas na Portaria Interministerial MCT/MDIC 507 (*Ibid.*):

- a) Ações Horizontais: aumento da competitividade das empresas pela inovação; o adensamento tecnológico e dinamização das cadeias produtivas; o incremento, compatível com o setor de atuação, dos gastos empresariais com atividades de pesquisa e desenvolvimento tecnológico; o atendimento a relevância regional; e a cooperação com instituições científicas e tecnológicas.
- b) Opções estratégicas: semicondutores e *software*, fármacos e medicamentos e bens de capital.
- c) Atividades portadoras de futuro: biotecnologia, nanotecnologia e biomassa/energias alternativas.

Neste Edital, 148 projetos foram aprovados e um total de R\$ 300 milhões (trezentos milhões de Reais) foi alocado para os mesmos, para serem aplicados em um prazo de 36 meses.

No ano seguinte (2007), o apoio a projetos de inovação divididos em 5 áreas prioritárias (FINEP, 2007): Área 1: Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) e Nanotecnologia; Área 2: Biodiversidade, Biotecnologia e Saúde; Área 3: Programas Estratégicos; Área 4: Biocombustíveis e Energia; e Área 5: Desenvolvimento Social. Neste edital, 153 projetos foram aprovados, com um total de recursos alocados subindo para R\$ 450 milhões (quatrocentos e cinquenta milhões de Reais).

A terceira Chamada Pública foi feita em 2008. O total de recursos alocados foi de R\$ 450 milhões (quatrocentos e cinquenta milhões de Reais). Neste ano foram aprovados 206 projetos, desta vez para serem distribuídos em 6 áreas prioritárias (FINEP, 2008): Área 1: Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs); Área 2: Biotecnologia; Área 3: Saúde; Área 4: Programas Estratégicos; Área 5: Energia; e Área 6: Desenvolvimento Social.

Em 2009, a quarta Chamada Pública foi realizada, com 260 projetos aprovados. Mais uma vez, os recursos de R\$ 450 milhões (quatrocentos e cinquenta milhões de Reais) foram alocados em 6 áreas prioritárias. No entanto, houve uma mudança na Área 4 em relação ao ano anterior (FINEP, 2009), ao trocar Programas Estratégicos por Defesa Nacional e Segurança Pública: Área 1: Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs); Área 2: Biotecnologia; Área 3: Saúde; Área 4: Defesa Nacional e Segurança Pública; Área 5: Energia; e Área 6: Desenvolvimento Social.

Por fim, na Chamada Pública de 2010, os recursos disponíveis subiram para R\$ 500 milhões (quinhentos milhões de Reais), alocados nas mesmas áreas prioritárias de 2009. A única diferença foi a saída da “Segurança Pública” da área 4 (FINEP, 2010). Neste ano, porém, apenas 105 projetos foram aprovados, o que pode apontar para um aumento do valor médio financiado por projeto, além de uma escolha mais rigorosa do ponto de vista da qualidade dos projetos.

Nesse sentido, em torno de 872 projetos foram aprovados nas cinco chamadas públicas (2006-2010), com um total de R\$ 2.150 milhões disponibilizados para a execução dos mesmos. O quadro 11 mostra o número de projetos e o total de recursos alocados entre 2006 e 2010.

Quadro 11 – Panorama da Subvenção Econômica (2006-2010)

Subvenção Econômica (Total)	2006	2007	2008	2009	2010	Total
Número de Projetos	148	153	206	260	105	872
Total de Recursos Alocado (R\$ Milhões)	300,00	450,00	450,00	450,00	500,00	2.150,00

Fonte: Elaboração própria.

Em relação à nanotecnologia, entre 2006 e 2010 a Subvenção Econômica aprovou 40 projetos relacionados à nanotecnologia, sendo 11 projetos em 2006, 19 projetos em 2007, 4 projetos em 2008, 3 projetos em 2009 e 3 projetos em 2010.

Em 2006 a nanotecnologia foi apresentada como um tema prioritário dentre as atividades consideradas “portadoras de futuro”, que tinha por objetivo fomentar as seguintes nanotecnologias:

- Desenvolvimento de nanocompósitos, em especial para o setor aeronáutico;
- Semicondutores orgânicos para a fabricação de mostradores (OLEDs)¹¹¹, sensores e dispositivos de identificação eletrônica;
- Materiais nanoestruturados para aplicações no setor têxtil e cosméticos;
- Nanosensores para aplicações sensíveis em defesa;
- Encapsulamento de nanofármacos;
- Cerâmica nanoestruturada.

Neste ano, 11 projetos foram aprovados, com um total de, aproximadamente, R\$ 10 milhões (dez milhões de Reais) disponibilizados para os mesmos.

Na Chamada Pública de 2007, a nanotecnologia ainda continuou como um tema prioritário, porém, agora juntamente com as tecnologias de informação e comunicação (TICs):

ÁREA 1: Inovação nas áreas de tecnologias da informação e comunicação e nanotecnologia

- **Produtos e processos com base em Nanotecnologias nos setores de Produção de Alimentos, Têxtil, Metal Mecânico, Energia, Petróleo e Gás, Cosméticos e Saúde;**
- Desenvolvimento de sistemas completos de identificação veicular, incluindo o dispositivo localizador, os sensores e um protótipo da aplicação científica;
- Desenvolvimento do ciclo completo do projeto de circuitos integrados dedicados (*design*, fabricação e testes) e de dispositivos semicondutores orgânicos e micro-eleto-mecânicos (MEMS) para aplicação em mercados claramente identificados;
- Desenvolvimento de *software* e aplicações de visualização avançada, destinados aos setores de educação e entretenimento e outros mercados claramente identificados;

¹¹¹ *Organic Light-Emitting Diode.*

- Desenvolvimento de sistemas de *software* para governo/governança eletrônica em parceria com entidades usuárias finais de aplicação;
- Desenvolvimento, aplicação e testes de terminais de acesso (*set-top-box* e receptores) com implementação do *middleware* GINGA para TV digital (compatíveis com as especificações estabelecidas para o Sistema Brasileiro de TV Digital – SBTVD) e para outras aplicações de vídeo digital;
- Desenvolvimento de sistemas transmissores e de antenas transmissoras e receptoras de sinais digitais compatíveis com o SBTVD.

Ainda que a nanotecnologia possa estar relacionada a alguns dos pontos acima, apenas o primeiro faz menção explícita a ela. De qualquer forma, o número de projetos aumentou em relação a 2006 (de 11 para 19), assim como também aumentou substancialmente o total de recursos disponibilizados para aproximadamente R\$ 35 milhões (trinta e cinco milhões de Reais). Dessa forma, observou-se um crescimento de 64% no número de projetos e 265% nos recursos disponibilizados para os mesmos.

É importante ressaltar ainda que os projetos de nanotecnologia nesta Chamada são bastante amplos, perdendo o foco no qual deveria ter como prioridade. Segundo Gordon (2010), a Chamada de 2007 perdeu a seletividade do ano anterior, chamando a atenção para a exclusão da prioridade dada aos projetos relacionados às aplicações aeronáuticas, e para a inclusão daqueles relacionados a Petróleo e Gás, sobretudo devido à existência de poucas, porém, grandes empresas do setor no Brasil. Tais empresas possuem enorme capacidade de compra, assim como o potencial de aplicar a nanotecnologia de diversas maneiras nos seus respectivos processos produtivos.

Na terceira Chamada da Subvenção, no ano de 2008, não havia mais nenhum tema específico para a nanotecnologia, nem como parte de outra área como no ano de 2007. Por isso, apenas 4 projetos foram identificados como projetos de nanotecnologia¹¹²: um na Área 1 (TICs), um na Área 3 (Saúde), e dois na Área 4

¹¹² Para identificar os projetos de nanotecnologia, foi utilizada a mesma metodologia dos estudos da ABDI (2010a; 2010b) para a identificação dos grupos de pesquisa de nanociência e nanotecnologia no Brasil em dezembro de 2008 nas bases de dados *ISI Web of Science* e o Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil (CNPq, 2008). Esta identificação consiste na busca pelas seguintes palavras-chave relacionadas às diferentes nanotecnologias: nanociência, nanotecnologia, nanofios, nanopartículas, nanoestruturas, nanocompósitos, nanobiotecnologia/bionanotecnologia, nanomateriais, nanotubos, nanoesferas, nanocristais, nanofabricação, nanoindentação, nanofibras, nanofotônica, nanoeletrônica, materiais nanoestruturados, optoeletrônica, spintrônica, fulerenos, *quantum dots*, fios quânticos e NEMS.

(Programas Estratégicos). Dessa forma, um total de aproximadamente R\$ 5,5 milhões (cinco milhões e quinhentos mil Reais) foi disponibilizado para esses projetos; quase a sétima parte dos recursos de 2007 e quase metade dos recursos aprovados para os projetos de nanotecnologia de 2006.

Da mesma forma que na Chamada de 2008, as Chamadas de 2009 e 2010 também não apontaram a nanotecnologia como uma tecnologia prioritária. Assim, apenas três projetos de nanotecnologia foram aprovados nos dois anos. Em 2009, dois projetos estavam inseridos na área 3 (Saúde) e um na área 5 (Energia), tendo um total de R\$ 4,5 milhões (quatro milhões e quinhentos mil Reais) disponibilizados para eles. Em 2010, foram dois na área 3 (Biotecnologia) e um na área 4 (Saúde), com um total de, aproximadamente, R\$ 3,3 milhões (três milhões e trezentos mil Reais) disponibilizados.

O quadro 12 sumariza os principais pontos descritos até aqui a respeito dos projetos de nanotecnologia aprovados nas chamadas públicas da Subvenção Econômica.

Quadro 12 – A Nanotecnologia na Subvenção Econômica: Número de Projetos e Recursos Disponibilizados (2006-2010)

Subvenção Econômica (Nanotecnologia)	2006	2007	2008	2009	2010	Total
Número de Projetos	11	19	4	3	3	40
Total de recursos dos projetos de nanotecnologia (R\$ Milhões)	10,00	35,00*	5,50	4,50	3,29	58,29
Nanotecnologia como uma área prioritária	Sim	Parcialmente	Não	Não	Não	

Fonte: Elaboração própria.

* Valor total referente a 18 projetos.

Observa-se, portanto, uma falta de continuidade da política em relação à nanotecnologia como área prioritária, haja vista que, no primeiro ano (2006), o edital apresentou a nanotecnologia como uma área prioritária, como previa a PDP. Em 2007, a nanotecnologia já estava inserida em uma área junto com as tecnologias de informação e comunicação. Nos anos seguintes, já não havia uma área e/ou tema prioritário para a nanotecnologia nas chamadas públicas, o que explica o baixo número de projetos a partir de 2008. Este fato pode apontar não somente uma falta de coerência do planejamento da política, mas também falta de organização no que diz respeito à

definição dos objetivos da política. A próxima seção apresentará uma abordagem crítica da política para nanotecnologia no Brasil, sobretudo da Subvenção Econômica.

3.4 – Os limites da política de nanotecnologia: um olhar crítico

Em diversos países a alocação de recursos e o desenvolvimento das nanotecnologias têm ocorrido, sobretudo, no setor privado. No Brasil, como destacam Albuquerque *et al.* (2010), os principais investimentos vêm sendo realizados por políticas públicas do MCT, concentradas prioritariamente na formação da infraestrutura científica e tecnológica e pesquisa básica, sendo secundárias as que estimulam os investimentos direcionados para as empresas.

Nesse sentido, existe uma clara preocupação com a formação da nanociência no Brasil. As políticas estão formando um aparato científico cada vez mais forte e capacitado, porém o setor produtivo ainda está longe de usar nanotecnologia (*Ibid*) de forma mais extensiva. O principal instrumento de financiamento às atividades de nanotecnologia nas empresas é a Subvenção Econômica da FINEP, porém, os recursos ainda são insuficientes e o número de empresas é reduzido, além de serem empresas de pequeno porte, na maioria dos casos.

Além disso, os recursos disponibilizados para nanotecnologia têm oscilado com frequência, como no caso da descontinuidade da nanotecnologia como área prioritária nos editais da Subvenção a partir de 2008. Certamente, este fato compromete a continuidade dos projetos e não define as linhas estratégicas do programa de forma clara e consistente.

De certo os investimentos em pesquisa e desenvolvimento são importantes e necessários. Porém, é necessário melhor qualificar tais investimentos em P&D. O uso e desenvolvimento da nanotecnologia nas empresas envolvem um alto componente de aprendizagem e complexidade, portanto, o P&D para o setor produtivo é também relevante, não apenas na formação de laboratórios de P&D.

Nesse sentido, o componente D (desenvolvimento) nas empresas está mais em evidência do que o P (pesquisa básica). O que se busca é a formação e o aprendizado em nanotecnologia no sentido de ser capaz de utilizar, manipular e produzir as diferentes nanotecnologias.

Como destaca Rosenberg em dois momentos:

“At the development end of R&D is a learning process that consists of searching out and discovering the optimal design characteristics of a product. At this stage, the learning is oriented toward the commercial dimensions of the innovation process: discovering the nature and combination of product characteristics desired in the market (...)”(1982, p.121).

“This brings us back again to the D of R&D: developing new product concepts, casting them in specific design forms, testing new prototypes, redesigning them, devising new manufacturing technologies (...). One of the most forceful economic lessons (...) is that the ability to achieve the commercial exploitation of new scientific knowledge is heavily dependent upon social capabilities that are remote from the realm of science” (1994, p.18).

Portanto, ao destacar-se a importância de pensar a política de inovação em nanotecnologia além da visão linear da (nano)ciência para a (nano)tecnologia, traz-se para a discussão, então, em que contexto as políticas poderiam ser pensadas e desenvolvidas. Reconhecer que a nanotecnologia na verdade se refere a uma ampla variedade de tecnologias, e que o sucesso da política para fomentar a inovação em nanotecnologia depende em grande medida em entender essas diferenças, e dos diversos fatores que interagem entre si em um contexto social específico, é um importante passo para o desenho de políticas coerentes que, de fato, cumpram seus principais objetivos.

Essa característica remete a outro importante aspecto da política de nanotecnologia: seu caráter generalista. Uma vez que as nanotecnologias cobrem uma ampla variedade de sub-áreas, campos de aplicação e abordagens de pesquisa/engenharia, elas não compartilham características de uma única indústria, embora possam ser aplicadas em diversas. Por exemplo, a engenharia em nanoescala pode utilizar tanto a abordagem *top-down* quanto a *bottom-up* utilizando avanços na física, química e biologia. Os desenvolvimentos da nanobiotecnologia podem estar mais baseados na ciência quando comparados aos da nanoeletrônica, o que significa que aspectos relacionados à transferência de tecnologia e financiamento a empreendimentos acadêmicos podem requerer maior atenção (PEIXOTO, 2011a). Por outro lado, nanotecnologias já mais estabelecidas, como na área agrícola ou de cosméticos, requerem tratamento mais voltado para a produção em escala industrial. Seja como for,

ainda que o componente científico ainda seja muito relevante, é necessário que seja produzido para a comercialização.

Nesse sentido, uma política de nanotecnologia apenas generalista pode não ser apropriada. Estratégias e instrumentos de políticas voltados para sub-áreas e campos de aplicação específicos da nanotecnologia tornam-se necessários, o que ressalta a necessidade de se melhor compreender as diferentes dinâmicas dos processos de inovação em nanotecnologia. Portanto, políticas que busquem priorizar campos de aplicação específicos devem levar em consideração a dinâmica da nanotecnologia de acordo com a estrutura das diferentes indústrias.

Essa característica também foi apontada por estudo da OCDE (2010) sobre os “Impactos da Nanotecnologia nas Empresas”, baseado em 51 estudos de casos em empresas de 17 países, cobrindo empresas de diversos tamanhos e diferentes sub-áreas e campos de aplicação da nanotecnologia. As questões estavam, sobretudo, voltadas para investigar se novos ou específicos desafios haviam surgido durante o desenvolvimento e comercialização da nanotecnologia que requeressem novos tipos de políticas.

Embora as condições para o desenvolvimento das nanotecnologias nesses países sejam distintas do Brasil em vários aspectos, e as conclusões nem sempre se apliquem às especificidades brasileiras, os resultados podem ser úteis para a política de inovação de nanotecnologia brasileira.

Deste modo, além dos aspectos gerais e específicos da política, os diferentes tipos de empresas também devem ser levados em consideração nas políticas. Como visto, as novas empresas estão mais bem posicionadas para se engajar em P&D experimental em novas áreas do que as grandes empresas já estabelecidas, sobretudo pelo efeito *lock-in* nas últimas. Por outro lado, essas mesmas empresas têm evidentes vantagens sobre as menores quando as origens da competitividade muda da P&D para custo e produção. Assim, empresas maiores e já estabelecidas ficam relativamente mais bem posicionadas para utilizarem rapidamente as nanotecnologias, principalmente pela sua capacidade de adquirir e operar instrumentos e maquinário mais custosos. Dessa forma, embora as empresas menores sejam o maior foco das políticas governamentais, atenção também deve ser dada às grandes empresas.

Nesse contexto, vale ressaltar alguns aspectos em relação aos instrumentos de financiamento à nanotecnologia: o Funtec e a Subvenção Econômica. Em relação ao Funtec, foi ressaltado que seu objetivo é apoiar projetos considerados estratégicos no país. Nesse sentido, ele aparece na organização institucional da PDP como instrumento

utilizado para a promoção da nanotecnologia no país. Entretanto, apesar de figurar como instrumento financiador, seu papel é deveras limitado em relação ao financiamento da nanotecnologia nas empresas em três principais aspectos, aparte o fato de beneficiá-las apenas indiretamente. Primeiro, como mencionado anteriormente, não há um foco específico para a nanotecnologia. Por ser uma tecnologia transversal, a nanotecnologia é somente considerada nos projetos de forma secundária. Este feito não condiz com a prioridade supostamente dada à nanotecnologia no âmbito da PDP. Em segundo lugar, pela própria natureza de banco, o instrumento está mais voltado para projetos que efetivamente podem dar resultados concretos, ou seja, projetos cujos riscos inerentes à inovação são bem menores. Assim, por ser uma tecnologia emergente, ainda com alto risco inerente, o instrumento não se adéqua para financiar aqueles projetos com maior teor de incerteza, mas que podem ser revolucionários se bem sucedidos. Por último, nesse contexto, apenas empresas maiores e já estabelecidas são as principais beneficiadas.

Em relação à Subvenção Econômica, esta se apresentou como o principal instrumento para a promoção da nanotecnologia no Brasil. Contudo, é importante apontar suas principais limitações e sua falta de estratégia de longo prazo para seu desenvolvimento.

Segundo Andrade (2009), a Subvenção é apresentada como um programa, apesar do texto fazer referência também a instrumento, que o autor considera mais adequado uma vez que *“um programa pressupõe objetivos, metas e avaliação de resultados”* (p.34). O autor também argumenta que o nome do programa normalmente está relacionado ao seu objetivo principal. Nesse sentido, seria inadequado chamar o instrumento de programa, pois *“passa a impressão de que subvencionar as empresas é um fim por si só”* (Ibid.).

Além disso, Koeller (2009) observa que a maneira de operacionalizar os fundos por parte da FINEP (Chamada Públicas) foi escolhida por permitir uma seleção “não-discrecionária” de projetos a serem financiados. Deste modo, a escolha não é feita segundo orientações estratégicas, empresas, tecnologias ou setores a serem financiados. Assim, em 2006, apesar da existência de algumas áreas prioritárias, a participação dos projetos relacionados aos temas gerais (ações horizontais) representou 54% do total dos projetos aprovados e financiados, embora eles representassem 20% dos projetos apresentados num primeiro momento. Em relação aos recursos alocados, os temas gerais receberam 49% desta quantia, ainda que representassem apenas 13% do total de

recursos apresentados em termos do total dos recursos. Este cenário mostra claramente que as áreas prioritárias foram ofuscadas pelos temas gerais ou ações horizontais no que diz respeito aos projetos selecionados.

No que diz respeito à nanotecnologia, esta proposição também parece ser correta. A contínua mudança de prioridades desde a primeira Chamada Pública em 2006 mostra que, apesar da nanotecnologia ter sido (e ainda ser) considerada uma área estratégica, não há uma estratégia coerente desenhada para ela. O mesmo é observado por Mota (2011) para o Complexo Industrial da Saúde (CIS), não apenas para a Subvenção, mas também para outros programas e instrumentos de política industrial e de inovação.

Segundo entrevistas com *policy makers*, Gordon (2010) argumenta que uma importante razão para esta falta de estratégia está relacionada à definição da nanotecnologia. O conceito de nanotecnologia não está claro para a maioria dos agentes do sistema, que considera tudo que é manipulado na escala nanométrica como parte do processo de inovação em nanotecnologia, sem maiores análises e críticas. Por esta razão, torna-se necessária uma maior e mais profunda compreensão dos seus novos fenômenos científicos e tecnológicos para melhor explorar suas possibilidades.

Já mencionou-se, também, que a nanotecnologia envolve uma ampla variedade de sub-áreas, campos de aplicação e abordagens de pesquisa e engenharia, não se caracterizando, portanto, como uma indústria (PEIXOTO, 2011a, 2011b). Portanto, ao invés de se tentar incluir todas as nanotecnologias como uma área homogênea, o **instrumento** Subvenção Econômica deveria focar em nanotecnologias específicas que fossem consideradas essenciais para resolver problemas nacionais específicos ou, ao menos, aqueles que ajudem a encontrar soluções para eles.

Do ponto de vista da política de inovação, que considera o processo de inovação a partir de uma visão sistêmica, o que se observou até agora na Subvenção Econômica, e a forma que tem operado, é que nenhuma integração e/ou coordenação específicas foram, de fato, estimuladas.

Uma política de inovação contempla e vai além dos instrumentos de política de ciência e de tecnologia, dando especial atenção às dimensões institucionais e organizacionais dos sistemas de inovação. Assim, seguindo esta lógica, espera-se que o principal instrumento utilizado para promover inovação em uma área específica esteja integrado com outros mecanismos e que seja, efetivamente, uma prioridade.

Andrade (2009) argumenta que a falta de integração com outros instrumentos de apoio à inovação é provavelmente o ponto mais fraco da subvenção econômica operada pela FINEP. Por conseqüência, tomada separadamente, a subvenção é um instrumento insuficiente para desenvolver uma política de inovação efetiva, devendo ser utilizada como complemento de outros instrumentos.

Não obstante, e apesar de suas limitações, a Subvenção Econômica é um instrumento muito importante de política que possui um grande potencial se ancorado a uma perspectiva sistêmica.

Essa falta de coerência e de integração dos instrumentos pode estar relacionada, como destaca Bianchi (2012), a uma dificuldade para a definição de metas e objetivos no desenho da PDP, além de uma ausência de avanços nas metas propostas na política anterior (PITCE) e dificuldades para identificar a responsabilidade de gestão e coordenação dos programas e instrumentos. O autor mostra que essa característica reflete a ausência de uma linha estratégica clara, sendo a política resultado de um processo de coleta de diversas iniciativas esparsas em documentos de políticas prévios. No caso da nanotecnologia, essa característica se torna evidente com a falta de uma estratégia clara, com definição de prioridades, e continuidade do apoio específico dos instrumentos existentes.

3.5 – Conclusão: questões para a análise empírica

A discussão posta em prática nesta primeira parte buscou apresentar o objeto de estudo, a nanotecnologia, em três contextos. No primeiro, a nanotecnologia é apresentada como uma tecnologia revolucionária, com potencial de inovação capaz de afetar a estrutura econômica e social de toda uma era. Nesse contexto, a maneira que se interpreta a dinâmica inovativa dessa tecnologia faz toda a diferença, sobretudo quando se pretende potencializar, na forma de política, seu florescimento e desenvolvimento. Em seguida, apresenta-se a nanotecnologia sob diversas formas, realçando suas diversas características e seu caráter multidisciplinar. Dessa forma, conclui-se que a nanotecnologia não deve ser analisada como algo homogêneo, mas sim como um conjunto de tecnologias que possuem certas características em comum, mas que podem possuir dinâmicas inovativas e produtivas bastante particulares. Por último, e reconhecendo a importância e potencialidade dessas tecnologias, apresentou-se as

principais iniciativas e características das políticas desenhadas para estimular o desenvolvimento das nanotecnologias no Brasil, bem como suas principais limitações.

O primeiro capítulo procurou evidenciar que quando uma determinada trajetória está madura, o crescimento da produtividade diminui e começa a ter retornos decrescentes. Nesse período, poucos novos produtos podem ser adicionados ao sistema de produtos existentes. Entretanto, de tempos em tempos, surgem novas tecnologias com grande potencial inovador e caráter revolucionário para modificar a lógica característica dominante de um determinado período e iniciar uma nova era. Essas mudanças do “senso comum” vigente se caracterizam como novos paradigmas - tecnológicos e tecno-econômicos. Contudo, antes que esse novo paradigma se concretize, é necessário que as novas trajetórias tecnológicas tomem forma e sejam bem definidas para igualmente se consolidarem.

É nesse contexto que a nanotecnologia se apresenta como um conjunto de tecnologias com evidente potencial de se tornarem tecnologias-chave no novo paradigma que se desenha, relacionadas a outras tecnologias emergentes e revolucionárias, voltadas, sobretudo, à emergência de uma economia sustentável.

Nessa perspectiva, as nanotecnologias podem ser pensadas como um conjunto de tecnologias que são ferramentas para a emergência desse novo paradigma que se desenha. Dessa forma, argumenta-se nesse trabalho que o conjunto nanotecnologia se refere a um novo paradigma tecnológico inserido na dinâmica do novo paradigma tecno-econômico mais amplo.

No entanto, é importante ressaltar que ainda não há uma trajetória (ou trajetórias) tecnológica bem definida em relação às nanotecnologias. É nessa lacuna, então, e aproveitando as evidentes oportunidades surgidas nesse período de transição, que o papel do Estado se torna mais claro no sentido de criar e traçar essas “novas trajetórias de desenvolvimento” através do desenho de políticas de inovação para o desenvolvimento e consolidação das nanotecnologias.

Nesse contexto, ressaltou-se que o processo de inovação é um processo dinâmico, complexo e **sistêmico**, resultado da interação entre diversos atores e componentes, que se consolida no momento de sua difusão. Dessa forma, argumentou-se que políticas voltadas para partes específicas desse processo são necessárias, porém, insuficientes para estimular a inovação.

No caso das nanotecnologias, o segundo capítulo procurou evidenciar a multiplicidade e multidisciplinaridade dessas tecnologias, onde sua definição não é

suficiente para incluir ou excluir cientistas com diferentes *backgrounds* em uma comunidade científica homogênea (BATTARD, 2012). Além disso, o capítulo buscou mostrar, também, que sendo as nanotecnologias distintas, elas possuem dinâmicas distintas, além de estarem em fases de maturidade diferentes.

Deste modo, o segundo capítulo reforça o argumento de que as políticas para nanotecnologia devem levar em conta os diferentes graus de maturidade e os diferentes processos de inovação, apoiando-se, portanto, no entendimento dos diferentes sistemas nanotecnológicos de inovação. Portanto, argumentou-se que o desenho de política também é um processo dinâmico de aprendizado que co-evolui com o entendimento do processo de inovação do objeto em questão. Por isso, o processo de política deve ser dinâmico e estar relacionado a um conjunto maior de políticas que interagem entre si, ou seja, no âmbito de um sistema nacional de inovação.

Nessa direção, o terceiro capítulo buscou apresentar as principais iniciativas para o desenvolvimento e consolidação da nanotecnologia no Brasil, e em alguns países. Uma característica marcante e comum às iniciativas deu-se na ênfase no desenvolvimento da parte científica da nanotecnologia, sobretudo no estímulo à formação de grupos de pesquisa e às atividades de P&D, tanto nas empresas como nas instituições de ciência e tecnologia. O estímulo às atividades de P&D também são observáveis nas iniciativas em todo o mundo, assim como é observável que os países que mais se destacam no desenvolvimento das nanotecnologias são aqueles que combinaram essas atividades a outras igualmente importantes no processo de inovação.

A experiência chinesa mostrou que apesar do enorme avanço nas atividades de P&D, e em diversos indicadores relacionados à produção científica em nanotecnologia, o desenvolvimento de produtos à base de nanotecnologia, comercialização e aplicação ainda são tímidos em comparação à sua capacidade de pesquisa. Dessa forma, assim como no Brasil, ainda há uma lacuna significativa entre a pesquisa e o desenvolvimento industrial (FAZZIO, 2011). Como destacou Abdelkale Djeflat (Globelics Academy 2011): “*Some high-level policy makers think they are doing innovation policy by doing research (...)*”.

Por um lado, essas ações vêm garantindo a consolidação de um forte sistema de pesquisa no país. Por outro lado, poucas ações foram concretas na efetivação da inovação em nanotecnologia pela sua difusão através da produção industrial e comercialização.

Por isso, estando mais voltadas para as atividades de P&D, as políticas beneficiaram mais as iniciativas daquelas nanotecnologias ainda em fase inicial, em detrimento daquelas mais maduras. Assim sendo, as políticas não foram suficientes para estimular, por exemplo, a produção industrial, tampouco à colocação no mercado.

Ademais, essa perspectiva de política se dá de forma unilateral, ou seja, voltada para o lado da produção, da oferta. Poucas, ou nenhuma, iniciativas estão concretamente voltadas para a demanda, ainda que tais ações estejam postas nas diretrizes das políticas.

Por fim, é importante ressaltar que em todas as políticas existem falhas e lacunas. O objetivo deste trabalho não se resume tão somente a apontar tais falhas e lacunas, mas em indicar como elas podem ser melhoradas para alcançar os objetivos que se propõem, apresentando outras formas de tornar a política mais eficaz. Nesse sentido, reconhece-se que a política desenhada para a nanotecnologia no Brasil tem sido bastante relevante, mas ainda limitada no sentido de relacionar seus objetivos aos programas e instrumentos existentes para atingir tais objetivos propostos.

Portanto, o argumento central deste trabalho, e do referencial empregado para análise, é o de que o desenho de políticas de inovação para as nanotecnologias é um processo de aprendizado que co-evolui com o entendimento da dinâmica inovativa das nanotecnologias que se pretende estimular, sendo este processo desenvolvido no âmbito do sistema nacional de inovação no qual os diferentes sistemas nanotecnológicos coexistem e interagem, a partir da articulação de agentes e políticas implícitas e explícitas que interagem de forma sistêmica.

A segunda parte desse trabalho está estruturada de modo a discorrer em três linhas principais. Primeiro, alguns resultados das iniciativas serão apontados a partir da análise da evolução dos grupos de pesquisa nas instituições de ciência e tecnologia do país; a inserção das nanotecnologias nas empresas inovadoras; as principais atividades inovativas dessas empresas; e a relação do setor produtivo com as instituições de pesquisa, tanto pela ótica dos grupos de pesquisa como do setor privado. Em segundo lugar, apresenta-se um panorama das principais atividades em nanotecnologias realizadas por um conjunto de empresas no Brasil, identificando as principais nanotecnologias, suas características, seus objetivos e motivações para o uso e desenvolvimento das nanotecnologias, além das principais barreiras enfrentadas para a realização destas atividades. Por último, apresenta-se um panorama da inserção das políticas nas organizações, os principais resultados deste importante instrumento de financiamento às empresas - a Subvenção Econômica -, a percepção dessas empresas

em relação às políticas de inovação existentes e, finalmente, uma análise voltada para ações propositivas será sugerida em efeito dos principais resultados da discussão empírica proposta.

PARTE II: ANÁLISE DE DADOS E EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS

CAPÍTULO 4 – MÉTODO DE PESQUISA

Este capítulo tem por objetivo apresentar os principais procedimentos utilizados para o levantamento e análise de dados que compõem a parte empírica desta tese. Além de uma breve descrição a respeito do tipo de pesquisa e método de análise utilizados, o capítulo discorre acerca dos procedimentos aplicados na seleção dos sujeitos que fizeram parte da pesquisa de campo, sua operacionalização e sua relação com os dados secundários utilizados como suporte da análise.

4.1 – Tipo de pesquisa

Diversas são as metodologias e estratégias utilizadas na composição de uma pesquisa. Esta seção visa apresentar as principais abordagens utilizadas na composição analítica desta tese sem, contudo, ter a intenção de limitar e classificar a pesquisa como pertencente a apenas uma abordagem específica.

Nesse sentido, em primeiro lugar, a análise procurou adotar uma posição híbrida quanto às abordagens quantitativa e qualitativa. Na abordagem quantitativa, as questões são geralmente mais objetivas e padronizadas. Se, por um lado, esta abordagem limita que maiores detalhamentos sejam possíveis, por outro, permite que um maior número de respondentes componham o painel analítico. Deste modo, torna-se possível um maior número de informações e agregação dos dados de modo que a análise seja mais passível de generalização.

A abordagem qualitativa, por sua vez, permite que a análise seja mais detalhada, ainda que mais sujeita à subjetividade e complexidade. Nesses casos, os dados costumam ser descritivos e contemplam informações mais específicas. Por isso, é possível que um número de casos menor do que na abordagem quantitativa¹¹³ seja utilizado. Além disso, esta abordagem permite que haja um componente interpretativo na análise dos dados, realçando a importância e papel do pesquisador.

¹¹³ Segundo Patton (2002 *apud* OLIVEIRA, 2008), não há regras para se determinar o tamanho ideal de casos em pesquisa qualitativa. Ela depende do que se pretende investigar, do propósito da pesquisa, do que lhe dá sustentação, do que é útil, do que tem credibilidade e do que pode ser feito com o tempo e os recursos disponíveis. Nesse sentido, a validade, o significado e as possíveis conclusões das pesquisas qualitativas têm mais relação com a capacidade analítica e de observação do pesquisador sobre a riqueza das informações subjacentes aos casos selecionados do que com o número de casos.

Neste contexto, a pesquisa desenvolvida nesta tese engloba ambas as características, ainda que a natureza qualitativa seja sobressalente. Do ponto de vista quantitativo, o questionário desenvolvido pelo autor contemplou diversas questões específicas e pontuais, voltadas para a obtenção do maior número de informações possíveis. Sendo um dos objetivos da pesquisa de campo mapear os tipos de nanotecnologias e suas características específicas, essas informações foram essenciais para a conformação deste panorama geral. Além disso, essas informações serviram para identificar características comuns entre grupos de nanotecnologias, possibilitando certa agregação das informações.

Uma limitação da pesquisa, considerando a abordagem quantitativa, se deu em relação à amostra. Em primeiro lugar, tanto por limitação de tempo como por recursos, uma pesquisa mais abrangente não foi viável, ainda que um número significativo de empresas e institutos de pesquisa tenha sido entrevistado. Segundo, ainda que haja um grupo de empresas já identificadas por diversas fontes como empresas envolvidas com atividades em nanotecnologia, não se pode dizer que essas empresas representem o universo de empresas envolvidas nestas atividades. Um trabalho no sentido de mapear essas atividades nas empresas, bem como melhor qualificar essas atividades como uso e/ou desenvolvimento ainda é uma tarefa a ser realizada. Portanto, definir uma amostra de empresas ainda é uma tarefa que necessita maior qualificação¹¹⁴.

Quanto à perspectiva qualitativa, o questionário desenvolvido também trouxe questões em aberto, sujeitas à livre resposta dos entrevistados. Essas questões visaram exatamente captar a opinião e percepção dos entrevistados quanto ao assunto em questão, a política para nanotecnologia. Deste modo, buscou-se captar os elementos subjetivos do assunto, de modo que o pesquisador pudesse com essas respostas interpretar e confirmar as hipóteses levantadas no trabalho utilizando-se, por sua vez, das interpretações e opiniões dos atores.

Além desta abordagem híbrida, o trabalho também trata de um estudo exploratório e descritivo. Exploratório porque está associado a questões em que há pouco conhecimento do objeto, de modo a buscar maior familiaridade com este, levantando questões de modo a torná-lo mais explícito. Argumentou-se, nesta tese, que esta análise exploratória é exatamente um dos requisitos fundamentais para o desenho de políticas de inovação em nanotecnologia. Ao mesmo tempo, descritivo porque visa a

¹¹⁴ Uma sugestão no sentido de identificar essas empresas no Brasil pode ser encontrada na breve discussão sobre indicadores em nanotecnologia no apêndice deste trabalho.

descrição dos fenômenos. Neste caso, o desenvolvimento das nanotecnologias e as políticas de inovação no Brasil.

Por fim, trata-se de uma pesquisa que partindo de uma discussão teórica, procurou-se buscar elementos empíricos - baseados na compreensão de uma realidade econômico-social - para uma tentativa de propor idéias de ações - através de políticas de inovação - para intervir na realidade social. Estes elementos empíricos foram estruturados tanto a partir de dados secundários quanto da geração de dados primários através de entrevistas com atores específicos.

4.2 – Fonte de dados e seleção dos sujeitos da pesquisa

Os procedimentos e instrumentos utilizados para seleção e coleta de dados estão vinculados aos objetivos da pesquisa. Deste modo, utilizou-se nesta pesquisa tanto dados primários, resultado das entrevistas com atores selecionados, como dados secundários, através da utilização de bases de dados já existentes para livre consulta.

Os atores selecionados para compor o quadro de empresas e institutos de pesquisa entrevistados para geração dos dados primários utilizados nesta tese representam um subconjunto proveniente de duas bases de instituições identificadas como usuárias e/ou desenvolvedoras de nanotecnologia no país: a Pesquisa de Inovação Tecnológica (PINTEC-2008) e as instituições que receberam recursos provenientes da Subvenção Econômica da FINEP.

Na quarta versão da Pesquisa de Inovação Tecnológica (PINTEC-2008) as empresas que compuseram sua amostra foram questionadas acerca da realização de alguma atividade (produção, P&D) relacionada à nanotecnologia. Como resultado, gerou-se um cadastro com 221 empresas e institutos de pesquisa que afirmaram realizar alguma atividade relacionada à produção e/ou uso de nanotecnologia. Estas organizações, no desenho do plano amostral da PINTEC, representam um total de 487 empresas e instituições de P&D que realizam estas atividades. Este total representado é resultado da expansão dos dados da amostra, que ocorre após a aplicação dos pesos que cada uma das empresas possui no plano amostral da pesquisa, que varia de acordo com sua importância na atividade econômica da qual ela faz parte.

Neste cenário, estas empresas estão classificadas em 21 atividades econômicas da indústria de transformação, mais aquelas classificadas como instituições de pesquisa e desenvolvimento científico, segundo a Classificação Nacional de Atividades

Econômicas (CNAE 2.0). É importante ressaltar, no entanto, que a nanotecnologia não é a principal atividade dessas empresas. Na maioria das vezes, a inserção da nanotecnologia em suas atividades ainda é bastante incipiente, complementar às suas principais atividades. Deste modo, este grupo de empresas identificado não representa um plano amostral de empresas com atividades em nanotecnologia, uma vez que esta amostra não foi desenhada com o objetivo de captar essas informações.

Outra limitação em relação a esta base é que a Pesquisa de Inovação Tecnológica tem como âmbito empresas sediadas no território nacional, com dez ou mais pessoas ocupadas em 31 de dezembro de 2008. Deste modo, este quadro de empresas não contempla aquelas de menor porte que, muitas vezes, tratam-se de *start-ups* formadas com o objetivo específico de desenvolver nanotecnologia.

Esta limitação é parcialmente diminuída com a inclusão das empresas que obtiveram recursos da Subvenção Econômica no quadro de empresas da pesquisa de campo. Deste modo, foram identificadas 37 empresas, sendo 38% microempresas, com menos de 19 pessoas ocupadas. A maior parte dessas empresas foi identificada nas chamadas de 2006 e 2007, quando haviam temas específicos para nanotecnologia. A partir de 2008, a identificação das empresas foi feita através da análise dos temas dos projetos e verificação quanto sua classificação como nanotecnologia.

Como resultado, um quadro composto por 258 empresas e instituições de pesquisa foi identificado como organizações relacionadas ao uso e/ou desenvolvimento de nanotecnologia. Este quadro compôs o painel de instituições que serviu de base para a pesquisa de campo desta tese¹¹⁵. Destas, 61 (24%) foram entrevistadas nesta pesquisa.

Em relação aos dados secundários, as informações sobre os grupos de pesquisa em nanotecnologia no Brasil provêm do Diretório dos Grupos de Pesquisa do CNPq. Este Diretório constitui-se em bases de dados que contêm informações sobre os grupos de pesquisa em atividade no país desde 1992. O Diretório mantém uma **Base Corrente**, cujas informações são atualizadas continuamente pelos líderes de grupos, pesquisadores, estudantes e dirigentes de pesquisa das instituições participantes. Além disso, o CNPq realiza Censos bi-anuais, que são fotografias dessa base corrente.

¹¹⁵ Algumas empresas deixaram de realizar atividades em nanotecnologia desde o momento da entrevista para a PINETC. Outras, por sua vez, disseram nunca terem realizado tais atividades, apesar de alegarem ter interesse em tal.

Para a identificação dos grupos de pesquisa em nanotecnologia foram utilizados termos-chave¹¹⁶ baseados em ABDI (2010a) e Porter *et al.* (2008), acrescentando-se alguns novos termos importantes para a identificação dos grupos¹¹⁷.

Os grupos de pesquisa que fazem parte dessa base estão localizados em universidades, instituições isoladas de ensino superior, institutos de pesquisa científica, institutos tecnológicos e laboratórios de pesquisa e desenvolvimento de empresas estatais ou ex-estatais. Os levantamentos não incluem os grupos localizados nas empresas do setor produtivo.

Quadro 13 – Frequência dos termos de busca associados aos grupos de pesquisa e pesquisadores

Termos de busca	Nº Grupos	Nº Pesquisadores
Nanotecnologia	228	2.350
Nanopartículas	202	1.828
Materiais nanoestruturados	144	1.322
Nanoestruturas	139	1.355
Nanocompósitos	116	1.069
Nanomateriais	108	844
Nanotubos	100	748
Nanobiotecnologia/Bionanotecnologia	47	615
Optoeletrônica	28	244
Nanociência	27	261
Nanofios	20	122
Spintrônica	19	124
Nanofibras	15	284
Nanocristais	13	114
Nanoesferas	12	138
Fulerenos	12	112
<i>Quantum dots</i>	11	63
Nanoeletrônica	10	80
Nanoindentação	8	101
Nanofabricação	7	64
Nanofotônica	7	40
NEMS	6	54
Fios quânticos	6	36
Total	1.285	11.968

Fonte: Elaboração própria.

¹¹⁶ Os principais termos utilizados foram: nanociência, nanotecnologia, nanofios, nanopartículas, nanoestruturas, nanocompósitos, nanobiotecnologia/bionanotecnologia, nanomateriais, nanotubos, nanoesferas, nanocristais, nanofabricação, nanoindentação, nanofibras, nanofotônica, nanoeletrônica, materiais nanoestruturados, optoeletrônica, spintrônica, fulerenos, *quantum dots*, fios quânticos e NEMS.

¹¹⁷ Os acrônimos foram devidamente tratados.

O quadro 13 apresenta o número de grupos de pesquisa e pesquisadores que foram associados às palavras-chave utilizadas neste trabalho. Naturalmente diversos grupos de pesquisa e pesquisadores foram associados a mais de um termo. Após tratamento das repetições, os grupos e pesquisadores identificados foram apresentados no capítulo 5 desta tese.

Para o levantamento das publicações de pesquisadores brasileiros na base *ISI Web of Knowledge* foram utilizadas as mesmas palavras-chave (em inglês) utilizadas para a identificação dos grupos de pesquisa. Ademais, o mesmo critério foi utilizado para a identificação das patentes na base do INPI¹¹⁸.

4.3 – Captura das informações

Diante do objetivo de captar informações sobre as principais características das nanotecnologias utilizadas e desenvolvidas nas empresas e instituições de pesquisa no Brasil, bem como das atividades inovativas realizadas por estas organizações para seu uso e desenvolvimento, no sentido de auxiliar a formulação de políticas de inovação para esta área, desenvolveu-se e aplicou-se um questionário estruturado (vide anexo) com os seguintes objetivos:

- i) Identificar os contornos de determinadas especificidades dos processos de inovação das diferentes nanotecnologias encontradas nas empresas de diversas atividades econômicas no Brasil;
- ii) Identificar as principais demandas e necessidades em relação à elaboração de políticas de inovação para o fomento das nanotecnologias no Brasil;
- iii) Identificar as principais lacunas existentes nas atuais políticas de inovação existentes voltadas para a nanotecnologia no Brasil. Com isso, pretende-se também avaliar as políticas em curso no país;
- iv) Além disso, o questionário desenvolvido também visa captar informações a respeito dos editais da Subvenção Econômica para a nanotecnologia entre 2006 e 2010.

¹¹⁸ O autor reconhece as limitações desses critérios de busca de publicações e patentes, especialmente em áreas emergentes como a nanotecnologia. Entretanto, como estas bases estiveram relacionadas a análises secundárias da tese, optou-se por utilizá-las desta forma para ser compatível com a metodologia de busca das demais bases.

O questionário elaborado busca utilizar-se de uma abordagem mista centrada tanto na empresa, “abordagem do sujeito” (*subject approach*), quanto no objeto, “abordagem do objeto” (*object approach*). No primeiro caso, o foco de análise é o agente inovador, ou seja, no comportamento e atividades inovativas dos agentes (empresas e institutos de pesquisa), explorando os fatores que influenciam suas estratégias, incentivos e barreiras à inovação, além do âmbito das atividades inovativas e dos efeitos da inovação para estas organizações. Neste caso, nem sempre existe uma relação direta entre os projetos de inovação e as inovações que estão sendo implementadas, uma vez que estas podem ser resultado de vários projetos, e que um projeto pode ser a base de várias inovações. Esta é a abordagem utilizada na PINTEC, como exposto na análise do capítulo 5.

A “abordagem do objeto”, por sua vez, está voltada para a melhor compreensão do processo de inovação da tecnologia específica, no caso a nanotecnologia. Um dos argumentos desenvolvidos no decorrer deste trabalho é que a nanotecnologia está relacionada a vários tipos de produtos e distintos processos de produção e inovação, o que a torna diferente e complexa em variados graus. Por isso, argumenta-se aqui que existem diferentes tipos de nanotecnologias e, deste modo, distintos processos de inovação. Logo, a elaboração de políticas de inovação para nanotecnologia deve passar pela compreensão e elaboração de políticas para diferentes tipos de nanotecnologia.

A opção pela abordagem mista se justifica porque, deste modo, é possível vislumbrar tanto especificidades das nanotecnologias como das atividades desempenhadas pelas empresas e institutos de pesquisa para levar a cabo o desenvolvimento destas nanotecnologias.

Nesse contexto, a escolha da forma de captura das informações, através das entrevistas com atores nas empresas e instituições de pesquisa, levou em consideração tanto o tamanho do painel de empresas quanto a sua dispersão espacial (em todo o território nacional).

Deu-se prioridade por obter as informações através de entrevistas assistidas, ou seja, através de entrevista direta com as empresas e institutos de pesquisa do âmbito da pesquisa, como forma de assegurar uniformidade no entendimento conceitual da pesquisa. Esta metodologia foi inspirada na forma de captura de informações também utilizada pela Pesquisa de Inovação Tecnológica, realizada pelo IBGE. Além da entrevista assistida, optou-se, em alguns casos, pelo envio do questionário por *email*. De qualquer forma, sempre houve um contato direto com o entrevistado, tanto para explicar

os objetivos da pesquisa quanto para tirar dúvidas quando as respostas eram enviadas por correio eletrônico.

Deste modo, a coleta de informações seguiu os seguintes procedimentos:

- 1) Identificação do informante mais adequado para responder o questionário, ou seja, do profissional da empresa ou instituto de pesquisa relacionado às atividades em nanotecnologia capaz de apreender os conceitos da pesquisa e transmitir as informações requeridas de forma mais adequada;
- 2) Envio de carta de apresentação com informações relevantes sobre a pesquisa, o projeto no qual esta pesquisa fez parte no âmbito grupo de pesquisa RedeSist, e os contatos para informações e esclarecimentos necessários;
- 3) Aplicação do questionário utilizando a metodologia de coleta de dados CATI (*Computer-Assited Telephone Interviewing*). Esta metodologia trata-se de uma técnica de levantamento de dados por telefone (gmail e Skipe) em que o entrevistador seguiu um *script* fornecido por um aplicativo de *software*; no caso uma lógica da seqüência das perguntas elaboradas a partir do desenvolvimento de uma macro desenvolvida no *software excel*. É um sistema estruturado de coleta de microdados que acelera a coleta e edição de microdados e também permite que o entrevistador melhor informe os entrevistados sobre a importância de dados oportunos e precisos;
- 4) Elaboração e edição da base de microdados para análise.

4.4 – Tratamento e análise dos dados

Como contrapartida pelo fornecimento das informações por parte dos entrevistados e pelas regras de sigilo das informações existentes para acesso ao cadastro de empresas da PINTEC, o autor deste trabalho comprometeu-se em analisar as informações de forma agregada e desidentificada. Portanto, buscou-se apresentar a análise de forma a evitar a individualização do informante.

Neste cenário, a análise esteve estruturada utilizando-se tanto a abordagem quantitativa quanto a qualitativa, buscando a coerência da análise com os objetivos da pesquisa. Deste modo, além da descrição dos dados a partir das evidências ‘explícitas’, buscou-se realizar um processo analítico em que o autor interpreta o que está ‘por trás’ dos dados apresentados, ou seja, o autor busca desvelar as evidências ‘implícitas’ que se revelam a partir de uma análise qualitativa e reflexiva, tentando proporcionar um

equilíbrio entre a descrição e a análise interpretativa de modo a proporcionar ao leitor elementos para entender a base de interpretação e apreciar a descrição.

4.5 – Limitações do método

Uma vez que não se trata de uma pesquisa estatística, ou seja, elaborada a partir de uma amostra desenhada proveniente de um universo bem definido, os resultados não permitem generalizações para este universo da população. Para ser considerado estatisticamente representativo, deveria haver um quadro amostral desenhado para aquele objetivo específico, a partir de um universo estruturado¹¹⁹. No entanto, convém ressaltar que esta limitação não está relacionada apenas a este trabalho. Trata-se de uma importante lacuna de informação a respeito do universo de empresas que atuam com nanotecnologias no Brasil. Ainda é necessário definir quais os tipos de empresas seriam investigadas como ‘empresas de nanotecnologia’ para então buscar-se um método de levantamento dessas informações.

Além disso, é importante reconhecer que análises qualitativas e subjetivas estão relacionadas à capacidade interpretativa e analítica do pesquisador, bem como sujeitas a pré-conceitos ou *frameworks* resultados da trajetória intelectual e mesmo pessoal do pesquisador.

Apesar dessas limitações, acredita-se que os dados gerados, estruturados e analisados neste trabalho tenham trazido importantes contribuições para atender ao principal objetivo deste trabalho: produzir informações e conhecimentos relevantes que auxiliem na reflexão para o desenho de políticas de inovação em nanotecnologia no Brasil.

¹¹⁹ Vide apêndice para sugestão de identificação do universo de empresas e desenho amostral.

CAPÍTULO 5 – A DIFUSÃO E CAPACITAÇÃO EM NANOTECNOLOGIA NO BRASIL: UMA APROXIMAÇÃO A PARTIR DAS EMPRESAS INOVADORAS E DOS GRUPOS DE PESQUISA

A análise desenvolvida na primeira parte deste trabalho procurou explicitar as principais iniciativas para o desenvolvimento e consolidação da nanotecnologia no Brasil na última década. Viu-se que uma preocupação marcante às iniciativas manifestou-se na ênfase no desenvolvimento da parte científica da nanotecnologia, sobretudo no estímulo à formação de grupos de pesquisa e às atividades de P&D, tanto nas empresas como nas instituições de ciência e tecnologia. A formação de redes e o estímulo à interação e cooperação entre o setor produtivo e as instituições de ciência de tecnologia completam esses objetivos.

Por um lado, as empresas investem pouco em pesquisa básica, devido, principalmente, ao alto risco e incerteza que envolve esta atividade. Por outro, é nas universidades onde se concentra a maior participação dos gastos bruto em P&D no Brasil. Dessa forma, não é incorreto dizer que a maior parte do conhecimento científico está localizado nos laboratórios das universidades. Por isso, e dada à importância do conhecimento científico para a nanotecnologia, as empresas têm cada vez mais buscado mecanismos de interação com a comunidade científica¹²⁰. E é essa interação, juntamente com o estímulo ao crescimento da capacidade de pesquisa em nanotecnologia, que tem sido objeto de políticas públicas no Brasil, como visto anteriormente.

Nesse sentido, todo esse esforço não apenas evidenciou a importância da nanotecnologia no setor produtivo e nas instituições de pesquisa, como também tem sido importante para a difusão dessas tecnologias nessas instituições.

Este capítulo tem por objetivo apresentar um panorama da inserção da nanotecnologia nas empresas brasileiras, ressaltando suas principais atividades inovativas e o apoio do governo; a evolução dos grupos de pesquisa em nanotecnologia no Brasil, as principais áreas do conhecimento das linhas de pesquisa, as principais

¹²⁰ Miles *et al.* (2010, p.29) destacam que “*uma característica marcante da indústria de nanotecnologia no mundo é a existência de pequenas empresas de base tecnológica, originárias de laboratórios de pesquisa universitários, atuando em nichos tecnológicos*”. No Brasil, segundo os autores, essa tendência é observada em menor escala, uma vez que a fabricação e a negociação de produtos envolvendo nanotecnologia apresentam complexas dificuldades, tornando difícil a autossustentação de pequenas empresas, que acabam dependendo de investimentos governamentais ou de investidores capazes de assumir os riscos do pioneirismo. O objetivo deste trabalho não é analisar especificamente este tipo de empresa, ainda que algumas tenham sido investigadas. Menção a esta característica será feita sempre que necessário.

instituições que esses grupos e pesquisadores fazem parte e suas publicações; o papel das universidades para a capacitação nas nanotecnologias e alguns aspectos da interação entre essas empresas e as instituições de ciência e tecnologia, sobretudo as universidades.

5.1 – A inserção da nanotecnologia nas empresas inovadoras no Brasil: um contorno a partir da PINTEC 2008

As empresas no Brasil já reconheceram o potencial do desenvolvimento e comercialização da nanotecnologia, apesar desta última ainda estar em seus estágios iniciais. Deste modo, elas estão aos poucos incorporando as nanotecnologias em suas atividades: pesquisa, produção e comercialização.

Esta seção apresenta a inserção da nanotecnologia nas empresas que participaram da quarta versão da Pesquisa de Inovação Tecnológica (PINTEC-2008). Nesta versão, as empresas que compõem sua amostra foram questionadas acerca da realização de alguma atividade (uso, produção e P&D) relacionada à nanotecnologia. Deste modo, é conveniente destacar que a nanotecnologia não é a principal atividade dessas empresas. Na maioria das vezes, a inserção da nanotecnologia em suas atividades ainda é bastante incipiente, complementar às suas principais atividades. Dessa forma, a pesquisa de inovação se refere ao comportamento inovativo do sujeito, ou seja, da empresa, e não do comportamento em relação a uma tecnologia ou um conjunto de tecnologias específico, do objeto.

A Pesquisa de Inovação Tecnológica (PINTEC) possui um plano amostral que representa um universo de cerca de 106,8 mil empresas, onde 41.262 são consideradas empresas inovadoras (38,6%), ou seja, empresas que introduziram algum produto e/ou processo novo ou significativamente melhorado entre 2006 e 2008. Deste total, 487 empresas informaram realizar alguma atividade relacionada à produção e/ou uso de nanotecnologia. Dessas, 458 empresas (94,01%) são empresas inovadoras na PINTEC 2008, o que torna esse conjunto de empresas comparativamente mais inovador do que as demais pesquisadas na PINTEC.

Essas empresas estão classificadas em 21 atividades econômicas da indústria de transformação, mais aquelas classificadas como instituições de pesquisa e desenvolvimento científico, segundo a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE 2.0). Este fato mostra que, apesar de ainda incipientes, as

nanotecnologias já estão espalhadas em diversas atividades da estrutura econômica brasileira, o que também destaca seu caráter ‘pervasivo’. Destacam-se as seções 20 - Fabricação de Produtos Químicos e 32 - Fabricação de Produtos Diversos, com, respectivamente, 120 e 113 empresas inovadoras. O quadro 14 apresenta o número de empresas por atividade da indústria de transformação e serviços.

Quadro 14 – Número de empresas por seções e atividade da economia (CNAE 2.0)

		Total	Total Inovadoras
Seções	Atividades da Indústria e Serviços	487	458
10	Fabricação de Produtos Alimentícios	9	9
11	Fabricação de Bebidas*	x	x
13	Fabricação de Produtos Têxteis	21	13
14	Confecção de Artigos do Vestuário e Acessórios	9	9
15	Preparação de Couros e Fabricação de Artefatos de Couro, Artigos para Viagem e Calçados	9	9
17	Fabricação de Celulose, Papel e Produtos de Papel	4	4
18	Impressão e Reprodução de Gravações*	x	x
19	Fabricação de Coque, de Produtos Derivados do Petróleo e de Biocombustíveis	9	5
20	Fabricação de Produtos Químicos	121	120
21	Fabricação de Produtos Farmoquímicos e Farmacêuticos	19	18
22	Fabricação de Produtos de Borracha e de Material Plástico	14	11
23	Fabricação de Produtos e Minerais Não-Metálicos	8	7
24	Metalurgia	11	10
25	Fabricação de Produtos de Metal, Exceto Máquinas e Equipamentos	56	56
26	Fabricação de Equipamentos de Informática, Produtos Eletrônicos e Ópticos	20	20
27	Fabricação de Máquinas, Aparelhos e Materiais Elétricos	18	10
28	Fabricação de Máquinas E Equipamentos	10	9
29	Fabricação de Veículos Automotores, Reboques e Carrocerias	18	17
30	Fabricação de Outros Equipamentos de Transporte, Exceto Veículos Automotores*	x	x
31	Fabricação de Móveis*	x	x
32	Fabricação de Produtos Diversos	113	113
72	Pesquisa e Desenvolvimento Científico	12	12

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da PINTEC (2008).

*Desidentificado por existir menos de três (3) informantes.

Duas outras características das empresas inovadoras relacionadas às atividades em nanotecnologia também chamam a atenção: o porte e a idade. Discutiu-se anteriormente neste trabalho (item 2.4.3) o papel das empresas novas e estabelecidas no desenvolvimento da nanotecnologia. Inferiu-se que ambos os tipos de empresas possuem papéis relevantes para a consolidação das nanotecnologias em uma economia.

No caso das empresas inovadoras brasileiras, a tabela 3 apresenta a distribuição das empresas que desenvolveram algum tipo de atividade relacionada à produção/uso da nanotecnologia no Brasil no período 2006-2008 por faixa de pessoal ocupado e suas respectivas décadas de estabelecimento.

Em relação ao porte das empresas por pessoal ocupado, verifica-se que quase metade dessas empresas (48%) está na faixa de 10 a 29 pessoas empregadas, ou seja, empresas consideradas pequenas. Por outro lado, a segunda maior faixa onde há mais empresas é exatamente aquelas com 500 ou mais pessoas ocupadas (21%). As demais faixas somam pouco mais de 31%.

Pelo lado da idade das empresas, a tabela 3 também mostra que 60% delas foram estabelecidas a partir da década de 1990, sendo 46% estabelecidas na década de 1990 e 15% nos anos 2000.

Tabela 3 – Número de empresas inovadoras com atividades em nanotecnologia, segundo as faixas de pessoal ocupado e década de estabelecimento – período 2006-2008

	1950	1960	1970	1980	1990	2000	Total
Total	3	51	59	69	208	66	456*
De 10 a 29	-	-	17	22	145	37	220
De 30 a 49	-	-	-	10	7	1	18
De 50 a 99	-	5	3	14	15	8	45
De 100 a 249	2	-	9	7	17	8	43
De 250 a 499	-	7	8	6	6	9	37
Com 500 ou mais	1	38	23	10	18	3	93

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da PINTEC (2008).

*Não havia informações acerca do ano de estabelecimento para duas empresas.

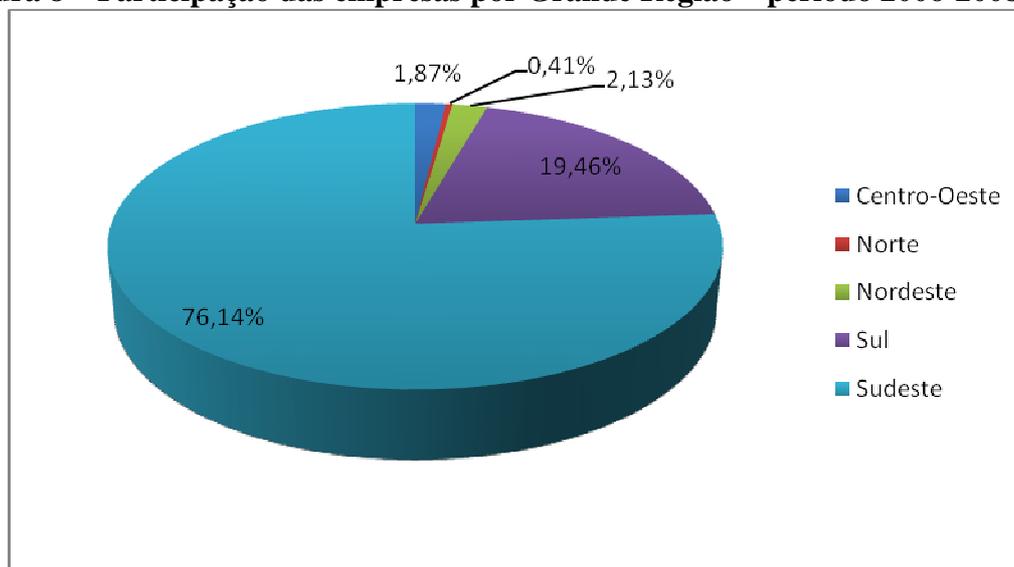
Relacionando o porte com a década de estabelecimento, dois fatos chamam atenção. Primeiro, verifica-se que as empresas de menor porte, segundo o número de pessoal ocupado, foram aquelas estabelecidas a menos tempo, ou seja, são as empresas mais novas. Em segundo lugar, o inverso é verificado em relação às empresas de maior porte, ou seja, a maior parte delas (67%) foi estabelecida até a década de 1970.

Neste cenário, dois pontos podem ser inferidos em relação às nanotecnologias nas empresas inovadoras. Em primeiro lugar, empresas de vários portes estão engajadas em atividades envolvendo uso e/ou desenvolvimento de nanotecnologias. Dessa forma, pode-se dizer que, de fato, há espaço tanto para empresas de menor como de maior porte nas nanotecnologias, como discutido no capítulo 2 deste trabalho. Segundo, são as empresas mais novas que estão mais engajadas nas atividades de nanotecnologia¹²¹, ou seja, exatamente o tipo de empresa que costuma se destacar como as mais inovadoras e reconhecidas como elementos chave na dinâmica industrial, como destacado anteriormente.

Seja como for, valer relembrar que as nanotecnologias estão somente começando a ser incorporadas nestas empresas, portanto, ainda não são as principais atividades de produção e comercialização para a maioria delas.

Por fim, a figura 8 mostra a distribuição das empresas que estão relacionadas às atividades em nanotecnologia pelas grandes regiões do país. Não causa estranheza que as regiões Sudeste e Sul abriguem mais de 95% dessas empresas, com destaque para a região Sudeste com pouco mais de 76% delas.

Figura 8 – Participação das empresas por Grande Região – período 2006-2008



Fonte: Elaboração própria com base nos dados da PINTEC (2008).

¹²¹ O tipo de atividades em nanotecnologias desenvolvidas por algumas dessas empresas será objeto de análise no próximo capítulo.

Essas regiões não apenas são as mais industrializadas do país, mas também concentram as melhores universidades e institutos de pesquisa, sobretudo no Estado de São Paulo, que sozinho possui quase 65% dessas empresas.

5.1.1 – Tipo de inovação e atividades inovativas

As nanotecnologias são tecnologias que estão espalhadas em diversos setores e atividades da economia e relacionadas a diversos tipos de inovação, sobretudo de produto e processo.

Verificou-se que a maioria das empresas (79,9%) engajada em atividades de nanotecnologia introduziu inovações em produtos e processo (Tabela 4). Apenas uma pequena parte delas introduziu somente inovação de produto (10,7%) ou inovação de processo (9,4%). Em relação aos novos produtos, 237 empresas inovadoras (51,7%) disseram que seus produtos são tecnicamente completamente novos para a empresa, enquanto para 178 (38,8%) empresas, os produtos são melhorias técnicas de já existentes. Por outro lado, 308 (67,2%) das empresas declararam que os novos processos são melhoramentos de processos já existentes, enquanto para 100 (21,8%) delas os processos são completamente novos para a empresa (IBGE, 2010). Nesse sentido, essas empresas parecem ser mais inovadoras em produto do que em processo.

Tabela 4 – Tipo de inovação das empresas com atividades em nanotecnologia no Brasil, segundo descrição da CNAE 2.0 – período 2006-2008

	Total de Empresas Inovadoras	Somente Inovação de Produto	Somente Inovação de Processo	Inovação de Produto e Processo
Total	458	49	43	365
Indústria de Transformação	446	46	42	357
Pesquisa e Desenvolvimento Científico	12	3	1	8

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da PINTEC (2008).

Não obstante, uma análise mais atenta às descrições das inovações dessas empresas revela que as nanotecnologias estão sendo usadas mais nos novos processos do que nos novos produtos das empresas. Por um lado, elas estão entrando aos poucos nas empresas, incorporadas ainda marginalmente nas atividades. Por outro lado, as descrições também apontam que estas mesmas empresas estão empenhadas em aprender

mais sobre nanotecnologia antes de introduzi-las em seus produtos e/ou processos. Nesse contexto, vale indagar se as principais atividades inovativas realizadas por essas empresas estão em consonância com atividades que possam ser importantes para o aprendizado das nanotecnologias.

A tabela 5 ilustra o percentual de empresas inovadoras que realizaram atividades em nanotecnologia e que atribuíram alto ou médio grau de importância à determinadas atividades inovativas. Além disso, elas também realizaram gasto em algumas dessas atividades.

Tabela 5 – Participação das empresas com atividades em nanotecnologia que realizaram atividades inovativas por atividades da indústria e P&D – período 2006-2008

	Total Inovadoras	Empresas Inovadoras que Atribuíram Alto e Médio Grau de Importância para as Atividades Inovativas							
		P&D Interno (%)	Aquisição externa de P&D (%)	Aquisição de Conhecimentos Externos (%)	Aquisição de Software (%)	Máquinas e Equipamentos (%)	Treinamento (%)	Introdução Inovação no Mercado (%)	Prep. p/ Prod. e Dist. (%)
Total	458	61,60%	15,40%	21,32%	68,77%	87,74%	79,70%	55,20%	59,51%
Indústria de Transformação	446	60,57%	14,91%	21,44%	69,72%	88,75%	80,95%	56,46%	60,22%
Pesquisa e Desenvolvimento Científico	12	100,00%	33,33%	16,67%	33,33%	50,00%	33,33%	8,33%	33,33%

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da PINTEC (2008).

A aquisição de máquinas e equipamentos foi a principal atividade na qual esse grupo de empresas realizou gastos como esforços inovativos (87,74%), seguida de treinamento (79,70%) e aquisição de software (68,77%). Estas atividades podem indicar esforço no sentido de modernização.

Entretanto, é notório que essas empresas também realizam diversos esforços no sentido de criar capacitações a partir de dentro da empresa. Em vista disso, a P&D interna foi apontada como importante para mais de 60% das empresas, quando a aquisição externa de P&D e a aquisição de conhecimentos externos foram apontadas com alta e média relevância para 15,40% e 21,32%, respectivamente. Nesse sentido, ressalta-se a importância da atividade interna de P&D nas empresas que desenvolvem e/ou usam as diferentes nanotecnologias. Convém analisar com um pouco mais de detalhe estas atividades.

5.1.2 – Atividades internas de P&D

As atividades internas de P&D nas empresas são importantes no sentido de conferir uma característica de aplicabilidade ao conhecimento geral e codificado, à luz das especificidades locais, práticas e uso. É partir das articulações das funções de P&D com outras funções nas empresas que é possível transformar um conhecimento genérico em específico. Nesse sentido, a P&D desempenha um papel importante no aprendizado e especialização (*expertise*) voltado, por um lado, para o ‘processamento’ do conhecimento externo disponível e, por outro, para o ‘processamento’ das solicitações de investigação que surgem de dentro das organizações (FORAY, 1993).

A P&D, portanto, é atividade essencial para o aprendizado, capacitação e formação de conhecimento dentro da empresa, e para sua relação fora dela, principalmente naquelas que estão envolvidas com atividades e tecnologias que requerem destacada capacitação, como as nanotecnologias.

Das empresas inovadoras que estão relacionadas com atividades em nanotecnologia, a tabela 6 mostra que pouco mais de 60% dessas empresas estão engajadas em atividades de P&D. Destas, 37,71% realizam atividades contínuas de P&D, enquanto 22,31% realizam atividades ocasionais. Como visto, a grande maioria das empresas está inserida na indústria de transformação, espalhadas em 20 diferentes divisões das atividades econômicas.

Tabela 6 – Participação das empresas inovadoras com atividades em nanotecnologia que realizaram atividades contínuas e ocasionais de P&D – 2008

	Total Inovadoras	P&D Contínuo	%	P&D Ocasional	%
Total	458	173	37,71%	102	22,31%
Indústria de Transformação	446	161	36,10%	102	22,91%
Pesquisa e Desenvolvimento Científico	12	12	100,00%	-	-

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da PINTEC (2008).

No tocante aos recursos humanos envolvidos nas atividades internas de P&D nas empresas inovadoras que realizaram atividades em nanotecnologia no Brasil, a PINTEC 2008 totalizou, aproximadamente, 14.225 pessoas ocupadas nestas atividades, conforme mostra a tabela 7.

Analisando por nível de qualificação, observa-se que pouco mais de 34% (4.864) das pessoas ocupadas nas atividades internas de P&D possuíam pós-graduação, enquanto 65% (9.361) possuíam apenas graduação. Dentre a formação básica das pessoas ocupadas, destacam-se aquelas relacionadas às engenharias, com 8.802 pessoas ocupadas, seguido dos Químicos, físicos e assemelhados (1.928) e dos Biologistas, bacteriologistas, farmacologistas e assemelhados (787), ou seja, com claro predomínio das chamadas ‘ciências duras’ (*hard sciences*) em áreas relacionadas ao processo produtivo.

Tabela 7 – Pessoas ocupadas nas atividades internas de P&D, contínua e ocasional, por formação básica, segundo o nível de qualificação, nas empresas inovadoras que realizaram atividades em Nanotecnologia no Brasil - 2008

	Total	Pós-Graduação	%	Graduação	%
Químicos, físicos e assemelhados	1.928	894	46,35%	1.035	53,65%
Engenheiros, arquitetos e assemelhados	8.802	2.297	26,10%	6.504	73,90%
Médicos, cirurgiões dentistas, veterinários, enfermeiros e assemelhados	334	256	76,86%	77	23,14%
Biologistas, bacteriologistas, farmacologistas e assemelhados	787	363	46,10%	424	53,90%
Estatísticos, matemáticos, analistas de sistemas e assemelhados	484	175	36,15%	309	63,85%
Outros	1.890	878	46,48%	1.012	53,52%
Total	14.225	4.864	34,19%	9.361	65,81%

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da PINTEC (2008).

Contudo, são os Médicos, cirurgiões dentistas, veterinários, enfermeiros e assemelhados que possuem o maior número relativo de pessoas com pós-graduação (76,86%); sendo, mais uma vez, seguido dos Químicos, físicos e assemelhados (46,35%) e dos Biologistas, bacteriologistas, farmacologistas e assemelhados (46,10%). Vale notar que essas áreas estão relacionadas à formação de profissionais que atuam no Complexo Industrial da Saúde (CIS), onde a nanotecnologia também possui considerável inserção¹²².

Dessa forma, percebe-se que as nanotecnologias estão espalhadas não apenas em diversos setores da economia como também em diversas áreas do conhecimento, ainda que com predomínio de algumas.

¹²² Ver tese Mota (2013) onde o autor faz uma profunda análise das políticas para o Complexo Industrial da Saúde no Brasil. A presença da nanotecnologia é notada, sobretudo, relacionada à pesquisa, desenvolvimento tecnológico e produção industrial de produtos biofarmacêuticos.

5.1.3 – Apoio do governo

A última década foi marcada por diversas iniciativas visando o desenvolvimento competitivo da indústria brasileira, sobretudo através da promoção da inovação nas empresas e estímulo à formação de parcerias com universidades e institutos de pesquisa. Nesse sentido, novos instrumentos foram criados e outros reforçados e regulamentados, principalmente, pelas Lei de Inovação (Lei Nº 10.973) e Lei do Bem (Lei Nº 11.196). Essas leis criavam e/ou reforçavam mecanismos para a promoção da inovação através de incentivos fiscais, beneficiando empresas que realizam atividades de P&D, e do estabelecimento de parcerias entre empresas e instituições de pesquisa, sobretudo as universidades.

Dessa forma, a PINTEC 2008 buscou dar conhecimento aos programas governamentais existentes buscando captar a inserção dos mesmos nas empresas inovadoras do país.

Das 458 empresas inovadoras que realizaram atividades em nanotecnologia no Brasil no período analisado pela pesquisa, a tabela 8 mostra que 88% das empresas (403) obtiveram algum tipo de benefício do governo para suas atividades inovativas. Dentre as faixas de porte que mais obtiveram suporte, destacam-se as de menor porte (entre 10 e 29 pessoas ocupadas) e as de maior porte (com 500 ou mais pessoas ocupadas), com 47% (214) e 23% (106) das empresas, respectivamente. As demais 30% estão nas outras faixas, principalmente nas de maior porte, entre 100 e 499 pessoas ocupadas.

Em relação aos instrumentos mais utilizados pelas empresas, destacam-se o financiamento a projetos de P&D e inovação tecnológica sem parceria com universidades e institutos de pesquisa, utilizados por 27% (122) das empresas, e o financiamento para compra de máquinas e equipamentos, utilizados por 24% (110) das empresas. Opostamente, dentre os instrumentos menos utilizados destacam-se o aporte de capital de risco e as bolsas de instituições de amparo à pesquisa para a inserção de pesquisadores em empresas, aproveitados por apenas 2% (8) e 4% (17) das empresas, respectivamente. Convém analisar alguns dos instrumentos com mais detalhes.

Tabela 8 – Empresas inovadoras com atividades em nanotecnologia que receberam apoio do governo para atividades inovativas, por tipo de programa, segundo as faixas de pessoal ocupado – período 2006-2008

	Incentivo fiscal		Subvenção Econômica à P&D	Financiamento			Bolsas de instituições de amparo à pesquisa e RHAEC/CNPq para pesquisadores em empresas	Aporte de capital de risco	Total
	Incentivos fiscais à P&D	Lei de informática		A projetos de P&D e inovação tecnológica		Financiamento para compra de máquinas e equipamentos			
				Sem parceria com universidades e institutos de pesquisa	Com parceria com universidades e institutos de pesquisa				
Total	59	29	28	122	31	110	17	8	403
De 10 a 29	18	18	1	92	1	84	-	-	214
De 30 a 49	-	-	1	-	1	-	-	-	2
De 50 a 99	-	3	5	3	1	3	1	1	17
De 100 a 249	1	2	4	3	5	7	4	4	30
De 250 a 499	3	3	3	6	7	6	6		34
Com 500 ou mais	37	3	14	17	16	10	6	3	106

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da PINTEC (2008).

Os incentivos fiscais à P&D e inovação tecnológica tratam-se de renúncia fiscal concedida pelo governo federal, através de agências credenciadas como o MCT, FINEP, Secretaria de Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento Econômico, entre outras, para empresas executando Programas de Desenvolvimento Tecnológico Industrial (PDTI) ou Programas de Desenvolvimento Tecnológico Agropecuário (PDTA), decorrentes de dispêndios com pesquisa tecnológica e desenvolvimento de inovação tecnológica. Das empresas inovadoras que desenvolveram atividades em nanotecnologia, as principais beneficiadas foram as empresas de menor porte e, principalmente, as maiores.

Em relação à Subvenção Econômica, apenas 28 empresas inovadoras daquelas que estão relacionadas às nanotecnologias se beneficiaram desse instrumento, sendo metade dessas empresas de grande porte, com 500 ou mais pessoas ocupadas. As pequenas, sobretudo aquelas com menos de 50 pessoas ocupadas, praticamente não foram beneficiadas pela Subvenção neste período, segundo a PINTEC. Este quadro é curioso porque, segundo um estudo realizado pela FINEP acerca do perfil das empresas beneficiadas pela Subvenção, cerca de 483 empresas foram beneficiadas pelo instrumento entre 2006 e 2008, sendo 70% delas consideradas micro ou de pequeno porte¹²³ (FINEP, 2011).

¹²³ Neste caso, considerou-se o faturamento para a definição de porte. A saber: Sem Faturamento: Até R\$ 100,00; Micro: De R\$ 100,01 a R\$ 240 mil; Pequeno Porte: De R\$ 240 mil a R\$ 2,4 milhões; Pequena: De R\$ 2,4 milhões a R\$ 16 milhões; Média: De R\$ 16 milhões a R\$ 90 milhões; Média-Grande: De R\$ 90 milhões a R\$ 300 milhões; e Grande: Acima de R\$ 300 milhões.

Vale mencionar, ainda, que das 28 empresas beneficiadas pela Subvenção Econômica neste período, 6 tiveram projetos de nanotecnologia aprovados. Destas empresas, todas possuíam mais de 100 pessoas ocupadas em suas atividades, sendo 2 com mais de 500 empregados. Deste modo, das empresas que fizeram parte da amostra da PINTEC¹²⁴, foram as de maior porte as mais beneficiadas com financiamento para projetos em nanotecnologia no período considerado¹²⁵.

O financiamento a projetos de P&D e inovação tecnológica foi realizado com o apoio financeiro concedido por bancos e agências oficiais, como FINEP, BNDES, Banco do Brasil, ou Bancos Estaduais, via fundos setoriais, fundos estaduais e fundos constitucionais, para o desenvolvimento de projetos cooperativos de P&D e inovação entre empresas e universidades e institutos de pesquisa. Entretanto, a grande maioria desses projetos (27%) foi financiada sem a parceria das empresas inovadoras com as universidades e institutos de pesquisa. Apenas 7% (31) das empresas inovadoras formaram parcerias com instituições de pesquisa para projetos de P&D e inovação, sendo a imensa maioria empresas de maior porte, com mais de 100 pessoas ocupadas, como mostra a tabela 8. Assim, observa-se que as parcerias entre as empresas inovadoras com atividades em nanotecnologia foram bastante rarefeitas no período considerado.

No caso do financiamento para a compra de máquinas e equipamentos, observa-se que 24% (110) das empresas inovadoras foram beneficiadas, sendo a maioria (84) as pequenas empresas com menos de 30 pessoas ocupadas.

Por fim, os instrumentos menos utilizados por este conjunto de empresas foram as bolsas oferecidas pelas fundações de amparo à pesquisa e RHAE (Recursos Humanos em Áreas Estratégicas), concedidas pelo CNPq e o aporte de capital de risco. O primeiro se trata de bolsas de pesquisa e aperfeiçoamento concedidas à pesquisadores ou funcionários das empresas, para desenvolvimento de projeto de P&D no âmbito da empresa. Esse instrumento foi utilizado por 17 empresas inovadoras (4% do total), na sua maioria por empresas com mais de 250 pessoas ocupadas. O aporte de capital de risco, por sua vez, foi utilizado por menos empresas ainda, apenas 8 empresas inovadoras (2% do total), o que pode indicar que as inovações pretendidas por essas

124 Vale lembrar que a amostra da PINTEC é composta apenas por empresas com 10 ou mais pessoas ocupadas.

125 Uma análise mais detalhada das empresas que obtiveram recursos da Subvenção Econômica para nanotecnologia será feita no capítulo 7.

empresas sejam mais inovações incrementais, envolvendo menores riscos, do que as do tipo radicais.

Nesse sentido, a tabela 8 leva a inferir que o conjunto de empresas inovadoras que desenvolvem atividades relacionadas com as nanotecnologias, apesar de estarem desenvolvendo atividades de P&D com vistas a inovação, não o fazem em parceria com as instituições de pesquisa, sobretudo as universidades. O fato de uma expressiva parcela desenvolver projetos de P&D sem parceira em detrimento daquelas com parceria, aliadas a baixa inserção de pesquisadores nas empresas por meio de bolsas, revela que ainda não houve uma real integração entre essas instituições e as empresas inovadoras. Além disso, o baixo número de empresas que recorrem ao capital de risco pode ainda apontar que o tipo de inovação desenvolvida ou intencionada nessas empresas sejam apenas incremental, o que não necessitaria da formação de novos conhecimentos, como no caso das nanotecnologias.

A próxima seção apresentará um panorama dos grupos de pesquisa em nanotecnologia existentes no Brasil e sua evolução, principalmente, ao longo da última década.

5.2 – Os grupos de pesquisa em nanotecnologia no Brasil

Não há dúvida que as diversas ações empreendidas para o desenvolvimento das nanotecnologias no Brasil foram essenciais para a constituição do arcabouço científico e tecnológico no país. Essas ações foram importantes não apenas na formação das diversas redes, mas também pela capacitação através do aumento dos grupos de pesquisa interessados em desenvolver atividades em nanotecnologia e na formação de pesquisadores nas diversas áreas. Esta seção tem por objetivo apresentar um panorama desses grupos e onde eles estão localizados.

Diversos projetos de pesquisa básica foram financiados, assim como várias bolsas de pesquisa foram concedidas pelo CNPq e pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) a estudantes de iniciação científica, mestrado, doutorado e pós-doutorado durante a última década, possibilitando que vários pesquisadores em diversas áreas do conhecimento científico fossem treinados em nanotecnologia.

Alguns cursos de graduação e pós-graduação passaram a incluir matérias ou linhas de pesquisa em nanotecnologia, além de cursos de especialização. Os primeiros

cursos de pós-graduação foram o programa de mestrado e doutorado em Nanociências e Materiais Avançados na Universidade Federal do ABC (UFABC-SP) e o Mestrado em Nanociências do Centro Universitário Franciscano (UNIFRA-RS) (INVERNIZZI *et al.*, 2011).

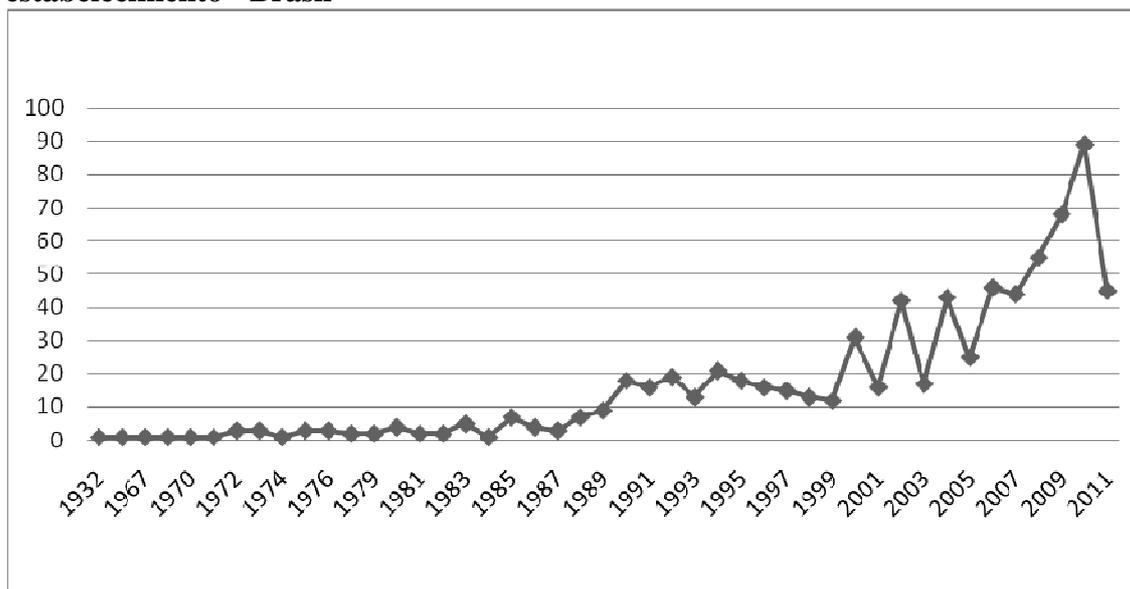
Em 2010 teve início o primeiro curso de Graduação em Nanociência e Nanotecnologia na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ-RJ). O curso de quatro anos surgiu da iniciativa de quatro unidades da UFRJ: Instituto de Física (IF), Escola Politécnica (Poli), Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho (IBCCF) e Instituto de Macromoléculas Professora Eloísa Mano (IMA), todos atuantes em pesquisa básica e aplicada em nanotecnologia. Em 2011 teve início o curso de Engenharia em Nanotecnologia, oferecido pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio). E, por último, o curso de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS-RS) foi aberto, também em 2011, com quatro habilitações, sendo uma delas em Materiais e Nanotecnologia.

Dessa forma, fica patente o aumento do interesse dos pesquisadores por linhas de pesquisa e nas diversas áreas da nanotecnologia. Cada vez mais grupos e linhas de pesquisa têm se envolvido com o estudo das nanotecnologias no Brasil. Não apenas grupos de pesquisa já estabelecidos têm incorporado Nanociência e Nanotecnologia (N&N) aos seus interesses de pesquisa, mas também novos grupos têm se constituído para trabalhar especificamente em N&N¹²⁶.

A Figura 9 mostra o número de grupos de pesquisa estabelecidos ao longo dos anos que atualmente estão envolvidos com N&N no Brasil. Antes da década de 1980, o número de grupos que se formavam a cada ano praticamente permanecia imutável, elevando-se durante a década de 1990. Todavia, foi a partir do anúncio da Iniciativa Nacional em Nanotecnologia nos EUA em 2000, e da constituição da política brasileira de Nanotecnologia que o número de grupos de pesquisa constituídos a cada ano dedicados à N&N cresceu significativamente.

¹²⁶ O quadro 13 (capítulo 4) apresenta as o número de grupos de pesquisa e pesquisadores que foram associados com as palavras-chave utilizadas neste trabalho. Apesar de diversos grupos de pesquisa e pesquisadores estarem, naturalmente, associados a diversas nanotecnologias, o quadro apresenta um primeiro panorama das principais nanotecnologias em evidência no Brasil.

Figura 9 – Crescimento dos grupos de pesquisa em N&N por ano de estabelecimento - Brasil



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do Diretório de Grupos de Pesquisa do CNPq.

Duas hipóteses, não excludentes, podem ser levantadas neste cenário. Primeiro, os grupos de pesquisa estabelecidos antes do ano 2000 rapidamente incorporaram N&N às suas atividades de pesquisa, sobretudo após o anúncio das primeiras iniciativas e do interesse do governo brasileiro nas nanotecnologias. Segundo, os grupos de pesquisa estabelecidos após o ano 2000 foram constituídos como resposta imediata às políticas desenhadas no âmbito da Iniciativa Brasileira em Nanotecnologia, sendo que muitas têm as nanotecnologias como atividades principais.

Bianchi (2010) destaca que a forma tradicional de organizar esses grupos é entorno das disciplinas, as quais constituem um eixo estruturante da atividade coletiva. Nesse sentido, os grupos oferecem três fontes de identidade para seus integrantes: i) *temática*, onde os integrantes dedicam-se a um mesmo assunto; ii) *coletiva*, onde eles mantêm uma trajetória em comum que se reflete em sua produção e no reconhecimento de um líder do grupo; e iii) *auto-identificação*, onde os integrantes se reconhecem como membros de um grupo.

Nesse sentido, o autor argumenta que o grupo de pesquisa, portanto, oferece aos seus membros um espaço de integração com certa divisão de trabalho, um espaço de aprendizado, e um mecanismo para a obtenção de financiamento público ou privado para pesquisa.

Dessa forma, o grupo de pesquisa deve ser considerado um elemento essencial na geração do conhecimento científico necessário para o desenvolvimento de áreas

multidisciplinares como a nanotecnologia. Segundo Battard (2012), os grupos de pesquisa dedicados à nanociência e nanotecnologia são ‘pólos tecnológicos’ (*technological hubs*) onde cientistas com múltiplas experiências convergem de forma a conduzir pesquisas na nanoescala. Portanto, a análise das principais características desses grupos é de grande relevância para compreender as capacidades atuais e potenciais para a geração de conhecimento em nanotecnologia no Brasil.

5.2.1 – Áreas do conhecimento dos grupos de pesquisa em nanotecnologia

Em 2008 foram identificados 3502 pesquisadores em 469 grupos de pesquisa distintos relacionados à nanociência e nanotecnologia no Brasil. Esses pesquisadores¹²⁷ e grupos de pesquisa estavam vinculados a 104 instituições acadêmicas e de pesquisa, atuantes em 24 Unidades da Federação (ABDI, 2010a).

Dentre as principais áreas de conhecimento declaradas pelo número de grupos de pesquisa, destacam-se as áreas de Física (152), Química (119), Engenharia de Materiais (54), Farmácia (27), Engenharia Elétrica (26) e Engenharia Química (19). As demais somam 72 grupos de pesquisa.

Desde então, algumas mudanças foram observadas, sobretudo, no crescimento do número de grupos de pesquisa e pesquisadores em nanotecnologia na base corrente do Diretório dos Grupos de Pesquisa do CNPq no início de 2012¹²⁸.

A Tabela 9 apresenta o número de grupos de pesquisa, linhas de pesquisa, pesquisadores, estudantes e técnicos que trabalham com N&N no Brasil, segundo as áreas de conhecimento em 2012. Os grupos de pesquisa que fazem parte dessa base estão localizados em universidades, instituições isoladas de ensino superior, institutos de pesquisa científica, institutos tecnológicos e laboratórios de pesquisa e desenvolvimento de empresas estatais ou ex-estatais. Os levantamentos não incluem os grupos localizados nas empresas do setor produtivo.

¹²⁷ É importante destacar que o mesmo pesquisador pode atuar em mais de um grupo de pesquisa. Nesse sentido, é provável que este número seja menor do que 3502.

¹²⁸ As informações da Base Corrente são atualizadas continuamente pelos líderes de grupos, pesquisadores, estudantes e dirigentes de pesquisa das instituições participantes. Além disso, o CNPq realiza Censos bi-anuais, que são fotografias dessa base corrente (<http://www.cnpq.br/gpesq/apresentacao.htm>). Visitado em março de 2012.

Tabela 9 – Número de grupos de pesquisa e pesquisadores por áreas de conhecimento - 2012

Áreas de Conhecimento	Grupos de Pesquisa	Linhas de Pesquisa	Número de Pesquisadores	Número de Estudantes	Número de Técnicos
Ciências Exatas e da Terra	391	2362	2824	3857	334
Engenharias	194	1248	1746	2218	268
Ciências da Saúde	71	364	713	959	85
Ciências Biológicas	55	351	624	780	81
Ciências Agrárias	28	223	345	365	36
Ciências Humanas e Sociais Aplicadas	9	91	94	101	13
Linguística, Letras e Artes	1	10	15	5	2
Total	749	4649	6361	8285	819

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do Diretório de Grupos de Pesquisa do CNPq.

Foram identificados 6361 pesquisadores, 8285 estudantes (graduação e pós-graduação) e 819 técnicos espalhados em 749 grupos de pesquisa distintos relacionados a 4649 linhas de pesquisa em nanociência e nanotecnologia no Brasil, representando um aumento de quase 82% no número de pesquisadores e pouco mais de 62% no número dos grupos de pesquisa em relação ao ano de 2008. Devido à natureza multidisciplinar das nanotecnologias, os grupos de pesquisa e pesquisadores estão espalhados em, até então, distintas áreas de conhecimento. Dos 749 grupos e 6361 pesquisadores identificados, a maioria dos grupos de pesquisa (78,10%) e dos pesquisadores (71,85%) está inserida nas áreas da ciência dura (*hard science*)¹²⁹: Ciências Exatas e da Terra e Engenharias. As Ciências da Saúde (9,48%), Ciências Biológicas (7,34%) e Ciências Agrárias (3,74%) aparecem na seqüência com participações menos expressivas dos grupos de pesquisa, mas que estão vinculados a mais de um quarto do total de pesquisadores identificados (26,44%). Apenas 9 grupos e 94 pesquisadores foram identificados como pertencentes às Ciências Humanas e Sociais Aplicadas, e apenas um grupo, com 15 pesquisadores, foi identificado na área de Linguística, Letras e Artes¹³⁰.

Apesar da concentração nas Ciências Exatas e da Terra e Engenharias, as nanotecnologias estão espalhadas em todas as grandes áreas de conhecimento, segundo

129 Foram também nas ‘ciências duras’ onde havia o maior número de pessoas ocupadas nas empresas que desenvolveram atividades em nanotecnologia, segundo a PINTEC 2008 (tabela 7).

130 Trata-se da Rede de Ciências, Tecnologia e Conservação Integrada de Bens Culturais (RECICOR) da Escola e Belas Artes da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). O grupo possui 10 linhas de pesquisa, entre elas a de “Materiais Inorgânicos na Conservação-Restauração de Bens Culturais”, relacionada ao desenvolvimento de novos materiais para “utilização de compostos de coordenação e nanocompostos em processos de conservação-restauração de bens culturais” (<http://dgp.cnpq.br/buscaoperacional/detalhelinha.jsp?grupo=0333803W1IXAXR&seqlinha=7>).

a classificação do CNPq. Esta característica multidisciplinar torna-se mais evidente quando se constata que os grupos de pesquisa estão espalhados em 44 subáreas de conhecimento. Mesmo assim, apesar desse espalhamento em várias subáreas, mais da metade dos grupos de pesquisa estão concentrados em apenas duas subáreas das Ciências Exatas e da Terra (Física e Química), conforme a tabela 10.

Tabela 10 – Grupos de pesquisa por subáreas de conhecimento - 2012

Subáreas de Conhecimento	Grupos	%
Física	201	26,84%
Química	185	24,70%
Engenharia de Materiais e Metalúrgica	97	12,95%
Farmácia	51	6,81%
Engenharia Elétrica	34	4,54%
Engenharia Química	23	3,07%
Ciência e Tecnologia de Alimentos	16	2,14%
Bioquímica	13	1,74%
Engenharia Mecânica	12	1,60%
Biofísica	9	1,20%
Engenharia Civil	9	1,20%
Outras	99	13,22%
Total	749	100,00%

Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados do CNPq.

As mesmas características podem ser observadas em relação ao número de pesquisadores e linhas de pesquisa nas subáreas de conhecimento. Em ambos, Física, Química e Engenharia de Materiais e Metalúrgica apresentam participação maior do que 10% cada uma, representando juntas 58,17% do número de pesquisadores e 62,74% das linhas de pesquisas relacionadas às nanotecnologias (tabela 11).

Os dados revelam que apesar de haver grupos de pesquisa em todas as grandes áreas de conhecimento, o número de pesquisadores e linhas de pesquisa nas ciências humanas e sociais aplicadas ainda é muito baixo. No entanto, esta característica não releva nenhuma inconsistência. Pelo contrário, está de acordo com as diretrizes das políticas de nanotecnologia elaboradas ao longo de mais de uma década, onde pouca ou quase nenhuma referência há aos aspectos sociais, legais, éticos e sobre os potenciais riscos das nanotecnologias.

Nesse sentido, a política tem sido eficaz no objetivo de promover a capacitação e formação do conhecimento das nanotecnologias baseadas nas ‘ciências técnicas’, mas não foi capaz de incluir as ciências sociais e humanas, de modo que as implicações sócias e éticas pudessem ser abordadas de forma integrada às demais pesquisas em nanotecnologia (INVERNIZZI *et al.*, 2011).

Tabela 11 – Pesquisadores e linhas de pesquisa por subáreas de conhecimento

Subáreas de Conhecimento	Pesquisadores	%	Linhas de Pesquisa	%
Física	1512	23,77%	1191	25,62%
Química	1233	19,38%	1138	24,48%
Engenharia de Materiais e Metalúrgica	955	15,01%	588	12,65%
Farmácia	517	8,13%	286	6,15%
Engenharia Elétrica	265	4,17%	212	4,56%
Engenharia Química	200	3,14%	153	3,29%
Engenharia Mecânica	112	1,76%	86	1,85%
Engenharia Civil	84	1,32%	85	1,83%
Ciência e Tecnologia de Alimentos	151	2,37%	77	1,66%
Bioquímica	140	2,20%	69	1,48%
Agronomia	115	1,81%	67	1,44%
Microbiologia	98	1,54%	53	1,14%
Fisiologia	59	0,93%	52	1,12%
Biofísica	59	0,93%	47	1,01%
Outras	861	13,54%	545	11,72%
Total	6361	100,00%	4649	100,00%

Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados do CNPq.

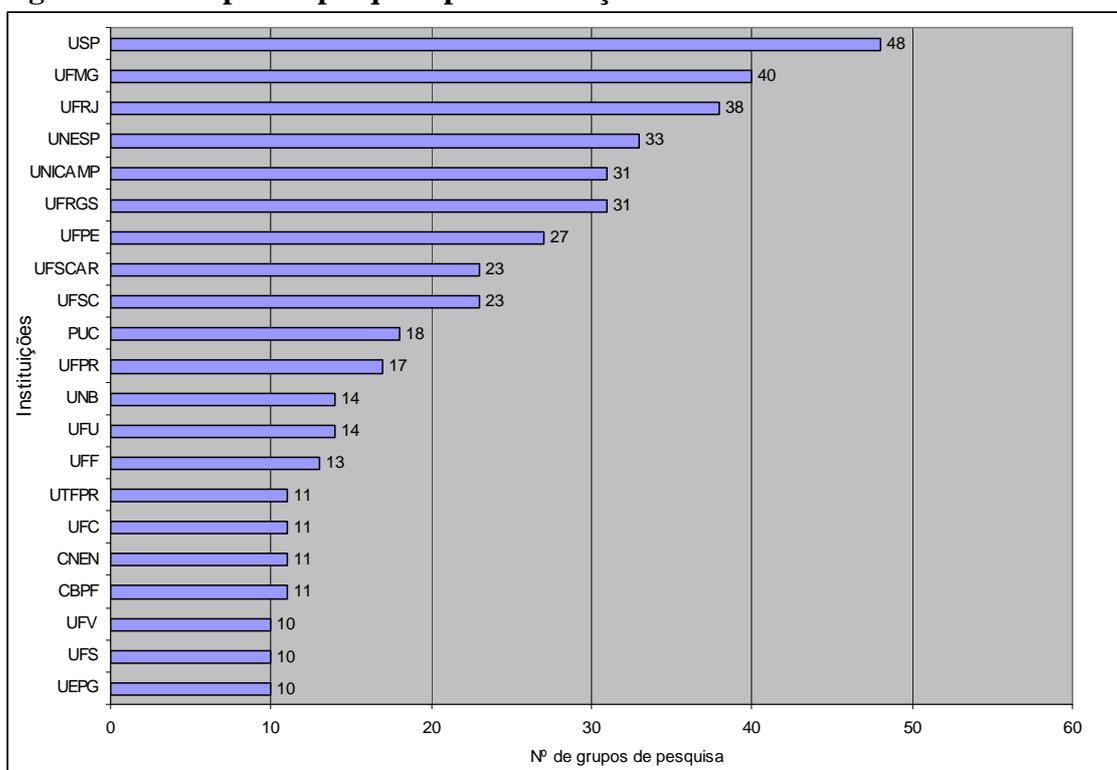
5.2.2 – Instituições e regionalização

A base de dados do Diretório de Pesquisa do CNPq também mostra que os pesquisadores e grupos de pesquisa com atividades em N&N no Brasil estão vinculados a 135 instituições acadêmicas e de pesquisa, atuantes em 25 Unidades da Federação. Dessas instituições acadêmicas e de pesquisa, 73% (99) são universidades e as demais 27% (36) são instituições de pesquisa diversas, públicas ou privadas.

A figura 10 apresenta o *ranking* das instituições brasileiras com 10 ou mais grupos de pesquisa em nanotecnologia cadastrados no CNPq. A Universidade de São Paulo (USP) aparece em primeiro lugar no *ranking*, com 48 grupos de pesquisa, seguida da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), com 40 grupos. A primeira manteve o mesmo número de grupos em relação ao ano de 2008, enquanto a segunda ganhou 12 novos grupos em relação àquele ano. A mudança se deu em relação aos terceiro e quarto lugares. A Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) ocupa a terceira posição com 38 grupos (24 em 2008), seguida da Universidade Estadual de São Paulo (UNESP), com 33 grupos (20 em 2008). Tanto a Universidade de Campinas (UNICAMP) quanto a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) perderam posições apesar de

ambas terem aumentado para 31 o número de grupos de pesquisa em nanotecnologia em 2012, contra 22 e 24 em 2008, respectivamente.

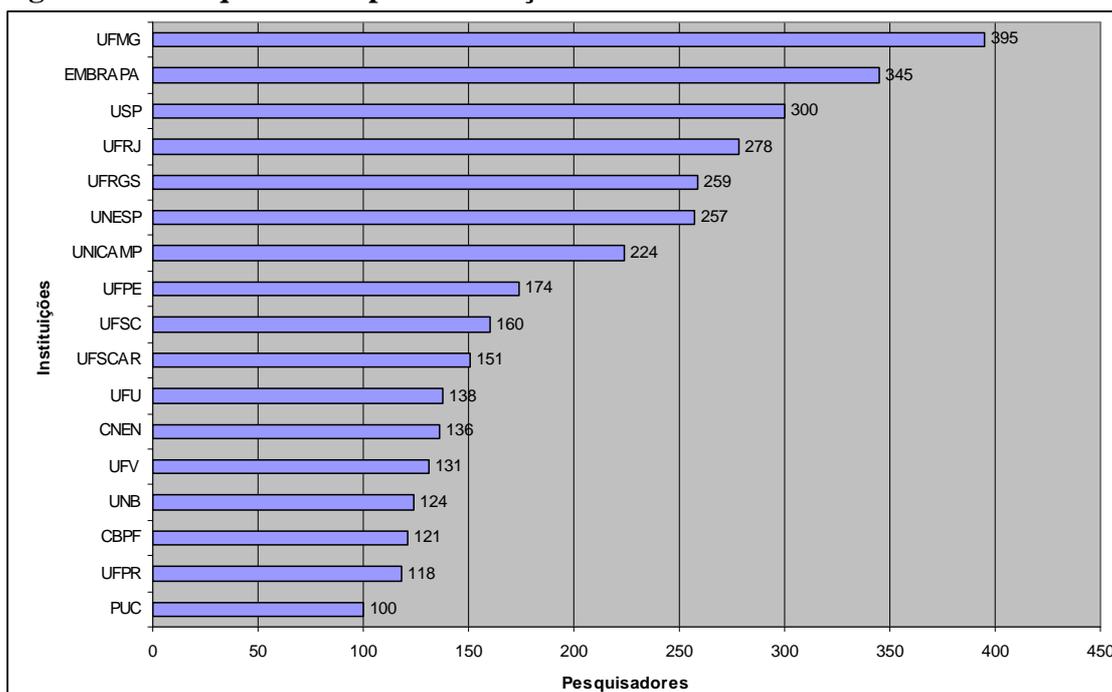
Figura 10 – Grupos de pesquisa por instituições - 2012



Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados do CNPq.

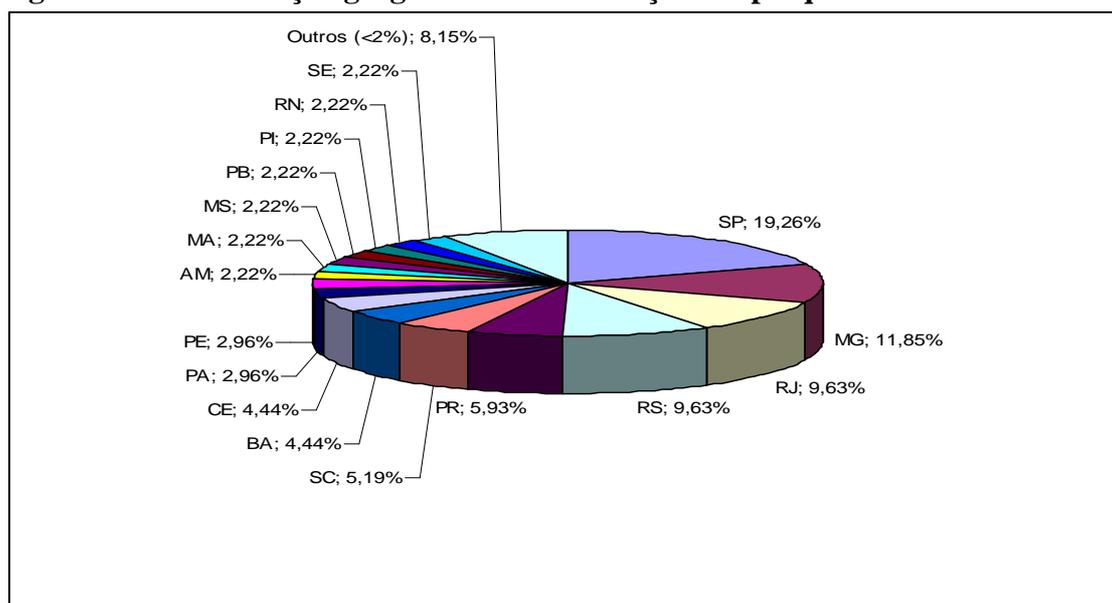
É interessante notar que de todas as instituições brasileiras com 10 ou mais grupos de pesquisa em nanotecnologia cadastrados no CNPq, apenas duas não são universidades: a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) e o Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), cada um com 11 grupos de pesquisa.

Quando se trata de pesquisadores por instituições, a EMBRAPA aparece como a segunda instituição com maior número de pesquisadores em nanotecnologia (345). A Figura 11 mostra o número de pesquisadores por instituição com 100 ou mais pesquisadores. A CNEN aparece na 12ª posição com 136 pesquisadores, e o CBPF em 15º com 121 pesquisadores. As demais instituições são todas universidades, sendo a UFMG a primeira com 395, a USP a terceira com 300 pesquisadores e a UFRJ em 4º lugar com 278 pesquisadores.

Figura 11 – Pesquisadores por instituições - 2012

Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados do CNPq.

Em relação à distribuição geográfica das 135 instituições de pesquisa por Unidades da Federação, não causa surpresa a posição de liderança do Estado de São Paulo, que concentra 19,26% (26) das instituições de pesquisa em nanotecnologia do país, seguida por Minas Gerais (11,85%), Rio de Janeiro (9,63%) e Rio Grande do Sul (9,64%), como mostra a figura 12.

Figura 12 – Distribuição geográfica das instituições de pesquisa - 2012

Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados do CNPq.

Conseqüentemente, observa-se uma forte concentração das atividades nas regiões Sudeste e Sul do país, como mostra a tabela 12, que apresenta a distribuição dos grupos de pesquisa, linhas de pesquisa e pesquisadores pelas regiões. Juntas, as regiões Sudeste e Sul concentram 74,63%, 73,83% e 74,91% dos grupos de pesquisa, linhas de pesquisa e pesquisadores, respectivamente. A região Sudeste sozinha concentra mais da metade das atividades e pesquisadores nas diferentes nanotecnologias. Por outro lado, as regiões Centro-Oeste e Norte juntas não representam nem 10% nas três categorias.

Tabela 12 – Grupos de pesquisa, linhas de pesquisa e pesquisadores por regiões - 2012

Regiões do País	Grupos de Pesquisa	%	Linhas de Pesquisa	%	Pesquisadores	%
Sudeste	407	54,34%	2514	54,08%	3539	55,64%
Sul	152	20,29%	918	19,75%	1226	19,27%
Nordeste	130	17,36%	798	17,16%	1042	16,38%
Centro-Oeste	36	4,81%	253	5,44%	323	5,08%
Norte	24	3,20%	166	3,57%	231	3,63%
Total	749	100,00%	4649	100,00%	6361	100,00%

Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados do CNPq.

5.2.3 – A produção científica em nanotecnologia no Brasil: um panorama a partir do ISI *Web of Knowledge*

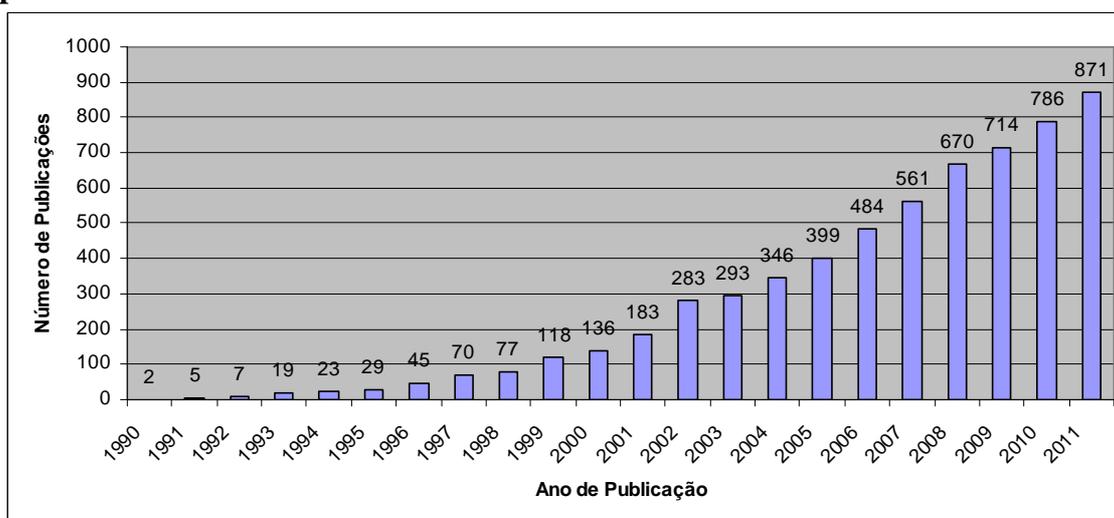
O Brasil está entre os líderes da produção científica mundial em nanociência e nanotecnologia, ocupando a 18ª posição em número de trabalhos científicos na área. Entretanto, sua participação em relação à distribuição das publicações em nanotecnologia frente os países líderes ainda é pequena, menos de 3%¹³¹. Ainda assim, o Brasil se destacou como o 6º país¹³² com maior taxa de crescimento (cerca de 28%) nas publicações em nanotecnologia entre 1996 e 2006 (PALMBERG *et al.*, 2009).

Entre 1990 e 2011 foram identificados 6121 artigos referentes à nanotecnologia, publicados por 4198 autores brasileiros vinculados a 950 instituições. A figura 13 mostra o crescimento do número de artigos publicados por pesquisadores brasileiros indexados na *ISI Web of Knowledge* nas últimas duas décadas.

¹³¹ Os seis principais países que juntos possuem 63% das publicações em nanociência e nanotecnologia no mundo são: Estados Unidos (22%), China (11%), Japão (10%), Alemanha (8%), França (6%) e Reino Unido (5%).

¹³² Os cinco primeiros são: Cingapura, China, Coréia do Sul, Índia e Taipei.

Figura 13 – Evolução das publicações de pesquisadores brasileiros em N&N – período 1990-2011



Fonte: Elaboração própria a partir da *ISI Web of Knowledge*.

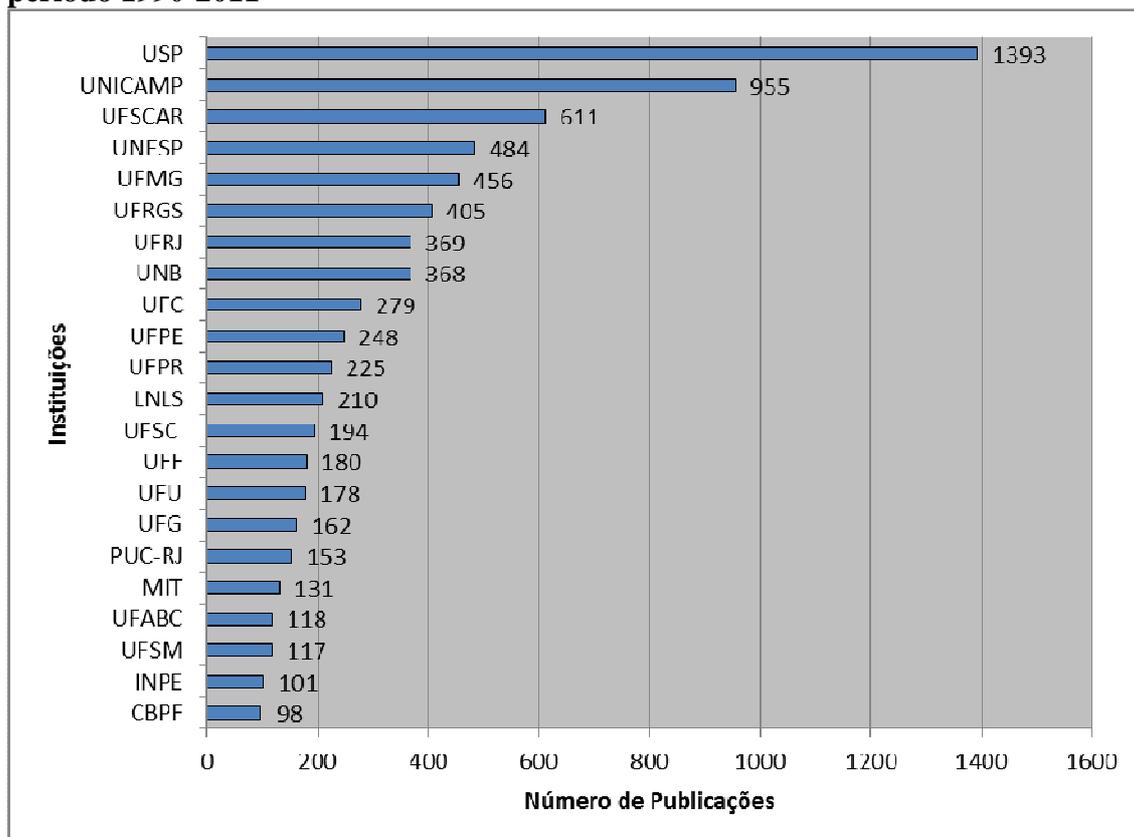
Durante a década de 1990 poucos artigos sobre nanotecnologia foram identificados como publicados por pesquisadores brasileiros. Neste período, o estudo das nanotecnologias ainda era bastante incipiente, ocorrendo de forma bastante pontual. Apenas a partir do ano 2000, com o lançamento da Iniciativa Nacional em Nanotecnologia (NNI)¹³³ pelo governo Norte-Americano, que a nanotecnologia começou a ganhar visibilidade no mundo. Como visto, no Brasil não foi diferente.

Durante toda a década dos anos 2000, as publicações brasileiras em nanotecnologia cresceram quase 5 vezes, passando de 183 em 2001 (ano da primeira iniciativa brasileira em nanotecnologia) para 871 em 2011.

Em relação às principais instituições nas quais os autores dessas publicações estão vinculados, e considerando um número de artigos maior ou igual a 80 ocorrências por instituição, a figura 14 mostra que mais de 60% dos 6121 artigos de autores brasileiros indexados na base *web of science* estão vinculados a instituições localizadas no Estado de São Paulo: USP (1393 artigos), UNICAMP (955 artigos), UFSCAR (611 artigos), UNESP (484 artigos), UFABC (118 artigos) e LNLS (Laboratório Nacional Luz Síncroton) com 210 artigos. Além dessas, destacam-se, ainda, a UFMG (456 artigos), UFRGS (405 artigos), UFRJ (369 artigos) e UNB (368 artigos). Como visto nas figuras 10 e 11, a maior parte destas instituições são as mesmas que concentram os pesquisadores e grupos de pesquisa dedicados às nanotecnologias no Brasil.

¹³³ *National Nanotechnology Initiative*.

Figura 14 – Instituições das publicações de pesquisadores brasileiros em N&N – período 1990-2011



Fonte: Elaboração própria a partir da *ISI Web of Knowledge*.

A tabela 13 apresenta as dez principais áreas de especialização segundo as quais os 6121 artigos foram indexados pela base *ISI Web of Science*, o que reflete a multidisciplinaridade das áreas e temas em nanociência e nanotecnologia. Somente as duas primeiras áreas representam mais de 57% dos artigos publicados por pesquisadores brasileiros entre 1990 e 2011: Ciências dos Materiais Multidisciplinar (29,95%) e Física: Matéria Condensada (27,10%). Física Aplicada, Físico-Química e Nanociência e Nanotecnologia também possuem participações significativas: 19,85%, 18,38% e 12,32%, respectivamente. As demais áreas apresentam participação abaixo de 10%.

Na seqüência, apresenta-se as principais agências financiadoras dos grupos de pesquisa e publicações dos pesquisadores brasileiros em nanotecnologia, considerando-se as dez instituições que mais financiaram no período considerado (Figura 15).

Tabela 13 – Áreas de especialização dos artigos publicados por pesquisadores brasileiros em N&N – período 1990-2011

Áreas Temáticas	Nº de Publicações	% de 6121
Ciência dos Materiais Multidisciplinar	1833	29,95%
Física: Matéria Condensada	1659	27,10%
Física Aplicada	1215	19,85%
Físico- Química	1125	18,38%
Nanociência e Nanotecnologia	754	12,32%
Química Multidisciplinar	574	9,38%
Física Multidisciplinar	313	5,11%
Ciência dos Polímeros	305	4,98%
Eletroquímica	276	4,51%
Física, Atômica, Molecular e Química	260	4,25%

Fonte: Elaboração própria a partir da *ISI Web of Knowledge*.

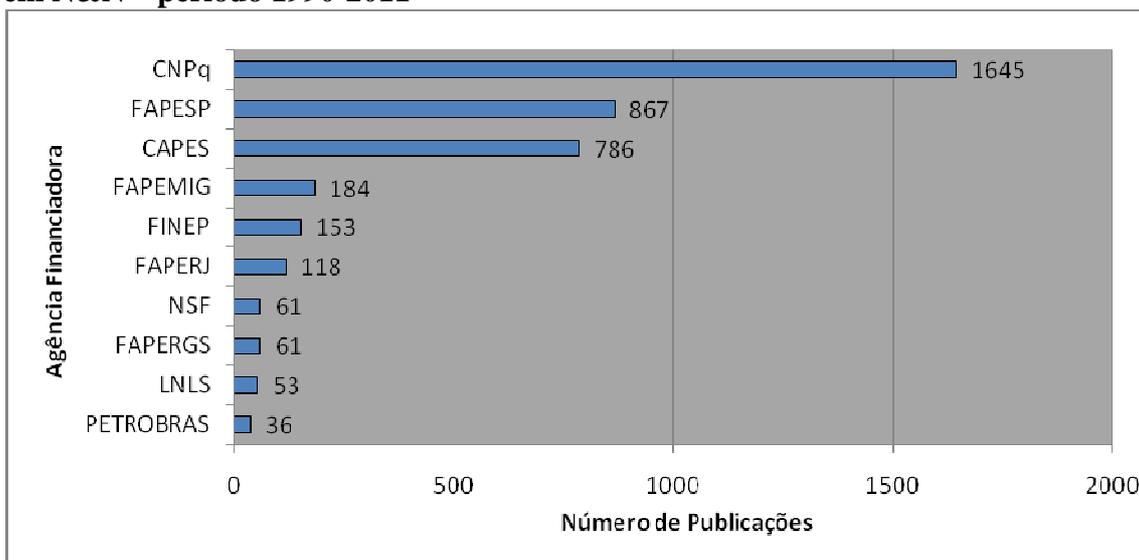
Diversas agências em todo o país financiaram atividades de pesquisa em nanotecnologia durante as duas últimas décadas. Contudo, quase 54% de todo o financiamento no período foi realizado por apenas três agências financiadoras: o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Tanto o CNPq como a CAPES são as principais instituições financiadoras de projetos de pesquisa e formação de capacitação de nível superior em todo o território nacional.

Além disso, muitos Estados também possuem suas agências de fomento à pesquisa científica e tecnológica: as Fundações de Amparo à Pesquisa. Destacam-se entre as dez agências financiadoras, além da FAPESP, a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS).

Vale destacar, ainda, a presença da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), uma das principais agências de financiamento a programas de promoção da nanotecnologia nas empresas, e da Petrobrás, que possui diversos projetos relacionados ao uso de desenvolvimento de nanotecnologias.

Neste cenário, fica evidente a importância da universidade no arcabouço científico relacionado às nanotecnologias no Brasil, tanto como as principais instituições acadêmicas e de pesquisa, como as principais responsáveis pela capacitação e formação de recursos humanos em nanotecnologia.

Figura 15 – Agências financiadoras das publicações de pesquisadores brasileiros em N&N – período 1990-2011



Fonte: Elaboração própria a partir da *ISI Web of Knowledge*.

Este quadro apontando a participação das universidades na pesquisa em nanotecnologia faz parte de um quadro mais geral que aponta o papel das universidades na P&D de países em desenvolvimento, entre eles o Brasil. Em um projeto internacional (UniDev Project)¹³⁴ conduzido em diversos países sobre o papel das universidades para o desenvolvimento, significativas diferenças foram observadas entre países desenvolvidos e em desenvolvimento a respeito do investimento em pesquisa. Um dos principais pontos foi que quatro países do grupo de países em desenvolvimento¹³⁵ pesquisados possuem maior participação relativa dos gastos em P&D nas universidades do que os países desenvolvidos. O Brasil aparece na segunda posição entre os países com maior participação nos gastos de P&D nas universidades como percentual dos gastos brutos em P&D (39%), atrás apenas da Letônia, com 41,5%. Depois do Brasil aparecem Cuba (35,3%), Uruguai (32%) e somente então o primeiro país desenvolvido, a Dinamarca, com participação de 26,3% (BRUNDENIUS *et al.*, 2009).

Para os autores, este quadro, por um lado, aponta a importância dada pelos governos desses países para a pesquisa nas universidades, especialmente como meio de se criar ligações com a indústria. Por outro, pode refletir a fraca participação nos gastos em P&D do setor privado desses países. Seja como for, o ponto é que a pesquisa, mais

¹³⁴ UniDev: 'Developing universities. The evolving role of academic institutions in innovation systems and development'. Os países pesquisados foram: Dinamarca, Suécia, Alemanha, Letônia, África do Sul, Rússia, Uruguai, Brasil, Cuba, China, Vietnã e Tanzânia.

¹³⁵ Letônia, Brasil, Cuba e Uruguai.

uma vez, está no centro da discussão, e a universidade aparece como um importante elemento desse sistema.

Deste modo, as próximas seções discutem o papel das universidades no sistema nacional de inovação, ressaltando sua importância para o desenvolvimento das nanotecnologias no Brasil, e os principais aspectos da interação das instituições de pesquisa com o setor privado, interação esta vista pelas perspectivas das empresas e das instituições de pesquisa.

5.3 – O papel das universidades e a relação com o setor produtivo no sistema nacional de inovação: implicações para a nanotecnologia

As novas tecnologias multidisciplinares e pervasivas que emergem a partir da segunda metade do século XX e início do século XXI, como as nanotecnologias, encontram no conhecimento científico um elemento essencial para seu desenvolvimento.

Entretanto, este conhecimento não é mais aquele que engloba apenas uma área do conhecimento, hoje insuficiente para atender a demanda técnico-científica das empresas e da sociedade. O tipo de conhecimento atualmente requerido é mais complexo e multidisciplinar, solicitando a interação entre diversas áreas de conhecimento e atores do sistema (GIBBONS *et al.* 1994). Faz-se necessário desenvolver o entendimento e uma nova linguagem capaz de ajudar a traçar e estabelecer uma nova trajetória tecnológica e consolidar o novo paradigma que se desenha (LUNDVALL, 1992)¹³⁶.

Tal complexidade aumenta o interesse pelo estudo da criação do conhecimento técnico-científico, fonte primária de inovação, e, em particular, pela interação entre a empresa e a universidade (PARANHOS, 2012).

A autora argumenta que esta interação é de grande relevância na criação do conhecimento técnico-científico. Por um lado, destaca que as duas principais funções classicamente atribuídas à universidade são o ensino e a pesquisa, onde a primeira está relacionada à difusão do conhecimento e à formação de recursos humanos qualificados,

¹³⁶ “(...) a radical change in technology implies that the codes developed to communicate a constant, or a gradually changing, technology will become inadequate. Established producers which follow a given technological trajectory will have difficulties in evaluating the potentials of the new paradigm. Users will have difficulties in decoding the communication coming from producers, developing new products built according to the new paradigm” (LUNDVALL, 1992, p. 61).

enquanto a segunda função (pesquisa) se dirige à criação de conhecimento novo. Por outro lado, as empresas têm atuado cada vez mais na geração de conhecimentos técnico-científicos e na busca por novas combinações de conhecimentos que possibilitem a aceleração do desenvolvimento de inovações, assumindo papéis antes exclusivos das universidades nas áreas de pesquisa básica e aplicada.

Nesse contexto, diversas abordagens e propostas de interação do setor produtivo e das instituições de ciência e tecnologia, sobretudo das universidades, foram desenvolvidas. Tais abordagens partem desde a concepção mais simples (Modo 1) até as mais complexas (sistemas de inovação) e, em todas, a universidade possui um papel relativamente claro na criação do conhecimento.

No “modelo linear”, ou Modo 1, o financiamento da pesquisa básica se apresentava como uma condição necessária e suficiente para a geração de conhecimento e conseqüente promoção da inovação. Nesta abordagem, as universidades eram consideradas não apenas as instituições mais importantes, como as mais apropriadas para a condução dessas atividades. Neste modelo, a solução de um problema ocorre através de códigos e práticas relevantes para uma disciplina em particular, em um contexto definido segundo as normas cognitivas e sociais que governam a pesquisa básica/ciência acadêmica. O conhecimento é criado no meio acadêmico com hierarquia e homogeneidade disciplinar (PARANHOS, 2012). Todavia, esta abordagem se mostrou desorientadora (*misleading*) à medida que as evidências mostraram que a pesquisa básica pode não ser uma condição necessária tampouco suficiente para melhorar o desempenho inovativo (ROSENBERG, 1982; KLINE E ROSENBERG, 1986)¹³⁷.

Outro modelo conceitual é o Modo 2, desenvolvido por Gibbons *et al.*(1994), no qual a pesquisa está associada a um sistema mais interdisciplinar, pluralista e mais inserido em redes. Nesta abordagem, a pesquisa científica está associada a maior colaboração interinstitucional e interdisciplinar, onde a universidade e o setor privado desempenham importantes papéis no desenvolvimento do conhecimento técnico-científico.

¹³⁷ Apesar de concordar com os autores que a pesquisa básica/ciência não seja uma condição suficiente para o desempenho inovativo, no caso das nanotecnologias, sobretudo por ser um conjunto de tecnologias emergentes e, como visto, baseadas na ciência, este componente é tão relevante que se torna necessário. Contudo, nunca é demais destacar que continuando a ser considerado o elemento mais importante do processo de inovação como foco de políticas públicas, não resta dúvida que o desempenho inovativo das nanotecnologias no país somente tenderá a diminuir.

Nesta concepção, tanto a universidade quanto o setor produtivo não mais estão relacionadas às suas ‘funções clássicas’. Por um lado, as universidades passaram a atuar em novas funções e a assumir novos papéis na sociedade para a resolução de problemas, contribuindo para a produção de inovações e para o desenvolvimento econômico e social. Por outro, como mencionado, as firmas passaram cada vez mais a atuar na geração de conhecimentos técnico-científicos e na busca por novas combinações de conhecimentos, assumindo papéis antes exclusivos das universidades nas áreas de pesquisa básica e aplicada.

Um terceiro modelo que busca explicar o papel das universidades na produção do conhecimento para a inovação é o da ‘Hélice Tríplice’, proposto por Etzowitz e Leydesdorff (1997; 2000). Este modelo é uma forma de representar o sistema de inovação e seu funcionamento a partir da interação entre três esferas institucionais: universidade, indústria e governo. Entretanto, nesta abordagem a universidade é identificada como o principal ator para a geração de inovação na sociedade baseada no conhecimento em detrimento da indústria e do governo. Aqui, ela assume um papel mais ‘empreendedor’ onde a geração de conhecimento passa também a ser uma iniciativa econômica. Dessa forma, o empreendedorismo é integrado ao ensino e pesquisa como uma missão acadêmica.

A partir da aproximação entre o setor acadêmico e o empresarial, a função da pesquisa básica passou de uma pesquisa de longo prazo para uma pesquisa ligada à utilização prática dos resultados. Os grupos de pesquisa universitários passaram a atuar como “quase-firmas” mesmo antes de se engajar nas atividades empreendedoras, com atuação direta no setor empresarial, na prestação de serviços e realização de parcerias. As universidades passaram a atuar na “capitalização do conhecimento” e a se envolver com transferência de tecnologia (ver tabela 18) e formação de empresas, tornando-se universidades empreendedoras. A produção do conhecimento passou a ser um empreendimento econômico. A universidade deixou de prover exclusivamente educação a indivíduos e passou à formação de organizações através da educação empreendedora e dos programas de incubação¹³⁸ (ETZOWITZ E LEYDESDORFF, 2000; PARANHOS, 2012).

Para muitos autores, sobretudo aqueles relacionados à abordagem de sistemas de inovação, as fontes de geração de inovação vão muito além das universidades e dos

¹³⁸ Frequentemente são criadas empresas derivadas da universidade, chamadas de *spin-offs*, geridas por alunos e/ou professores a partir de novos conhecimentos criados na própria universidade.

laboratórios de P&D das empresas. Para esses autores, as diversas abordagens que tratam o papel das universidades estão relacionadas a uma concepção mais estrita do conceito dos sistemas de inovação, que foca nas relações entre os esforços de P&D nas empresas e nas organizações de Ciência e Tecnologia (C&T), inclusive as universidades. Este papel está relacionado ao modelo linear de inovação, no qual as universidades são consideradas como importantes provedoras de pesquisa básica para o processo de inovação (CASSIOLATO *et al.*, 2007). Quando modelos como o ‘Modo 2’ ou a ‘Hélice Tríplice’, por exemplo, são objetos de políticas, e não são analisados como um sub-sistema dentro do sistema nacional de inovação (ver figura 2), mas apresentados como alternativas desenvolvidas à esta abordagem, tal fato contribui para um entendimento restrito do que é sistema de inovação, contribuindo para distorções no conceito (LUNDVALL, 2007; BRUNDENIUS *et al.*, 2009).

Nesta visão, aspectos de grande relevância na dinâmica da inovação, como a capacitação das pessoas e relações e interações que proporcionam o aprendizado, não são destacados. Nesse contexto, a capacidade de aprender é essencial para o acompanhamento das tecnologias existentes e, sobretudo, para a criação de novas tecnologias. Assim, um desafio posto à universidade se refere ao fortalecimento da capacidade de aprendizado dos estudantes que, no futuro, serão aqueles capazes de resolver os problemas postos para a geração de inovação.

Nesse sentido, a universidade atua como importante fornecedora de recursos humanos qualificados para todos os setores da economia, gerando efeitos positivos para seu desenvolvimento e para a geração de inovações. Esta perspectiva também está relacionada a uma visão a partir da América Latina, que pensa a universidade com um papel mais ativo para o desenvolvimento social (AROCENA E SUTZ, 2000; PARANHOS, 2012; BRUNDENIUS *et al.*, 2009). Atuando como universidade empreendedora, a universidade pode se colocar em uma posição de vítima entre uma administração tecnocrata centralizadora e as forças do mercado e de privatização (LUNDVALL, 2002).

Por fim, vale destacar que as perspectivas mais restritas geralmente capturam os processos de ‘aprendizado baseados na produção e uso do conhecimento científico codificado’ (*STI-Learning*), vinculando pesquisa e tecnologia diretamente à inovação. Contudo, elas tendem a negligenciar a importância do ‘aprendizado baseado na experiência’ (*DUI-Learning*), que é tão importante quanto o outro (JENSEN *et al.*, 2007; LUNDVALL, 2010).

O fato de que a ciência e o conhecimento codificado se tornarem cada vez mais importantes para diversas firmas, em diferentes indústrias, de forma alguma implica que o ‘aprendizado baseado na experiência’ e o conhecimento tácito são menos importantes para a inovação. Ainda que a probabilidade das firmas desenvolverem novos produtos, ou novos serviços, seja um pouco maior naquelas mais orientadas ao modo STI do que aquelas orientadas ao DUI, esta probabilidade é significativamente maior naquelas que combinam os dois tipos de aprendizado para inovação (JENSEN *et al.*, 2007). Este resultado ilustra porque as definições mais restritas dos sistemas nacionais de inovação que focam apenas na inovação baseada na ciência (e conseqüentemente considera que o papel da universidade é o de simplesmente gerar ciência para a indústria) e conhecimento codificado são menos relevantes para o desempenho econômico das firmas e dos sistemas nacionais de inovação.

Nesse sentido, é evidente que as universidades possuem um papel fundamental no sistema nacional de inovação, ainda que não seja o principal ator para a geração de inovação, como no modelo da ‘Hélice Tríplice’. Como visto, este papel está particularmente relacionado à formação de pessoal qualificado, como fonte de conhecimento fundamental e de conhecimento industrialmente relevante à moderna economia baseada no conhecimento, atuando como ‘guardiões’ do ‘conhecimento razoavelmente confiável’, desde que mantenha sua autonomia¹³⁹.

Baseado na contribuição de diversos autores, Cassiolato *et al.* (2007, p.10) sintetizam em cinco as contribuições das atividades acadêmicas para o processo inovativo nas empresas:

- 1) *Aumento da utilização e da transferência do conhecimento de caráter mais geral necessários para as atividades de pesquisa básica.* As nanotecnologias são multidisciplinares por natureza, havendo convergências de diversas áreas do conhecimento como física, química, ciências de materiais, biologia, engenharia, entre outras. Nesse sentido, o conhecimento mais geral está relacionado ao conhecimento dessas diferentes áreas, por diferentes atores.

¹³⁹ “Universities play an important role in the innovation system but the triple-helix perspective, with its neglect of DUI-mode of learning, may have led to exaggerated expectations of what can and should be expected from them. Universities need to be guaranteed a minimum autonomy in order to give long term contributions to knowledge creation and the idea that they should be completely subsumed to market forces and political control is incompatible with their role as guardians of what is ‘reasonably reliable knowledge’. Their most important role in the national innovation system is not to be incubators for start-up firms or for patents, it remains the training of graduates for the labour market” (LUNDVALL, 2010, p. 348).

Independentemente da nanotecnologia desenvolvida na empresa, o conhecimento mais abrangente torna-se fundamental.

- 2) *Acesso ao conhecimento especializado relacionado à área tecnológica da empresa.* Ainda que, por um lado, as nanotecnologias estejam relacionadas à convergência de diversas áreas de conhecimento, por outro, ela pode ser bastante específica dependendo do tipo de nanotecnologia desenvolvido. As características dos diferentes sistemas tecnológicos irão influenciar a contribuição funcional das universidades. Para uma empresa que desenvolva nanobiotecnologia, por exemplo, um conhecimento mais específico em biofísica ou bioquímica, pode ter mais relevância do que uma empresa que desenvolva certos tipos de nanomateriais, ainda que eles possam ser utilizados nas primeiras. De qualquer forma, é provável que as empresas realizem este tipo de P&D mais específico. Neste caso, as pesquisas acadêmicas estimulam as atividades de P&D nas empresas, sendo, portanto, atividades complementares.
- 3) *Formação e treinamento de engenheiros e cientistas capazes de lidar com problemas associados ao processo inovativo nas empresas.* Este ponto está relacionado ao anterior na medida em que tais atividades estimulem as atividades de cooperação com instituições públicas de pesquisa, e sirva como ambiente para o aprendizado de técnicas, métodos e rede de contatos profissionais importantes para a solução dos problemas tecnológicos enfrentados.
- 4) *Criação de novos instrumentos e técnicas científicas.* No caso das nanotecnologias, seu desenvolvimento está fortemente associado ao desenvolvimento da microscopia eletrônica que permitiu, portanto, a visualização de imagens em escala nanométrica. Ainda que esta invenção tenha sido realizada dentro de uma empresa privada (IBM), esta atividade estava relacionada à pesquisa básica. E a universidade teve importante papel no seu desenvolvimento e difusão.
- 5) *Criação de empresas nascentes (spin-offs) por pessoal acadêmico.* Desde a década de 1980 este fenômeno tem sido observado. A criação dessas empresas está relacionada ao vigor da tecnologia envolvida, das atividades de P&D das universidades geradoras e por fatores institucionais. No Brasil, diversas empresas foram criadas neste ambiente, principalmente nas grandes

universidades, e têm sido estimuladas por diversas políticas públicas, entre elas a Subvenção Econômica.

Essas contribuições, aliadas ao que se espera do papel das universidades no sistema de inovação, estão bastante relacionadas às orientações descritas por Invernizzi (2011) acerca dos conhecimentos e qualificações necessárias à força de trabalho envolvida na cadeia de produção das nanotecnologias:

- i) *As habilidades em nanotecnologia são desenvolvidas a partir de uma base científica interdisciplinar:* a nanotecnologia é uma área que aglutina diversas ciências e tecnologias. Nesse sentido, a interdisciplinaridade é o requisito principal neste campo, independentemente da área específica de aplicação da nanotecnologia. Portanto, a força de trabalho deve ter um amplo conhecimento abrangendo a compreensão dos princípios da biologia, física e química, assim como de princípios de engenharia, sobretudo relacionados a projetos, processos e produção. As ciências proporcionam os conceitos básicos por trás da nanofabricação, além de prescrever as regras no ‘mundo da nanoescala’¹⁴⁰ (FONASH, 2001).
- ii) *Emergência de habilidades transversais de nanotecnologias específicas:* há atividades que necessitam de conhecimento e habilidade nano-específicas e, portanto, requerem treinamento dedicado. Tais habilidades são particularmente importantes uma vez que são transversais a todos os campos de aplicação em nanotecnologia. Estão focadas em três áreas: ferramentas de caracterização e análise; processos de fabricação e métodos de síntese; e técnicas em relação às condições de trabalho.
- iii) *‘Habilidades flexíveis’ são valiosas:* habilidades relacionadas à capacidade de comunicação, trabalhar em grupo e capacidade de aprendizado, por exemplo, são também vistas como importante para as nanotecnologias. Tais características são importantes, por exemplo, para facilitar as relações e comunicação das empresas

¹⁴⁰ A Biologia, por exemplo, é necessária por duas razões: primeiro, a fabricação cada vez mais vai imitar a montagem dos sistemas biológicos (fabricação *bottom-up*) e, segundo, a fabricação vai cada vez mais produzir sistemas para aplicações biomédicas. A Física é necessária porque a nanoescala é o mundo das probabilidades de funções de onda (*probability wave functions*), mecânica quântica de tunelamento, e sondas por força atômica. A química é importante porque proporciona as ferramentas para trabalhar as moléculas, funcionalizando superfícies e ‘encaixando as peças’. E as Engenharias são necessárias porque são seus princípios que garantem a fabricação e viabilidade econômica. Assim, criar uma força de trabalho tecnicamente preparada para a nanotecnologia é uma tarefa educacional bastante difícil (FONASH, 2001).

com as universidades, e são habilidades relacionadas a natureza interdisciplinar das nanotecnologias.

- iv) *Predomínio do treinamento adaptativo*: a maioria dos empregos em nanotecnologia na atualidade surge da inserção das nanotecnologias nas indústrias existentes com o objetivo de aprimorar produtos e processos, enquanto inovações mais significativas estão ganhando espaço em alguns setores. Assim, novas habilidades estão se tornando evidentes, porém ainda não consolidadas, sendo ainda amplamente utilizadas abordagens incrementais de treinamento. Nesse processo, as empresas constroem um valioso conhecimento tácito nas nanotecnologias, essenciais para o desenvolvimento das habilidades nessas nanotecnologias.

Nesse contexto, destaca-se o papel das universidades como importantes atores para melhor compreender e integrar essas novas disciplinas recentemente criadas, como as nanotecnologias. Como destacam Etzkowitz e Leydesdorff (2000), tais disciplinas não surgem apenas da subdivisão de novas disciplinas a partir das antigas, mas da síntese de interesses práticos e teóricos. Para eles, são as universidades as instituições chave do “setor do conhecimento”, desde que mantenham sua missão educacional original, pois o ensino é sua ‘vantagem comparativa’, especialmente quando ligada à pesquisa e desenvolvimento econômico.

Deste modo, as funções que as universidades desempenham no Sistema Nacional de Inovação normalmente são aquelas voltadas à educação e pesquisa. E o entendimento da interação universidade-empresa não pode se dar de forma dissociada do desenvolvimento e consolidação dos SNI, espaço para a aplicação de políticas públicas.

5.4 – Interação entre empresas e instituições de ciência e tecnologia: elementos a partir do diretório de grupos de pesquisa e da PINTEC

Desde a aprovação do *Bayh-Dole Act*¹⁴¹ nos EUA, em 1980, diversos países industrializados implementaram políticas para criar e/ou fortalecer os vínculos entre

¹⁴¹ Em linhas gerais, o *Bayh-Dole Act* é um instrumento legal americano que trata do direito de propriedade decorrente das pesquisas financiadas pelo governo federal. Entre outras ações, a Lei permitiu que universidades, pequenas empresas e instituições sem fins lucrativos que estiverem utilizando recursos

universidades e o setor produtivo privado, de modo a realçar as contribuições das pesquisas conduzidas nas universidades para a inovação e desempenho econômico. Muitas dessas iniciativas, entretanto, partiram da premissa que as universidades favorecem a inovação na indústria através da produção de “encomendáveis” (*deliverables*) pelas universidades para a comercialização, como as patentes (MOWERY E SAMPAT, 2005).

Esta visão ampara a “abordagem linear” do processo de inovação, onde a pesquisa básica desenvolvida nas universidades é considerada o principal aspecto para impulsionar a inovação. As universidades seriam então responsáveis por criar a ciência para ser utilizada pelas firmas para desenvolver tecnologia e produzir a inovação, em última instância. Nesse contexto, a ciência impulsiona a tecnologia e inovação, e não a ciência aliada a outros importantes aspectos sistêmicos da dinâmica inovativa, como as competências, interação e outras relações que estimulam o aprendizado. Como visto, essa perspectiva favorece as visões mais restritas do papel da universidade no sistema nacional de inovação.

No Brasil, os instrumentos criados (Lei da Inovação e Lei do Bem) para dar suporte às políticas de inovação também deram grande ênfase ao papel da pesquisa básica/ciência como principal (quicá único?) elemento da interação das empresas com as instituições de pesquisa, em especial as universidades. Esta seção procura apresentar alguns elementos dessa interação através de duas perspectivas: das empresas e dos grupos de pesquisa. A primeira toma como base as relações de interação e cooperação das empresas inovadoras, que realizam algum tipo de atividade em nanotecnologia, com as universidades e outras instituições de pesquisa a partir da pesquisa de inovação tecnológica (PINTEC-2008). A segunda apresenta os grupos de pesquisa em nanotecnologia do Diretório de Grupos de Pesquisa do CNPq que tiveram relação com o setor produtivo¹⁴².

5.4.1 – Relação com universidades e instituições de ciência e tecnologia: a perspectiva das empresas

do governo, sob contrato e/ou acordos de cooperação, possam ter direito de propriedade intelectual sobre suas invenções e outras propriedades intelectuais que fossem resultado desses financiamentos.

¹⁴² Vale ressaltar que não é objeto deste trabalho apresentar a natureza dessas relações, mas apontar algumas características dessas relações de modo a melhor compreender a dinâmica dessas relações e o tipo de relação mais abrangente. Uma análise mais aprofundada desse tema ainda é uma agenda em aberto que merece maior exploração no futuro.

A perspectiva das empresas em relação à interação com universidades e instituições de ciência e tecnologia está baseada na Pesquisa de Inovação Tecnológica (PINTEC), que na sua última versão inquiriu as empresas acerca da realização de atividades relacionadas à pesquisa, uso e desenvolvimento de nanotecnologia. Ainda que as informações a respeito da interação e cooperação com as instituições de ensino e pesquisa não sejam, necessariamente, relacionadas às nanotecnologias nas empresas, tem-se um panorama do comportamento dessas empresas nesse tocante.

Empresas empenhadas em desenvolver inovações originais, sobretudo relacionadas às novas tecnologias emergentes como a biotecnologia e a nanotecnologia, têm como importante característica a prevalência de relações entre empresas e universidades, especialmente para a pesquisa e desenvolvimento (THURSBY E THURSBY, 2011). Estas empresas costumam estar mais inclinadas a fazer uso mais intenso de informações advindas de instituições relacionadas a conhecimentos tecnológicos.

Das empresas inovadoras envolvidas com nanotecnologia, pouco mais de 30% (139) estiveram envolvidas em arranjos cooperativos com outras instituições. Na indústria de transformação, aproximadamente, 29% das empresas inovadoras (128) realizaram algum tipo de cooperação, e 92% das empresas (11), cuja principal atividade é P&D, estiveram envolvidas nessas atividades.

Realizando a mesma análise com o total das empresas pesquisadas na PINTEC 2008, verificou-se que pouco mais de 10%, tanto do total das empresas como das empresas da indústria de transformação, realizaram algum tipo de cooperação com outras instituições, ao passo que nas empresas de P&D igualmente 92% delas estiveram envolvidas naquelas atividades (IBGE, 2010). Isso permite inferir que empresas engajadas em tecnologias de ponta, como as nanotecnologias, estão mais propensas a realizar atividades de cooperação com outras instituições.

Das empresas inovadoras que realizam cooperação, quase 72% delas (100 empresas) cooperaram com universidades ou institutos de pesquisa, ao passo que 30% (42) cooperaram com centros de capacitação profissional e assistência técnica e, aproximadamente, 47% (65) cooperaram com instituições de testes, ensaios de certificações (tabela 14). Nas empresas pesquisadas pela PINTEC esta relação foi 30%, 26,70% e 23,46%, respectivamente (*Ibid.*). Em relação ao total das inovadoras, essas empresas que realizaram cooperação representam 22%, 9% e 14%, respectivamente.

De qualquer forma, foram as universidades as instituições de ciência e tecnologia que mais estão relacionadas à cooperação com essas empresas inovadoras envolvidas em atividades de produção e/ou uso de nanotecnologias.

Tabela 14 – Universidades e outras Instituições de Ciência e Tecnologia como fonte de informação e cooperação para empresas inovadoras que realizaram atividades em Nanotecnologia no Brasil – período 2006-2008

	Total Inovadoras	Indústria de Transformação	Pesquisa e Desenvolvimento Científico
	458	446	12
Empresas inovadoras que realizaram cooperação (grau de importância alto e médio)			
Empresas inovadoras com relação de cooperação	139	128	11
Universidades ou Institutos de Pesquisa	100	89	11
Centros de Capacitação Profissional e Assistência Técnica	42	39	3
Instituições de testes, ensaios e certificações	65	61	4
Empresas inovadoras - Fonte de Informação (grau de importância alto e médio)			
Universidade ou outros centros de ensino superior	164	153	11
Institutos de Pesquisa ou Centros Tecnológicos	240	230	10
Centro de Capacitação Profissional e Assistência Técnica	201	197	4
Instituições de testes, ensaios e certificações	220	216	4

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da PINTEC (2008).

Contudo, a tabela 14 mostra que essas mesmas instituições relacionadas à produção de conhecimento tecnológico foram mais utilizadas como fontes de informação do que cooperação. Neste caso, foram os Institutos de Pesquisa ou Centros Tecnológicos que mais contribuíram como fonte de informação para as empresas inovadoras que estão envolvidas com nanotecnologia, onde 52% (240) dessas empresas buscaram informações. Curiosamente, apenas 36% (164) das empresas obtiveram informações provenientes das universidades ou outros centros de ensino superior, apesar de serem as instituições que mais cooperaram com as empresas. Os Centros de Capacitação Profissional e Assistência Técnica e as Instituições de testes, ensaios e certificações aparecem como fonte de informação para 44% (201) e 48% (220) das empresas inovadoras envolvidas com nanotecnologia, respectivamente.

Tomando as empresas inovadoras no Brasil pesquisadas na PINTEC, 13,44% delas utilizaram as universidades ou outros centros de ensino superior como fonte de

informação, ao passo que 12,04% delas utilizaram os Institutos de Pesquisa ou Centros Tecnológicos. Os Centros de Capacitação Profissional e Assistência Técnica e as Instituições de testes, ensaios e certificações aparecem como fonte de informação para 21,38% e 21,04% das empresas, respectivamente (IBGE, 2010).

Nesse sentido, este grupo de empresas engajadas nas atividades de desenvolvimento e/ou uso de nanotecnologia não somente são mais propensas à participação de atividades de cooperação com as instituições de produção de conhecimento tecnológico, como também as utilizam com mais intensidade como fontes de informação para sua capacitação do que as demais empresas inovadoras do país pesquisadas pela PINTEC.

Por fim, a tabela 15 apresenta as principais atividades cooperativas nas quais as empresas e instituições de pesquisa estiveram envolvidas¹⁴³. As atividades cooperativas relacionadas à P&D foram apontadas por 119 empresas inovadoras (86%) como as principais atividades cooperativas entre elas e as instituições de pesquisa. Dentre essas instituições, foram as universidades (89) aquelas que mais cooperaram com as empresas nas atividades de P&D, seguida das Instituições de testes, ensaios e certificações (16) e dos Centros de Capacitação Profissional e Assistência Técnica (13).

Os Ensaio para teste de produto foram as atividades onde mais empresas (114), depois de P&D, mais cooperaram com as instituições. Naturalmente foram com as Instituições de testes, ensaios e certificações onde verificou-se mais atividades cooperativas dessa natureza (64), seguida de participação considerável das universidades (40) e pequena participação dos Centros de capacitação profissional e assistência técnica, com apenas nove empresas cooperando com tais instituições.

Vale destacar, ainda, as atividades cooperativas relativas a treinamento. Nestas, foram os Centros de capacitação profissional e assistência técnica as principais instituições que cooperaram com as empresas (39). As universidades aparecem na sequência como as instituições que mais cooperaram com as empresas em atividades de treinamento (26).

¹⁴³ Vale destacar que a simples contratação de serviços de outra organização, sem colaboração ativa, não é considerada cooperação na PINTEC (IBGE, 2009).

Tabela 15 – Natureza das atividades cooperativas entre as instituições de pesquisa e empresas inovadoras que realizaram atividades em Nanotecnologia no Brasil – período 2006-2008

	Total Inovadoras	P&D	Assistência Técnica	Treinamento	Desenho Industrial	Ensaio para teste de produto	Outras atividades de cooperação
Total	139	119	31	73	15	114	48
Universidades e Institutos de Pesquisa	100	89	10	26	10	40	27
Centros de Capacitação Profissional e Assistência Técnica	42	13	12	39	2	9	9
Instituições de testes, ensaios e certificações	65	16	9	8	3	64	12

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da PINTEC (2008).

Esse cenário aponta um quadro ‘coerente’ das atividades cooperativas e as instituições que as realizaram junto às empresas. Por exemplo, pelo lado das atividades de pesquisa, é usual esperar um papel mais ativo das universidades e das instituições de pesquisa, assim como espera-se dos centros de capacitação profissional atividades voltadas ao treinamento e capacitação de pessoal ou das instituições de teste atividades voltadas para ensaios para teste de produto.

Diante disto, convém analisar a relação das instituições de pesquisa com as empresas pela ótica dos grupos de pesquisa.

5.4.2 – Relação com empresas do setor produtivo: a perspectiva dos grupos de pesquisa

A partir do diretório de Grupos de Pesquisa também é possível saber a respeito da relação dos grupos de pesquisa com o setor produtivo. Os grupos de pesquisa que compõem a base de dados estão localizados nas universidades, instituições de ensino superior, institutos de pesquisa científica, institutos tecnológicos e laboratórios de pesquisa e desenvolvimentos de empresas estatais ou ex-estatais. O levantamento não inclui os grupos de pesquisa localizados nas empresas do setor produtivo.

A partir dos grupos de pesquisa identificados que desenvolvem atividades em nanotecnologia e, dentre esses, aqueles que interagem com o setor produtivo, a tabela 16 apresenta o grau de interação desses grupos com o setor produtivo, segundo duas categorias de instituição de pesquisa: universidade e outras instituições de pesquisa públicas ou privadas.

Tabela 16 – Interação entre os grupos de pesquisa em nanotecnologia e o setor produtivo segundo tipo de instituição de pesquisa - 2012

Instituição de pesquisa	Grupos de pesquisa (a)	Número de grupos de pesquisa que interagiram com o setor produtivo(b)	Grau de interação (b)/(a)	Unidades do setor produtivo (c)	Densidade de interação (c)/(b)
Universidade	652	145	22,24%	409	2,82
Instituições de pesquisa públicas e privadas	97	32	32,99%	88	2,75
Total	749	177	23,63%	497	2,81

Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados do CNPq.

A tabela 16 mostra que 749 grupos de pesquisa relacionados às atividades em nanotecnologias foram identificados no Brasil, sendo mais de 87% (652) deles localizados nas universidades¹⁴⁴. Do total dos grupos, pouco menos de um quarto (177) apontaram ter tido algum tipo de interação com o setor produtivo. Desse conjunto, aproximadamente 82% (145) estão localizados nas universidades, e o restante nas demais nas instituições de pesquisa públicas e privadas.

Apesar da maioria dos grupos de pesquisa estar nas universidades, foram as outras instituições de pesquisa que tiveram maior taxa de interação com o setor privado. Enquanto pouco mais de 22% das universidades interagiram com o setor privado, 33% das outras instituições de pesquisa o fizeram. Entretanto, a universidade apresentou maior densidade de interação com o setor produtivo (2,82) do que as demais instituições de pesquisa (2,75), o que mostra que apesar das universidades terem tido menor interação relativa, elas interagiram com relativamente mais unidades do setor produtivo.

A tabela 17 apresenta a interação dos grupos de pesquisa com o setor produtivo considerando as áreas de conhecimento das quais os grupos estão relacionados. Como dito anteriormente, a nanotecnologia é uma área multidisciplinar, onde há convergência de diversas áreas do conhecimento científico. Nessas áreas, até então, diferentes campos da ciência estão relacionados com a pesquisa em nanotecnologia, sendo alguns mais do que outros. Dentro destes campos, mais disciplinas estão ainda relacionadas, como a

¹⁴⁴ Mencionou-se, anteriormente, que os grupos de pesquisa com atividades em nanotecnologias estão vinculados a 135 instituições acadêmicas e de pesquisa, sendo 99 nas universidades e 36 nas demais instituições de pesquisa. Este dado se refere ao número de instituições que abrigam estes grupos, portanto, sem dupla contagem. A tabela 16, entretanto, apresenta o número de grupos de pesquisa nas universidades, ou seja, totaliza grupos nas mesmas universidades, por isso o número de instituições acadêmicas e de pesquisa é maior nesta tabela.

Física, Química, Biologia, Farmácia, Biofísica, Bioquímica, Microbiologia, Fisiologia, Medicina, Agronomia, Economia, Geociências, Sociologia, e diferentes tipos de Engenharias.

Como visto anteriormente, as áreas de conhecimento onde há maior concentração de grupos de pesquisa são aquelas ligadas às 'ciências duras': Ciências Exatas e da Terra e as Engenharias. São elas também que concentram o maior número de grupos de pesquisa com interação com o setor produtivo. No entanto, considerando-se o grau de interação dos grupos, observa-se que foram os relacionados às Ciências Agrárias que tiveram o maior nível de interação (46,43%), aí então seguido das Engenharias (43,30%), Ciências da Saúde (25,35%) e, somente então, Ciências Exatas e da Terra (14,83%).

Em relação às Ciências Agrárias, apesar do baixo número de grupos de pesquisa, quase a metade interagiu de alguma forma com o setor produtivo. Uma explicação para este alto grau de interação é que essas áreas têm recebido incentivos governamentais e financiamento nos últimos anos, como parte da estratégia para aumentar a competitividade das exportações do setor agrícola no país. A nanotecnologia tem sido parte dessa estratégia uma vez que sua aplicação na agricultura e na indústria agroalimentar tem apontado para a introdução de novas práticas de gestão nos campos, inovação na fabricação e uso de insumos agroquímicos, processos de transporte e acondicionamento, incluindo novos conteúdos na composição dos produtos alimentares. A participação da EMBRAPA, trabalhando em parceria com diferentes universidades, tem sido de extrema importância neste processo.

No tocante às Engenharias, o alto grau de interação pode apenas indicar a tradição destas áreas de estarem mais próximas das atividades de ensino e pesquisa voltadas às práticas industriais e produtivas, onde, no caso das nanotecnologias, pode estar havendo um esforço para integrar as nanociências desenvolvidas nas universidades e as nanotecnologias que estão começando a se transformar em novos produtos e processos nas empresas.

Chama a atenção, ainda, o baixo grau de interação das Ciências Biológicas (5,45%), apesar do considerável número de grupos de pesquisa trabalhando como nanotecnologias (55), ainda mais quando essa área também está relacionada com a biotecnologia.

Tabela 17 – Interação entre os grupos de pesquisa em nanotecnologia e o setor produtivo segundo áreas de conhecimento - 2012

Áreas de conhecimento	Grupos de pesquisa (a)	Número de grupos de pesquisa que interagiram com o setor produtivo(b)	Grau de interação (b)/(a)	Unidades do setor produtivo (c)	Densidade de interação (c)/(b)
Ciências Exatas e da Terra	391	58	14,83%	142	2,45
Engenharias	194	84	43,30%	268	3,19
Ciências da Saúde	71	18	25,35%	35	1,94
Ciências Biológicas	55	3	5,45%	5	1,67
Ciências Agrárias	28	13	46,43%	46	3,54
Ciências Humanas e Sociais Aplicadas	9	1	11,11%	1	1,00
Linguística, Letras e Artes	1	0	0,00%	0	---
Total	749	177	23,63%	497	2,81

Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados do CNPq.

Considerando a densidade de interação, apenas as Ciências Agrárias (3,54) e as Engenharias (3,19) apresentaram uma taxa maior do que a média (2,81), seguida das Ciências Exatas e da Terra (2,45), Ciências da Saúde (1,94), Ciências Biológicas (1,67) e Ciências Humanas e Sociais Aplicadas (1,00).

A tabela 18 apresenta o tipo de interação estabelecida entre os grupos de pesquisa e o setor produtivo. Dentre as áreas de conhecimento que os grupos de pesquisa estão relacionados, foram as Engenharias que estabeleceram interação com mais unidades do setor produtivo em todas as atividades, com destaque para a pesquisa científica visando uso imediato dos resultados. Além dessa atividade, os grupos em Engenharia também estiveram consideravelmente engajados na transferência de tecnologia, sendo, neste caso, estabelecido um tipo de relação bilateral, o que aumenta e consolida um processo de aprendizado de mais longo prazo.

Além da transferência de tecnologia, as outras relações do tipo bilateral estabelecidas foram: Atividades de engenharia não rotineiras na empresa; treinamento de pessoal; e desenvolvimento de *software*. Em todas, destaca-se a participação dos grupos de pesquisa nas Engenharias, que também sobressaem-se na pesquisa científica sem uso imediato dos resultados; nas atividades de consultoria técnica; e no P&D como insumo. Deste modo, fica clara a importância dos grupos de pesquisa em Engenharias

nas parceiras com o setor produtivo, evidenciando sua proximidade natural com as atividades relacionadas ao processo industrial e produtivo.

Pelo lado das atividades cooperativas, foi a pesquisa científica visando uso imediato dos resultados a atividade na qual os grupos mais interagiram com o setor produtivo. Depois das Engenharias, foram os grupos de Ciências Exatas e da Terra aqueles que mais cooperaram nestas atividades, seguidos dos grupos de Ciências da Saúde e Agrárias e, por último, as Ciências Biológicas, com apenas dois grupos de pesquisa interagindo nesta atividade.

Outra atividade onde também ocorreu considerável número de interações foi a Transferência de Tecnologia, onde também teve destaque as Engenharias e as Ciências Exatas e da Terra, seguida das Ciências Agrárias e da Saúde.

A pesquisa científica sem uso imediato dos resultados foi a única atividade onde todas as áreas tiveram algum tipo de interação e a única onde o grupo relacionado às Ciências Humanas e Sociais Aplicadas interagiu com o setor produtivo. Mais uma vez, há destaque para as áreas da ‘ciência dura’.

Tabela 18 – Tipo de interação entre os grupos de pesquisa em nanotecnologia e o setor produtivo segundo áreas de conhecimento - 2012

Áreas de conhecimento	Pesquisa científica COM uso imediato dos resultados	Pesquisa científica SEM uso imediato dos resultados	Transferência de tecnologia*	Atividades de Engenharia não rotineiras na empresa*	Treinamento de pessoal*	Desenvolvimento de <i>Software</i> *	Atividades de consultoria técnica	P&D como insumo	Outros
Ciências Exatas e da Terra	66	20	32	11	-	4	23	11	6
Engenharias	106	57	89	43	19	6	37	30	22
Ciências da Saúde	23	13	10	-	1	-	2	9	-
Ciências Biológicas	2	2	2	-	-	-	1	-	2
Ciências Agrárias	23	8	21	3	4	-	6	12	4
Ciências Humanas e Sociais Aplicadas	-	1	-	-	-	-	-	-	-
Total	220	101	154	57	24	10	69	62	34

Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados do CNPq.

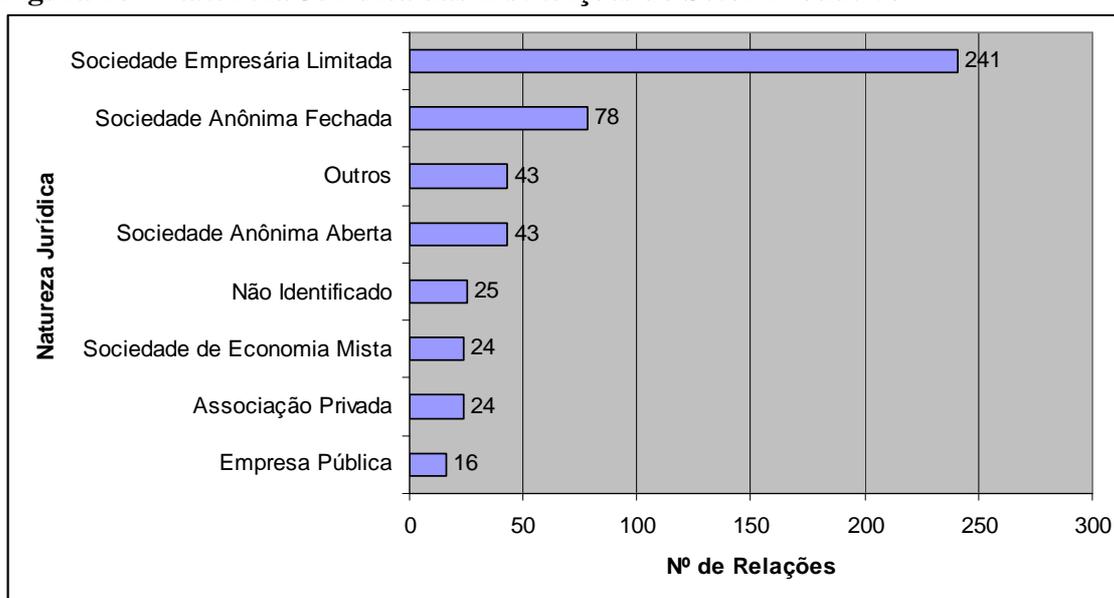
Nota: (*) Relações bilaterais.

Nesse contexto, embora sejam nas relações bilaterais onde aumentam as chances de ocorrer aprendizado por interação, foram nas atividades de pesquisa onde observou-se maior interesse do setor produtivo em interagir com os grupos de pesquisa, apesar da considerável interação para transferência de tecnologia.

Por fim, a figura 16 identifica o número de interações dos grupos de pesquisa com as instituições do setor produtivo pela sua natureza jurídica, com 10 ou mais interações. Assim, quase a metade das relações ocorreu com as instituições de Sociedade Empresária Limitada (241), seguida das sociedades anônima fechada e aberta, com 78 e 43 interações, respectivamente. As empresas de economia mista e as empresas públicas aparecem com participações bastante modestas nas interações com os grupos de pesquisa, sendo 24 e 16 respectivamente.

Dois pontos merecem destaque neste cenário. Primeiro, ainda que tímido, parece haver maior interesse do setor produtivo privado em formar parcerias com os grupos de pesquisa do que as instituições parcial ou inteiramente relacionadas ao Estado. Este é um ponto positivo que já pode ser resultado parcial da política em estreitar as relações das universidades e instituições de pesquisa com o setor produtivo. Segundo, o setor produtivo do Estado parece estar pouco presente na formação da demanda das diferentes nanotecnologias, mesmo que esta demanda ainda não seja na forma de produtos e/ou processos produtivos. Sendo as nanotecnologias tecnologias ainda emergentes, a formação de uma demanda consistente é essencial para esta etapa inicial de seu desenvolvimento.

Figura 16 – Natureza Jurídica das Instituições do Setor Produtivo



Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados do CNPq.

5.5 – Considerações parciais

Este capítulo apresentou um panorama da difusão das nanotecnologias nas empresas e nos grupos de pesquisa das universidades e outras instituições de pesquisa no Brasil, sobretudo após a implementação de diversos instrumentos para a promoção da nanotecnologia como área estratégica para o aumento da competitividade e de desenvolvimento.

Primeiro, mostrou-se que as empresas de diversas atividades econômicas vêm incorporando nanotecnologias às suas atividades. Essas empresas são relativamente mais inovadoras que as demais, além de terem maior propensão a interagir e cooperar com as universidades e outras instituições de pesquisa. A maior parte dessas empresas exerceu algum tipo de atividade relacionada à pesquisa e desenvolvimento (contínuo e/ou ocasional) e possui um quadro relativamente heterogêneo de pessoas ocupadas nessas atividades. Além disso, a imensa maioria recebeu algum tipo de apoio do governo em suas atividades, entre estes, apoio a projetos de P&D e inovação tecnológica.

O capítulo apresentou também a evolução e crescimento dos grupos de pesquisa no Brasil envolvidos em linhas de pesquisa relacionados às nanotecnologias. Ficou evidente o aumento do interesse, e conseqüente envolvimento de mais grupos nesses temas, ao longo da última década. Neste caso, também diversas áreas do conhecimento científico estiveram envolvidas com pesquisas em nanotecnologias em universidades e instituições de pesquisa espalhadas por todas as regiões do país, sobretudo nas regiões Sudeste e Sul.

Nesse contexto, percebe-se que o país identificou a importância da nanotecnologia no advento de um novo paradigma e tem buscado se organizar para formar uma estrutura de capacitação e aprendizado para o desenvolvimento das nanotecnologias. Além da formação de diversos grupos de pesquisa, registra-se, ainda, o primeiro curso de graduação em Nanociência e Nanotecnologia oferecido por uma universidade pública do país, a UFRJ. Além desse curso, existem também diversos programas de pós-graduação em nanotecnologia em várias áreas do conhecimento.

As empresas, por sua vez, também têm se esforçado para criar capacitação nas nanotecnologias, seja pela incorporação das nanotecnologias aos seus produtos e processos de produção, seja através de treinamento de seu pessoal e pelo desenvolvimento de projetos de pesquisa e desenvolvimento, algumas em parcerias com

universidades e institutos de pesquisa. Contudo, muitas destas parcerias ainda são incipientes e, muitas vezes, apenas esporádicas, sem a consolidação de um vínculo mais estreito e sólido entre essas instituições.

Portanto, percebe-se, por um lado, o esforço para a consolidação de um conjunto de conhecimento e aprendizado baseado na produção e uso do conhecimento científico codificado (*STI-Learning*), onde o componente ‘ciência’ (*science*) sobressai-se em relação aos componentes ‘tecnologia’ (*technology*) e, principalmente, ‘inovação’ (*innovation*). Por outro lado, nota-se, também, a intenção (intencional ou não) para a formação de um ‘aprendizado baseado na experiência’ (*DUI-Learning*), onde os tipos de aprendizado gerado dentro do processo produtivo (*doing* e *using*) estão mais evidentes do que aquele baseado na interação (*interacting*).

Seja como for, como apontado anteriormente, o conjunto relacionado ao conhecimento tácito e de ‘aprendizado baseado na experiência’ complementa o conjunto baseado na produção e uso do conhecimento científico codificado, combinando a capacidade de absorção enraizada nas capacidades em ciência às capacidades sociais, que incluem o uso efetivo do aprendizado nas práticas organizacionais necessárias.

Nesse contexto, fica evidente que as políticas desenhadas para as nanotecnologias dão maior ênfase à formação do conhecimento científico codificado (*STI-Learning*)¹⁴⁵. Apesar disso, elas buscam apontar, também, para iniciativas no sentido de criar condições para o ‘aprendizado baseado na experiência’ (*DUI-Learning*), especialmente através das parcerias entre empresas e instituições de pesquisa, principalmente as universidades. Seja como for, essas ações reforçam a idéia de que a política foi feita para operar a partir da perspectiva mais restrita dos sistemas de inovação, que criam expectativas exageradas, por um lado, a respeito do papel da ciência como origem primeira da inovação e, por outro, da pesquisa nas universidades para contribuição direta para a inovação através da relação universidade-empresa (BRUNDENIUS *et al.*, 2009).

Todavia, nesse último objetivo, as políticas têm sido apenas parcialmente bem-sucedidas. Ainda que tenha havido uma maior aproximação entre estas instituições, muitas atividades ainda estão sendo desenvolvidas de forma relativamente isolada nas

¹⁴⁵ Lundvall (2010, p. 335) argumenta que “*the absence of indicators makes the area less visible for policy makers and this contributes to a bias in innovation policy toward promoting STI-rather than DUI-activities*”. Dessa forma, o autor põe-se de acordo com o argumento de que o melhor entendimento dos processos inovativos que se pretende estimular é essencial para o desenho de políticas de inovação. E a construção de indicadores que busquem refletir essa dinâmica torna-se necessária.

empresas e nas universidades e outras instituições de pesquisa. Ainda é necessário definir objetivos em comum entre estas instituições, além de criar mecanismos mais abrangentes para estimular a interação entre elas que vão além do incentivo fiscal para a realização de projetos de P&D em conjunto, que é o principal mecanismo estimulado para estas parcerias.

Nesse sentido, Miles *et al.* (2010) salientam que os programas de formação profissional têm muita dificuldade para combinar conhecimentos tecnológicos fundamentais e específicos com as aplicações envolvidas, assim como combiná-lo com habilidades para o trabalho cooperativo e para a gestão de projetos. Se, por um lado, a comunidade acadêmica enfatiza o conhecimento interdisciplinar, por outro, a indústria busca desenvolver conhecimentos específicos para aplicação em subsetores particulares. Portanto, ainda é necessário encontrar mecanismos e interesses em comum entre essas instituições, de forma que a interação entre elas seja benéfica para ambos os lados.

Assim, muito ainda precisa ser pesquisado e questionado acerca do papel das universidades e outras instituições de pesquisa e de capacitação na formação e desenvolvimento dos sistemas nanotecnológicos de inovação. O que parece claro, no entanto, é que a universidade, especificamente, não possui o papel de fornecer ‘serviços de conhecimento’ para as empresas, mas sim de contribuir de forma ativa nos processos de inovação e no desenvolvimento dos sistemas nanotecnológicos (e vice-versa)¹⁴⁶ e, por conseguinte, do sistema nacional de inovação.

¹⁴⁶ Cassiolato *et al.* (2007) ressaltam que a contribuição das universidades variam de acordo com a área de conhecimento e setor de atividade, assim como de acordo com as características dos sistemas tecnológicos irão influenciar a contribuição funcional das universidades e termos dos mecanismos formais e informais com aplicação direta ou indireta.

CAPÍTULO 6 – AS ATIVIDADES EM NANOTECNOLOGIA NO BRASIL: UMA ANÁLISE A PARTIR DA PESQUISA DE CAMPO

A análise desenvolvida até este ponto indicou a necessidade de melhor compreender as especificidades das diferentes nanotecnologias, assim como algumas de suas principais características produtivas e inovativas, de modo que o desenho e direcionamento das políticas de inovação sejam mais eficazes (e coerentes) com os objetivos aos quais se propõem.

Argumentou-se que este processo de elaboração de políticas é, junto ao entendimento do objeto em foco, um processo de aprendizado dinâmico, relacionado ao contexto no qual essas variáveis estão interagindo. Deste modo, os próximos capítulos buscam apresentar algumas características das principais nanotecnologias utilizadas e/ou desenvolvidas nas empresas brasileiras, apontando suas principais diferenças e especificidades (capítulo 6), bem como apresentar a percepção dessas empresas acerca dos principais instrumentos existentes para o estímulo das nanotecnologias no país (capítulo 7).

Este capítulo procura fazer uma aproximação do objeto de análise, ou seja, das nanotecnologias utilizadas e desenvolvidas no Brasil, a partir de um misto das abordagens do sujeito (atividades das empresas) com a do objeto (as nanotecnologias). Buscou-se, por um lado, identificar as principais características das empresas onde as nanotecnologias estão sendo aplicadas, de modo a identificar os atores e perceber quais as principais atividades relacionados ao uso e desenvolvimento das nanotecnologias. Por outro lado, buscou-se, também, investigar quais as principais nanotecnologias utilizadas e desenvolvidas nessas empresas, suas principais características, e seus principais padrões produtivos e inovativos, levando-se em consideração as características das diferentes empresas quanto ao setor, porte e idade.

Foram entrevistadas nesta pesquisa de campo sessenta e uma (61) organizações, sobretudo empresas industriais organizadas juridicamente como entidades empresariais, conforme natureza jurídica¹⁴⁷. Na atividade de Pesquisa e Desenvolvimento, devido às suas características estruturais, além das empresas organizadas juridicamente como entidades empresariais, encontram-se também as organizadas juridicamente como

¹⁴⁷ Segundo tabela de Natureza Jurídica, disponibilizada pela Receita Federal, existem cinco (5) códigos de Natureza Jurídica: 1. Administração Pública; 2. Entidades Empresariais; 3. Entidades Sem Fins Lucrativos; 4. Pessoas Físicas; e 5. Instituições Extraterritoriais.

administração pública e como entidades sem fins lucrativos. Deste modo, a análise que segue está baseada em um painel composto por sessenta e uma (61) organizações onde foram identificados sessenta e cinco (65) projetos de nanotecnologias. As seções que seguem buscam apresentar as características das empresas e das nanotecnologias deste painel, bem como as relações entre elas.

6.1 – Características das empresas

Empresas pertencentes a diversos setores da economia, segundo a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE 2.0), estão utilizando e desenvolvendo nanotecnologias no Brasil.

A tabela 19 apresenta as empresas entrevistadas neste trabalho que vêm desenvolvendo atividades em nanotecnologia no Brasil na última década, segundo atividade econômica e faixa de pessoal ocupado. A tabela mostra que pouco mais de 67% (41) são empresas de porte médio ou grande, com mais de 100 pessoas ocupadas em suas atividades. Entre essas, destaca-se a presença das grandes empresas com mais de 500 pessoas ocupadas, representando mais de 37% (23) do total de empresas. Além disso, nota-se que essas empresas de maior porte estão em praticamente todas as atividades econômicas pesquisadas neste painel. Já as empresas de menor porte estão espalhadas por atividades mais específicas, mas ainda assim representam a menor proporção das empresas nessas atividades, considerando o porte por pessoal ocupado.

Foram identificadas quinze (15) diferentes atividades econômicas nas quais as nanotecnologias estão espalhadas. As atividades que tiveram maior número de empresas neste painel foram a Fabricação de Produtos Químicos (14), seguido de Pesquisa e Desenvolvimento (10), Fabricação de Produtos Diversos (6), Fabricação de Farmoquímicos e Farmacêuticos (4), Metal (4) e Metalurgia (4), e Máquinas, Aparelhos e Materiais Elétricos (4). Um detalhamento mais específico de algumas dessas atividades merece consideração.

Além de ser a atividade na qual aparece maior número de empresas, é também na atividade relacionada à Fabricação de Produtos Químicos onde há mais grupos relacionados, a saber: Fabricação de Intermediários para Plastificantes, Resinas e Fibras (Classe 2022-3: 1 empresa); Fabricação de Produtos Químicos Orgânicos (Classe 2029-1: 1 empresa); Fabricação de Elastômeros (Classe 2033-9: 1 empresa); Fabricação de Defensivos Agrícolas (Classe: 2051-7: 1 empresa); Fabricação de Cosméticos, Produtos

de Perfumaria e de Higiene Pessoal (Classe 2063-1: 7 empresas); Fabricação de Adesivos e Selantes (Classe 2091-6: 1 empresa); Fabricação de Aditivos de Uso Industrial (Classe 2093-2: 3 empresas); e Fabricação de outros Produtos Químicos (Classe 2099-1: 1 empresa). Nota-se, neste cenário, que são as empresas relacionadas à produção de cosméticos, produtos de perfumaria e de higiene pessoal que, individualmente, mais se destacam como produtoras de nanotecnologias nesta análise. No Brasil, a produção de cosméticos vêm ganhando cada vez mais destaque com a presença de grandes empresas que cada vez mais produzem produtos à base de nanotecnologias, sobretudo relacionadas aos nanomateriais, nanobiotecnologia e nanocompósitos. Apesar de não haver muitas empresas nessas atividades, são grandes e importantes as empresas que dominam este segmento no cenário nacional.

Tabela 19 – Empresas pesquisadas que desenvolveram atividades em nanotecnologia no Brasil, segundo classificação por atividade econômica e faixa de pessoal ocupado

CNAE 2.0	Faixa de Pessoal Ocupado						Total
	De 10 a 29	De 30 a 49	De 50 a 99	De 100 a 249	De 250 a 499	Com 500 ou mais	
Total	7	2	11	12	6	23	61
Extração de Minerais Não-Metálicos (89)	-	1	-	-	-	-	1
Fabricação de Produtos Têxteis (13)	-	1	-	-	1	1	3
Confecção de Artigos do Vestuário (14)	-	-	-	-	-	2	2
Fabricação de Produtos Químicos (20)	3	-	2	5	-	4	14
Fabricação de Produtos Farmoquímicos e Farmacêuticos (21)	1	-	-	1	-	2	4
Fabricação de Produtos de Borracha e de Material Plástico (22)	-	-	-	-	-	1	1
Fabricação de Produtos Minerais Não-Metálicos (23)	-	-	-	-	-	1	1
Metalurgia (24)	-	-	-	-	-	4	4
Fabricação de Produtos de Metal (25)	1	-	1	2	-	-	4
Fabricação de Produtos de Informática, Eletrônicos e Ópticos (26)	-	-	1	-	-	1	2
Fabricação de Máquinas, Aparelhos e Materiais Elétricos (27)	1	-	1	-	-	2	4
Fabricação de Máquinas e Equipamentos (28)	-	-	1	-	-	1	2
Fabricação de Veículos Automotores, Reboques e Carrocerias (29)	-	-	1	-	-	2	3
Fabricação de Produtos Diversos (32)	1	-	2	2	1	-	6
Pesquisa e Desenvolvimento Científico (72)	-	-	2	2	4	2	10

Fonte: Elaboração própria.

Em relação aos Produtos Diversos, estes se referem basicamente à Fabricação de Instrumentos e Materiais para Uso Médico e Odontológico e de Artigos Ópticos (Classe 3250-7). Nas seis empresas pesquisadas neste trabalho, foram identificados oito (8) projetos relacionados a produção de nanomateriais para uso médico e odontológico, que tem crescido consideravelmente no Brasil, em geral relacionados aos nanocompósitos, nanobiotecnologia e nanomedicina.

Os Produtos Farmoquímicos e Farmacêuticos se referem à Fabricação de Produtos Farmoquímicos (Classe 2110-6: 1 empresa) e à Fabricação de Medicamentos para Uso Humano (Classe 2121-1: 3 empresas). A produção de fármacos e medicamentos para carregamento, sobretudo para tratamento de câncer, vem sendo cada vez mais pesquisada e desenvolvida no país¹⁴⁸.

Vale salientar que, apesar das diferentes classificações de atividades econômicas, muitas atividades relacionadas às nanotecnologias convergem para produtos e/ou processos bastante similares. Ou, por outra perspectiva, algumas nanotecnologias fazem parte das atividades de diversas empresas que, teoricamente, pertencem a diferentes atividades econômicas. Essas características, como será possível observar melhor na próxima seção, são inerentes à natureza difusiva das nanotecnologias e, portanto, não devem ser ignoradas como perspectiva de análise.

Com relação à idade das empresas pesquisadas que desenvolveram atividades em nanotecnologia, a tabela 20 mostra um cenário análogo ao das empresas inovadoras que fizeram parte da amostra da PINTEC. As empresas de maior porte, ou seja, com mais de 250 pessoas ocupadas, foram aquelas estabelecidas há mais tempo, nos anos 1980, ou antes. A maior parte das empresas, tanto na faixa entre 250 e 499 como aquelas com 500 ou mais pessoas ocupadas, foram estabelecidas antes da década de 1980. O inverso ocorre com as de menor porte (menos de 100 pessoas ocupadas), onde mais da metade são empresas mais jovens, constituídas a partir da década de 1990.

Este cenário mostra que há oportunidades em nanotecnologias para empresas de vários portes, conforme destacado anteriormente neste trabalho. Além disso, vale destacar que das 11 empresas construídas nos anos 2000, 2 foram formadas em 2003, ano que se inicia as linhas de ações voltadas para as atividades “portadoras de futuro” no âmbito da PITCE, e 4 a partir de 2005, primeiro ano do PNN, no âmbito dos “programas mobilizadores em áreas estratégicas” da PDP.

¹⁴⁸ Ver Mota (2013).

Tabela 20 – Idade das empresas pesquisadas que desenvolveram atividades em nanotecnologia no Brasil, segundo faixa de pessoal ocupado

	Antes	Anos 1980	Anos 1990	Anos 2000	Total
Total	24	8	18	11	61
De 10 a 29	1	-	2	4	7
De 30 a 49	2	-	-	-	2
De 50 a 99	3	2	3	3	11
De 100 a 249	-	2	9	1	12
De 250 a 499	4	1	-	1	6
Com 500 ou mais	14	3	4	2	23

Fonte: Elaboração própria.

A tabela 21 mostra em que momento as empresas passaram a se envolver em atividades relacionadas ao desenvolvimento e/ou uso de nanotecnologias. O fato interessante dessas empresas é que apenas sete já utilizavam e desenvolviam nanotecnologias antes de 2003. O restante passou a desenvolver a partir desse ano, concomitante com o início das políticas de incentivo às nanotecnologias; sobretudo a partir de 2006, após lançamento do PNN e ano do primeiro edital da Subvenção Econômica da FINEP¹⁴⁹.

O cenário apresentado na tabela mostra que as atividades relacionadas às nanotecnologias na maioria das empresas se referem tanto ao uso quanto ao desenvolvimento dessas tecnologias. O conceito de uso utilizado neste trabalho se refere à compra de nanotecnologia produzida por outra empresa para aplicação em seus produtos e processos. O desenvolvimento, por sua vez, refere-se à produção da nanotecnologia dentro da empresa, para introdução no mercado ou não, podendo estar em fase de pesquisa e protótipo, ainda sem aplicação comercial. Quanto ao uso e desenvolvimento, em geral, ocorre quando as empresas produzem e utilizam as nanotecnologias nos seus produtos e processos. Nesses casos, elas podem tanto comprar quanto produzir as nanotecnologias que utilizam nos seus produtos e processos.

Dessa forma, apenas uma parte delas desenvolveu apenas uma das atividades, com destaque para aquelas que apenas utilizaram as nanotecnologias, que dobraram a partir de 2006. Chama a atenção, também, as que apontaram apenas desenvolver as nanotecnologias. Apesar do menor número em relação às que apenas utilizaram, estas também tiveram participação dobrada depois de 2006. É importante destacar que a maioria dessas empresas ainda está em fase de desenvolvimento e teste das respectivas

¹⁴⁹ Uma análise específica será feita no próximo capítulo apenas para as empresas pesquisadas que obtiveram recursos da Subvenção Econômica da FINEP.

nanotecnologias, por isso aparecem apenas como desenvolvedoras. Outras, por sua vez, são fornecedoras de insumos e instrumentos.

Uma das empresas, no entanto, trabalhando com nanomateriais compósitos, desistiu do projeto no último período por falta de resultados positivos. Trata-se de uma grande empresa produtora de produtos químicos que estava relacionada com outra pequena empresa fornecedora de insumo, que foi formada para explorar tecnologia de nanocompósitos poliméricos (argila). Apesar da interrupção do projeto, a pequena empresa segue com sua produção e utilização da nanotecnologia. Entretanto, uma situação desse tipo mostra certa fragilidade de pequenas empresas que, porventura, dependam da demanda das grandes empresas.

Tabela 21 – Período em que as empresas desenvolveram atividades em nanotecnologia

	Antes de 2003	2003-2005	2006-2008	2009-2011
Utilizou e Desenvolveu	7	15	30	28
Apenas Utilizou	2	5	12	12
Apenas Desenvolveu	-	4	8	10

Fonte: Elaboração própria.

A partir dessa experiência, é relevante indagar de que maneira as nanotecnologias estão inseridas nas empresas, se são suas atividades principais ou atividades secundárias que diferem das demais. A tabela 22 mostra a inserção das nanotecnologias, bem como o grau de novidade dessas tecnologias nas empresas.

Para a grande maioria das empresas em praticamente todas as atividades econômicas, as atividades em nanotecnologia diferem das demais atividades das empresas. Isso não significa, entretanto, que as empresas estejam mudando de atividade. Pelo contrário, as nanotecnologias estão sendo incorporadas aos produtos e processos dessas empresas. O que difere é que a maneira de se produzir ou mesmo usar as nanotecnologias são diferentes das atuais rotinas produtivas das empresas. Por exemplo, uma empresa criou uma metodologia para síntese de nanomateriais. Para utilizá-los, ela ainda está desenvolvendo um equipamento para sua produção, que produz esses nanomateriais na forma de pigmento inorgânico resistente à alta temperatura para a indústria de cerâmica de revestimento.

Outras empresas passam por situações semelhantes, onde conseguem manipular as nanotecnologias necessárias para incorporar em seus produtos e processos, contudo,

muitas vezes não o fazem por esbarrar em dificuldades técnicas para efetivar seu uso e produção.

Assim, ainda que os produtos e processos das empresas sejam os mesmos, a utilização das nanotecnologias requer um conhecimento e capacitação técnica, além de equipamentos adequados, que tornam essas atividades diferentes das que as empresas estão acostumadas a realizar.

Há empresas, no entanto, que têm as nanotecnologias como o principal negócio da empresa. Uma importante característica é que várias delas são fornecedoras de tecnologias e insumos para outras empresas de vários segmentos, como tintas para o setor automobilístico e produção industrial; nanoencapsulados para cosméticos; nanomateriais e nanoestruturas para produtos médicos e odontológicos; nanofabricação por litografia, nanoestrutura e microscopia eletrônica para processamento industrial, materiais avançados e defesa; entre outros. Além disso, mais da metade (6) são empresas de menor porte (com menos de 100 pessoas ocupadas), estabelecidas nos anos 2000, sendo 3 delas estabelecidas após 2003.

Em relação ao grau de novidade das nanotecnologias nas empresas, a maioria apontou que as nanotecnologias são atividades completamente novas para a empresa. Como dito anteriormente, a maneira de se produzir ou mesmo usar as nanotecnologias são diferentes das atuais rotinas das empresas, requerendo um misto de conhecimentos gerais e específicos, além de capacitações técnicas diferentes das que possuem as empresas. A maioria dessas empresas utiliza e desenvolve as nanotecnologias.

Com respeito àquelas que consideraram as nanotecnologias um aprimoramento das atividades das empresas, a maioria também utiliza e desenvolve, ou apenas utiliza, as nanotecnologias. Raras são as que apenas desenvolvem. Entretanto, isso não significa que o aprendizado nessas empresas seja pouco relevante. Pelo contrário, a incorporação de uma nanotecnologia a um produto vai muito além das técnicas de manipulação na nanoescala, é necessário saber incorporar essas técnicas ao produto em questão.

Nesse sentido, uma questão que se coloca é até que ponto a utilização e incorporação das nanotecnologias aos produtos e processos são “apenas” aprimoramento, ou algo realmente novo. Um certo produto, por exemplo, continuará a ser o mesmo produto, provavelmente, com as mesmas funções e usos. Entretanto, a incorporação de nanotecnologias pode mudar de tal forma as características desse produto que, na composição, até poderia ser considerado outra coisa, um outro produto. Um tecido com nanopartículas de óxido de zinco, por exemplo, além de servir sua

função básica, vestimenta, pode também funcionar como um protetor solar, uma vez que protege da radiação ultravioleta (UV)¹⁵⁰. Seja como for, essa discussão também está relacionada ao maior entendimento das diferentes nanotecnologias.

Tabela 22 – Inserção e grau de novidade das nanotecnologias nas empresas, segundo classificação por atividade econômica

	Principal negócio da empresa	Diferem das demais atividades	Aprimora- mento	Completa- mente novo
Total	10	45	23	34
Extração de Minerais Não-Metálicos (89)	-	1	-	1
Fabricação de Produtos Têxteis (13)	-	3	-	3
Fabricação de Produtos Químicos (20)	3	11	2	11
Fabricação de Produtos Farmoquímicos e Farmacêuticos (21)	-	4	1	3
Fabricação de Produtos de Borracha e de Material Plástico (22)	-	1	1	-
Fabricação de Produtos Minerais Não-Metálicos (23)	-	1	-	1
Metalurgia (24)	1	2	1	2
Fabricação de Produtos de Metal (25)	-	3	4	-
Fabricação de Produtos de Informática, Eletrônicos e Ópticos (26)	-	1	-	2
Fabricação de Máquinas, Aparelhos e Materiais Elétricos (27)	1	1	1	2
Fabricação de Máquinas e Equipamentos (28)	-	1	-	1
Fabricação de Veículos Automotores, Reboques e Carrocerias (29)	1	2	3	-
Fabricação de Produtos Diversos (32)	2	6	4	4
Pesquisa e Desenvolvimento Científico (72)	2	8	6	4

Fonte: Elaboração própria.

Por fim, a tabela 23 apresenta as principais atividades relacionadas à utilização e desenvolvimentos de nanotecnologias nas empresas, segundo as atividades econômicas nas quais estão classificadas.

¹⁵⁰ Este exemplo pode, ainda, levantar outras questões interessantes relacionadas à saúde e segurança com o uso da nanotecnologia. Pesquisas apontam que a partícula de óxido de zinco em protetores solares, quando exposta à luz do sol, sofre reações químicas que podem liberar radicais livres, moléculas instáveis que destroem as células de proteção do organismo. Contudo, ao mesmo tempo, o óxido de zinco tem vantagens: diminui o risco de haver reação alérgica com o uso de filtro solar, possibilita aumentar o fator de proteção e faz com que o produto seja mais eficiente, refletindo uma variedade maior de raios solares. Dessa forma, ainda é necessário saber se o uso desta nanopartícula em tecidos pode atuar como protetor solar sem prejuízos à saúde humana.

Primeiro, buscou-se identificar se as nanotecnologias estão sendo mais utilizadas e desenvolvidas em produtos ou processos. Verificou-se que as empresas, na maioria dos setores, desempenham atividades de nanotecnologia tanto em produtos quanto em processos, com preponderância do primeiro, onde 43 empresas de todos os setores, exceto um, desenvolvem e/ou usam produtos com nanotecnologias.

Das 25 empresas que responderam desenvolvimento e uso de processos, 20 também apontaram desenvolver e utilizar produtos, e apenas cinco disseram realizar apenas processo. Trata-se, na maioria das vezes, de grandes empresas trabalhando com nanotecnologias para aumentar a produtividade; durabilidade; em projetos de equipamentos que atendam as condições especificadas pelo processo; e controle de qualidade no processo.

A segunda atividade na qual as empresas de quase todas as atividades econômicas mais se empenharam foi a de pesquisa e desenvolvimento¹⁵¹, com a participação de 40 empresas. Dessas empresas, 10 alegaram realizar atividades de pesquisa básica e 27 de pesquisa aplicada, ambas relacionadas às nanociências, e 28 apontaram realizar atividades de desenvolvimento que, como visto (tabela 21), aumentaram a partir de 2006.

Alguns pontos ainda merecem consideração acerca dessas atividades. Apenas uma empresa realizou apenas pesquisa básica. Trata-se do estudo sobre creme dental composto com nanocristais de hidroxiapatita¹⁵². Contudo, o estudo foi interrompido e não houve produção. Nove empresas realizaram apenas pesquisa aplicada. Na maior parte das vezes, essas empresas realizam testes com materiais nanoestruturados para aplicação em produtos e testes para desenvolvimento, além de atividades em parceria com empresas menores. Dez empresas realizaram apenas desenvolvimento. Trata-se, muitas vezes, da incorporação e aplicação de nanotecnologias a produtos e processos. Por fim, apenas cinco empresas realizaram todas as atividades relacionadas à P&D,

¹⁵¹ A definição de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) utilizada neste trabalho está baseada nos conceitos utilizados no Manual Frascati (2002) que divide P&D em três atividades: **Pesquisa Básica**: consiste em trabalhos experimentais ou teóricos iniciados principalmente para obter novos conhecimentos sobre os fundamentos dos fenômenos e fatos observáveis, sem ter em vista qualquer aplicação ou utilização particular; **Pesquisa Aplicada**: consiste também em trabalhos originais realizados para adquirir novos conhecimentos; no entanto, está dirigida fundamentalmente para um objetivo prático específico; **Desenvolvimento Experimental**: consiste em trabalhos sistemáticos baseados nos conhecimentos existentes obtidos pela pesquisa e/ou pela experiência prática, e dirige-se à produção de novos materiais, produtos ou dispositivos, à instalação de novos processos, sistemas e serviços, ou à melhoria substancial dos já existentes.

¹⁵² A Hidroxiapatita é formada por fosfato de cálcio cristalino e representa um depósito de 99% do cálcio corporal e 80% do fósforo total. O esmalte que cobre os dentes contém o mineral hidroxiapatita, um hidrofosfato de cálcio (<http://pt.wikipedia.org/wiki/Hidroxiapatita>).

sendo 3 grandes empresas, com destaque para uma grande empresa produzindo quimioterápicos, e duas pequenas empresas que também atuam como fornecedoras.

Três atividades econômicas, em particular, chamam a atenção em relação às atividades de P&D. Primeiro, nas empresas de produtos químicos, apenas duas não realizaram atividades relacionadas à P&D, ambas produtoras de cosméticos. Uma afirma apenas utilizar produto à base de nanotecnologia. A outra também utilizou, no entanto, disse que a nanotecnologia é mais uma questão de *marketing*, sem maiores desdobramentos. Segundo, todas as empresas relacionadas aos produtos diversos que, como visto, se referem aos materiais e instrumentos para uso médico e odontológico, realizaram atividades de P&D. Importante destacar que das seis empresas, quatro foram beneficiadas com recursos da Subvenção Econômica para atividades de P&D da FINEP. Terceiro, curiosamente, uma empresa classificada como uma instituição de pesquisa e desenvolvimento científico apontou não ter realizado atividades de P&D. Trata-se de um Instituto de Pesquisa de uma grande empresa multinacional que, apesar de ter utilizado e realizado testes para introdução no mercado de nanoeletrônica, apontou não ter realizado atividades de P&D e que não poderia dar mais detalhes por acordos de confidencialidade.

Nesse sentido, evidencia-se a importância das atividades de P&D nas empresas, com pequena preponderância das atividades de desenvolvimento. Este cenário no qual se apresenta as atividades em nanotecnologias é bastante coerente com cenário atual de desenvolvimento das nanotecnologias. Por um lado, por ser um conjunto de tecnologias cuja base de conhecimento ainda está em formação, é natural que haja considerável atividade de pesquisa. Por outro lado, uma vez que as empresas buscam a produção para comercialização, as atividades de desenvolvimento são essenciais para o processo de aprendizado nas novas tecnologias. E, naturalmente, as empresas procuram realizar tais atividades. Portanto, ainda que uma das atividades, sobretudo a de pesquisa, não seja pré-condição para a outra, sobretudo desenvolvimento, é desejável que essas atividades ocorram em sintonia, gerando resultados que estimulem umas às outras.

Dessa forma, apesar da menor frequência, outras atividades mais diretamente voltadas para a introdução no mercado também foram consideradas pelas empresas, como testes para introdução no mercado (23 empresas), preparação para a produção e distribuição (16 empresas), controle de qualidade (13 empresas) e *marketing* (17 empresas).

Tabela 23 – Atividades relacionadas à utilização e desenvolvimento de nanotecnologias nas empresas, segundo classificação por atividade econômica

	Desenv. /uso de produto	Desenv./uso de processo	P&D	Instr. ou serv. Técn.	Teste	Prep. para prod.	Marketing	Reg. e Prop. Intel.	Cont. Qual.	Meio-Amb., Saúde e Segurança	Import./Export	Outras
Total	43	25	40	12	23	16	17	11	13	12	6	4
Extração de Minerais Não-Metálicos (89)	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	1
Produtos Têxteis (13)	2	2	2	-	2	1	1	-	1	1	1	-
Confecção de Artigos do Vestuário (14)	2	1	-	-	1	-	-	-	-	1	-	-
Produtos Químicos (20)	13	6	12	2	7	7	9	3	5	4	2	1
Produtos Farmoquímicos e Farmacêuticos (21)	3	2	2	-	2	1	1	1	1	1	-	-
Produtos de Borracha e de Material Plástico (22)	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Produtos Minerais Não-Metálicos (23)	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-
Metalurgia (24)	2	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
Produtos de Metal (25)	3	-	1	-	1	-	-	1	-	-	-	-
Produtos de Informática, Eletrônicos e Ópticos (26)	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Máquinas, Aparelhos e Materiais Elétricos (27)	2	1	2	-	1	1	1	1	2	2	1	-
Máquinas e Equipamentos (28)	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Veículos Automotores, Reboques e Carrocerias (29)	1	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Produtos Diversos (32)	5	2	6	3	5	4	4	3	3	1	2	1
Pesquisa e Desenvolvimento Científico (72)	6	4	9	5	2	1	1	2	1	2	-	1

Fonte: Elaboração própria.

O fato de maior número de empresas estarem desenvolvendo atividades de P&D em relação às atividades mais diretamente voltadas para o processo produtivo, não

significa que estas atividades sejam as mais importantes para as nanotecnologias, mas apontam diferentes fases de desenvolvimento dessas nanotecnologias nas empresas. Os produtos químicos, por exemplo, relacionados aos nanomateriais e nanocompósitos, encontram-se em um grau de maturidade diferente dos nanoeletrônicos, que ainda não possuem resultados definitivos. O desafio é exatamente criar as condições para que estas atividades sejam desenvolvidas de modo que alcancem resultados concretos.

Além disso, quando se pensa em P&D, em geral, tem-se uma concepção implícita de que o componente P (pesquisa) esteja mais em evidência, sobretudo, no ponto de vista das políticas públicas. Esta idéia ocorre porque o componente D (desenvolvimento), principalmente, partindo-se de uma visão sistêmica do processo, envolve diversos outros elementos cuja alocação direta de recursos não é tão clara quanto para atividades de pesquisa¹⁵³.

Por fim, vale destacar também as atividades de fornecimento de instrumentos e serviços técnicos; meio-ambiente, saúde e segurança; e comércio exterior. No primeiro caso, doze empresas destacam-se, por exemplo, em serviços de microscopia de força atômica, equipamentos e metodologia para síntese de nanomateriais, entre outros.

Quanto às atividades relacionadas ao meio-ambiente, saúde e segurança, também identificou-se doze empresas que tanto estão, de feito, realizando atividades com estes objetivos - como desenvolvimento e manufatura de sistemas nanofabricados para células à combustível usadas com hidrogênio gerando sistemas de energia alternativa, ou nanoargila para tratamento de efluente - como empresas que utilizaram nanotecnologia na produção de tintas e obtiveram, além da melhora do produto, um 'efeito colateral positivo' revertido na redução do consumo de água e energia.

Por último, apenas seis empresas apontaram atividades de comércio exterior. Chama a atenção duas pequenas empresas que através da produção de nanomateriais vêm modificando sua dependência e inserção no comércio internacional. A primeira conseguiu reduzir a importação de sistemas nanofabricados através da produção de nanomateriais compósitos. A segunda, por sua vez, vem trabalhando com a incorporação de partículas de prata (rotas químicas de fabricação de prata) em diversos tipos de materiais (metais, cerâmicas, polímeros) e, como isso, tem conseguido inserção internacional no mercado de antimicrobianos de prata.

¹⁵³ A seção 6.4 mostra as principais atividades inovativas consideradas mais importantes para as empresas que utilizaram e desenvolveram nanotecnologias. Além disso, busca-se melhor qualificar as próprias atividades de P&D em relação às demais atividades inovativas.

Deste modo, uma vez apresentado um panorama geral das principais características das empresas pesquisadas que estão utilizando e desenvolvendo nanotecnologias no Brasil, a próxima seção tem por objetivo dar a conhecer algumas das principais características dessas nanotecnologias.

6.2 – As nanotecnologias nas empresas

Tendo em vista as principais características das empresas pesquisadas neste trabalho, esta seção tem por objetivo dar a conhecer as principais nanotecnologias utilizadas e desenvolvidas por estas empresas, bem como as técnicas de produção utilizadas, as principais áreas de aplicação e as áreas de conhecimento necessárias para as atividades nestas nanotecnologias.

Foram identificados 65 projetos relacionados ao uso e desenvolvimento de nanotecnologias nas 61 empresas e instituições de pesquisa investigadas neste trabalho. Sendo objetivo apresentar as características das nanotecnologias, o referencial de análise nesta seção deixa de ser apenas a empresa (sujeito), e focará também no objeto (projetos em nanotecnologias).

As tabelas 24 e 25 apresentam as principais nanotecnologias utilizadas e desenvolvidas nas empresas, segundo suas atividades econômicas principais e porte, respectivamente. Vale mencionar que as empresas apontaram tantas nanotecnologias quanto necessárias. A maioria das empresas apontou pelo menos duas nanotecnologias. Assim, as principais nanotecnologias apontadas foram Nanomateriais (45), Nanocompósitos (22) e Nanobiotecnologia (15). As demais foram apontadas pelo menos duas vezes pelas empresas, com exceção da nano-ótica, que não foi apontada por nenhuma das empresas¹⁵⁴.

¹⁵⁴ Apesar de não comparável diretamente, este resultado indica a mesma tendência apontada pelo quadro 13 no capítulo 4, que contém as palavras-chave relacionadas às atividades em nanotecnologias utilizadas para a identificação dos grupos de pesquisa e pesquisadores no Brasil, a partir do Diretório de Grupos de Pesquisa do CNPq.

Tabela 24 – As nanotecnologias utilizadas e desenvolvidas nas empresas, segundo classificação por atividade econômica

CNAE 2.0	Nanotecnologias														
	Nanomeio-ambiente	Nanobiotecnologia	Nanoenergia	Nanomateriais	Nanoeletrônica	Nanosensores	Nanoinstrumentos	Nanoferramentas	Nanofotônica	Nanocompósitos	Nano-ótica	Nanomagnetismo	Nanomecânica	Nanomedicina	Outra
Total	4	15	3	45	6	4	4	5	2	22	0	4	2	4	10
Extração de Minerais Não-Metálicos (89)	-	1	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
Fabricação de Produtos Têxteis (13)	-	1	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Confecção de Artigos do Vestuário (14)	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fabricação de Produtos Químicos (20)	2	2	-	12	-	-	-	-	-	7	-	-	-	-	7
Fabricação de Produtos Farmoquímicos e Farmacêuticos (21)	-	2	-	3	-	-	-	-	-	3	-	-	-	1	-
Fabricação de Produtos de Borracha e de Material Plástico (22)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Fabricação de Produtos Minerais Não-Metálicos (23)	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
Metalurgia (24)	-	-	-	3	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Fabricação de Produtos de Metal (25)	-	-	1	2	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-
Fabricação de Produtos de Informática, Eletrônicos e Ópticos (26)	-	-	-	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fabricação de Máquinas, Aparelhos e Materiais Elétricos (27)	1	-	1	4	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-	-
Fabricação de Máquinas e Equipamentos (28)	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
Fabricação de Veículos Automotores, Reboques e Carrocerias (29)	-	-	-	2	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Fabricação de Produtos Diversos (32)	-	3	-	6	-	-	-	-	-	3	-	2	-	1	-
Pesquisa e Desenvolvimento Científico (72)	1	5	1	7	3	3	3	4	2	3	-	2	1	2	-

Fonte: Elaboração própria.

Além das nanotecnologias disponíveis no questionário utilizado, as empresas ainda apontaram dez atividades como outras. Entre essas, no entanto, seis estão relacionadas à nanomateriais e nanocompósitos, como nanorevestimento, nanofilmes e utilização de nanotecnologia em polímeros, películas e superfícies. As demais se referem à nanocosméticos (3) e defensivo agrícola.

Algumas considerações merecem ser feitas neste cenário. Em primeiro lugar, destaca-se a característica difusiva e transversal das nanotecnologias. Se, por um lado, elas estão espalhadas em diversas atividades econômicas, por outro, as atividades econômicas, por sua vez, incorporam diversas nanotecnologias, umas mais relacionadas que as outras. Os nanomateriais, por exemplo, estão espalhados em quase todas as atividades econômicas pesquisadas neste trabalho, sobretudo nos produtos químicos e nas atividades de pesquisa e desenvolvimento. A fabricação de produtos químicos, por sua vez, utiliza outras nanotecnologias além dos nanomateriais. Ainda que essas nanotecnologias sejam relacionadas, há certos componentes que são específicos a elas. Os nanocosméticos, por exemplo, estão relacionados aos nanocompósitos e nanomateriais. No entanto, para a fabricação desses produtos é necessário uma composição de técnicas que nem todo nanomaterial ou nanocompósito possui.

Segundo, por estas mesmas características, o ponto de partida de análise das nanotecnologias deve ser levado em consideração, principalmente para a concepção de políticas de fomento. A nanotecnologia não é um setor econômico, mas um conjunto de tecnologias que se espalham pelos setores. Embora certos setores estejam mais relacionados com determinadas nanotecnologias específicas, o inverso nem sempre é verdadeiro. Por isso, ainda que algumas nanotecnologias tenham semelhanças com o padrão produtivo e inovativo de certas atividades, estas apresentam características que nem sempre são compatíveis com as das nanotecnologias. Portanto, ao pensar as nanotecnologias a partir das atividades econômicas corre-se o risco de trata-las como um conjunto homogêneo¹⁵⁵.

Terceiro, as próprias nanotecnologias são transversais entre si. Por exemplo, praticamente todas as empresas que apontaram atividades em nanocompósitos também apontaram em nanomateriais. Entretanto, a recíproca não é verdadeira. Isso ocorre porque os nanocompósitos são um tipo de nanomaterial, formados pela junção de

¹⁵⁵ Por outro lado, as nanotecnologias são desenvolvidas nas empresas que, por sua vez, são relacionadas à certas atividades econômicas. Deste modo, é inevitável que a análise setorial, em certos momentos, seja o ponto de partida. O importante é ter claro em que condições entra a perspectiva do setor e da tecnologia.

componentes, onde em algum deles as partículas possuem dimensões da ordem de nanômetros. Estas dimensões aumentam a interação entre a partícula e o meio, melhorando algumas propriedades do nanocompósito em relação ao componente puro. Os nanomateriais, por sua vez, nem sempre têm a função de melhorar o desempenho de um produto. As nanotecnologias podem simplesmente ser incorporadas a estes materiais de modo a atingir um objetivo específico, como reduzir danos ambientais. Apesar disso, os nanocompósitos identificados neste trabalho estão diretamente relacionados aos nanomateriais.

Complementando a análise da inserção das nanotecnologias nas atividades econômicas, a tabela 25 apresenta a difusão das nanotecnologias segundo o porte das empresas, uma vez que, como mencionado anteriormente, pequenas e grandes empresas desempenham diferentes papéis no processo de concepção e inovação das tecnologias emergentes. Nesse sentido, verifica-se que, apesar da participação de pequenas empresas em nanotecnologias específicas, a maior concentração ocorre nas empresas de médio e grande porte (acima de 50 pessoas ocupadas), sobretudo nas nanotecnologias consideradas mais maduras como os nanomateriais, nanoeletrônica e nanocompósitos.

Este quadro é bastante semelhante ao estudo do impacto das nanotecnologias nas empresas realizado pela OCDE (2010), com exceção para as nanobiotecnologias que, naquele caso, estavam mais concentradas nas pequenas empresas (25%), seguidas das médias (9%) e grandes (6%). No caso brasileiro, a distribuição ocorreu na seguinte ordem: grande empresa (40%), pequena empresa (33%) e média empresa (27%)¹⁵⁶.

No caso dos nanomateriais, por sua vez, o estudo da OCDE apontou que estes se concentravam nas grandes empresas (50%), seguida das médias (27%) e pequenas empresas (24%). No Brasil, a distribuição foi: grande empresa (42%), média empresa (38%) e pequena empresa (20%). Esta tendência se repete em relação aos nanoeletrônicos e nanoinstrumentos, onde em ambas as pesquisas verifica-se concentração de médias e grandes empresas nestas tecnologias.

Neste cenário, uma vez divisada a inserção das nanotecnologias nas atividades econômicas e sua distribuição em relação ao porte das empresas que as utilizam e desenvolvem, convém analisar agora quais as principais áreas de conhecimentos necessárias nas empresas para que estas atividades sejam levadas a cabo, bem como as

¹⁵⁶ É claro que esta comparação é apenas em termos de tendência, uma vez que não há compatibilidade metodológica em relação ao desenho da pesquisa, tipos de empresas, entre outras. Para maiores detalhes sobre a pesquisa, ver OCDE (2010).

técnicas utilizadas para seu desenvolvimento, e as principais áreas de aplicação, potenciais ou efetivas, que as atividades em nanotecnologias têm promovido.

Tabela 25 – As nanotecnologias utilizadas e desenvolvidas nas empresas, segundo faixa de pessoal ocupado

CNAE 2.0	Nanotecnologias													Total	
	Nanomeio-ambiente	Nanobiotecnologia	Nanoenergia	Nanomateriais	Nanoeletrônica	Nanosensores	Nanoinstrumentos	Nanoferramentas	Nanofotônica	Nanocompósitos	Nanomagnetismo	Nanomecânica	Nanomedicina		Outra
Total	4	15	3	45	6	4	4	5	2	22	4	2	4	10	130
De 10 a 29	2	3	1	7	-	-	-	-	-	4	-	-	-	1	18
De 30 a 49	-	2	-	2	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	5
De 50 a 99	1	3	1	7	1	1	-	-	-	2	1	-	-	2	19
De 100 a 249	-	1	-	10	2	-	2	2	-	9	-	-	-	4	30
De 250 a 499	-	2	1	4	1	1	1	1	1	2	2	1	2	-	19
Com 500 ou mais	1	4	-	15	2	2	1	2	1	4	1	1	2	3	39

Fonte: Elaboração própria.

6.2.1 – As áreas de conhecimentos

Discutiu-se anteriormente a natureza multi- e interdisciplinar das nanotecnologias, onde pesquisadores de diferentes áreas são estimulados a compartilhar conhecimentos, ferramentas e técnicas em diversas áreas de pesquisa científica e aplicações tecnológicas. A integração e convergência de múltiplas disciplinas em torno desse grupo de (nano)tecnologias cria a necessidade de estreitar e facilitar a comunicação entre esses atores. Esta seção apresenta as principais áreas de conhecimento associadas às nanotecnologias utilizadas e desenvolvidas nas empresas.

A tabela 26 mostra as principais áreas de conhecimento relacionadas às atividades de nanotecnologia conduzidas nas empresas pesquisadas. A tabela indica, aproximadamente, quantos projetos de nanotecnologia foram relacionados às diferentes áreas de conhecimento. Por exemplo, dos quinze projetos associados às atividades em nanobiotecnologia, 11 utilizam conhecimentos de Biologia, 14 de Química, 10 de Física, e assim por diante. É importante destacar, no entanto, que nem sempre esta relação é direta, uma vez que uma empresa que desenvolve mais de uma nanotecnologia

se refere às áreas de conhecimento relacionadas àquelas nanotecnologias. Nesse sentido, a tabela apresenta um valor aproximado e não exato.

Seja como for, fica evidente, neste cenário, a natureza multidisciplinar das diversas nanotecnologias identificadas, e o quanto as áreas de conhecimento, por sua vez, também são utilizadas em diferentes nanotecnologias.

Em relação às nanotecnologias, algumas possuem a característica de abranger uma variedade mais ampla de áreas de conhecimento, como os nanomateriais, nanocompósitos, nanobiotecnologia e nomeio-ambiente, por exemplo. Em geral, algumas dessas nanotecnologias são mais genéricas do ponto de vista de sua aplicação em atividades econômicas nas quais são desenvolvidas. Outras, como nanoenergia, nanoferramentas e nanoinstrumentos são mais específicas em relação às áreas de conhecimento utilizadas. Espera-se que para o desenvolvimento de nanoferramentas seja mais necessário, por exemplo, conhecimento de Ciências dos Materiais, Física e Química do que Farmácia.

No que diz respeito às áreas de conhecimento, a mesma característica anteriormente descrita também é observada. Algumas áreas como Química e Física provêm conhecimentos mais genéricos e necessários à maioria das nanotecnologias do que, por exemplo, Farmácia ou mesmo Biologia. Outras, por sua vez, são mais restritas à algumas nanotecnologias, como Biologia que aparecem com maior frequência nos nanomateriais, nanobiotecnologia e nanocompósitos do que em outras.

Três considerações merecem destaque neste cenário. Primeiro, do ponto de vista da formação de recursos humanos e capacitação em nanotecnologias, os conhecimentos necessários às diferentes nanotecnologias podem ser divididos em duas categorias: i) conhecimento geral básico; e ii) conhecimento específico. O primeiro conjunto abarca as áreas de conhecimento consideradas básicas para a compreensão da maioria das nanotecnologias: Química, Física, Biologia e Matemática¹⁵⁷. O segundo conjunto se refere àquelas áreas mais voltadas para certas nanotecnologias, como Ciências dos Materiais, Medicina Molecular, Biomateriais, Física Quântica, entre outras. A ênfase nessas áreas dependerá, naturalmente, do tipo de nanotecnologia que se pretende desenvolver. O curso de graduação em Nanociência e Nanotecnologia da UFRJ¹⁵⁸, por exemplo, oferece uma estrutura curricular que consiste em um conjunto de disciplinas

¹⁵⁷ É claro que me refiro a pontos específicos dessas áreas como, por exemplo, Biologia Celular, Física Experimental, Química Orgânica, Cálculo Diferencial, entre outros.

¹⁵⁸ http://www.nano.ufrj.br/graduacao_estrutura.html

básicas comuns de Matemática, Física, Química e Biologia, e disciplinas mais específicas (ciclo profissional) voltadas para as seguintes áreas: Física (eletromagnetismo, mecânica quântica, etc.), Materiais e Bionanotecnologia.

Em segundo lugar, em decorrência do primeiro, as empresas necessitam de pessoas capacitadas tanto com conhecimentos mais abrangentes de nanotecnologias como em conhecimentos mais específicos das nanotecnologias que desenvolvem. Este aspecto representa um desafio não apenas para a formação e capacitação de pessoal para atuar nessas nanotecnologias como para as próprias empresas que, em geral, têm dificuldades para encontrar esse pessoal (ver figura 19).

Por último, do ponto de vista do desenho de políticas para o estímulo das nanotecnologias, as ações também podem ser divididos em duas categorias: i) políticas genéricas, voltadas para aspectos comuns a todas as nanotecnologias; e ii) políticas específicas, voltadas para subconjuntos de nanotecnologias. Neste último caso, a coordenação de ações e instrumentos se torna bem mais complexa do que o primeiro, uma vez que esses devem estar voltados para determinadas especificidades, por isso a preponderância das políticas mais genéricas.

Tabela 26 – As principais áreas de conhecimento associadas às nanotecnologias utilizadas e desenvolvidas nas empresas

Nanotecnologias	Áreas de Conhecimento									
	Biologia	Química	Física	Farmácia	Eng. Eletr.	Eng. Quím.	Eng. Mecânica	Ciência da Comput.	Ciência dos Materiais	Outro
Frequência	52	109	72	39	41	69	34	13	94	16
NanoMeio-Ambiente	2	4	3	4	3	3	2	2	3	2
Nanobiotecnologia	11	14	10	10	4	7	4	2	8	2
Nanoenergia	-	3	3	-	1	1	1	-	3	-
Nanomateriais	16	36	19	10	11	28	10	2	34	5
Nanoeletrônica	-	4	4	-	5	1	1	1	5	-
Nanosensores	1	3	3	1	2	2	2	-	2	-
Nanoinstrumentos	-	2	2	-	2	1	-	-	4	-
Nanoferramentas	-	2	2	-	4	1	2	-	2	-
Nanofotônica	1	2	2	1	1	-	-	1	2	1
Nanocompósitos	10	20	10	5	4	14	7	1	17	2
Nanomagnetismo	2	4	4	2	1	1	-	1	3	1
Nanomecânica	-	2	2	-	1	1	1	-	2	-
Nanomedicina	3	4	4	3	1	2	-	1	3	2
Outro	6	9	4	3	1	7	4	2	6	1

Fonte: Elaboração própria.

Nesse cenário, o que a multidisciplinaridade das nanotecnologias revela, em última instância, é a necessidade de avaliar o conjunto de nanotecnologias de acordo com suas semelhanças e diferenças, de modo que a compreensão de suas dinâmicas sejam mais bem compreendidas, facilitando, deste modo, as ações voltadas para seu desenvolvimento. Deste modo, destaca-se a relevância de algumas nanotecnologias nas empresas brasileiras: nanomateriais, nanocompósitos, nanobiotecnologia e, não diretamente aparente, nanotecnologia em materiais para uso médico e odontológico e nanocosméticos.

6.2.2 – As técnicas de produção

O capítulo 2 apresentou os principais procedimentos utilizados para a obtenção de materiais na nanoescala: a técnica *bottom-up* e a *top-down*. A primeira consiste na criação de novos materiais a partir da manipulação de seus átomos e moléculas. Esta técnica é também conhecida como “abordagem química” porque busca agrupar e construir elementos mais complexos. Esta técnica ainda enfrenta diversos gargalos, principalmente técnicos e econômicos. Do ponto de vista técnico, ainda há diversas barreiras para a manipulação dos elementos na escala nanométrica de modo a possibilitar a produção em escala industrial. Somando-se a isso, do ponto de vista econômico, o desafio é tornar algumas das técnicas de produção economicamente viáveis para uso industrial, ou seja, atingir um custo de escala eficiente.

A segunda técnica consiste na manipulação de materiais pela eliminação do ‘excesso’ de material existente, de modo que haja um aprimoramento nas suas características principais. Esta técnica é também conhecida como “abordagem física ou de engenharia” uma vez que busca produzir estruturas regulares e bem-definidas, geralmente como uma continuação incremental de trajetórias definidas da Física. Em geral, esta técnica é mais utilizada do que a primeira (OCDE, 2010).

A tabela 27 apresenta as principais técnicas de produção identificadas nos projetos de nanotecnologias desenvolvidos nas empresas pesquisadas. Estes projetos, por sua vez, podem estar relacionados a mais de uma nanotecnologia. Portanto, o mesmo projeto pode aparecer mais de uma vez em nanotecnologias distintas. O objetivo desta tabela é relacionar a técnica de produção aos tipos de nanotecnologias desenvolvidos. Dessa forma, a tabela mostra o número de projetos desenvolvidos com

uma determinada técnica de produção, e em quais nanotecnologias estas técnicas estão relacionadas.

Assim, a tabela revela que as duas técnicas de produção são utilizadas na produção das nanotecnologias identificadas. Apesar da técnica *top-down* ser mais comum na produção de nanotecnologias, segundo estudo da OCDE (2010), a técnica *bottom-up* aparece com mais frequência nos projetos que desenvolvem as nanotecnologias identificadas na pesquisa.

Um total de 27 projetos relacionados a diversas nanotecnologias foram identificados como utilizando a técnica *bottom-up*. Desse total, 24 projetos estão relacionados ao desenvolvimento de nanomateriais, 12 ao desenvolvimento de nanocompósitos, 9 ao desenvolvimento de nanobiotecnologia, e assim por diante. Dentre as técnicas de produção do tipo *bottom-up*, as mais utilizadas nos projetos, em ordem decrescente, foram: síntese química (22); automontagem (6); e montagem determinada (3). Dessa forma, as três principais nanotecnologias identificadas neste trabalho utilizaram, primordialmente, a síntese química como técnica de produção principal, a saber: nanomateriais (19), nanocompósitos (10) e nanobiotecnologia (8).

Em relação à técnica *top-down*, um total de 12 projetos foram identificados. Desse total, mais uma vez destacam-se os nanomateriais, com 8 projetos relacionados, e os nanocompósitos, com 5 projetos relacionados. Apenas 2 dos projetos estavam relacionados com nanobiotecnologia; no entanto, em ambos os casos, os projetos ligam-se aos nanomateriais. Quanto à técnica de produção do tipo *top-down*, a fotolitografia foi a mais utilizada (5). Esta técnica, como visto anteriormente, se refere à aplicação de nanomaterial fotossensível que, ao receber luz ultravioleta, sofre alterações químicas em pontos predeterminados.

Por fim, em apenas 5 projetos as técnicas *bottom-up* e *top-down* foram utilizadas simultaneamente. Ainda assim, várias nanotecnologias estavam relacionadas a estes projetos. São esses projetos:

- i) Materiais para Memristores¹⁵⁹ (nanomateriais e nanoeletrônica);
- ii) Nanoestruturas tridimensionais para sensores e dispositivos (nanoenergia, nanomateriais, nanoeletrônica, nanosensores, nanocompósitos, nanoestruturas);

¹⁵⁹ Um memristor é um componente eletrônico passivo de dois terminais que mantém uma função não-linear entre corrente e tensão, ou seja, atua como resistência variável. Os memristores já estão sendo desenvolvidos para aplicações em memórias nanoeletrônicas e arquiteturas de computadores neuromórficos.

- iii) Nanopartículas para liberação controlada (nanobiotecnologia, nanomaterial, nanosensores, nanoferramentas e nanocompósitos);
- iv) Nanoemulsão para carregamento e sistema de liberação de fármacos (nanomaterial e nanomedicina);
- v) Nanoimprint: método de fabricação utilizando processo de nanolitografia a baixo custo, alto rendimento e alta resolução.

Tabela 27 – As técnicas de produção na escala nanométrica associadas às nanotecnologias desenvolvidas nas empresas

Técnicas	<i>Bottom-Up</i>				<i>Top-Down</i>				Ambos
	Síntese Química	Automon-tagem	Montagem Determinada	Total Projetos <i>Bottom-Up</i>	Fotolito-grafia	Nanolito-grafia de raios de elétrons	Nanolito-grafia de raios de íons	Total Projetos <i>Top-Down</i>	Total Projetos
Número de Projetos	22	6	3	27	5	5	2	12	5
NanoMeio-Ambiente	3	2	1	3	1	-	-	1	-
Nanobiotecnologia	8	2	2	9	1	-	-	2	1
Nanoenergia	-	1	1	1	2	1	1	2	1
Nanomateriais	19	5	3	24	4	2	2	8	4
Nanoeletrônica	1	3	1	4	2	2	2	2	2
Nanosensores	1	1	1	2	2	1	1	2	2
Nanoinstrumentos	-	3	1	3	1	1	1	1	1
Nanoferramentas	1	3	1	4	2	1	1	2	2
Nanofotônica	1	2	1	2	1	1	1	1	1
Nanocompósitos	10	2	1	12	3	2	1	5	2
Nanomagnetismo	3	2	1	4	1	1	1	1	1
Nanomecânica	1	1	1	2	1	1	1	1	1
Nanomedicina	3	2	1	4	1	1	1	2	2
Outro	3	1	1	3	-	-	-	1	-

Fonte: Elaboração própria.

Algumas características são interessantes neste cenário. Primeiro, destaca-se a importância de determinadas nanotecnologias como nanomateriais, nanobiotecnologia e nanocompósitos. Os nanomateriais não apenas estão presentes na imensa maioria dos projetos identificados nesta pesquisa como também servem de base para o desenvolvimento e uso de diversas outras nanotecnologias que, por vezes, são as principais em determinados projetos. As nanobiotecnologias estão relacionadas a outras nanotecnologias, sobretudo aquelas relacionadas à nanomedicina e nanoenergia, que cada vez mais ganham espaço em determinadas empresas brasileiras. Os nanocompósitos, que junto aos nanomateriais, também estão presentes em diversas

outras nanotecnologias desenvolvidas e utilizadas. Além de sua relevância neste cenário, elas compartilham características que as tornam compatíveis em vários aspectos, como as técnicas de produção, podendo formar padrões produtivos e inovativos compatíveis em vários aspectos.

Em segundo lugar, apesar da menor frequência, alguns projetos de nanotecnologias estão emergindo em grandes e importantes empresas com potencial reconhecidos em determinados segmentos, como de energia (combustível) e cosméticos, por exemplo. Além dessas, destaca-se também segmentos relacionados à produção de tintas, que cada vez mais ganham espaço na indústria química.

Por fim, a identificação de conjuntos de nanotecnologias, que podem ser agrupados em determinados grupos, é de suma importância para o desenho de políticas de inovação mais específicas, baseadas na dinâmica diferenciadas desses grupos.

Antes de examinar com mais detalhes algumas características que revelam determinadas especificidades desses grupos, convém analisar as principais áreas de aplicação que essas nanotecnologias estão voltadas.

6.2.3 – As principais aplicações

Uma das principais características das nanotecnologias é sua capacidade de afetar e se espalhar por todo o sistema econômico, com um amplo leque de aplicações afetando diversos setores da economia. Como ressaltado anteriormente, essas tecnologias são denominadas tecnologias de propósito geral.

Mostrou-se também (tabela 24) que essas tecnologias estão, de fato, espalhadas em vários setores da economia brasileira. Neste item, a tabela 28 apresenta as principais aplicações, efetivas e potenciais, das nanotecnologias na configuração produtiva do Brasil. Como no caso das atividades econômicas, as nanotecnologias tanto são utilizadas para diversas aplicações como em cada área de aplicação há a participação de diferentes nanotecnologias.

Entretanto, convém mencionar que nem sempre as relações apontadas são diretas. Algumas vezes, a empresa ou instituto de pesquisa desenvolve diferentes nanotecnologias em aplicações bastante distintas. Por exemplo, é pouco provável que nanotecnologias para medicina tenha relação direta, por exemplo, com o setor automobilístico. Contudo, a instituição em questão desenvolve pesquisa em nanomateriais e nanosensores que podem ser aplicados tanto para uso em medicina, -

para identificar células específicas, por exemplo, - quanto para a fabricação de *chips* de computador que, entre seus usos inclui a automobilística.

Dessa forma, a relação existente não é aleatória. Ela parte das atividades das empresas, que apontaram as principais aplicações já em exercício, ou aquelas que elas esperam alcançar num futuro próximo, referentes às nanotecnologias as quais desenvolvem atividades. Nesse sentido, as relações apontadas na tabela, ainda que nem sempre diretas, servem como *proxy*, a partir de esforços que não são divergentes, mas que apontam trajetórias de nanotecnologias que se relacionam e convergem para determinadas aplicações.

Partindo das nanotecnologias, são os nanomateriais e os nanocompósitos que encontram as mais diferentes aplicações, com destaque para os materiais avançados, biotecnologia e biomédica, processamento industrial, e instrumentos e materiais para uso médico e odontológico. As nanobiotecnologias, por sua vez, ficam mais restritas a certas aplicações, como biotecnologia e biomédica, cosméticos e medicamentos.

Dentre as aplicações que tiveram mais impacto nas empresas pesquisadas, por ordem decrescente das principais nanotecnologias, destacam-se:

- i) Biotecnologia e Biomédica (Nanomateriais, nanobiotecnologia, nanocompósitos, nanomedicina e nanomagnetismo);
- ii) Materiais Avançados (Nanomateriais, nanocompósitos, nanoeletrônica, nanobiotecnologia, nanoinstrumentos e nanoferramentas);
- iii) Energia (Nanomateriais, nanocompósitos, nanoinstrumentos, nanoenergia e nanoeletrônica);
- iv) Processamento Industrial (Nanomateriais, nanocompósitos e nanobiotecnologia);
- v) Eletrônica e Comunicação (Nanomateriais, nanoeletrônica, nanoinstrumentos, nanoferramentas e nanocompósitos);
- vi) Instrumentos e materiais para uso médico e odontológico (Nanomateriais, nanocompósitos e nanobiotecnologia);
- vii) Automobilística (Nanomateriais, nanocompósitos e nanoeletrônica);
- viii) Cosméticos (Nanobiotecnologia, nanomateriais e nanocompósitos).

Além dessas, também vale destacar a química não-farmacêutica com os nanomateriais em polímeros e defensivo agrícola (agroindústria), as aplicações relacionadas à defesa e aeronáutica (áreas estratégicas), meio-ambiente e alimentos.

No tocante às outras aplicações, destacam-se tecidos de vestuário (relacionados aos bens de consumo), defensivo agrícola (química) e modificação de polímeros (química).

Tabela 28 – Projetos relacionados às principais aplicações das nanotecnologias desenvolvidas nas empresas

	Automobilística	Aeronáutica	Alimentos	Eletrônica e Comunicações	Química Não-Farmacêutica	Farmacêutica (Medicamentos)	Farmacêutica (Cosméticos)	Materiais Avançados	Biotecnologia e Biomédica	Instrumentos e materiais para uso médico e odontológico	Processamento Industrial	Bens de Consumo e Aplicações	Energia	Meio-Ambiente	Defesa	Outro
Total	23	11	8	32	18	14	23	50	58	29	34	18	38	9	16	9
NanoMeio-Ambiente	-	-	-	1	-	1	1	-	2	-	-	-	2	1	1	-
Nanobiotecnologia	-	-	1	-	2	4	7	3	11	5	3	2	2	1	1	1
Nanoenergia	1	1	-	1	-	-	-	1	1	-	1	1	3	1	2	-
Nanomateriais	7	1	4	9	6	4	6	17	13	10	13	7	8	1	2	4
Nanoeletrônica	3	1	-	5	2	-	-	4	1	-	1	2	3	-	1	-
Nanosensores	2	1	-	1	1	1	2	1	3	1	1	-	1	-	1	-
Nanoinstrumentos	1	1	-	4	2	-	-	3	1	-	2	-	4	-	1	-
Nanoferramentas	1	1	-	3	3	-	1	3	2	-	2	-	3	-	1	-
Nanofotônica	1	1	-	1	-	-	-	1	1	-	1	-	2	1	1	-
Nanocompósitos	3	1	2	3	2	2	3	8	10	7	5	5	4	2	2	2
Nanomagnetismo	1	1	-	1	-	-	-	2	4	2	2	-	2	1	1	-
Nanomecânica	1	1	-	2	-	-	-	2	1	-	1	-	2	-	1	-
Nanomedicina	1	1	-	1	-	1	-	2	4	1	1	-	2	1	1	-
Outro	1	-	1	-	-	1	3	3	4	3	1	1	-	-	-	2

Fonte: Elaboração própria.

Este cenário parece corroborar em vários aspectos outro estudo (INSTITUTO INOVAÇÃO, 2005) que apontou que as oportunidades de negócio em nanotecnologia no Brasil tendiam a surgir primeiramente nos mercados de cosméticos, produtos provenientes da indústria química (catalisadores, tintas, revestimentos) e petroquímica, plásticos, borrachas e ligas metálicas. Ainda segundo o estudo, pouco mais de 15 empresas haviam então incorporado a nanotecnologia em seus processos, sendo que a maioria nas áreas petroquímica, química, cerâmicos, metálicos e poliméricos (plásticos

e borrachas), com previsão de crescimento na ordem de 200% até o final de 2007, número que foi superado, como considerado anteriormente (capítulo 5).

Dessa forma, esse contexto mostra que, além da identificação das principais nanotecnologias utilizadas e desenvolvidas nas empresas no Brasil, é preciso levar em conta, da mesma forma, os principais condutores da demanda dessas nanotecnologias, levando-se em consideração o papel e o potencial de determinadas empresas que já atuam e têm papel de destaque na produção industrial nacional como, por exemplo, a produção de cosméticos, plástico, energia, materiais de uso médico e odontológico, entre outras.

Deste modo, busca-se identificar determinadas 'trajetórias nanotecnológicas', levando-se em consideração o conjunto das demais nanotecnologias associadas, as atividades inovativas relacionadas, e as aplicações desejadas.

Esta representação visa criar futuras estratégias de tomadas de decisão não apenas quanto aos tipos de nanotecnologias que se deseja estimular, mas nas ações que se deseja priorizar, identificando gargalos e áreas potenciais, de modo que um conjunto de ações seja considerado.

6.3 – Identificando trajetórias nanotecnológicas: uma proposta analítica

A análise desenvolvida até aqui procurou apresentar algumas das principais características das empresas e das nanotecnologias utilizadas e desenvolvidas por elas. Neste item, a análise a ser apresentada estará baseada em uma proposta de agrupamento de nanotecnologias a partir do tipo de atividade nanotecnológica desenvolvida pelas empresas e as áreas que possuem potencial de desenvolvimento nas empresas brasileiras e que já são objeto de estudo nos grupos de pesquisa de diversas instituições no país. A conformação dos grupos apresentados leva em conta, além do tipo de nanotecnologia principal, as nanotecnologias relacionadas e as principais áreas e setores que essas nanotecnologias são empregadas, ou que as empresas esperam empregar tão logo os projetos estejam amadurecidos.

Dessa forma, o quadro analítico apresentado procura tentar identificar certos padrões produtivos e de demanda que possibilitem vislumbrar a conformação de trajetórias relacionadas às nanotecnologias utilizadas e desenvolvidas nas empresas brasileiras pesquisadas neste trabalho. Assim, uma vez identificadas as principais nanotecnologias relacionadas às atividades das empresas, algumas especificações mais

detalhadas, e suas principais aplicações (efetivas e potenciais), buscou-se reunir essas tecnologias em cinco grupos principais: i) Nanomateriais; ii) Nanobiotecnologia; iii) Nanoeletrônica; iv) Nanoenergia e Meio-ambiente; e v) Nanomedicina, Cosméticos e Saúde.

Cada um dos grupos é representado por um conjunto de empresas que desenvolvem determinadas atividades nanotecnológicas. Portanto, o ponto de partida da análise será a nanotecnologia na empresa, levando-se em consideração tanto questões relacionadas a especificidades das empresas quanto das nanotecnologias, em um misto das abordagens do sujeito e do objeto. Dessa forma, uma mesma empresa pode estar relacionada em mais de um grupo, uma vez que suas nanotecnologias estão vinculadas e suas dinâmicas são, de alguma forma, análogas.

Por fim, é importante destacar que esta classificação em grupos afins de nanotecnologias trata-se apenas de uma aproximação analítica, sem qualquer intenção restritiva. O objetivo é evidenciar que as dinâmicas das nanotecnologias devem ser vistas em conjunto, de forma relativamente coordenada, a partir de uma estrutura organizada, ou seja, de forma sistêmica. Espera-se que ao identificar possíveis trajetórias, proporciona-se, também, o quadro analítico necessário para a identificação de sistemas nanotecnológicos de inovação.

6.3.1 – Nanomateriais

Os nanomateriais representam um conjunto de nanotecnologias que estão presentes em diversos setores da economia. Eles fazem parte de uma ‘primeira geração’ de nanotecnologias que chegaram – ou estão prestes a chegar – no mercado em diferentes áreas de aplicação.

Utilizando diversas técnicas de preparação, como rotas químicas ou processos físicos, os nanomateriais são também bastante difundidos como insumos básicos para outras nanotecnologias, caracterizados tanto pela flexibilidade de aplicações quanto pela capacidade de difundir inovações¹⁶⁰. Deste modo, os nanomateriais representam um tipo de ‘nanotecnologia de propósito geral’, uma vez que agrega uma diversidade de nanotecnologias que podem ser utilizadas para diversos fins.

¹⁶⁰ Segundo Rafols *et al.* (2010, p.4), “(...) since nanomaterials are enabling technologies, they can be used for a variety of applications in myriad commercial sectors – and their function and use (and meaning) can be re-interpreted at different points in diverging value chains. Thus industrial dynamics of the nanomaterials is characterised by flexibility of applications and distributed innovation”.

Como insumos, os nanomateriais são incorporados em outros produtos manufaturados por empresas de diferentes setores. Assim, eles não são normalmente comercializados como ‘produto final’. Em geral, os nanomateriais não são utilizados para produzir produtos radicalmente novos, mas para melhorar a qualidade dos produtos já existentes. Produtos que contêm nanomateriais podem ser tanto intermediários (ex. componentes funcionais como os biosensores e diodos emissores de luz) como produtos para consumo final (ex. meias com nanopartículas de prata ou células solares), cujos desempenhos melhoram significativamente devido às propriedades específicas dos nanomateriais.

Sua flexibilidade de aplicação significa que os nanomateriais podem ser utilizados para várias aplicações. Ademais, dependendo da aplicação, há ainda a possibilidade de utilizar diferentes tipos de nanomateriais, desde que as mesmas propriedades específicas sejam proporcionadas por diferentes nanomateriais. Por exemplo, os nanotubos de carbono podem ser usados para transporte de medicamento (*drug delivery*), aplicações fotovoltaicas e sensores, entre outros. No entanto, para aplicações fotovoltaicas específicas, pode-se utilizar nanomateriais como nanopartículas de óxidos metálicos ou *quantum dots*, ao invés de nanotubos de carbono. Os painéis solares fotovoltaicos, por exemplo, são dispositivos que utilizam materiais compostos de silício cristalino e o arsenieto de gálio na produção de células solares. Essa combinação de elementos está relacionada aos nanocompósitos, que são tipos especiais de nanomateriais.

Quanto à sua capacidade de difundir inovação, os nanomateriais fazem parte de uma extensa e ramificada cadeia de produção onde as inovações ocorrem em diferentes estágios. Elas resultam não apenas da síntese de novos nanomateriais, mas também de novos processos de produção, novas formas de incorporar nanomateriais já conhecidos em produtos existentes, etc. Em um produto como um automóvel ou mesmo em uma casa, pode-se incorporar diversos nanomateriais. Isso pode ocorrer da mesma forma que se incorpora diferentes químicas ou tecnologias de informação e comunicação, ou seja, não como uma tecnologia facilmente identificável, mas pela junção de várias tecnologias intermediárias. Deste modo, pela heterogeneidade dos nanomateriais incorporados em ‘produtos finais’, as nanotecnologias não devem ser regidas apenas com base no seu uso final, mas em etapas anteriores, quando estão sujeitas a múltiplas pressões e restrições que podem impulsionar, puxar e moldar seu desenvolvimento em certas direções (RAFOLS *et al.*, 2010).

Foi, portanto, baseada nessas características das nanotecnologias utilizadas e desenvolvidas nas empresas que optou-se pela configuração analítica proposta no quadro 15, referentes aos grupos associados aos ‘nanomateriais’, que inclui também os nanocompósitos.

Deste modo, os nanomateriais foram divididos em quatro grupos, destacando as principais nanotecnologias relacionadas e aplicações correspondentes: i) Nanomateriais estruturais; ii) Nanomateriais compósitos; iii) Nanomateriais condutores; e iv) Nanomateriais direcionados.

Nanomateriais estruturais

O que foi denominado ‘nanomateriais estruturais’ representa um conjunto de nanomateriais que servem de base para diversas aplicações, criados para vários usos. Trata-se da manipulação de nanopartículas para a utilização em uma ampla variedade de produtos e/ou processos.

Por exemplo, uma das empresas pesquisadas desenvolve rotas químicas de fabricação de prata que pode ser incorporada em diversos materiais, sobretudo antimicrobianos de prata. Uma outra empresa, por sua vez, desenvolve uma ‘palmilha sequinha’ que absorve o suor dos pés, inibindo o mau cheiro, a partir da incorporação de nanopartículas de prata. Uma terceira criou uma linha de calçados e meias com tecidos funcionais que, entre outras funções, utilizam as nanopartículas de prata para funções de liberação de cheiro e antimicrobiano. Outra, ainda, desenvolve tecidos de rafia condutivos e tecidos de rafia com propriedades antibactericidas, também a partir da manipulação de alguns nanomateriais: polipropileno (PP) com argila; PP com grafite e PP prata (antibacterial). Estes nanomateriais podem ser combinados a outras nanotecnologias em diferentes setores e aplicações.

Neste caso, tão importante quanto as principais aplicações, é necessário ter a estrutura física e de conhecimento adequada para que essas nanotecnologias estejam nas empresas e instituições de pesquisa, como um tipo de plataforma para as demais nanotecnologias e nanomateriais. No caso das empresas pesquisadas, observou-se um importante esforço das empresas dos setores automobilístico e químico no sentido de incorporar nanotecnologias relacionadas a tintas, plásticos e condutores, além do tratamento de superfície.

Deste modo, associados a outras nanotecnologias, os nanomateriais estruturais podem funcionar como um pilar onde os demais nanomateriais e nanotecnologias podem operar. Sua dinâmica depende tanto da infraestrutura disponível quanto da atuação das empresas em atividades específicas.

Quadro 15 – Configuração analítica dos grupos referentes aos nanomateriais

Grupos	Descrição	Principais nanotecnologias relacionadas	Aplicações
Nanomateriais estruturais	Conjunto de nanomateriais criados para diversos usos. Em geral, trata-se da manipulação de nanopartículas para utilização em produtos e/ou processos.	Nanoeletrônica; nanosensores; nanoinstrumentos e ferramentas; nanomedicina; nanobiotecnologia.	Automobilística; Aeronáutica; Alimentos; Eletrônica e de Comunicação; Química (plásticos, tinta); Bens de Consumo; Materiais Avançados; Energia; Defesa.
Nanomateriais compósitos	Nanomateriais formados pela composição de materiais que passam a apresentar características químicas e físicas diferenciadas.	Nanomeio-ambiente; nanoenergia; nanobiotecnologia; nanoeletrônica; nanosensores.	Automobilística; Alimentos; Eletrônica e de Comunicação; Química (plásticos, tinta); Medicamentos; Cosméticos; Materiais Avançados; Processamento Industrial; Materiais para uso médico e odontológico; Bens de Consumo; Defesa.
Nanomateriais condutores	Em geral, são nanomateriais utilizados como suporte para determinadas aplicações específicas; atuando, por exemplo, como ‘condutor elétrico’ ou como ‘condutor de medicamentos’.	Nanomeio-ambiente; nanobiotecnologia; nanoeletrônica; nanosensores; nanoferramentas; nanomagnetismo; nanomedicina.	Automobilística; Eletrônica e de Comunicação; Medicamentos; Cosméticos; Materiais Avançados; Biotecnologia e Biomédica; Materiais para uso médico e odontológico; Bens de Consumo.
Nanomateriais direcionados	Conjunto de nanomateriais direcionados para uma utilização específica, em geral apresentando as mesmas características dos demais grupos de nanomateriais.	Nanomeio-ambiente; nanoenergia; nanobiotecnologia; nanoeletrônica; nanosensores; nanomagnetismo; nanomedicina.	Automobilística; Química (Plásticos, Tinta); Medicamentos; Cosméticos; Materiais Avançados; Biotecnologia e Biomédica; Materiais para uso médico e odontológico; Processamento Industrial; Bens de Consumo; Energia; Meio-ambiente.

Fonte: Elaboração própria.

Nanomateriais compósitos

Os nanomateriais compósitos são tipos especiais de nanomateriais formados pela composição de materiais que passam a apresentar características químicas e físicas diferenciadas. Neste caso, são materiais que a partir da combinação de elementos passaram a apresentar características e mesmo funções diferenciadas. A composição de nanomateriais pode reforçar estruturas através do preenchimento dos ‘espaços vazios’

nos materiais, realçando, assim, suas propriedades mecânicas, eletromagnéticas, químicas, entre outras.

Por exemplo, uma das empresas entrevistadas desenvolve um produto que leva um revestimento químico à base de fluorzirconio, que através de reações químicas, produz uma camada nanocerâmica em substratos metálicos (aço comum, zincado, alumínio) com a finalidade de aumentar a resistência à corrosão e a adesão da tinta de pintura. Este processo trouxe tanto benefícios econômicos (processos com menos estágios) quanto ambientais (redução do uso de recursos, eliminação do fósforo) quando comparado aos produtos/processos de mesma finalidade utilizados anteriormente (fosfatização). Outra empresa, através da aplicação de nanopelícula de cristais de bissulfeto de molibdênio e de polietileno, foi capaz de regular o coeficiente de atrito entre elementos de fixação.

No Brasil, diversas aplicações estão associadas aos nanomateriais compósitos. Nestes casos, sua dinâmica igualmente depende de uma infraestrutura física associada às capacitações mais gerais em relação aos elementos que se combinam, como e onde podem ser aplicados. Aqui, empresas relacionadas ao setor automobilístico são relevantes tanto na produção, por exemplo, de pistões automotivos com catalisadores nanométricos, quanto na aplicação de tecnologias de pinturas em tintas desenvolvidas por elas ou por empresas fornecedoras. Ainda nessas empresas, novas possibilidades nas áreas de sensoriamento, com novas ligas para condutores metálicos, novos sistemas de conexão elétrica que, combinados com a nanoeletrônica e nanosensores, também são relevantes no cenário brasileiro. Na fabricação de cosméticos, a combinação de elementos, associadas à nanobiotecnologia, na forma de emulsão, por exemplo, também tem se mostrado relevante na dinâmica dos materiais compósitos.

Nanomateriais condutores

O conjunto dos nanomateriais condutores se refere àqueles nanomateriais que servem de suporte para aplicações nanotecnológicas específicas. Eles funcionam como meios condutores para determinadas finalidades. Por exemplo, uma das empresas entrevistadas desenvolve diversos ativos nano e micro encapsulados para aplicação cosmética. Neste caso, ela funciona como fornecedora de encapsulados para empresas de cosméticos utilizarem nos seus produtos que, por sua vez, estão relacionados com nanobiotecnologia e nanosensores.

Outras empresas estão desenvolvendo e testando materiais para uso em memristores, relacionados à resistência de corrente e tensão, ou seja, materiais condutores elétricos; novas possibilidades nas áreas de sensoriamento, com novas ligas para condutores metálicos e novos sistemas de conexão elétricas na área automotiva; e novas propriedades tribológicas¹⁶¹ dos materiais plástico-condutivos.

Um terceiro exemplo derivado das empresas pesquisadas se refere ao uso de nanomateriais para condução de medicamentos (*drug delivery*) através de nanopartículas para liberação controlada. A empresa desenvolve produto, em vias de ser disponibilizado comercialmente, relacionado a uma nanoemulsão de um anestésico. Além desse, também desenvolve mais dois medicamentos: medicamentos lipossomais com nanopartículas que melhoram a absorção de fármacos, ao mesmo tempo que diminuem seus efeitos colaterais; e um adjuvante vacinal com sílica nanoestruturada e uma nanoemulsão lipídica para carreamento de oncológicos.

Nesses casos, a dinâmica inovativa desses nanomateriais está relacionada ao desenvolvimento de materiais voltados para atender/possibilitar determinadas funcionalidades específicas, ou seja, eles estão, de certo modo, subordinados a determinados usos e aplicações. Sua trajetória está fortemente relacionada às de outras atividades nanotecnológicas como, por exemplo, a biotecnologia para cosméticos e medicamentos.

Nanomateriais direcionados

Os nanomateriais direcionados referem-se àqueles nanomateriais voltados para determinadas aplicações. Em geral, esse conjunto de nanomateriais agrupa as características dos demais, com a diferença de que sua aplicação é específica pra determinado uso. Sua aplicação pode estar relacionada tanto a uma nova característica e/ou funcionalidade de um produto final quanto de uma aplicação específica em um determinado ramo de atividade.

Verificou-se, na pesquisa realizada, que os nanomateriais foram utilizados com bastante frequência em determinadas aplicações específicas relacionadas com outras

¹⁶¹ A *tribologia* é a ciência que estuda a *fricção*, o *desgaste* e a *lubrificação* que têm lugar durante o contato entre superfícies sólidas em movimento relativo.

nanotecnologias (tintas, cosméticos e materiais médicos e odontológicos), cujos efeitos (e benefícios) ultrapassaram tais aplicações, afetando outras esferas de aplicações.

Por exemplo, uma das empresas estudadas utilizou um produto que facilita a aplicação de tinta à pó, sendo utilizado como base de ancoragem de revestimento para aplicação em produtos da linha branca: fogão, geladeiras, bebedouros e *freezers*. Esses produtos incluem engenharia de superfície e interfaces que melhoram significativamente as propriedades superficiais. Esses materiais também estão relacionados aos nanomateriais estruturais e compósitos. Além disso, esta atividade gerou outros ‘impactos secundários’ positivos para o meio-ambiente, uma vez que a empresa reduziu em 40% o consumo de água e 60% em energia, reduzindo “o passivo ambiental antes gerado no processo de pintura”. O processo produtivo tornou-se mais eficiente e rápido, exigindo menor esforço do operador na operação.

Outro exemplo relacionado ainda à tinta foi de uma empresa que utilizou nanomaterial (nanocerâmica) utilizando processo de revestimento eletroforético¹⁶² para preparação de pintura para processamento industrial. Neste caso, a empresa informou que além de estarem trabalhando com material que não é poluente, houve redução do tempo de preparação do processo, além de reduzir o consumo de materiais, inclusive fosfato, e aumento da produtividade.

No caso dos cosméticos, os nanomateriais estão voltados para nanoencapsulados e nanoemulsão, servindo como vetores ativos multifuncionais, aumentando a permeação e eficácia dos ativos convencionais. Neste caso, a nanotecnologia atua para melhor penetração de ingredientes ativos na pele e no cabelo, para a estabilização de substâncias e para a melhoria da eficácia e do sensorial dos produtos, uma vez que atua na liberação controlada dos ativos.

Por fim, outro exemplo bastante difundido nesta pesquisa foi a utilização da nanotecnologia de materiais para aplicação de materiais odontológicos. Neste caso, as aplicações vão desde a fabricação de creme dental composto com nanocristais de hidroxiapatita até o desenvolvimento de materiais específicos para uso odontológico. Um dos projetos pesquisados trata-se do desenvolvimento de superfície de implantes dentários com nanorugosidade e deposição de nanopartículas para melhorar o processo de osseointegração dos implantes. Isso possibilitou que a empresa incorporasse os resultados em novos produtos de implantes dentários. Outros exemplos foram a

¹⁶² Processo de revestimento que utiliza método de depósito de água com pintura ou revestimento claro sobre metal ou peças condutoras.

aplicação de adesivo odontológico contendo nanopartículas de fluoreto de itérbio, onde as nanopartículas permitem melhor controle da radiopacidade, ou seja, das imagens claras das radiografias dos dentes, peças protéticas metálicas, entre outros, i.e quando uma estrutura não é atravessada pelo raio X; o uso de porcelana odontológica reforçada com nanopartículas de zircônia para melhor resistência a tenacidade, fratura; cimento obturador contendo nanopartículas de sílica, para melhor controle da reologia do produto; processos de síntese de fosfatos de cálcio nanoestruturados em processos de secagem de nanopartículas e em tratamentos de superfície; e nanocompósitos para uso odontológico (resina composta para restauração dental, resina para colagem de bráquete, sistema adesivo para esmalte e dentina dental).

Neste contexto, a configuração analítica proposta mostra que a dinâmica relacionada aos nanomateriais está também relacionada a uma série de fatores associados aos de outras nanotecnologias, por isso, sua trajetória é complementar a de outras nanotecnologias. Atuando como uma nanotecnologia de propósito geral, sua relação com diversos setores e aplicações mostra que sua trajetória está relacionada com a de outras tecnologias afins, ora conduzindo ora seguindo outras dinâmicas. Dessa forma, ações voltadas para estimular os nanomateriais também refletirão em ações voltadas para estimular outras nanotecnologias, e vice-versa.

6.3.2 – Nanobiotecnologia

A nanobiotecnologia é a área que associa a nanotecnologia e a biotecnologia, ou seja, está ligada à manipulação de átomos e moléculas na escala nanométrica com capacidade de atuar sobre organismos vivos para obter resultados com aplicações tecnológicas e econômicas. Em outras palavras, é a nanotecnologia que quando aplicada às ciências da vida recebe o nome de nanobiotecnologia.

Diversas aplicações também podem ser relacionadas à nanobiotecnologia. Entretanto, diferentemente dos nanomateriais, sua utilização já está mais restrita à determinadas aplicações diretamente relacionadas à biotecnologia.

A nanotecnologia biomédica, por exemplo, na qual os bioengenheiros constroem partículas minúsculas combinando materiais inorgânicos e orgânicos, está assumindo a fronteira deste campo científico que progride em grande velocidade. Os avanços nesta área serão de extrema importância para diagnóstico, terapêutica, biologia molecular e bioengenharia. Se por um lado ainda está longe a viabilidade de construção de grande

parte dos nanodispositivos imaginados, por outro, já é bastante plausível o uso de nanosistemas para veiculação de drogas e tratamento de inúmeras doenças, como as que se baseiam em lipossomos e nanopartículas. Esses sistemas ficam particularmente interessantes se forem construídos a partir de nanopartículas magnéticas que, na área biomédica, devem atravessar a barreira endotelial e se acumular especificamente nas células-alvo, sem danos às células normais. Essas características podem ser atingidas por meio do recobrimento das partículas com um material biologicamente ativo, do controle de seus parâmetros físicos, tais como o tamanho da partícula, a susceptibilidade magnética da solução e o conhecimento do seu comportamento no organismo. Outra aplicação interessante para as nanopartículas magnéticas vem da possibilidade de associá-las a anticorpos monoclonais, moléculas feitas sob medida para reconhecer e se ligar às células tumorais. A associação de partículas magnéticas às células tumorais aumenta a sensibilidade em exames de ressonância magnética, proporcionando um diagnóstico mais precoce de metástases tumorais uma vez que, dessa forma, é possível a detecção de metástases com menos de 1mm de diâmetro, o que é impossível atualmente (LACAVA E MORAIS, 2004).

Além da aplicação biomédica, sobretudo na saúde humana, a nanobiotecnologia também pode ser eficazmente utilizada para o meio-ambiente. Apesar de ainda bastante incipientes, um alvo da nanobiotecnologia são os biossensores para poluentes que, aplicados à saúde pública, podem levar à detecção de contaminantes bacterianos em água e alimentos, encontrando melhores formas de detectar baixos níveis de toxinas ou proporcionar diagnósticos laboratoriais mais rápidos. Contudo, esta aplicação potencial ainda não se encontra disponível.

No Brasil, uma aplicação de grande relevância para a nanobiotecnologia está relacionada ao processamento de biocombustíveis que, além de proporcionar ganhos econômicos, também gera ganhos ambientais consideráveis. Os biocombustíveis são considerados uma solução sustentável de energia para o futuro. Nesse sentido, além das culturas tradicionais da cana-de-açúcar e milho, por exemplo, outras tecnologias emergentes estão tornando possíveis que a biomassa celulósica (madeira, grama, caules, etc.) também seja convertida em etanol. O etanol celulósico não compete com a produção de alimentos e tem potencial para reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 86% mais do que os combustíveis fósseis atuais. As técnicas atualmente utilizadas para a produção de etanol a partir do milho reduzem apenas 19% dos gases de efeito estufa. Já existem estudos com processos nanotecnológicos, desenvolvidos na Louisiana

Tech University, que podem imobilizar as enzimas utilizadas para converter a celulose em açúcares, o que permite que sejam reutilizadas várias vezes, reduzindo, assim, significativamente, o custo do processo em sua totalidade¹⁶³.

Este tipo de atividade também pode ser realizada no Brasil. Além de ser um grande produtor internacional de biocombustível, especificamente etanol, o país também possui uma das maiores empresas de energia do mundo, PETROBRÁS, e um centro de pesquisa de excelência internacional, EMBRAPA, que juntas podem realizar grandes avanços na nanobiotecnologia de biocombustíveis e, conseqüentemente, de meio-ambiente.

Em consonância com os biocombustíveis, outras importantes áreas de aplicação da nanobiotecnologia com grande potencial no Brasil é a agrícola e meio-ambiente. Na primeira, as principais aplicações identificadas são: i) nanofertilizantes para a liberação lenta e uso eficiente de água pelas plantas e fertilizantes; ii) nanocidas ou pesticidas encapsulados em nanopartículas para liberação controlada, ou nanoemulsão, para sua maior eficiência; iii) nanopartículas para conservação do solo; iv) fornecimento de nutrientes e medicamentos para pecuária e pesca; v) nanoescovas e membranas para purificação de água e solo; e vi) limpeza de viveiros e nanosensores para qualidade do solo e de vigilância sanitária vegetal, e para a agricultura de precisão.

A nanobiotecnologia relacionada ao meio-ambiente também oferece perspectiva de grandes avanços que permitem melhorar a qualidade de vida e ajudar a preservar o meio-ambiente. Uma importante aplicação da nanobiotecnologia está relacionada ao tratamento ou remediação da poluição. Como visto, as nanopartículas possuem excelentes propriedades de adsorção de metais e substâncias orgânicas. Como isso, a coleta das partículas e remoção de poluentes pode ser facilitada pelo uso, por exemplo, de nanopartículas magnéticas. As propriedades redox e/ou de semicondutor de nanopartículas podem ser aproveitadas em processos de tratamento de efluentes industriais e de águas e solos contaminados baseados na degradação química ou fotoquímica de poluentes orgânicos. Além disso, a nanotecnologia também possibilita a fabricação de sensores cada vez menores, mais seletivos e mais sensíveis para a detecção e monitoramento de poluentes orgânicos e inorgânicos no meio-ambiente.

¹⁶³ Consulta em :

http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/lqes_news/lqes_news_cit/lqes_news_2009/lqes_news_novidas_1353.html

Neste cenário, o quadro 16 apresenta a configuração analítica proposta para a análise das nanobiotecnologias efetivas e potenciais no Brasil. Deste modo, as nanobiotecnologias foram divididas em cinco grupos, destacando as principais nanotecnologias relacionadas e aplicações correspondentes: i) Materiais nanobiotecnológicos; ii) Nanobiotecnologia para saúde humana; iii) Nanobiocombustível; iv) Nanobiotecnologia para aplicação agrícola; e v) Nanobiotecnologia para meio-ambiente.

Quadro 16 – Configuração analítica dos grupos referentes às nanobiotecnologias

Grupos	Descrição	Principais nanotecnologias relacionadas	Aplicações
Materiais nanobiotecnológicos	Conjunto de nanomateriais biocompatíveis criados para diversos usos, utilizados seja na indústria química de materiais biodegradáveis, ou na área médica	Nanomateriais; nanocompósitos; Nanosensores; Nanomeio-ambiente; nanomedicina.	Biomédica; Química (plásticos, tinta); Medicamentos; Cosméticos; Alimentos; Bens de Consumo; Materiais Avançados; Materiais para uso médico e odontológico; Energia.
Nanobiotecnologia para saúde humana	Utilização da nanobiotecnologia para uso terapêutico e cosmético, sobretudo através de sistema de entrega e liberação controlada de fármacos (<i>drug delivery</i>) ou cosméticos	Nanomateriais; nanocompósitos; Nanosensores; Nanomeioambiente; nanomedicina; nanomagnetismo. nanoferramentas.	Biomédica; Medicamentos; Cosméticos; Materiais para uso médico e odontológico.
Nanobiocombustível	Nanobiotecnologia utilizada para desenvolvimento e produção de biocombustíveis	Nanomateriais; nanocompósitos; Nanomeioambiente; nanoenergia.	Automobilística; Aeronáutica; Energia; Meio ambiente; Bens de Consumo.
Nanobiotecnologia para aplicação agrícola	Referem-se às nanobiotecnologias utilizadas na produção, controle e liberação de fertilizantes e defensivos agrícolas; melhoramentos genéticos e plantas e animais	Nanomateriais; nanocompósitos; nanomeioambiente; nanoenergia nanosensores.	Química; Materiais Avançados; Alimentos; Meioambiente.
Nanobiotecnologia para Meioambiente	Conjunto de nanotecnologias que possuem efeitos ambientais (ex. biotecnologia para tratamentos de efluentes)	Nanomateriais; nanocompósitos; nanomeioambiente; nanoenergia; nanoeletrônica; nanosensores.	Química (plásticos, tinta etc); Automobilística; Alimentos; Cosméticos; Têxtil; Processamento Industrial; Médica.

Fonte: Elaboração própria.

Materiais Nanobiotecnológicos

Os materiais nanobiotecnológicos referem-se ao conjunto de nanomateriais biocompatíveis criados para diversos usos, em geral relacionados a materiais

biodegradáveis e materiais utilizados na área médica e odontológica. Muitos desses materiais possuem propriedades que imitam aquelas apresentadas por compostos encontrados na natureza (Proteínas, lipídios, etc.), e são denominados materiais biomiméticos. Muitos desses nanomateriais têm sido investigados e projetados justamente para apresentarem propriedades biomiméticas.

Esse tipo de material poderá ser aplicado, por exemplo, na confecção de sistemas de embalagens auto-organizáveis e auto-reconstituíntes que poderão ser mais eficientes que os materiais convencionais na proteção dos alimentos contra contaminação química e biológica. Essa melhoria traz um enorme impacto em toda logística de armazenamento e distribuição de alimentos, evitando desperdícios e afetando diretamente a economia do setor.

Ainda, esses materiais também são utilizados nos outros tipos de nanobiotecnologias apresentados no quadro 16. Como exemplo, uma das empresas entrevistadas neste trabalho desenvolve invólucros constituídos de insumos biodegradáveis, biocompatíveis e naturais que encapsulam ativos hidrofílicos e hidrofóbicos em tamanho nano ou micrométrico, reduzindo o tamanho destes ativos, aumentando a permeação e a eficácia dos ativos convencionais e livres, utilizado na indústria de cosméticos.

Outra empresa está desenvolvendo substância em escala nanométrica para desenvolvimento de formulação fotoprotetora e hidroxiapatita nanométrica para composição de biomaterial indicado para substituição óssea.

Nanobiotecnologia para saúde humana

Possivelmente trata-se do tipo de nanobiotecnologia mais comumente utilizado, uma vez que se refere à utilização da nanobiotecnologia para uso terapêutico e cosmético, através de sistemas de entrega e liberação controlada de fármacos (*drug delivery*) e substâncias para tratamento estético (cosméticos).

Como exemplo da pesquisa nas empresas, destacam-se as seguintes atividades:

- Desenvolvimento de nanopartículas metálicas e orgânicas para uso em métodos de diagnósticos, pesquisa clínica e terapêuticos;
- Pesquisa básica e aplicada em produtos e processos para desenvolvimento de protótipos para diagnósticos e entrega mediada de fármacos (*Drug delivery* e Nanosensoriamento);

- Nanocarreadores de fármacos e nanosensores para diagnóstico;
- Empresa cujo principal produto desenvolvido na área da nanotecnologia, e em vias de ser disponibilizado comercialmente, refere-se à nanoemulsão de um anestésico. Além desse, também desenvolvem medicamentos lipossomais com nanopartículas que melhoram a absorção de fármacos, ao mesmo tempo que diminuem seus efeitos colaterais; e desenvolvimento de um adjuvante vacinal com sílica nanoestruturada e uma nanoemulsão lipídica para carreamento de oncológicos.

Nanobiocombustível

Refere-se à utilização da nanobiotecnologia para desenvolvimento e produção de biocombustíveis. O Brasil é o segundo maior produtor de biocombustíveis no mundo, atrás apenas dos Estados Unidos. Produz biodiesel a partir da cana-de-açúcar e da soja e, em menor medida, do milho, da palma, da gordura animal e até mesmo de sementes de linhaça. Além da sua capacidade de produção de biodiesel e etanol, sobretudo pela presença da Petrobrás, outra área identificada onde pesquisas e atividades de desenvolvimento já estão sendo realizados é em relação à produção de biocombustíveis provenientes de algas marinhas.

Inclusive, uma usina de biocombustível à base de algas marinhas será construída no Brasil no final de 2013. Trata-se de um dos projetos de maior escala já feito no mundo e utilizará as emissões de carbono no processo de produção. Esta "fazenda de algas" será instalada em Pernambuco em uma plantação de cana-de-açúcar que produz etanol.

Nesse sentido, é claro o potencial do Brasil em relação às atividades de produção de biocombustíveis. No entanto, a incorporação da nanotecnologia nesta área ainda não está amplamente difundida. Muita pesquisa ainda está por ser feita nesta área. De certo, é necessário que este potencial seja aproveitado e estimulado, uma vez que a nanotecnologia tanto potencializa determinadas características e funcionalidades como também tem o potencial de atuar para diminuir os danos ao meio-ambiente.

Nanobiotecnologia para aplicação agrícola

Conjunto de nanobiotecnologias utilizadas na produção, controle e liberação de fertilizantes e defensivos agrícolas e melhoramentos genéticos de plantas e animais. Além dos nanofertilizantes para a liberação lenta, nanocidas ou pesticidas encapsulados em nanopartículas para liberação controlada e nanopartículas para conservação do solo, há também a manipulação da nanobiotecnologia das sementes.

Através da modificação genética, é possível contornar adversidade - como clima divergente do ideal tornando menos produtivas e mais vulneráveis ao ataque de pragas - e cultivar variedades de plantas em regiões onde o clima, a princípio, tornaria tal prática inviável. Entretanto, essa modificação genética ainda é alvo de estudo de nanobiotecnologistas e gera muita controvérsia na sociedade. Um amplo debate social ainda deve ser feito nesse sentido.

Em relação aos agrotóxicos, um dos grandes problemas trazidos por eles é que, em geral, são nocivos não apenas às pragas, mas também ao ser humano, animais e toda a biota em geral. Por outro lado, visto que as plantas sofrem ataques de pragas, a aplicação desses compostos torna-se um mal necessário para aumentar a produção. No entanto, quando se possui controle fino da estrutura da matéria, é possível desenvolver novos defensores agrícolas menos nocivos e ecologicamente corretos, que possam ser absorvidos como nutrientes pelas plantas e/ou sofrer detração rapidamente, sem contaminar solo, leitos de água, ar, etc. A nanobiotecnologia fornece esse nível de controle fino da matéria, visto que suas técnicas permitem a manipulação individual de moléculas e agregados de átomos.

Nanobiotecnologia para meio-ambiente

Uma das principais aplicações potenciais relacionadas à nanobiotecnologia para o meio-ambiente é em relação ao tratamento de efluentes que, pelo lado da biotecnologia, baseia-se no aumento da eficiência do processo natural, adicionando-se bactérias selecionadas e concentradas. As bactérias utilizadas são aquelas com maior capacidade para decomposição, conforme o material predominante no efluente. O processo consiste na inoculação contínua das bactérias no fluxo de efluente, o qual deverá ser retido durante alguns dias. Com a adição da nanotecnologia ao processo, resinas magnéticas com capacidade de remover metais de um meio aquoso são adicionadas no tratamento de efluentes. As nanopartículas em questão são capazes de remover contaminantes onde não há eficácia de outros processos químicos,

potencializando os efeitos da biotecnologia ao tratamento. Nesse contexto, vale destacar que uma das empresas pesquisadas utilizou nanopartículas magnéticas e fotocatalizadores para tratamento de água.

Assim, a adição da nanotecnologia ao tratamento de efluentes com biotecnologia apresenta-se como uma área ainda a ser melhor explorada em relação ao papel da nanobiotecnologia para o meio-ambiente.

6.3.3 – Nanoeletrônica

A nanoeletrônica se refere à aplicação da nanotecnologia para a construção de dispositivos eletrônicos, ou seja, se refere à elaboração de dispositivos a nível atômico de modo a aproveitar as propriedades da natureza na pequena escala *quantum* através da manipulação individual dos átomos e moléculas de modo a criar novos tipos de dispositivos eletrônicos (WILSON *et al.*, 2002). Talvez seja a área da nanotecnologia onde a miniaturização seja mais evidente.

Esta área abrange os dispositivos eletrônicos em geral, optoeletrônica, spintrônica, eletrônica molecular, fotônica, etc. Abrange ainda dispositivos em nanoescala que agem como sensores e atuadores em aplicações como nanofluidos e motores moleculares, dentre outros (ABDI, 2010b).

A eletrônica foi uma área que cresceu muito nas últimas décadas, com avanços significativos, sobretudo com a evolução dos semicondutores, que amplificaram as propriedades condutivas dos circuitos integrados. Por isso, a nanoeletrônica representa uma fatia significativa no mundo das nanotecnologias¹⁶⁴.

Além das aplicações relacionadas diretamente a processadores, a nanoeletrônica também tem importante papel em outras aplicações como captação e transmissão de energia, controles eletrônicos, dispositivos de potência, fotônica, entre outros.

O Brasil possui um relativo atraso na eletrônica tradicional frente a países como EUA e Japão, por exemplo. Seria interessante o país ter passado pelo desenvolvimento da microeletrônica antes de seguir na produção de circuitos nanoeletrônicos. Deste modo, o país deve aproveitar, além de áreas com potencial específico no país, como nanoeletrônica para energia solar, determinados nichos, a partir de infraestrutura

¹⁶⁴ Em 2007, o mercado global de semicondutores é atualmente da ordem de US\$ 250 bilhões e o de sistemas compostos por componentes semicondutores está quase alcançando o montante de US\$ 2 trilhões (http://lges.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/pontos_vista/pontos_vista_entrevistas27-1.html).

composta por fábricas de componentes para mercados específicos, formação de uma rede de produtores e fornecedores de insumos, serviços auxiliares e recursos humanos. Como exemplos de nichos podemos citar: células fotovoltaicas; lâmpadas LED (*Light Emitting Diodes*); dispositivos de potência; fábrica CMOS (*complementary metal-oxide-semiconductor*); identificação por radiofrequência; segurança (por exemplo, câmaras digitais), e outros.

Deste modo, o quadro 17 apresenta a configuração analítica proposta para a nanoeletrônica no Brasil, levando em consideração, por um lado, as limitações existentes e, por outro, os nichos potenciais do país. Assim, os nanoeletrônicos foram divididos em cinco grupos, destacando as principais nanotecnologias relacionadas e aplicações correspondentes: i) Nanofotônica e optoeletrônica; ii) Nanodispositivos semicondutores; iii) Nanodispositivos eletrônicos de nanomateriais; iv) Nanoeletrônica para telecomunicações; e v) Nanoeletrônica para energia.

Nanofotônica e optoeletrônica

Dispositivos que transformam a luz em movimentos eletrônicos úteis ou sinais eletrônicos são chamados dispositivos fotônicos ou optoeletrônica. Uma vez que campos magnéticos interagem com carga elétrica, eles podem transferir alguma de sua energia eletromagnética para qualquer carga que encontre. Da mesma forma, uma vez que todas as matérias contêm elétrons e íons, ondas de luz ou fótons sempre são afetadas por matérias de um jeito ou de outro, mesmo que as matérias sejam claras. Quando os fótons ou ondas eletromagnéticas interagem com a carga em diferentes materiais, elas podem refletir o material, atravessar os diferentes materiais, ou ser absorvidas por eles. A absorção significa que o fóton é destruído e sua energia surge ou como calor ou como uma longa mudança no movimento da carga interna, nos elétrons ou íons. Ambos os efeitos podem ser utilizados. O calor é produzido num absorvedor solar, enquanto os elétrons com movimentos modificados são produzidos em uma célula solar ou um fotodiodo, sendo este um dispositivo utilizado para detectar sinais para comunicações em fibras óticas (WILSON *et al.*, 2002).

Deste modo, a nanofotônica lida com a interação da luz com a matéria na nanoescala. A optoeletrônica, por sua vez, é baseada em efeitos quânticos da luz em materiais semicondutores, às vezes na presença de campos elétricos. Refere-se ao

estudo e aplicação de aparelhos eletrônicos que fornecem, detectam e controlam luz. É normalmente considerada um subcampo da fotônica.

Quadro 17 – Configuração analítica dos grupos referentes aos nanoeletrônicos

Grupos	Descrição	Principais nanotecnologias relacionadas	Aplicações
Nanofotônica e optoeletrônica	Conjunto de nanotecnologias que lidam com a interação da luz com a matéria em escala nanométrica.	Nanomateriais; nanocompósitos; Nanosensores; Nanomeioambiente; nanoenergia; Nanomedicina; nano-ótica; nanomagnetismo.	Eletrônica e comunicações; Automobilística; Alimentos; Aeronáutica; Bens de Consumo; Cosméticos; Materiais Avançados; Meio ambiente; Energia; Medicina e saúde.
Nanodispositivos semicondutores	Conjunto de nanocircuitos integrados com potencial ampliado de condutividade. Seu emprego é importante na fabricação de componentes eletrônicos tais como diodos, transístores, entre outros	Nanomateriais; nanocompósitos; Nanosensores; nanomedicina; nanomagnetismo.	Eletrônica e comunicações; Automobilística; Aeronáutica; Bens de Consumo; Materiais Avançados; Energia.
Nanodispositivos eletrônicos de nanomaterias	Compreende diversos dispositivos relacionados à incorporação de materiais nanoestruturados, como nanotubos de carbono, grafenos, filmes finos, superfícies e interfaces.	Nanomateriais; nanocompósitos; Nanomeioambiente; nanoenergia.	Eletrônica e comunicações; Automobilística; Aeronáutica; Bens de Consumo; Materiais Avançados; Energia Meio ambiente; Medicina e saúde.
Nanoeletrônica para telecomunicações	Nanoeletrônica relacionada à recepção e transmissão de dados através de nanofios, nanotubos, lasers, dispositivos fotônicos para transmissão, processamento e armazenamentos de dados.	Nanomateriais; nanocompósitos; Nanomeioambiente; nanoenergia; nanofotônica; nanosensores.	Eletrônica e comunicações; Automobilística; Aeronáutica; Defesa; Instrumentos e materiais para uso médico.
Nanoeletrônica para energia	Dispositivos voltados para captação, transformação, armazenamento e emissão de energia, como baterias e capacitores, LEDs e energia solar.	Nanomeioambiente; nanoenergia; nanoeletrônica; nanosensores.	Automobilística; Bens de Consumo; Aeronáutica; Energia.

Fonte: Elaboração própria.

Inclui aplicações em células solares, *displays* (em televisores, câmeras fotográficas, telefones celulares), estruturas optoeletrônicas orgânicas e inorgânicas (LEDs), lasers, fotodetectores, fotolitografia, além de aplicações relacionadas à diagnóstico e tratamento de saúde, como na nanobiofotônica¹⁶⁵.

Uma das empresas entrevistadas realiza atividades em nanofabricação por litografias com feixe de elétrons, possibilitando aumento na capacidade de análise

¹⁶⁵ Área que emprega a Luz como ferramenta essencial em procedimentos relacionados às ciências da vida.

química e física das propriedades e capacidade de produzir nanoestruturas tridimensionais para sensores e dispositivos para diversas aplicações com grande reprodutibilidade, confiabilidade e sensibilidade.

Além disso, existe um grande potencial para aplicação da nanobiofotônica na área médica, sobretudo na produção de medicamentos direcionados, atividade que vem sendo desenvolvida por diversas empresas e institutos de pesquisa no país, conforme já mencionado.

Nanodispositivos semicondutores

Os nanodispositivos semicondutores são materiais semicondutores nanoestruturados que pela manipulação de moléculas e átomos individuais, ou aos elétrons desses átomos e moléculas que constituem os materiais semicondutores, potencializam a capacidade de transmissão e armazenamento de dados.

Através de aplicações e desenvolvimentos de nanoestruturas e nanodispositivos utilizando-se das propriedades físicas, químicas, elétricas e óticas desses materiais e materiais avançados, resulta em uma maior miniaturização de dispositivos e sensores.

O exemplo mais evidente de um dispositivo semicondutor são os transistores, que são unidades fundamentais que compõem os microprocessadores, presentes em todos os equipamentos eletrônicos digitais, circuitos de memória de PCs, equipamentos de CD, TV e vídeo etc.

No Brasil, o entendimento das propriedades magnéticas (*spin*) em nanoestruturas semicondutoras pode vir a ser de grande utilidade num futuro próximo na área de gravação magnética, utilizando-se do controle de correntes eletrônicas e das propriedades associadas com a polarização de *spin*. Tais avanços podem levar em breve a um aumento substancial na capacidade de gravação e armazenamento (discos rígidos) utilizando-se dessas novas propriedades magnéticas de nanoestruturas semicondutoras.

O país já conta com alguns grupos de pesquisa já desenvolvendo pesquisas relacionadas aos semicondutores nanoestruturados, com destaque para as atividades da rede NanoSemiMat, focadas em quatro linhas de atividades principais, mas que eventualmente se superpõem: i) materiais semicondutores nanoestruturados; ii) propriedades óticas e de transporte em nanodispositivos e semicondutores nanoestruturados; iii) nanodispositivos à base de silício e carbeto de silício, semicondutores de banda larga, cerâmicas e polímeros; e iv) aplicações de

nanodispositivos: sensores óticos e físico-químicos. Entre os vários estudos em andamento dentro do contexto da NanoSemiMat, destaca-se a compreensão dos fenômenos físicos e químicos que associados a moléculas e átomos individuais, ou aos elétrons desses átomos e moléculas, que constituem os materiais semicondutores.

Uma das instituições de pesquisa entrevistadas neste trabalho se dedica à construção de sistemas diversos, como de deposição de filmes finos e semicondutores diversos visando crescimento *in situ*; sistema de medidas de transporte eletrônicos a altas e baixas temperaturas com foto luminescência do tipo *pumping-probe* com o desenvolvimento de laser de femto-segundo e microondas com sincronismo por relógio de rubídio; além de desenvolvimento evaporadora por *electron beam* para estudos em nanoestruturas, sendo projeto cedido a vários grupos de pesquisa em institutos e universidades do país. Estes desenvolvimentos criaram a base e infraestrutura para produção própria de amostras e pesquisa em semicondutores e sistemas nanoestruturados. Além disso, também criou-se infraestrutura para análise das propriedades estruturais, eletrônicas e de transporte destas, incluindo a fabricação de dispositivos semicondutores para estudos de fenômenos diversos.

Nanodispositivos eletrônicos de nanomateriais

Referem-se aos materiais nanoestruturados utilizados em dispositivos eletrônicos. Geralmente são utilizados para potencializar determinadas funções desses dispositivos. O exemplo mais comum desses materiais é o nanotubo de carbono. Os nanobubos são cilindros longos e finos com diâmetro entre 1 e 10 nanômetros. São moléculas de carbono que possuem propriedades incomuns de altíssimo valor no campo da nanotecnologia, eletrônica, ótica e outros campos tecnológicos da ciência dos materiais. Devido as suas notáveis propriedades de condução térmica, mecânica e elétrica, os nanotubos de carbono podem ter aplicações que possibilitem inúmeras melhorias nas estruturas dos materiais. Podem ser produzidos na forma de tubos de parede única, em quantidades ilimitadas, ou em toneladas, na forma de mistura de tubos de paredes diversas.

Os nanotubos pertencem à família do fulereno¹⁶⁶ e, em geral, possui um formato esférico e uma estrutura oca com paredes formadas pelo desdobramento de uma folha

¹⁶⁶ Forma alotrópica do Carbono, a terceira mais estável após o diamante e o grafite.

de átomos de carbono em um plano, o grafeno¹⁶⁷. Dentre as suas propriedades, aquelas que mais se destacam são condutividade, resistência (mais resistentes que o tubo de aço) e elasticidade.

A contínua miniaturização dos componentes de silício e controle fino das propriedades eletrônicas em pequenas escalas pode gerar problemas de difícil solução relacionados à capacidade de transmissão de informação que podem ser tratados na indústria de eletrônicos a partir da utilização dos nanotubos. A interação dos nanotubos com os átomos do silício tem sido objeto de muito estudo. Eles têm sido considerados ‘materiais dos sonhos’ para a arquitetura de pequenos circuitos, uma vez que são resistentes, não-reativos, tolerantes a temperaturas extremas e permitem que passe corrente quase sem qualquer resistência. Além disso, são menores do que quaisquer fios existentes atualmente na eletrônica.

No Brasil, os nanotubos estão presentes nas atividades de P&D, mas ainda bastante incipientes nas atividades inovativas para efetiva implementação. No entanto, das empresas entrevistadas nenhuma apontou atividades relacionadas à utilização de nanotubos para aplicação em eletrônicos.

Nanoeletrônica para telecomunicações

Além dos nanomateriais condutores, como os nanotubos de carbono e a fibra ótica, outras nanotecnologias como a nanofotônica para transmissão e os nanosensores também desempenham importante papel dentre as nanotecnologias para telecomunicações.

A aplicação da fotônica no setor de telecomunicações está relacionada aos sistemas de chaveamento de alta velocidade, onde ela pode prover volumes enormes de tráfego de dados na internet e/ou em outras redes de dados. Um sistema de chaveamento se refere ao processo de vincular um emissor à um receptor. O chaveamento também cria uma estratégia para fazer com que vários usuários compartilhem os recursos de uma rede. No setor de telecomunicações, em geral, os chaveamentos mais comuns são chaveamento por circuito e por fibra ótica. No entanto, a possibilidade do chaveamento totalmente ótico promete trazer grandes revoluções.

¹⁶⁷ O grafeno é o material mais forte já demonstrado, consistindo em uma folha planar de átomos de carbono densamente compactados em uma grade de duas dimensões.

Em um chaveamento por circuito, estabelece-se um percurso entre a origem dos dados e o destino. Assim, uma vez neste processo, o percurso em questão passa a ser utilizado somente para transmitir dados entre a origem e o destino. Na telefonia fixa, por exemplo, quando um telefone estabelece comunicação com o outro, um circuito físico é estabelecido entre eles e é mantido enquanto durar a ligação. Somente quando a ligação termina, o circuito é desfeito e o caminho pode ser utilizado por outras ligações. Neste tipo de chaveamento a largura de banda sempre se mantém enquanto durar a transmissão e a sua capacidade nunca diminui. Uma desvantagem é que este é um tipo de chaveamento é mais caro e os canais não utilizados na comunicação são desperdiçados.

Nos equipamentos de telecomunicações por fibras óticas, deve-se primeiro converter a luz para eletricidade, para que o chaveamento se dê e, a seguir, converter novamente a eletricidade em luz. Apesar de ser um processo bastante moderno, ele ainda limita as velocidades das redes óticas.

Com a nanofotônica, tem-se a possibilidade de criar uma técnica de chaveamento que utiliza um feixe muito tênue de luz para controlar outro feixe de luz, muito mais forte. Este processo poderá permitir que equipamentos de telecomunicações óticos funcionem de forma mais eficiente, além de abrir caminho (futuro) para facilitar a construção de computadores quânticos. Em outras palavras, este tipo de chaveamento com dispositivos nanofotônicos permitem a transmissão, processamento e armazenamento de dados além da natureza clássica, mas da quântica.

De qualquer modo, esta aplicação ainda é incipiente. Um longo caminho ainda deve ser percorrido para que este tipo de aplicação se efetive. Sendo a nanoeletrônica ainda pouco desenvolvida no Brasil, estes exemplos mostram áreas potenciais onde o país pode aproveitar oportunidades e se inserir de forma regularmente competitiva.

Nanoeletrônica para energia

Referem-se aos dispositivos voltados para captação, transformação, armazenamento e emissão de energia. Dentre os principais dispositivos destacam-se o Diodo Emissor de Luz (*LED-Light Emitting Diode*), baterias e capacitores e as promissoras células solares.

Os *LEDs* são diodos de material semicondutor que quando energizados emitem luz visível. Normalmente são utilizados em equipamentos eletrônicos, painéis e

displays. Outros tipos de diodos orgânicos, conhecidos como *OLEDs* (*Organic Light Emitting Diode*), apresentam novas possibilidades. Atualmente o *OLED* é considerado a tecnologia de *display* de tema plana mais promissora, por possibilitar a construção de novos painéis bastante finos, brilhantes e de baixo peso; eficientes, do ponto de vista de consumo de energia, e passíveis de uso sob condições de iluminação natural. Por essas vantagens comparativas, a tecnologia de *OLEDs* se faz muito atraente, especialmente, para o caso de aparelhos portáteis. Pesquisas na área de *OLEDs* empregando nanotecnologia mostram que há possibilidade de aumento de até 60% da eficiência desses dispositivos, o que viabilizaria economicamente a sua produção e comercialização em futuro próximo (CGEE, 2010; ABDI, 2010b).

Em relação às baterias e capacitores, as primeiras se referem à dispositivos de conversão de energia eletroquímica recarregáveis, enquanto os capacitores são dispositivos de armazenamento de energia. As baterias são geralmente baseadas em reações de oxirredução para converter energia química em energia elétrica, das quais participam metais como chumbo, níquel, cádmio, entre outros. Os capacitores são componentes que armazenam energia em um campo elétrico, muitas vezes utilizados em conjunto com baterias, visando melhor aproveitamento e controle da utilização de energia.

A introdução da nanotecnologia nas baterias aumenta a disponibilidade de força e diminui o tempo necessário para recarregá-las. Isto ocorre ao cobrir a superfície de um eletrodo com nanopartículas, aumentando a área de superfície do eletrodo permitindo que mais corrente flua entre o eletrodo e a química dentro da bateria.

Além disso, há um aumento da vida útil da bateria utilizando nanomateriais para separar líquidos na bateria dos eletrodos sólidos quando não existe corrente na bateria. Esta separação previne as descargas de baixo nível que ocorrem em baterias normais, o que acaba aumentando a vida útil da bateria consideravelmente.

Dentre as aplicações mais interessantes estão o uso em celulares, computadores portáteis, automóveis híbridos e elétricos, entre outros, com potencial de grande impacto na área de energia e meio ambiente.

Vale ressaltar que uma das empresas entrevistadas neste trabalho desenvolve baterias de chumbo-ácido com eletrodos de material nanoparticulado, que permite ciclos de recarga rápida de baterias de chumbo-ácido, como descrito anteriormente. Estas baterias têm sido utilizadas nos últimos anos para armazenar e transportar energia. Este tipo de bateria é uma opção para armazenar energia solar.

Deste modo, destaca-se esta área bastante promissora relacionada à produção de energia a partir de células solares¹⁶⁸. O desenvolvimento de chumbos no Brasil é necessário para avaliar esta opção de armazenamento. A associação de energia solar para produção de hidrogênio, armazenamento e posterior uso em células a combustível é também considerada uma rota importante neste contexto (CGEE, 2010).

6.3.4 – Nanoenergia e meio ambiente

A nanoenergia se refere aos dispositivos em nanoescala ou processos que agem sobre energia em suas várias formas (térmicas, química, elétrica, radiante, nuclear, etc.) para geração de energia, transmissão, uso e armazenamento em aplicações baseadas em elétrica, hidrogênio, solar ou biocombustíveis. Envolve o uso de materiais nanoestruturados, ferramentas e processos, assim como modelos teóricos para estudar e construir dispositivos. O nanomeio ambiente, por sua vez, refere-se às interações entre nanoestruturas e o meio ambiente, tendo em vista o desenvolvimento de dispositivos e processos para controle de poluição, remediação, tratamento de resíduos e gestão ambiental, bem como estudos de toxicidade e bioacumulação para avaliar os riscos advindos do uso de nanotecnologias (ABDI, 2010b).

O Brasil é um país cuja matriz energética é conhecida em todo o mundo. Rico em recursos naturais de reservas fósseis (petróleo e gás), possui também programa de energia nuclear e é ainda reconhecido pela sua produção de biocombustíveis. Somando-se a isso, o país possui uma extensa faixa territorial que recebe intensa luz solar durante a maior parte do ano e áreas com bastante vento, o que favorece a possibilidade de produção de energia a partir da emissão de luz solar e eólica. Nesse contexto, o uso da nanotecnologia possibilita, além de dispositivos funcionais de geração e armazenamento de energia, alternativa ambientalmente interessante baseados em fontes renováveis que não envolvem geração de subprodutos além de corrente elétrica e calor.

Além da produção de energia voltada para a conservação ambiental, o uso da nanotecnologia também abrange aplicações relacionadas ao uso de defensivos agrícolas baseados em liberação controlada, produção de novos materiais nanoestruturados de fontes renováveis e/ou biodegradáveis e desenvolvimento de nanodispositivos voltados para tratamento de águas e efluentes.

¹⁶⁸ A próxima seção tratará a energia a partir de células solares de forma mais abrangente. Aqui, o objetivo é se referir apenas à aplicação da nanoeletrônica nesta área.

Deste modo, o quadro 18 apresenta a configuração analítica proposta para a nanoenergia e maio ambiente no Brasil, baseada tanto nas vantagens comparativas existentes no país (biocombustíveis e defensivos agrícolas) quanto nos potenciais identificados (energias alternativas e tratamento de efluentes). Assim, apresentam-se cinco grupos, destacando as principais nanotecnologias relacionadas e as principais aplicações correspondentes: i) Biocombustíveis; ii) Energias alternativas; iii) Nanomateriais renováveis; iv) Defensivos agrícolas e fármacos; e v) Nanodispositivos para tratamento de efluentes.

Biocombustíveis

A produção de biocombustíveis apresenta-se como uma possibilidade sustentável de energia. Entretanto, um grande desafio ainda a ser vencido é o desenvolvimento de tecnologias para produzir combustíveis de baixo custo econômico e energético, minimizando o uso de recursos escassos, como terra arável e água. O consumo mundial de biocombustíveis no mundo gira em torno de 2% dos combustíveis para transporte, com grande expectativa de aumento nos próximos anos. Contudo, diversas questões ainda devem ser consideradas para que os biocombustíveis sejam totalmente sustentáveis. Diferentes matérias-primas biológicas, ou biomassas, deverão ser convertidas em biocombustíveis que serão transformados em produtos para negócios e aplicações. Os principais biocombustíveis produzidos por meio de processos de conversão bioquímica, termoquímica ou biológicos são o álcool e o biodiesel. Esses processos de conversão da biomassa envolvem etapas que demandam várias propriedades dos materiais empregados (CGEE, 2010).

Como mencionado, o Brasil é o segundo maior produtor de biocombustíveis no mundo, atrás apenas dos Estados Unidos. Produz biodiesel a partir da cana-de-açúcar e da soja e, em menor medida, do milho, da palma, da gordura animal e até mesmo de sementes de linhaça. No entanto, mais de 90% da produção atual de biocombustíveis é de etanol, produzido por fermentação.

A produção de biocombustíveis ainda causa diversos problemas ambientais uma vez que gera grandes quantidades de gases de efeito estufa, consome grandes quantidades de água e terra arável, além de causar poluição de algumas áreas. A utilização da nanotecnologia neste processo, especificamente no uso de catalisadores nanoestruturados, visa aumentar a eficiência e a seletividade de processos industriais

resultando em um aproveitamento mais eficiente de matérias-primas, com menor consumo de energia e a produção de quantidades menores de resíduos indesejáveis. Além disso, eles ainda podem trazer vantagens quanto à redução da escala das plantas industriais e permitir a geração do mesmo produto através de um número menor de etapas de produção (*Ibid.*).

Além disso, uma área em potencial, ainda em estudo, é em relação aos materiais resistentes à ação química, materiais poliméricos resistentes a solventes e materiais nanorecobrimentos de superfícies contra a ação ácida e a abrasão. Nestes casos, são apontados o uso de cerâmicas nanoestruturadas em aplicações como filtros, compósitos resistentes à abrasão e recobrimentos resistentes a altas temperaturas, e de polímeros para resinas compósitas de revestimentos resistentes à abrasão e ataque químico, membranas nanoporosas e resinas de troca iônica.

Por fim, como também mencionado anteriormente, existe um grande esforço de P&D na produção de biocombustíveis nas áreas biotecnológicas com o uso de algas e enzimas para converter biomassa em biocombustível. Essas áreas também são vistas como importantes para consolidar a posição do Brasil como importante produtor mundial de biocombustíveis, além de abrir caminho para outras oportunidades (algas) com importantes resultados social, ambiental e econômico.

*Energia alternativa*¹⁶⁹

Além dos biocombustíveis, outras fontes de energia podem ser consideradas e potencializadas a partir do uso das nanotecnologias. Entre essas, destacam-se: Hidrogênio e Células a combustível, Energia Eólica e Energia Solar. Apesar de ainda incipientes, cujos graus de desenvolvimento ainda estão relacionados à P&D, vislumbra-se potencial para direcionamentos futuros.

O Hidrogênio é considerado um vetor energético limpo e versátil que pode ser usado para diversas aplicações e que tem potencial para ser uma alternativa aos combustíveis fósseis. Sua combustão produz água e calor, sem gerar poluentes ou CO₂. No entanto, seu uso ainda requer diversas inovações e desenvolvimentos na sua produção, transporte e armazenamento. A maneira mais eficiente de se usar o Hidrogênio é por meio da produção de energia elétrica com células a combustível.

¹⁶⁹ Este item está baseado em CGEE (2010).

Quadro 18 – Configuração analítica dos grupos referentes à nanoenergia e meio ambiente

Grupos	Descrição	Principais nanotecnologias relacionadas	Aplicações
Biocombustíveis	Refere-se à utilização de nanotecnologias para produção de biocombustíveis	Nanomateriais; Nanocompósitos; Nanosensores; Nanobiotecnologia; Nanofotônica.	Automobilística; Aeronáutica; Alimentos; Bens de Consumo; Materiais Avançados; Meio ambiente; Energia; Química.
Energia alternativa (Células solares, Eólica, Hidrogênio e Células a combustível)	Conjunto de nanotecnologias utilizadas para produção de fontes de energia alternativas	Nanomateriais; nanocompósitos; Nanosensores; Nanofotônica; Nanomagnetismo; Nanodots.	Eletrônica e comunicações; Automobilística; Aeronáutica; Bens de Consumo; Materiais Avançados; Meio ambiente; Energia.
Nanomateriais diversos renováveis e/ou biodegradáveis	Conjunto de nanomateriais produzidos a partir de recursos renováveis e/ou biodegradáveis	Nanomateriais; Nanocompósitos; Nanobiotecnologia; Nanomedicina.	Alimentos; Automobilística; Bens de Consumo; Cosméticos; Materiais Avançados; Energia; Meio ambiente; Medicina e saúde.
Controle de defensivos agrícolas e fármacos	Refere-se às nanopartículas para liberação controlada de nutrientes e pesticidas em solos e plantas e fármacos	Nanomateriais; Nanocompósitos; Nanofotônica; Nanosensores; Nanobiotecnologia; Nanomedicina.	Alimentos; Materiais Avançados; Meio ambiente; Medicina e saúde.
Nanodispositivos para tratamento de efluentes	Refere-se à utilização de nanodispositivos para tratamento e remediação de água e efluentes	Nanobiotecnologia; Nanoeletrônica; Nanosensores.	Meio ambiente; Medicina e saúde; Energia.

Fonte: Elaboração própria.

A conversão do Hidrogênio em energia elétrica em células a combustível representa uma alternativa energética atraente devido, sobretudo, a sua alta eficiência, versatilidade e baixo impacto ambiental. Contudo, questões relacionadas ao custo e durabilidade ainda inviabilizam a comercialização das células a combustível. Progressos nessa direção dependem de avanços no desenvolvimento de novos materiais e no entendimento básico dos fenômenos em escala nanométrica envolvidos na interação do Hidrogênio com materiais. Uma importante tecnologia que vem sendo desenvolvida nesse sentido são as células a combustível a membrana polimérica. Elas baseiam-se em catalisadores à base de nanopartículas de platina dispersas em substratos de carbono para promover a reação de próton, elétrons e oxigênio em água.

Uma das empresas entrevistadas neste trabalho dedica-se ao desenvolvimento e manufatura de sistemas nano fabricados para células a combustível do tipo polímeros de troca iônica usados com Hidrogênio. Em outras palavras, trata-se de um arranjo de

membrana e eletrodo com polímero iônico baseado em catalisador de Platina para eletrodos. Além de gerar sistema de energia alternativa, esta tecnologia na empresa permitiu a manufatura completa dos dispositivos reguladores de desempenho da célula a combustível, evitando a importação a custos elevados proposta pelos distribuidores internacionais contatados.

Este exemplo mostra que, ainda que a tecnologia esteja em fase inicial de desenvolvimento, empresas no Brasil já perceberam seu potencial e vêm se engajando nessas atividades.

Outras tecnologias de produção de Hidrogênio envolvem a separação das moléculas de água. A separação da água de maneira renovável, usando energia de fontes como eólica e solar, e o uso de Hidrogênio para produzir energia constitui um ciclo fechado. Minimizar as barreiras energéticas para separação e recombinação da água é área prioritária da catálise e nanociência.

A energia eólica é um tipo de energia limpa e renovável sem emissão de quaisquer resíduos e sem a necessidade de uso de qualquer combustível durante sua operação. Entre 2006 e 2007 houve um aumento da produção de energia eólica de 140% na América do Sul. No Brasil, a capacidade de geração de energia eólica é de cerca de 230 MW, fração pequena do potencial estimado de 140 mil MW. Para se aumentar a eficiência da produção, o diâmetro dos rotores das turbinas foi aumentado para cerca de 110 metros de comprimento. Estas dimensões demandam materiais com boa estabilidade mecânica e ambiental. As pás devem ser rígidas para se evitar deflexão excessiva e resistentes para não fraturar ou estar sujeita a fadiga, e ainda ser o mais leve possível. Compósitos de carbono têm sido aplicados devido a sua disponibilidade proveniente da indústria aeroespacial. Apesar de existirem grupos de pesquisa na área de energia eólica no país, as atividades se concentram no levantamento do potencial eólico, na conexão com a rede de distribuição, mas não na pesquisa de materiais. Deste modo, a inserção de materiais nanoestruturados para a energia eólica, sobretudo na produção de pás mais resistentes, apresenta-se como uma importante oportunidade a ser explorada, principalmente levando-se em consideração o potencial de produção de energia eólica no país.

Por fim, outra fonte de energia com grande potencial no Brasil é a energia solar. Existem duas principais formas de geração de energia solar: solar térmica e solar fotovoltaica. Na primeira, a radiação solar é convertida em calor usado diretamente em aquecedores de água ou concentrada para geradores a vapor para produção de

eletricidade. A célula solar fotovoltaica, por sua vez, usa semicondutores para converter a radiação solar em eletricidade, que pode ser usada localmente ou conectada à rede de distribuição. É neste último tipo de geração de energia solar que o uso das nanotecnologias é mais evidente.

As células solares podem estar baseadas em nanopartículas de semicondutores ou nanotubos revestidos ou preenchidos, individualmente ou como filmes, reticulados com nanofios condutores de eletrodos, ou especialmente envernizados com óxido de titânio (WILSON *et al.*, 2002).

O silício é o material mais utilizado na tecnologia de células fotovoltaicas e é empregado em diferentes estruturas. Existem estudos baseados na nanotecnologia para a criação de um cabo de silício 200 vezes mais fino que um fio de cabelo, e capaz de converter energia solar em eletricidade¹⁷⁰. Outro exemplo são as células fotovoltaicas orgânicas com a adição de corantes para permitir melhor absorção e conversão do espectro solar, compósitos orgânico-inorgânicos e nanocompósitos. Em algumas dessas células sensibilizadas com corantes, a camada ativa consiste de óxido de titânio nanocristalino depositado sobre uma superfície transparente e eletricamente condutora. As vantagens deste sistema incluem uso em qualquer condição de insolação.

Outra aplicação da nanotecnologia para a geração de energia solar, ainda em estudo, se refere à utilização de nanocristais de semicondutores que podem produzir mais de um par de elétron-buraco por fóton incidente. Este efeito pode resultar em um novo tipo de célula fotovoltaica mais barata e mais eficiente do que as disponíveis. O reduzido tamanho dos cristais na escala nanométrica, também chamados de pontos quânticos (*quantum dots*), sugerem novos efeitos quanto-mecânicos, que convertem energia em elétrons. Teoricamente, estas células poderão converter mais de 40% da energia da luz em potência elétrica¹⁷¹.

Vale ressaltar que um importante instituto de pesquisa no Brasil (IPEN-Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares) está desenvolvendo nanomateriais funcionais aplicados às áreas de energia: materiais aplicados a célula combustível e células solares.

¹⁷⁰ Os nanotubos de carbono também têm sido utilizados para concentrar energia solar. Eles são capazes de formar antenas que captam e focam com muito mais eficácia a energia da luz, o que poderia ajudar na criação de plantas solares menores e mais eficientes. Existem estudos que afirmam que o uso dos nanotubos de carbono aumenta em 100 vezes a eficiência em relação às células fotovoltaicas convencionais (<http://investirdinheiro.org/beneficios-da-nanotecnologia-fontes-renovaveis-de-energia-limpa-vantagens/>).

¹⁷¹ Os painéis fotovoltaicos atuais possuem menos de 20% de eficiência e limite teórico de 30%.

Nanomateriais renováveis e/ou biodegradáveis

Refere-se ao uso da nanotecnologia para a produção de novos materiais (plásticos, resinas, fibras, elastômeros, entre outros) voltados para reduzir os impactos negativos no meio ambiente. Destaca-se o uso de nanomateriais catalíticos que aumentam a eficiência e a seletividade de processos industriais, resultando em um aproveitamento mais eficiente de matérias primas, com consumo menor de energia e produção de quantidades menores de resíduos indesejáveis.

Esta temática está amplamente relacionada não apenas ao desenvolvimento dos nanomateriais como também ao melhor entendimento de diversos aspectos da nanobiotecnologia e da nanoenergia. A combinação da força e sinergia nessas áreas, associadas ao processamento industrial de bioprodutos, pesquisa e desenvolvimento de biomateriais e maior entendimento do ciclo de vida desses novos nanomateriais e seus impactos no meio ambiente são elementos essenciais na obtenção de produtos a partir de recursos renováveis, como a nanofibra de celulose, fibras naturais, plásticos biodegradáveis, entre outros.

Das empresas entrevistadas neste trabalho, duas merecem destaque em relação à essas temática. A primeira trata-se, mais uma vez, do IPEN que, além do desenvolvimento de nanomateriais funcionais aplicados às áreas de energia, também se dedica ao desenvolvimento de nanomateriais aplicados ao meio ambiente (zeolitas, nanopartículas magnéticas e fotocatalizadores aplicados a regeneração do meio ambiente). A segunda trata-se de uma empresa que desenvolve vetores ativos multifuncionais (VAM), cujos invólucros são constituídos de insumos biodegradáveis, biocompatíveis e naturais que encapsulam ativos hidrofílicos e hidrofóbicos em tamanho nano ou micrométrico.

Controle de defensivos agrícolas e fármacos

Refere-se ao uso e desenvolvimento de nanopartículas para liberação controlada de nutrientes e pesticidas em solos e plantas e para fármacos para uso veterinário.

De forma mais geral, são identificadas tecnologias, principalmente na química fina de defensivos agrícolas, com tecnologias em fertilizantes. Os produtos comercializados em defensivos referem-se às nanocápsulas para liberação controlada ou retardada do princípio ativo (o pesticida). Estão nesta categoria, os herbicidas, cujas

vantagens estariam na liberação direcionada do princípio ativo e sua proteção contra intempéries. No caso pecuário, há uma expectativa da entrada de fármacos veterinários nanoencapsulados no mercado.

Em resumo, as possíveis aplicações da nanotecnologia na agricultura são¹⁷²:

1. nanofertilizantes para a liberação lenta e uso eficiente da água pelas plantas e fertilizantes;
2. nanocidas ou pesticidas encapsulados¹⁷³ em nanopartículas para liberação controlada, ou nanoemulsão, para sua maior eficiência;
3. nanopartículas para a conservação do solo;
4. fornecimento de nutrientes e medicamentos para pecuária e pesca;
5. nanoescovas e membranas para purificação de água e o solo;
6. limpeza de viveiros e nanosensores para a qualidade do solo e de vigilância sanitária vegetal, e para a agricultura de precisão.

Nanodispositivos para tratamento de efluentes

Complementando o que foi dito anteriormente à respeito do tratamento de águas e efluentes relacionada à nanobiotecnologia, a utilização de nanomateriais também se apresenta como uma opção para essas atividades. O desenvolvimento de materiais adsorventes (à base de argilominerais, minerais industriais e biomassa) permitirá a descontaminação de grandes volumes de meios aquosos complexos e multicomponentes. Argilas são abundantes e apresentam-se em um número muito grande de formas cristalinas e de formas das suas partículas. O Brasil possui depósitos importantes de várias argilas, cujo conhecimento ainda é precário. Nesse sentido, o mapeamento e a caracterização das principais jazidas, conhecendo a sua nanoestrutura, são ações importantes para o desenvolvimento desta cadeia produtiva. Deste modo, apontam-se oportunidades para o desenvolvimento de materiais inovadores (cerâmicos, poliméricos, híbridos e outros) com funções de separação, de imobilização e sequestro de substâncias poluentes em líquidos, de modo a permitir a obtenção de água potável e o tratamento de efluentes (CGEE, 2010).

¹⁷² <http://investirdinheiro.org/desenvolvimento-da-nanotecnologia-na-agricultura-sustentabilidade/>

¹⁷³ O encapsulamento minimiza perdas e possibilita liberação lenta ou controlada de importantes nutrientes para as culturas.

Nesse contexto, vale mencionar que umas das empresas entrevistadas neste trabalho utiliza nanoargila para descoloração de efluentes e auxiliar de coagulação/floculação. O processo de floculação é utilizado tanto no tratamento de água para consumo como no tratamento de efluentes, onde após adicionar os coagulantes (sulfato de alumínio ou cloreto férrico), as partículas em suspensão se tornam pequenos flocos (flóculos), decantando em seguida.

Além dos nanomateriais, a nanotecnologia também vem permitindo tanto a fabricação de sensores cada vez menores, mais seletivos e mais sensíveis para a detecção e monitoramento de poluentes orgânicos e inorgânicos no meio ambiente, como a utilização de nanopartículas, uma vez que apresentam excelentes propriedades de adsorção de metais e substâncias orgânicas. A coleta das partículas e remoção de poluentes pode ser facilitada pelo uso, por exemplo, de nanopartículas magnéticas. As propriedades redox e/ou de semicondutor de nanopartículas podem ser aproveitadas em processos de tratamento de efluentes industriais e de águas e solos contaminados baseados na degradação química ou fotoquímica de poluentes orgânicos. Num cenário futurístico, um exército de nano-bots poderia ser utilizado para descontaminar microscopicamente sítios de derrame de produtos químicos.

6.3.5 – Nanomedicina, cosméticos e saúde

No Brasil, a nanotecnologia também vem se destacando e sendo aplicada em áreas relacionadas à saúde, em especial na medicina, cosméticos, e odontológica, onde identifica-se considerável potencial de crescimento no médio e longo prazos.

A aplicação da nanotecnologia na medicina (nanomedicina) está voltada para diagnóstico, prevenção e tratamento (cura) de doenças através do uso de diversas nanotecnologias. Materiais sintéticos, naturais ou híbridos nanoestruturados ou obtidos por rotas biotecnológicas, associados a terapias celulares, sistemas de liberação controlada de fármacos (*drug delivery*) são indispensáveis nesse contexto.

Os nanocosméticos, ou seja, os produtos cosméticos compostos por nanoestruturas, permitem o controle de substâncias sobre a pele, como a regulação da penetração e liberação do produto no tecido humano. A ação dos nanodispositivos é bastante eficaz, por exemplo, nos fotoprotetores (filtros solares) nas camadas externa da pele, ou nos cremes, onde a nanoestrutura correspondente estabiliza as moléculas e amplia a hidratação.

Nessas áreas, a presença dos nanosensores é bastante relevante, uma vez que estes identificam e distinguem células específicas no corpo, facilitando a entrega de medicamentos e/ou monitorando o desenvolvimento de possíveis doenças (diagnóstico). Um exemplo de nanosensor envolve o uso das propriedades fluorescentes do seleneto de cádmio através de pontos quânticos (*quantum dots*) como sensores para descobrir a presença de tumores no corpo.

Além dessas, a nanotecnologia está muito presente também nos materiais dentários e ortopédicos. Essas tecnologias já estão sendo bastante utilizadas nas empresas brasileiras, sobretudo os nanomateriais odontológicos, e são objetos de estudo em diferentes institutos de pesquisa no país, sobretudo à aplicação de nanotecnologia em implantes ortopédicos.

Neste contexto, o quadro 19 apresenta a configuração analítica proposta para a nanomedicina, cosméticos e saúde, levando-se em consideração as atividades já exercidas nas empresas e institutos de pesquisa no Brasil nessas áreas. Assim, apresentam-se três grupos, destacando as principais nanotecnologias relacionadas e as principais aplicações correspondentes: i) Sistema de entrega e liberação controlada de medicamentos (*drug delivery*); ii) Sistema de entrega e liberação controlada de cosméticos; e iii) Materiais diversos para uso médico e odontológico.

Sistemas de liberação controlada de medicamentos

A nanociência e a nanotecnologia abrem novos caminhos para o diagnóstico e tratamento de doenças crônico-degenerativas e negligenciadas, possibilitando que se evolua da medicina curativa para a medicina diagnóstica e uso de terapias menos invasivas. A complexidade dessas tecnologias é grande, pois os materiais nanoestruturados são normalmente associados a sistemas de liberação controlada ou à engenharia tecidual, o que vai exigir elevados recursos e RH altamente qualificados (CGEE, 2010).

Alguns exemplos de nanotecnologias associadas à diagnóstico e terapêutica são:

- Produtos fotônicos e pontos quânticos são substâncias ou nanopartículas que exibem fluorescência quando irradiados com luz. Podem ser associados à polímeros ou moléculas funcionais, tendo aplicação como marcadores para diagnóstico;

- Pontos quânticos de óxido de ítrio ou seleneto de cádmio, como já mencionado, são propostos como componentes diagnósticos para a detecção precoce de tumores. No Brasil, existem grupos de pesquisa que se dedicam a este assunto;
- Utilização de fluidos magnéticos, ou seja, suspensões coloidais contendo nanopartículas de óxido de ferro que atuam como marcadores no procedimento de magnetohipertermia, processo que consiste na injeção vetorizada de nanopartículas provocando aumento da temperatura local que pode levar a célula à morte.

Esses exemplos estão associados aos sistemas de liberação controlada de medicamentos, que consiste na liberação de fármacos ou outras substâncias ativas em locais precisos, por um determinado tempo, visando a eficácia terapêutica. O princípio ativo de interesse é incluído em um material (carregador), ou a ele ligado, e o conjunto de princípio-ativo/carregador é adicionado a um veículo como, por exemplo, um gel polimérico¹⁷⁴.

Das empresas entrevistadas nesta pesquisa, destacam-se as seguintes atividades relacionadas à esta temática:

- Desenvolvimento de nanomateriais funcionais aplicados à saúde: marcadores biológicos para sinalização de doenças e terapia;
- Pesquisa básica e aplicada em produtos e processos para desenvolvimento de protótipos para diagnósticos e entrega mediada de fármacos (*Drug delivery* e Nanosensoriamento): nanocarreadores de fármacos e Nanosensores para diagnóstico;
- Desenvolvimento de nanopartículas metálicas e orgânicas para uso em métodos diagnósticos, pesquisa clínica e terapêuticos;
- Desenvolvimento de nanoemulsão de anestésico; medicamentos lipossomais com nanopartículas que melhoram a absorção de fármacos, ao mesmo tempo que diminuem seus efeitos colaterais; e desenvolvimento de um adjuvante vacinal com sílica nanoestruturada e uma nanoemulsão lipídica para transporte de oncológicos;

¹⁷⁴ Na medicina, fármacos são encapsulados ou associados também a filmes ou membranas poliméricas. Além de polímeros, os fosfatos de cálcio, argilas e nanocompósitos (geralmente de matriz polimérica) também têm sido utilizados como carreadores em sistemas de *drug delivery*.

- Desenvolvimento de processo de agregação de drogas quimioterápicas na superfície de partículas de embolização, para realização de quimioembolização de tumores hepáticos;
- Pesquisa sobre processo biológico (resposta imune) das nanopartículas de sílica quando utilizado como adjuvante para vacinas de uso oral.

Deste modo, fica claro que estas atividades já se encontram relativamente maduras nas empresas e institutos de pesquisa no Brasil. No entanto, isso não significa que o país esteja em uma posição de destaque nestas nanotecnologias frente aos demais. Pelo contrário, ainda há muito espaço para inovações.

Quadro 19 – Configuração analítica dos grupos referentes à nanomedicina, cosméticos e saúde

Grupos	Descrição	Principais nanotecnologias relacionadas	Aplicações
Sistema de entrega e liberação controlada de fármacos (<i>drug delivery</i>)	Refere-se à utilização da nanotecnologia para uso terapêutico através de sistema de entrega e liberação controlada de fármacos (<i>drug delivery</i>)	Nanomateriais; Nanocompósitos; Nanosensores; Nanofotônica; Nanomeioambiente; Nanobiotecnologia; Nanoinstrumentos; Nanoferramentas.	Biomédica; Medicamentos; Cosméticos; Bens de Consumo; Materiais Avançados.
Sistema de entrega e liberação controlada de cosméticos	Refere-se à utilização da nanotecnologia para uso estético através de sistema de entrega e liberação controlada de cosméticos	Nanomateriais; Nanocompósitos; Nanosensores; Nanomeioambiente; Nanobiotecnologia.	Biomédica; Medicamentos; Cosméticos; Materiais avançados para uso médico; Meio ambiente.
Materiais para uso médico e odontológico	Utilização de materiais nanoestruturados para uso médico e odontológico	Nanomateriais; nanocompósitos; Nanomeioambiente; Nanobiotecnologia; Nanoinstrumentos; Nanoferramentas.	Automobilística; Aeronáutica; Energia; Meio ambiente; Bens de Consumo; Materiais para uso médico e odontológico.

Fonte: Elaboração própria.

Sistemas de liberação controlada de cosméticos

O Brasil também possui considerável capacitação e capacidade produtiva na produção de cosméticos, além de possuir importantes empresas que se destacam internacionalmente neste segmento.

Como no caso dos fármacos, os sistemas de liberação controlada também são explorados pela indústria de cosméticos. Neste caso, os carreadores do tipo sistema-

reservatório (nanocápsulas), onde é possível se identificar um núcleo diferenciado, podem ser sólidos ou líquidos. Aqui, a substância encontra-se envolvida por uma membrana, geralmente polimérica, isolando o núcleo do meio externo.

As aplicações da nanotecnologia na indústria de cosméticos estão relacionadas a produtos de preenchimento de rugas por meio de micropartículas de rejuvenescimento, tratamento por meio de emulsões com hidratação, e maquiagem com brilho diferenciado. Dentre as nanoestruturas utilizadas nesta indústria, destacam-se as nanopartículas, as nanoemulsões, nanoesferas e nanocápsulas.

Das empresas entrevistadas nesta pesquisa, destacam-se as seguintes atividades relacionadas aos cosméticos por quatro diferentes empresas:

- Desenvolvimento de ativos nano e micro encapsulados para aplicação cosmética;
- Produtos para tratamento facial como cremes antienvelhecimento. O processo produtivo empregado foi tecnologia de homogeneização por alta pressão;
- Nanoemulsão contendo óleos ou manteigas da biodiversidade brasileira para a hidratação da pele. Processo de fabricação também envolve o uso de homogeneização por alta pressão; e
- Obtenção de produtos cosméticos para tratamento capilar, usando matéria-prima nanotecnológica, D-pantenol.

Sendo um dos setores mais competitivos (e lucrativos) do mundo, o setor de cosméticos ainda apresenta muitas possibilidades e desafios em relação às nanotecnologias. No Brasil, a inserção da nanotecnologia nos cosméticos está cada vez maior. Empresas nacionais e estrangeiras competem cada vez mais neste mercado em expansão.

Materiais para uso médico e odontológico

A aplicação da nanotecnologia nos materiais para uso médico e odontológico vem cada vez mais ganhando importância no Brasil. Além dos materiais sintéticos, naturais ou híbridos nanoestruturados associados a terapias celulares e sistemas de liberação controlada de fármacos e cosméticos, materiais para implantes ortopédicos, próteses endovasculares (*stents*) e, principalmente, os materiais odontológicos vêm cada vez mais se destacando.

Das empresas entrevistadas nesta pesquisa, a grande maioria desenvolve atividades voltadas para o uso de nanomateriais para uso odontológico, a saber:

- Revestimento aplicado na superfície de *stents*;
- Desenvolvimento de superfície de implantes dentários com nanorugosidade e deposição de nanopartículas para melhorar o processo de osseointegração dos implantes. Esta atividade proporcionou aumento da participação no mercado interno e viabilizou exportação;
- Adesivo Odontológico contendo nanopartículas de fluoreto de itérbio. As nanopartículas permitem melhor controle da radiopacidade;
- Porcelana odontológica reforçada com nanopartículas de zircônia, o que proporciona melhor resistência à tenacidade a fratura;
- Cimento obturador contendo nanopartículas de sílica, proporcionando melhor controle da reologia do produto final;
- Tecnologia de processo de síntese de fosfatos de cálcio nanoestruturados, em processos de secagem de nanopartículas e em tratamentos de superfície;
- Produtos odontológicos em diamante-CVD¹⁷⁵. Deposição de nanoestruturas de diamante-CVD e nanoestruturas em filmes finos de DLC (*diamond-like-carbon*)
- Creme dental composto com nanocristais de hidroxiapatita. O desenvolvimento não foi continuado pela empresa.

Duas características chamam a atenção nestas empresas. Primeiro, a presença de empresas de vários portes voltadas para a produção, uso e comercialização de materiais voltados para saúde odontológica. Segundo, a maioria dessas empresas obteve recursos subvencionados pela FINEP para seus projetos voltados para nanotecnologia. Este cenário, portanto, aponta interessante potencial das empresas brasileiras para a produção e uso de materiais dentários nanoestruturados.

¹⁷⁵ O diamante-CVD é produzido sinteticamente e, possui basicamente as mesmas propriedades físicas e químicas do diamante natural. A técnica usada para produzir o diamante CVD é o de deposição química à vapor assistida por filamentos quentes, também conhecida por HFCVD (*Hot-filament Chemical Vapour Deposition*).

6.3.6 – Alguns comentários

Os quadros propostos, representados pelos grupos de nanotecnologias, se referem a um conjunto de configurações analíticas com o objetivo de melhor visualizar as dinâmicas e inter-relações das nanotecnologias, de acordo com temas e atividades voltados para determinados fins. Esta configuração também permite vislumbrar como essas nanotecnologias estão espalhadas no cenário econômico e tecnológico, e como elas se relacionam e se complementam.

Como mencionado anteriormente, o objetivo não é, e nem poderia ser, restringir as nanotecnologias e atividades a classificações excludentes. Pelo contrário, a proposta é mostrar como as nanotecnologias estão, por um lado, inter-relacionadas, e, por outro, como é importante analisá-las em conjuntos separados de nanotecnologias, não como algo homogêneo.

Além disso, a proposta dos quadros é também tornar mais evidente que as nanotecnologias encontram-se em diferentes graus de maturidade no Brasil. Por isso, o desenho de políticas voltado para as nanotecnologias devem levar em consideração esses diferentes graus de maturidade, identificando as principais nanotecnologias, as nanotecnologias relacionadas que servem de suporte e complemento para as demais, e os principais obstáculos encontrados pelas empresas para o desenvolvimento dessas nanotecnologias.

Deste modo, argumenta-se que é possível identificar trajetórias nanotecnológicas em curso e/ou potencial. Essas trajetórias devem ser analisadas em conjunto, de forma relativamente coordenada em uma estrutura organizada. É nesse sentido que se considera que existem diferentes sistemas nanotecnológicos de inovação. Esses sistemas, entretanto, bem com as ações voltadas para eles, não devem ser tomadas de forma isolada e restrita, mas sim de maneira coordenada, como parte de um sistema maior, ou seja, no âmbito do sistema nacional de inovação.

Convém analisar algumas das atividades realizadas pelas empresas para a formação de capacitação e aprendizado dessas nanotecnologias, bem como apontar os principais fatores, segundo as empresas, para o processo de inovação das nanotecnologias nas empresas.

6.4 – Capacitação, aprendizado e inovação nas empresas: atividades e componentes críticos

Uma vez identificadas trajetórias, em curso e/ou em potencial, relacionadas à grupos de nanotecnologias utilizadas e desenvolvidas nas empresas no Brasil, esta seção tem dois objetivos principais. O primeiro é apresentar algumas das atividades realizadas consideradas importantes para a formação de capacitação e aprendizado para inovação por estas empresas. Deste modo, apresenta-se tanto o percentual total das empresas que consideraram as determinadas atividades como importantes, como o percentual das empresas segundo os grupos de nanotecnologias das quais elas fazem parte, lembrando que algumas das empresas podem estar em mais de um grupo de nanotecnologia. O segundo é apresentar alguns fatores (componentes críticos) considerados pelas empresas como importantes para o processo de inovação.

6.4.1 – Atividades inovativas relacionadas ao uso e desenvolvimento das nanotecnologias

Argumentou-se anteriormente a importância da capacidade de absorção no sistema tecnológico, sobretudo através do estabelecimento de relações entre os atores do sistema de modo que aprendam uns com os outros. Neste contexto, o processo de aprendizado torna-se um elemento fundamental para a capacitação desses atores. Apresentou-se três formas principais de aprendizado: o aprendizado gerado dentro dos processos produtivos (*learning by doing*); o aprendizado gerado como resultado de um uso de um determinado produto/processo (*learning by using*); e o aprendizado que surge a partir do contato entre os atores: o aprendizado pela interação (*learning by interacting*).

A tabela 29 apresenta algumas das atividades realizadas, consideradas importantes pelas empresas, voltadas para capacitação e os tipos de aprendizado mencionados, fundamentais no processo de inovação.

Em primeiro lugar, é evidente a importância das atividades de pesquisa e desenvolvimento (P&D) nas empresas que usam e desenvolvem nanotecnologia, principalmente a P&D desenvolvida na própria empresa. Esta atividade foi considerada importante não apenas para as empresas agregadas (75,4%) como para os grupos de nanotecnologias considerados individualmente.

Tabela 29 – Atividades inovativas relacionadas aos projetos de nanotecnologias nas empresas, segundo grupos de nanotecnologias

	Total	Nanomateriais	Nanobiotecnologia	Nanoeletrônica	Nanoenergia e Meio Ambiente	Nanomedicina
P&D Interno	75,4%	79,6%	100,0%	85,7%	100,0%	92,6%
P&D Externo	53,8%	57,1%	68,8%	57,1%	33,3%	55,6%
Treinamento Interno	58,5%	61,2%	68,8%	28,6%	66,7%	66,7%
Treinamento Externo	46,2%	49,0%	62,5%	42,9%	50,0%	59,3%
Compra de Máquinas e Equipamentos	36,9%	40,8%	56,3%	28,6%	50,0%	59,3%
Publicações Acadêmicas	58,5%	61,2%	75,0%	71,4%	83,3%	81,5%
Parcerias Universidade	63,1%	69,4%	93,8%	85,7%	100,0%	92,6%
Parcerias Institutos de Pesquisa	61,5%	63,3%	93,8%	85,7%	83,3%	77,8%
Parcerias Empresas	55,4%	59,2%	62,5%	71,4%	50,0%	48,1%
Contratação Pesquisador Temporário	32,3%	36,7%	37,5%	71,4%	33,3%	48,1%
Contratação Pesquisador Permanente	46,2%	49,0%	68,8%	71,4%	83,3%	66,7%
Novos Materiais	66,2%	69,4%	81,3%	42,9%	83,3%	81,5%
Licenças e usos de Patentes	27,7%	36,7%	50,0%	28,6%	16,7%	37,0%

Fonte: Elaboração própria.

Argumenta-se neste trabalho que a P&D é um dos elementos do processo de inovação, onde sua relevância depende muitas vezes do grau de maturidade de uma determinada tecnologia. No caso das nanotecnologias, é natural que este componente tenha destacada importância, dado que as nanotecnologias ainda são tecnologias incipientes, ainda que possuam graus de maturidade diferenciados. Neste contexto, as atividades de P&D, sobretudo, internas às empresas, na maioria das vezes estão relacionadas à capacitação da empresa frente àquela nanotecnologia que utiliza/desenvolve, não necessariamente esta atividade está relacionada à busca de uma grande descoberta (nano) tecnológica, mas sim a processos de aprendizado (*doing e using*).

A utilização de novos materiais como insumos ou matéria-prima também é uma atividade que foi considerada como bastante importante para as empresas. Destacou-se anteriormente que os nanomateriais são considerados nanotecnologias de propósito

geral. Dessa forma, é natural que esta atividade seja apontada como importante pelas empresas porque, além de serem utilizados por grande parte das nanotecnologias, sua incorporação também representa um processo de aprendizado pelo uso nas empresas.

Outras atividades também consideradas importantes pelas empresas foram as parcerias, tanto com as universidades quanto com os institutos de pesquisa. Junto com a interação produtor-usuário, essas atividades são essenciais para o aprendizado pela interação. Além disso, as universidades e institutos de pesquisa são instituições que desempenham um papel fundamental na formação de mão-de-obra, capacitação e treinamento de pessoal. Dentre o conjunto de empresas que dão mais importância às parcerias com as universidades destacam-se aquelas relacionadas à nanoenergia, nanobiotecnologia e nanomedicina. E, em relação à parceria com os institutos de pesquisa, destacam-se a nanobiotecnologia, nanoeletrônica e nanoenergia.

Entretanto, em relação às atividades de treinamento, verifica-se que as de treinamento interno às empresas foram consideradas mais relevantes do que às externas. Este fato, acrescido à preferência às atividades de P&D interna sobre às externas, pode apontar um cenário onde as empresas estão fazendo um esforço de aprendizado a partir da sua própria experiência acumulada para atuar nas respectivas nanotecnologias. Uma hipótese, neste cenário, é que as empresas apesar de utilizarem o conhecimento das universidades e institutos de pesquisa, preferem contar com suas experiências quando se trata de ‘transformar’ aqueles conhecimentos efetivamente em produtos e processos.

A parceria com outras empresas foi uma atividade onde pouco mais da metade das empresas consideraram como importantes, com destaque para nanoeletrônica, apontada por 71,4% das empresas como importante. A compra de máquinas e equipamentos, por sua vez, foi uma atividade apontada como importante por apenas 37% das empresas como um todo, ganhando mais relevância na nanomedicina e na nanobiotecnologia.

No tocante à contratação de pesquisadores, quase metade (46,2%) apontou a importância de contratar pesquisadores permanentes para a introdução das atividades de nanotecnologias nas empresas, enquanto 32,2% delas apontaram a contratação de pesquisadores temporários como relevante. Dentre os motivos alegados pelas empresas para a contratação, destacou-se a falta de mão-de-obra qualificada capaz de entender a demanda técnica necessária para o desenvolvimento de produtos com tecnologia incorporada. Além disso, apontaram ainda: necessidade de pessoal especialista na área; necessidade de mão de obra especializada, por envolver uma atividade nova na

empresa; aumento de equipe; a empresa foi criada para o desenvolvimento e a exploração da nanotecnologia em questão; parceria com pesquisadores de alta titulação, com competência na área e com visão diferente da acadêmica; dar andamento ao processo de P&D&I na empresa; contratação de profissional especializado (PhD) em nanotecnologia; e dar continuidade ao desenvolvimento de novos produtos na área. De qualquer forma, algumas empresas apontaram que a contratação de pesquisadores também depende do grau de complexidade do projeto.

As profissões (formação básica) mais apontadas, em ordem decrescente, foram: Químicos, Físicos e assemelhados; Engenheiros e assemelhados; Biólogos e Farmacologistas; e médicos e dentistas. Resultado parecido foi encontrado por Laureth e Invernizzi (2012), onde nas empresas consultadas, os profissionais de Química, da Física e das Engenharias aparecem como os elementos centrais na composição das equipes de trabalho, pois as empresas tendem a atender ao caráter interdisciplinar da nanotecnologia compondo equipes multidisciplinares com foco no setor produtivo específico. Esta característica também foi observada nesta pesquisa, uma vez que em todos os grupos de nanotecnologias houve predominância da contratação desses profissionais que compõe o ‘núcleo duro’ das disciplina de nanotecnologia.

Por fim, vale destacar que a utilização de licença e uso de patentes foi uma atividade apontada por apenas 27,7% das empresas como importante, ganhando mais relevância nas empresas que desenvolvem nanobiotecnologia.

Uma vez feito este breve panorama das principais atividades consideradas relevantes para o uso e desenvolvimento das nanotecnologias, vale apresentar os fatores que as empresas consideraram mais relevantes para o processo de inovação em nanotecnologia, ainda que elas não dispusessem de todos esses ‘componentes críticos’.

6.4.2 – Alguns fatores do processo de inovação em nanotecnologia considerados pelas empresas

A tabela 30 apresenta alguns componentes críticos apontados pelas empresas como importantes para os processos de inovação nas nanotecnologias no Brasil. A atividade de pesquisa e desenvolvimento (P&D) foi apontada pela maioria das empresas (84,6%) como um fator de alta relevância para o processo de inovação em nanotecnologia. Como visto, este resultado é compatível com o grau de

desenvolvimento geral das nanotecnologias, visto que, em muitas, o potencial industrial ainda não se efetivou, estando as atividades concentradas em P&D.

Argumentou-se, também, que atividades de P&D, ainda que importantes para o processo de inovação, não são por si só suficientes para que este processo se efetive. Pelo contrário, diversas outras atividades são tão importantes quanto a P&D para a inovação, sobretudo quando ainda há muita incerteza em torno das novas tecnologias, como no caso das nanotecnologias.

Deste modo, apesar de apontarem a P&D como um dos componentes críticos de maior relevância para o processo de inovação, os atores nas empresas reconhecem que a capacidade de transformar o conhecimento científico em tecnologias aplicadas, ou seja, transformar em produtos e processos os resultados das diversas pesquisas conduzidas nas universidades e laboratórios de P&D das empresas é tão, ou até mais, relevante do que as atividades de P&D. Por isso, quase 80% das empresas também apontaram esta capacidade como de alta relevância no processo de inovação em nanotecnologia.

Na sequência, o conhecimento científico e técnico e mão-de-obra qualificada foram fatores considerados de alta importância por 77% das empresas pesquisadas neste trabalho. Dentre as ocupações (formação básica) mais frequentes relacionadas às atividades de nanotecnologia nas empresas estão, em ordem decrescente, mais uma vez: Químicos, Físicos e assemelhados; Engenheiros e assemelhados; Biólogos e Farmacologistas; médicos e dentistas; e técnicos projetistas mecânicos e elétricos, em química, em eletrônica, em mecânica, e têxtil.

Outro componente apontado pelas empresas como importante é a existência de infraestrutura adequada. Utiliza-se como infraestrutura, neste trabalho, a definição empregada por Smith (1997) que se refere ao complexo de recursos não-naturais que são coletivamente utilizados pela indústria na produção e distribuição de produtos, que inclui os sistemas de fornecimento de energia, água, sistemas de transporte (rodovias, aeroportos, portos, etc.), sistemas de telecomunicação, e assim por diante. Além desses fatores físicos, tangíveis, a infraestrutura também se refere a componentes não-físicos (normalmente oferecidos como serviços do setor público) como padrões técnicos, sistema educacional, sistemas legais, e todas as organizações e instituições relacionadas a infraestrutura do conhecimento, ciência e tecnologia, como as universidades, laboratórios de pesquisa, sistemas de treinamento, entre outras.

A coesão de um sistema ocorre quando os diferentes tipos de infraestrutura estão presentes e/ou são pensados e estimulados para determinados fins. São essas ações que

moldam as políticas públicas e o ambiente de políticas macroeconômicas, ou seja, é nesse contexto que as políticas explícitas e implícitas interagem.

Tabela 30 – Componentes críticos para o processo de inovação em nanotecnologia, segundo as empresas

	Total	Nanomateriais	Nanobiotecnologia	Nanoeletrônica	Nanoenergia e Meio Ambiente	Nanomedicina
P&D	84,6%	87,8%	100,0%	100,0%	100,0%	96,3%
Interação e Cooperação	70,8%	75,5%	93,8%	85,7%	100,0%	88,9%
Conhecimento C&T	76,9%	81,6%	93,8%	85,7%	100,0%	88,9%
M&E	66,2%	69,4%	81,3%	71,4%	83,3%	88,9%
Adequados MDO	76,9%	79,6%	93,8%	85,7%	83,3%	92,6%
Qualificada Infraestrutura	73,8%	79,6%	81,3%	71,4%	66,7%	92,6%
Adequada Política de	61,5%	65,3%	81,3%	57,1%	66,7%	81,5%
Inovação Adequada	72,3%	77,6%	93,8%	85,7%	83,3%	96,3%
Financiamento	72,3%	77,6%	93,8%	85,7%	83,3%	96,3%
Capacidade de transformar conhecimento científico em tecnologia aplicada	78,5%	81,6%	100,0%	42,9%	83,3%	96,3%
Colaboração Interdisciplinar	64,6%	65,3%	93,8%	42,9%	66,7%	85,2%
Arranjo Organizacional e Institucional	47,7%	53,1%	62,5%	28,6%	33,3%	74,1%
Específico						

Fonte: Elaboração própria.

O financiamento foi apontado por 72,3% das empresas com tendo alta relevância para a evolução das nanotecnologias. Este fato é curioso porque, sendo as nanotecnologias tecnologias emergentes, com elevado grau de incerteza, era de se esperar que a grande maioria das empresas desse maior importância ao financiamento. Ao mesmo tempo, exatamente por ser um investimento de alto risco, o financiamento para este tipo de empreendimento não é tão simples. Na falta de *venture capital*, muitas empresas nem contam com recursos financiados para realizar seus investimentos.

Em relação à colaboração interdisciplinar, ela foi considerada importante por quase 65% das empresas. Contudo, notou-se que a importância varia de acordo com a nanotecnologia. As empresas relacionadas à nanobiotecnologia e nanomedicina foram

as que mais apontaram alta relevância para a colaboração interdisciplinar, 93,8% e 85,2%, respectivamente. Por outro lado, as empresas de nanoeletrônica foram as que menos apontaram importância dessas atividades (42,9%). Nos primeiros casos, a interação com outras nanotecnologias se faz mais evidente nas nanobiotecnologias e na nanomedicina, como visto anteriormente. No caso da nanoeletrônica, ela é mais utilizada por outras áreas do que efetivamente as utiliza. Deste modo, ainda que a colaboração interdisciplinar seja importante, a nanoeletrônica é mais ‘independente’ do que as demais. Seja como for, esse resultado reforça o argumento apresentado por Laureth e Invernizzi (2012), que indica a necessidade do conhecimento multidisciplinar e a visão sistêmica como elementos fundamentais para facilitar a interação entre as áreas do conhecimento para atuação em processos que envolvam a nanotecnologia.

Uma vez identificados alguns dos fatores mais importantes para o processo de inovação em nanotecnologia pela perspectiva das empresas e institutos de pesquisa, vale indicar os principais objetivos e motivações que levaram essas organizações a se engajarem no uso e desenvolvimento das nanotecnologias.

6.5 – Objetivos e motivações

A decisão de iniciar uma nova atividade dentro das empresas quase sempre envolve uma série de fatores complexos que variam de acordo com as características da própria empresa, seu processo de produção, sua cultura técnica, tipo de tecnologia empregada, tipo de atividade, seu porte, e, claro, os ganhos que se espera com esta nova atividade.

Quando se considera utilizar uma nova tecnologia, especialmente uma tecnologia com características tão particulares como a nanotecnologia, ainda em fase de maturação e consolidação, esta decisão parece mais difícil. Por isso, espera-se que as empresas tenham objetivos e motivações para realizar estas atividades.

Esta seção visa apresentar alguns dos principais objetivos e motivações que levaram as empresas a se engajarem no uso e desenvolvimento de nanotecnologias. As figuras que seguem apresentam o percentual das empresas (total de 61) que consideram os objetivos e motivações como de média ou alta relevância.

6.5.1 – Objetivos do uso e desenvolvimento da nanotecnologia

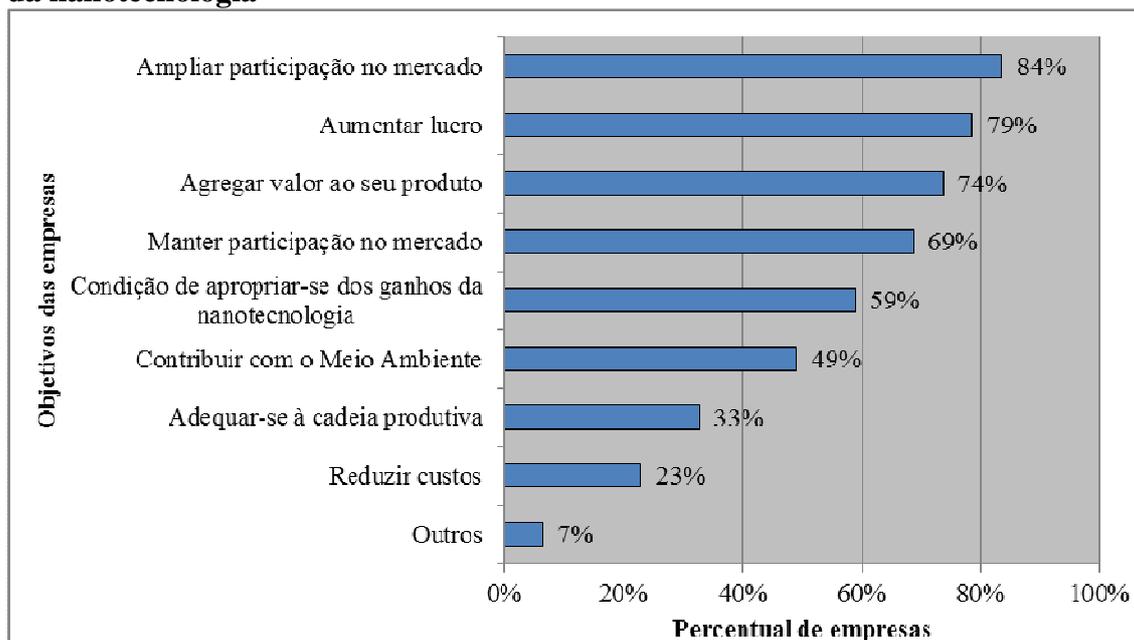
Inúmeras são as oportunidades a partir das nanotecnologias. No entanto, a inserção dessas tecnologias nas empresas não é tarefa trivial. Pelo contrário, exige um processo de aprendizado e organização muitas vezes complexo e custoso. E, é claro, as empresas têm que enxergar ganhos e vantagens para sua introdução nas suas atividades. Dessa forma, as empresas possuem objetivos mais específicos em relação ao uso e desenvolvimento de nanotecnologias.

A figura 17 mostra que 84% das empresas entrevistadas consideraram a ampliação da participação no mercado como um dos objetivos de maior relevância para essas atividades. Tendo as nanotecnologias diversas possibilidades de aplicação e potencial de inovação, é esperado que as empresas que as incorporem em seus processos abram caminhos para maior participação no mercado através das inovações advindas com elas. Como consequência, o aumento do lucro e a agregação de valor aos seus produtos estão relacionados aos objetivos das empresas, apontados por 79% e 74%, respectivamente.

Para 69% das empresas a incorporação das nanotecnologias visa, principalmente, manter sua participação no mercado. Entendem que não fazer isso pode implicar em perda de participação no seu nicho de mercado por diversas razões. Uma das empresas entrevistadas, por exemplo, afirmou que o fator determinante para a incorporação da nanotecnologia foi devido à “concorrência desleal dos produtos chineses, que fez com que a empresa decidisse por agregar valor ao produto”, caso contrário encerrariam suas atividades. Isso mostra que seu objetivo, mais do que agregar valor ao seu produto, foi, principalmente manter sua participação no mercado onde atua.

Apesar das oportunidades surgidas a partir das nanotecnologias, nem todas as empresas possuem condições efetivas de realizar estas atividades e se apropriar dos seus ganhos, sobretudo empresas menores que se encontram em posições mais frágeis em uma determinada cadeia produtiva. De qualquer forma, para 59% das empresas entrevistadas, as condições de apropriarem-se dos ganhos advindos das nanotecnologias são importantes nas suas decisões a respeito das nanotecnologias.

Figura 17 – Principais objetivos das empresas em relação ao uso e desenvolvimento da nanotecnologia



Fonte: Elaboração própria.

Para 49% das empresas a incorporação da nanotecnologia gera efeitos (positivos) no meio ambiente, direta ou indiretamente, seja na incorporação de um novo material, em métodos de tratamento de água, desperdício de material, entre outros. Uma das empresas entrevistadas apontou que os projetos relacionados com as nanotecnologias não estão relacionados com o meio ambiente diretamente, mas há uma preocupação permanente da empresa com questões ambientais. Em outra empresa, o meio ambiente não foi o objetivo principal para a incorporação da nanotecnologia na empresa, porém ressaltou que há uma preocupação em não desenvolver produtos que tenham impacto ambiental negativo.

A adequação à cadeia produtiva foi objetivo para incorporação da nanotecnologia para apenas 33% das empresas, enquanto a redução de custos foi para somente 23% das empresas. O uso e desenvolvimento de muitas nanotecnologias ainda é bastante custosa, sobretudo em relação aos custos das máquinas e equipamentos necessárias para a manipulação e produção na nanoescala. Além disso, a maioria das nanotecnologias ainda não é produzida em grande escala; algumas vezes pelo custo elevado, outras por barreiras técnicas. De qualquer forma, uma das empresas entrevistadas informou que a nanotecnologia possibilitou a produção de insumos que antes era importada, reduzindo seus custos de produção.

Por fim, outros objetivos foram apontados por quatro instituições (7%). Duas são instituições de pesquisa. Para um delas, produtora de bem público voltado para saúde humana, um importante objetivo para a incorporação da nanotecnologia foi contribuir para a melhoria da saúde pública, principalmente o Sistema Único de Saúde (SUS). Para a outra, a nanotecnologia possibilitou a geração de novos conhecimentos e formação de pessoal técnico especializado. As duas outras são empresas privadas. Uma afirmou que o objetivo da incorporação da nanotecnologia deu-se simplesmente para se diferenciar dos concorrentes. Para a outra, o objetivo era ter “garantia de que seu produto seja sempre o primeiro e único (com tais características) no mercado competitivo”.

6.5.2 – Motivações para o uso e desenvolvimento da nanotecnologia

O advento de uma nova tecnologia traz consigo uma série de oportunidades e, portanto, motivações para que as empresas passem a utilizá-la e desenvolvê-la. Por vezes, estas motivações ocorrem por fatores estimulantes externos, como a exigência dos clientes e políticas de fomento; ou por fatores internos, como existência de pessoal capacitado, estrutura física e organizacional, entre outros. Para determinadas empresas, a motivação pode estar relacionada à percepção de uma boa oportunidade de negócios. Para outras, a motivação pode surgir na forma de estímulos diretos àquelas atividades, seja na forma de financiamento, subsídios ou na garantia de demanda para uma atividade de alta incerteza e risco.

A figura 18 apresenta algumas motivações consideradas importantes pelas empresas entrevistadas neste trabalho que usam e desenvolvem nanotecnologias no Brasil. Para 80% dessas empresas uma das motivações mais importantes partiu da própria empresa, através de avaliações internas acerca das oportunidades da utilização e desenvolvimento das nanotecnologias.

Além do reconhecimento dessas oportunidades, é necessário também que as empresas tenham capacidade (estrutura e conhecimento) para iniciar as atividades com essas tecnologias. Deste modo, para 61% das empresas a existência de capacidade organizacional necessária para este empreendimento foi um importante fator motivacional. Além dessa, 51% das empresas apontaram o conhecimento científico e tecnológico em nanotecnologia existente nas empresas como outro fator que as levaram àquelas atividades.

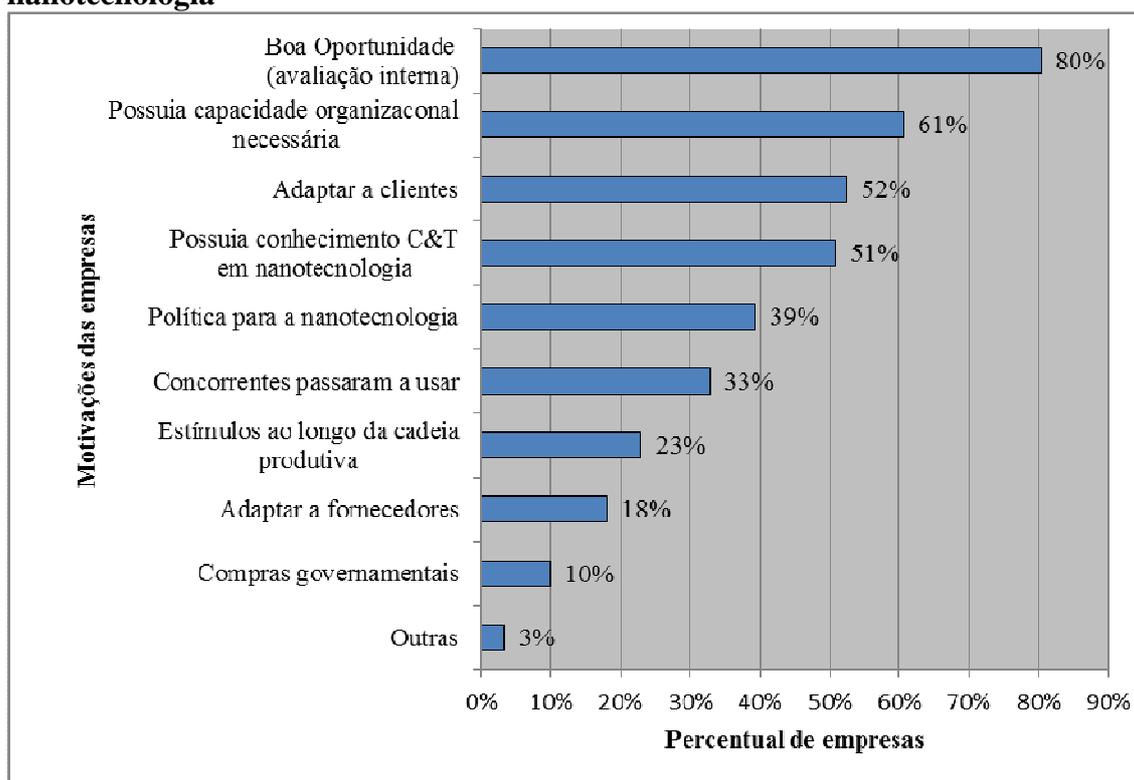
Mostrou-se ao longo deste trabalho que as políticas voltadas para o fomento das nanotecnologias no Brasil foram bastante importantes para a formação de uma estrutura de pesquisa considerável, ou seja, pela formação e difusão do conhecimento científico e, em menor grau, tecnológico das nanotecnologias. Não obstante este fato, a política voltada para a nanotecnologia foi apontada como importante fator motivacional para apenas 39% das empresas entrevistadas. Este cenário pode apontar tanto desconhecimento das políticas por parte de algumas empresas como inaptidão da própria política de estimular determinadas atividades, sobretudo aquelas mais relacionadas ao processo produtivo, uma vez que, como já apontado, a política possui um viés voltado para a formação da estrutura científica em detrimento do estímulo ao processo produtivo. Em outras palavras, a política ainda não foi capaz de preencher a lacuna relacionada à capacidade de transformar o conhecimento científico existente em tecnologias aplicadas e comercializadas, ou seja, em inovação.

Alguns fatores extra firma também serviram de motivação para que algumas empresas incorporassem as nanotecnologias em suas atividades. Para 52% das empresas, adaptar-se às necessidades dos clientes foi um importante fator para a utilização e desenvolvimento de nanotecnologia, assim como o fato dos concorrentes terem passado a utilizar, fator importante para 33% das empresas entrevistadas. Estímulos ao longo da cadeia produtiva (23%) e adaptação aos fornecedores (18%) também foram motivos considerados.

As compras governamentais foram apontadas por apenas 10% das empresas como fator motivacional. Neste caso, ainda é cedo para avaliar os impactos da sanção da Lei nº 12.349/2010, que cria um novo mecanismo de apoio à inovação tecnológica através das compras governamentais. Pela norma, os governos poderão pagar até 25% a mais nas compras de tecnologia nacional. A prioridade terá que ser justificada em estudos que levem em consideração a geração de emprego e renda, a arrecadação de tributos, o desenvolvimento e a inovação tecnológica realizados no Brasil.

Por fim, outros dois motivos foram apontados por empresas: i) A necessidade de se posicionar junto aos países de maior produção intelectual e tecnológica em Nanociência e Nanotecnologia; e ii) a oferta no mercado de produtos com melhor desempenho.

Figura 18 – Principais motivações das empresas para o uso e desenvolvimento de nanotecnologia



Fonte: Elaboração própria.

Deste modo, uma vez apresentados os principais objetivos e motivações das empresas frente ao uso e desenvolvimento de nanotecnologias, faz-se importante apontar as principais barreiras consideradas pelas empresas ao desenvolvimento e comercialização das nanotecnologias no Brasil.

6.6 – Desafios e obstáculos ao desenvolvimento das nanotecnologias

Junto aos diversos desafios para o desenvolvimento das nanotecnologias no Brasil, existem também diversos obstáculos e dificuldades que se manifestam em concomitância. Esta seção tem por objetivo apontar as principais barreiras consideradas pelas empresas e institutos de pesquisa a serem vencidas para que abra caminho para que as trajetórias nanotecnológicas ocorram de forma progressiva e estruturada no Brasil.

A figura 19 apresenta os principais desafios e dificuldades, por grau de importância, apontados pelas empresas e institutos de pesquisa para o uso e desenvolvimento das nanotecnologias no Brasil. Sem dúvida, alguns desses fatores

estão fortemente inter-relacionados e se complementam, tendo alguns deles já sido indicados ao longo deste trabalho.

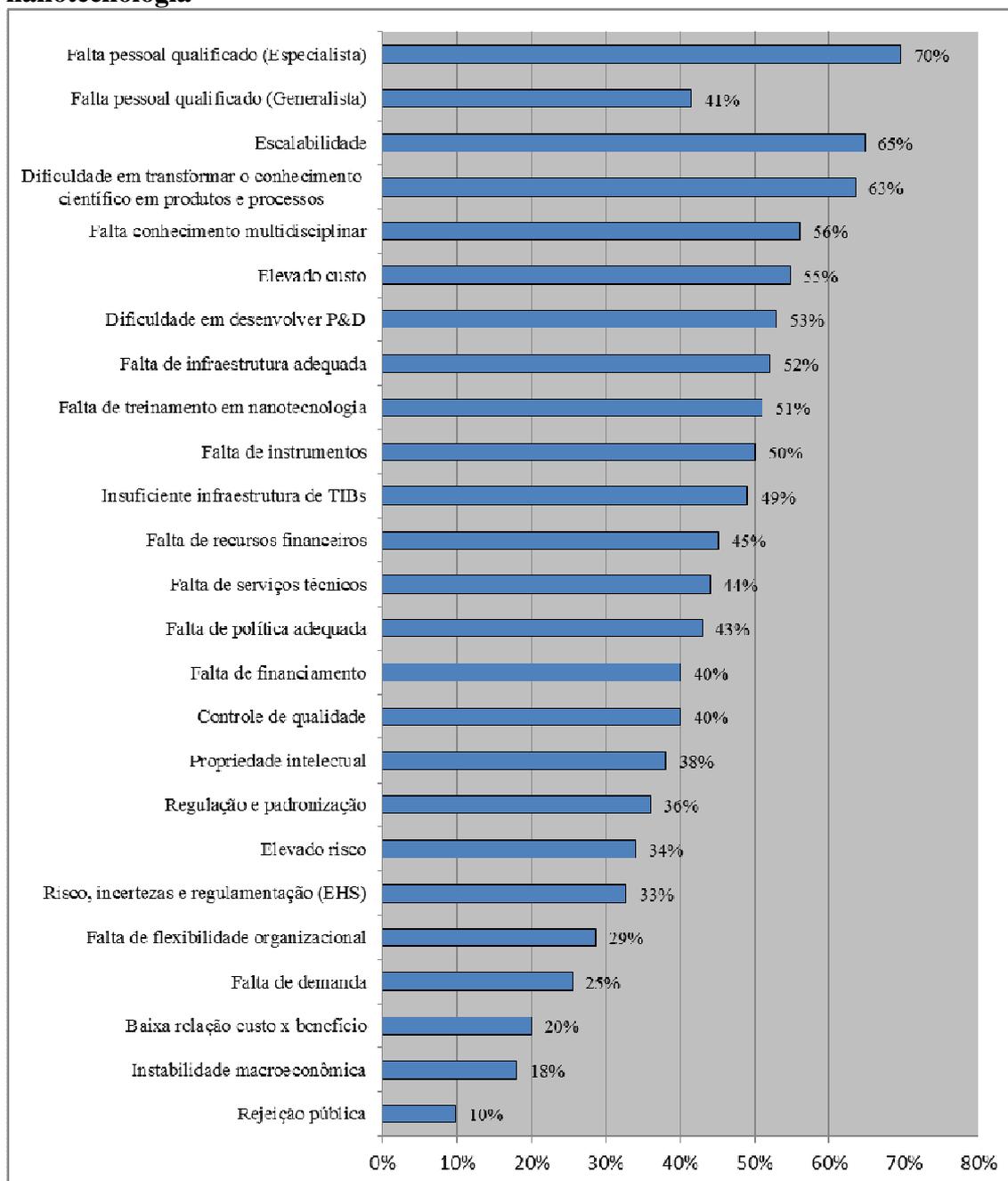
Um importante obstáculo apontado, embora já existam ações em curso nesse sentido, refere-se à falta de pessoal qualificado para trabalhar com as nanotecnologias. Esta dificuldade foi apontada por nada menos do que 70% das instituições entrevistadas neste trabalho em relação à dificuldade em encontrar especialistas nas nanotecnologias, ao passo que 41% indicaram a falta de pessoal com conhecimentos mais gerais voltados para as nanotecnologias¹⁷⁶. Uma empresa entrevistada encontrou dificuldade em encontrar mão-de-obra qualificada nas regiões próximas (PR). Além de difícil, alegou ter sido "difícil atrair e reter o conhecimento". A questão da qualificação está relacionada, neste contexto, tanto à falta de conhecimento multidisciplinar, apontada aqui por 56% das instituições como importante obstáculo para as atividades de nanotecnologia, quanto à falta de treinamento disponível, apontada por 51% das instituições entrevistadas. A maior parte desta atividade (treinamento), como discutido anteriormente, é realizada internamente nas próprias instituições (empresas e institutos de pesquisa).

Outras duas dificuldades (e desafios) apontadas pelas empresas e institutos de pesquisa como bastante relevantes a serem superadas para possibilitar o progresso das nanotecnologias no Brasil foram a dificuldade de produção em larga escala (escalabilidade) e a dificuldade em transformar o conhecimento científico em produtos e processos. A dificuldade de se produzir em grande escala foi pontada por 65% das instituições entrevistadas que responderam este item e está relacionada, principalmente, aos elevados custos de produção, máquinas e equipamentos, laboratórios, instrumentos específicos e, mesmo, dificuldades técnicas que ainda não foram superadas no sentido de possibilitar a manipulação na escala nanométrica para a replicação em grande escala. A dificuldade de transformar o conhecimento científico em produtos e processos, por sua vez, foi pontada por 63% das instituições entrevistadas. Neste caso, além da barreira relacionada aos custos elevados que daí incorre, também existe uma barreira técnica a ser superada. Ainda que muito do conhecimento científico de tais processos já estejam

¹⁷⁶ No entanto, Invernizzi (2011) aponta que não há um consenso a respeito da preferência por uma força de trabalho treinada como 'generalistas' ou 'especialistas' em uma área científica em particular. Como exemplo, apontou resultados do estudo *Nanotechnology Skills and Training Survey* no Reino Unido onde 54% dos empregadores indicaram que ambas as habilidades eram estimadas, sendo 24% preferindo os generalistas aos especialistas.

disponíveis de diversas maneiras, ainda há uma importante barreira tecnológica a ser superada para que produtos e processos provenientes das nanotecnologias sejam viáveis.

Figura 19 – Principais desafios e dificuldades para o uso e desenvolvimento de nanotecnologia



Fonte: Elaboração própria.

Outro item que representa um importante obstáculo para o desenvolvimento das nanotecnologias é o seu elevado custo, apontado por 55% das instituições. Como mencionado, este custo se refere aos custos de produção em geral relacionados à escala, máquinas e equipamentos, instrumentos (microscópios), insumos diversos, entre outros.

Ademais, em alguns casos, a relação custo x benefício também se apresenta desfavorável. Aqui, esta relação foi apontada como uma dificuldade para 20% das instituições. Nesse sentido, uma das empresas entrevistadas destacou que a economia do país não é competitiva, uma vez que o chamado Custo Brasil penaliza desproporcionalmente as micro e pequenas empresas de base tecnológica. Por isso, o custo elevado e a relação custo x benefício serem obstáculos relevantes.

Apesar de ser considerada uma das principais atividades inovativas mais importantes realizadas pelas empresas (tabela 29) assim como um dos principais componentes críticos para a inovação, segundo as empresas (tabela 30), a dificuldade para desenvolver atividades de P&D foi apontada por 53% das instituições como um importante obstáculo nas atividades relacionadas às nanotecnologias.

Em relação à infraestrutura, a falta de uma infraestrutura adequada foi apontada por 52% das instituições como relevante dificuldade. Nesse sentido, apontaram ainda: falta de instrumentos (50%) e falta de serviços técnicos (44%).

Algumas dificuldades e obstáculos estão relacionados à insuficiência de infraestrutura de Tecnologias Industriais Básicas – TIBs, considerada importante obstáculo para 49% das instituições. Relacionadas a estas, destacam-se também alguns obstáculos relacionados à ‘infraestrutura institucional’, mais especificamente: controle de qualidade (40%); propriedade intelectual (38%)¹⁷⁷; regulação e padronização (36%); riscos, incertezas e/ou falta de regulamentação em relação ao meio ambiente, saúde e segurança (EHS)¹⁷⁸, consideradas por 33% das instituições. Uma empresa entrevistada alegou ter "sofrido" 2 anos para regulamentar um produto na Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Por outro lado, outra empresa ressaltou que graças às universidades não tiveram problemas com a insuficiente infraestrutura de tecnologia industrial básica.

A falta de recursos financeiros, apontada como dificuldade para 45% das instituições, está relacionada tanto aos elevados custos quanto à falta de financiamento para investimentos em nanotecnologia, considerado por 40% das instituições.

Interessante notar que apesar da maioria das instituições ter apontado problemas relacionados à insuficiente infraestrutura de vários tipos, a falta de pessoal qualificado e a escassez de serviços técnicos, a falta de uma política adequada é apontada apenas por

¹⁷⁷ Segundo uma empresa entrevistada, “no Brasil é mais difícil por conta do valor e da demora”.

¹⁷⁸ *Environment, Health and Safety*. Este obstáculo é considerado relevante, sobretudo, para empresas relacionadas à nanobiotecnologia, nanomedicina e meio ambiente.

43 % das instituições. O que se observou, neste cenário, é que na perspectiva das instituições, a 'política' está intimamente relacionada ao financiamento, poucas vezes sendo considerada como algo mais abrangente. Por isso, o percentual de instituições que apontaram a falta de política adequada ser tão próxima daquelas que apontaram a falta de financiamento. Uma das empresas entrevistadas apontou a falta de programas e fomentos para o desenvolvimento de nanotecnologia na indústria de bens de capital, principalmente por ser esta indústria responsável por grande parte do consumo da matriz energética brasileira. A empresa destacou que a nanotecnologia é uma grande alavanca para o aumento de eficiência energética destes produtos, mas não está recebendo suporte governamental nas linhas de fomento.

Em relação ao risco, este fator foi apontado por 34% das instituições entrevistadas como um importante obstáculo para as atividades em nanotecnologia. Além da incerteza nos resultados, um elemento de risco apontado foi exatamente o fato da novidade intrínseca às nanotecnologias. Segundo apontou uma das empresas entrevistadas: "A inovação é muito perigosa, pois nem sempre o mercado está preparado para receber determinada inovação naquele momento".

Neste contexto, o fator risco está também relacionado à falta de demanda, apontada por 25% das instituições, a instabilidade macroeconômica (18%) e a possibilidade de rejeição pública (10%). Em relação à falta de demanda, é natural que as empresas tenham receio em investir em atividades (arriscadas e incertas) sem qualquer garantia de depois vender seus novos produtos. Associada à falta de demanda, algumas empresas ainda enfrentam o problema da rejeição. Segundo comentário de um informante, "o governo deveria divulgar e esclarecer informações sobre as diferenças entre produtos com e sem nanotecnologia. Ocorreram algumas rejeições por parte de empresas têxtil, metais sanitários, entre outras, por falta de informações e esclarecimentos do mercado consumidor". É importante destacar que a rejeição está relacionada também à incerteza relacionada à falta de regulamentação e padronização, sobretudo em questões ligadas à saúde e segurança. Por fim, a instabilidade macroeconômica também foi considerada uma barreira ao desenvolvimento de atividades relacionadas às nanotecnologias por 18% das instituições. Este fator potencializa os riscos e incertezas já relacionados a essas atividades. No entanto, apesar disso, este percentual pode ser considerado baixo em um ambiente onde convivem diversos fatores que representam obstáculos ao desenvolvimento dessas atividades.

6.7 – Considerações parciais

Este capítulo pretendeu apresentar os principais resultados da pesquisa de campo realizada em empresas e institutos de pesquisa que utilizam e/ou desenvolvem nanotecnologias no Brasil. A pesquisa buscou reunir elementos da abordagem do sujeito e do objeto para a análise da inserção das nanotecnologias nessas organizações, bem como suas principais atividades inovativas para sua utilização e desenvolvimento.

A pesquisa mostrou que as nanotecnologias estão espelhadas em diversas atividades econômicas, segundo a CNAE 2.0, com destaque para atividades relacionadas à fabricação de produtos químicos, produtos diversos e pesquisa e desenvolvimento. Nestas, chama a atenção a inserção das nanotecnologias na fabricação de cosméticos, produtos de perfumaria e de higiene pessoal (produtos químicos) e fabricação de instrumentos e materiais para uso médico e odontológico (produtos diversos). Além desses, identificou-se, ainda, importante presença de produtos farmoquímicos e farmacêuticos, em especial a fabricação de medicamentos para uso humano.

Além disso, as nanotecnologias encontram inserção em empresas de diversos tamanhos, apesar da predominância das instituições de maior porte (mais de 100 pessoas ocupadas), e idade. A pesquisa mostrou, ainda, que a grande maioria só começou a incorporar a nanotecnologia a partir de 2003, marco inicial das políticas de incentivo às nanotecnologias no Brasil.

Diversas foram as nanotecnologias identificadas nas empresas e atividades econômicas nesta pesquisa, com destaque para os nanomateriais, nanocompósitos e nanobiotecnologia. As primeiras, principalmente, são nanotecnologias utilizadas por diversas outras nanotecnologias, desempenhando o papel de uma nanotecnologia de propósito geral. Essas nanotecnologias necessitam a convergência de diversas áreas do conhecimento, sobretudo Química, Física e Biologia, e foram aplicadas em diversas atividades e setores como a biotecnologia e biomédica, os materiais avançados, processamento industrial, entre outros. Nesse sentido, procurou-se identificar determinados padrões e trajetórias relacionadas a determinados grupos de nanotecnologias.

Deste modo, propôs-se quadros analíticos a partir do agrupamento de nanotecnologias a partir dos tipos de atividades nanotecnológicas desenvolvidas pelas empresas e áreas que possuem potencial de desenvolvimentos nessas empresas e que já

são, de alguma forma, objeto de estudo nos grupos de pesquisa nos institutos de pesquisa no país. Estes grupos levam em conta os tipos de nanotecnologias principais, as nanotecnologias relacionadas e as principais áreas e setores que essas nanotecnologias são empregadas, ou que se espera empregar num futuro próximo. Assim, os grupos identificados foram: i) Nanomateriais; ii) Nanobiotecnologia; iii) Nanoeletrônica; iv) Nanoenergia e Meio-ambiente; e v) Nanomedicina, Cosméticos e Saúde.

Neste cenário, o capítulo apresentou algumas atividades inovativas consideradas pelas empresas e institutos de pesquisa como importantes para a capacitação e processo de aprendizado em nanotecnologia. As atividades de pesquisa e desenvolvimento (P&D) e as parcerias com universidades e institutos de pesquisa foram atividades consideradas importantes para grande parte das organizações entrevistadas. Observou-se que estas atividades estão relacionadas à capacitação de pessoal nas empresas. Neste sentido, essas atividades se relacionam, por sua vez, com o que estas organizações apontaram como alguns importantes componentes críticos para o processo de inovação nas nanotecnologias: atividades de P&D e mão-de-obra qualificada.

Algumas observações e percepções acerca das atividades de P&D merecem destaque. Em primeiro lugar, as atividades de P&D, como usualmente definidas pelo Manual de Frascati, abarcam um amplo conjunto de atividades que, teoricamente, dão conta de analisar todo o processo produtivo antes da comercialização. Se considerarmos a realização de atividades relacionadas à pesquisa básica, pesquisa aplicada e desenvolvimento, torna-se praticamente tautológico dizer que este componente é o mais importante do processo de inovação. Entretanto, em segundo lugar, é necessário levar em consideração que o que se chama de atividade de P&D, mais uma vez considerando a definição *à la OCDE*, depende da organização que a conduz. Quando se trata de um instituto de pesquisa, é natural que a pesquisa básica ganha maior relevância sobre as demais. Sendo, por exemplo, uma instituição pública como EMBRAPA, CBPF, entre outras, a pesquisa básica e aplicada já interagem de forma mais natural. Por outro lado, o que se chama de P&D nas empresas, muitas vezes está mais relacionado ao desenvolvimento (ou tentativa) de produtos e processos do que efetivamente pesquisa. Nesse sentido, torna-se necessário melhor qualificar o que vem sendo chamado de atividades de P&D. Terceiro, somando-se a isso, tem-se a perspectiva dos *policy makers*, que, ao apresentar instrumentos de inovação baseados nos estímulos às atividades de P&D, estão, implícita ou explicitamente, considerando que todos esses

componentes desde a pesquisa básica são primordiais e necessários à efetivação de uma inovação. Portanto, seria natural, nesta concepção, fomentar atividades voltadas para a pesquisa (básica e aplicada) que, supostamente, seria utilizada nas empresas para o desenvolvimento de produtos e processos. Contudo, por fim, as próprias organizações apontaram outros elementos como relevantes para o processo de inovação em nanotecnologia que revelam que este mecanismo não funciona desta maneira ‘simples e linear’. Se fosse simples, não haveria necessidade de destacar outras atividades inovativas como importantes e essenciais, pois elas já estariam embutidas no componente D (desenvolvimento). As empresas estão preocupadas e atuando em diferentes atividades para as nanotecnologias, não apenas P&D. Como ressaltou Invernizzi (2011, p. 2256), “(...) *nanotechnology is not only science in the lab but has unquestionably started its diffusion into the industrial processes, along the bonds of the production chains*”.

O capítulo também destacou os principais objetivos e motivações das organizações em relação às nanotecnologias, bem como os principais desafios e obstáculos encontrados por elas para o desenvolvimento dessas atividades.

Nesse contexto, a análise procurou evidenciar que os grupos de nanotecnologias possuem dinâmicas inter-relacionadas, muitas vezes interdependentes. Deste modo, buscou-se identificar as relações sistêmicas existentes entre as nanotecnologias. Por isso, argumentou-se que existem sistemas nanotecnológicos de inovação (mais restritos) que funcionam de forma relacionada, e estão vinculadas (e dependentes) à dinâmica do sistema nacional de inovação (mais amplo). Se, por um lado, existe a necessidade de determinadas ações específicas voltadas para os sistemas nanotecnológicos, por outro lado, muitas ações voltadas para as nanotecnologias devem ser pensadas como ações a nível nacional, organizadas e estruturadas para funcionar sistematicamente para não correr o risco de gerar tanto ações duplicadas (e desperdiçar recursos) quanto ações insuficientes (mais comum), voltadas para questões mais genéricas.

Por fim, o que se pretendeu também com o agrupamento das nanotecnologias e seus potenciais foi evidenciar que não é possível, tampouco desejável, estimular todas as nanotecnologias existentes. Mais importante é identificar um conjunto de nanotecnologias com determinado potencial que possam ser objeto de ações mais específicas.

CAPÍTULO 7 – UMA ANÁLISE DAS POLÍTICAS PARA NANOTECNOLOGIA NO BRASIL: IMPLICAÇÕES DE POLÍTICAS A PARTIR DAS EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS

O capítulo anterior procurou evidenciar e melhor compreender as especificidades das diferentes nanotecnologias utilizadas e desenvolvidas nas empresas e institutos de pesquisa no país. Argumentou-se que este entendimento é essencial para que o desenho e direcionamento das políticas de inovação sejam mais eficazes e coerentes com os objetivos aos quais se propõem.

O trabalho apontou que a política de inovação desenhada para a nanotecnologia no Brasil concentrou-se prioritariamente na formação da infraestrutura científica e tecnológica e na pesquisa básica. Ao dar muita ênfase à “parte científica” da nanotecnologia, dando menor destaque às outras atividades importantes do processo inovativo, a política implicitamente tem se baseado em uma visão linear do processo de inovação.

Portanto, o que foi apresentado até aqui procurou mostrar que as atividades inovativas relacionadas às nanotecnologias vão além das atividades de P&D, principalmente nas empresas. Por tratar-se de um conjunto de tecnologias que possuem características comuns, elas igualmente possuem diversas especificidades que as tornam diferentes o suficiente para não serem consideradas homogêneas, mas que se complementam e interagem de forma sistêmica. Assim, as políticas de inovação para as nanotecnologias requerem uma visão mais ampla e coordenada, dentro de uma lógica sistêmica.

Nesta lógica, o processo de aprendizado torna-se fundamental, sobretudo o aprendizado da política (*policy learning*). É a partir desse aprendizado, junto ao melhor entendimento do objeto que se torna alvo de políticas (as nanotecnologias), que o desenho de políticas torna-se, potencialmente, compatível com os objetivos que se deseja alcançar.

Neste contexto, este capítulo tem por objetivo, além de buscar perceber a inserção dos principais programas e instrumentos existentes para a nanotecnologia no Brasil, apresentar um panorama dos mecanismos e instrumentos que as empresas e institutos de pesquisa consideram importantes para o fomento dessas atividades em nanotecnologia. Partindo de uma análise da Subvenção Econômica, o capítulo apresenta os instrumentos considerados fundamentais pelas organizações para o processo de inovação em

nanotecnologia no país, sua percepção acerca das políticas existentes, as principais dificuldades encontradas para aproveitar os instrumentos disponíveis, bem como os elementos que consideram fundamentais para uma política de inovação adequada. A partir desses elementos, algumas proposições de políticas para nanotecnologia são consideradas.

7.1 – A difusão dos programas e instrumentos

Alguns instrumentos e programas têm sido utilizados e relacionados às atividades de nanotecnologias. Alguns possuem objetivos e direcionamento específicos. Outros têm uma cobertura mais ampla dos aspectos das nanotecnologias e dessas com outras tecnologias afins e relacionadas, como a biotecnologia e as tecnologias de informação e comunicação, por exemplo. Esta seção tem por objetivo examinar a difusão e o conhecimento das empresas e institutos de pesquisa a respeito dos instrumentos e programas voltados para as nanotecnologias no Brasil.

O capítulo 3 mostrou que os principais programas e alguns instrumentos voltados para as nanotecnologias passaram a fazer parte da agenda tecnológica brasileira no âmbito das políticas explícitas nacionais. Mostrou-se que estas ações fizeram parte de estratégias de desenvolvimento e programas mobilizadores para áreas consideradas estratégicas e prioritárias. Apesar disso, nem todos os instrumentos e programas foram de conhecimento amplo entre as empresas (e institutos de pesquisa).

Segundo a pesquisa de campo realizada neste trabalho, pouco mais de 77% (de um total de 44) das organizações que responderam a entrevista possuíam algum conhecimento sobre as políticas de apoio para as atividades de nanotecnologia. Entretanto, pouco mais de 54% (de um total de 33 projetos) receberam algum tipo de apoio nos seus projetos para atividades inovativas em nanotecnologia. O instrumento apontado como o mais conhecido por estas organizações foi a Subvenção Econômica da FINEP, modalidade conhecida por aproximadamente 88,6% das empresas entrevistadas. Como mencionado anteriormente, este instrumento se destacou como um dos mais importantes para a promoção das nanotecnologias no Brasil, no âmbito da PDP. Por isso, ele foi utilizado por, aproximadamente, 70% das empresas que obtiveram recursos para atividades em nanotecnologia aqui entrevistadas.

O segundo mecanismo de apoio à inovação tecnológica utilizado para a nanotecnologia foi o Fundo Tecnológico (FUNTEC) do BNDES, destinado a

instituições tecnológicas e de apoio, visando apoiar pesquisa e desenvolvimento e inovação em áreas nas quais se incluem as nanotecnologias. Este mecanismo foi conhecido por pouco mais de 68% das empresas e institutos entrevistadas, e utilizado em pouco mais de 15% dos projetos desenvolvidos nestas organizações.

O programa Prime (Primeira Empresa Inovadora)¹⁷⁹ aparece na sequência no *ranking* dos instrumentos mais conhecidos. Neste caso, 66% das empresas conhecem o Prime. No entanto, nenhuma delas efetivamente utilizou os recursos do Prime para apoiar suas atividades em nanotecnologia. Possivelmente isto ocorreu porque o Prime entrou em operação somente em 2009, ou seja, depois que as empresas entrevistadas já haviam sido constituídas.

Outro programa conhecido por 59% das organizações entrevistadas foi o RHAÉ (Recursos Humanos em Áreas Estratégicas) do CNPq. No entanto, ele foi utilizado por apenas 21,2% das empresas e institutos de pesquisa entrevistadas. Outros programas do CNPq como, por exemplo, os Editais da Rede Nano, também foram utilizados por 36,4% das organizações.

Curiosamente o Programa Nacional de Nanotecnologia (PNN) foi mencionado como conhecido por apenas 43,2% das organizações entrevistadas. Isso mostra que o programa em si não possui a mesma difusão do que alguns de seus instrumentos.

Além desses, outros programas e instrumentos foram apontados e utilizados pelas empresas. Programas das Fundações de Amparo à Pesquisa dos Estados como o PIPE, financiado pela FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), e o PAPPE, financiando em parceria realizada entre FINEP e as Fundações Amparo à Pesquisa dos Estados (FAPes) foram mencionados. O primeiro trata-se de um Programa para Pesquisa Inovativa em Pequenas Empresas (PIPE), destinado a apoiar a execução de pesquisa científica e/ou tecnológica em pequenas empresas sediadas no Estado de São Paulo¹⁸⁰. O segundo trata-se do Programa de Apoio à Pesquisa em Empresas, que busca financiar atividades de P&D de produtos e processos

¹⁷⁹ O programa **Prime (Primeira Empresa Inovadora)** tem por objetivo criar condições financeiras favoráveis para que um conjunto significativo de empresas nascentes de alto valor agregado possa consolidar com sucesso a fase inicial de desenvolvimento dos seus empreendimentos. O programa parte da premissa de que a maioria dos empreendimentos inovadores nascentes apresenta fragilidades estruturais e diversas dificuldades de desenvolvimento em sua fase inicial, porque os empreendedores e fundadores das empresas desviam-se do foco principal do negócio para dedicar-se a atividades paralelas que garantam sua sobrevivência no curto prazo. Por isso, o Prime visa apoiar a empresa na fase crítica de seu nascimento, possibilitando aos empreendedores dedicar-se integralmente ao desenvolvimento dos produtos e processos inovadores originais e à construção de uma estratégia de inserção no mercado. http://www.finep.gov.br/pagina.asp?pag=programas_prime

¹⁸⁰ <http://www.fapesp.br/58>

inovadores empreendidos por pesquisadores que atuam diretamente ou em cooperação com empresas de base tecnológica. Diversas fundações estaduais estão envolvidas nesse programa como, por exemplo, a FAPESB (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia), envolvida com o PAPPE Integração, modalidade voltada para estimular capacidade inovativa de micro e pequenas empresas na Bahia.

Além desses, foram mencionados ainda: Rede de Plataformas Tecnológicas do Programa de Desenvolvimento Tecnológico em Insumos para Saúde (PDTIS) da Fiocruz; FINEP Estruturante; Incentivos e recursos da Lei da Informática; SEBRAE, SENAI e Sesi¹⁸¹; bolsa de Pós-doutorado empresarial concedido pela CAPES, além de apoio indireto do BNDES através dos clientes. A tabela 31 apresenta um panorama da difusão desses programas e instrumentos.

Tabela 31 – Conhecimento e utilização dos programas e instrumentos para nanotecnologia no Brasil

	Nº empresas	%		Nº projetos	%
Total Respondentes	57	-	Total de projetos	61	-
Possui conhecimento sobre as políticas	44	77,2%	Utilizaram os programas e instrumentos	33	54,1%
Subvenção Econômica (FINEP)	39	88,6%	Subvenção Econômica (FINEP)	23	69,7%
BNDES	30	68,2%	FAPES	13	39,4%
Prime (FINEP)	29	65,9%	CNPq (outros programas)	12	36,4%
Programa RHAE (CNPq)	26	59,1%	Programa RHAE (CNPq)	7	21,2%
PNN	19	43,2%	BNDES	5	15,2%
Outros	8	18,2%	SEBRAE	3	9,1%
-	-	-	Outros	8	24,2%

Fonte: Elaboração própria.

Dos 33 projetos que receberam algum tipo de apoio para as atividades inovativas em nanotecnologia, a distribuição por faixas de valor foram: 9,4% (3) receberam menos de R\$ 500 mil; 28,1% (9) receberam entre R\$ 500 mil e R\$ 1 milhão; 43,8% (14) receberam entre R\$ 1 milhão e R\$ 5 milhões; 18,8% (6) receberam mais de R\$ 5 milhões; um dos projetos foi beneficiado indiretamente pelo BNDES através dos clientes.

¹⁸¹ Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas, Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial e Serviço Social da Indústria.

Por fim, perguntou-se para as empresas e institutos de pesquisa se elas teriam utilizado e desenvolvido atividades em nanotecnologias da mesma forma sem o conhecimento e utilização desses programas e instrumentos. Dos 33 projetos que obtiveram apoio, 15 (45,5%) disseram que teriam desenvolvido seus projetos de qualquer forma, enquanto 18 (54,5%) só teriam feito com os recursos obtidos. Vale mencionar, ainda, que em 7 outros casos relacionados a projetos que não receberam recursos, os respondentes afirmaram que teriam utilizado e/ou desenvolvido nanotecnologia sem os programas e instrumentos existentes, como de fato ocorreu.

Nesse contexto, uma vez que a Subvenção Econômica não apenas foi um dos instrumentos considerados mais importantes na configuração das políticas para as nanotecnologias no Brasil, e ainda foi o mais conhecido e utilizado pelas empresas e institutos de pesquisa entrevistados neste trabalho, a próxima seção se propõe a apresentar uma análise de alguns de seus resultados.

7.2 – A Subvenção Econômica: alguns resultados

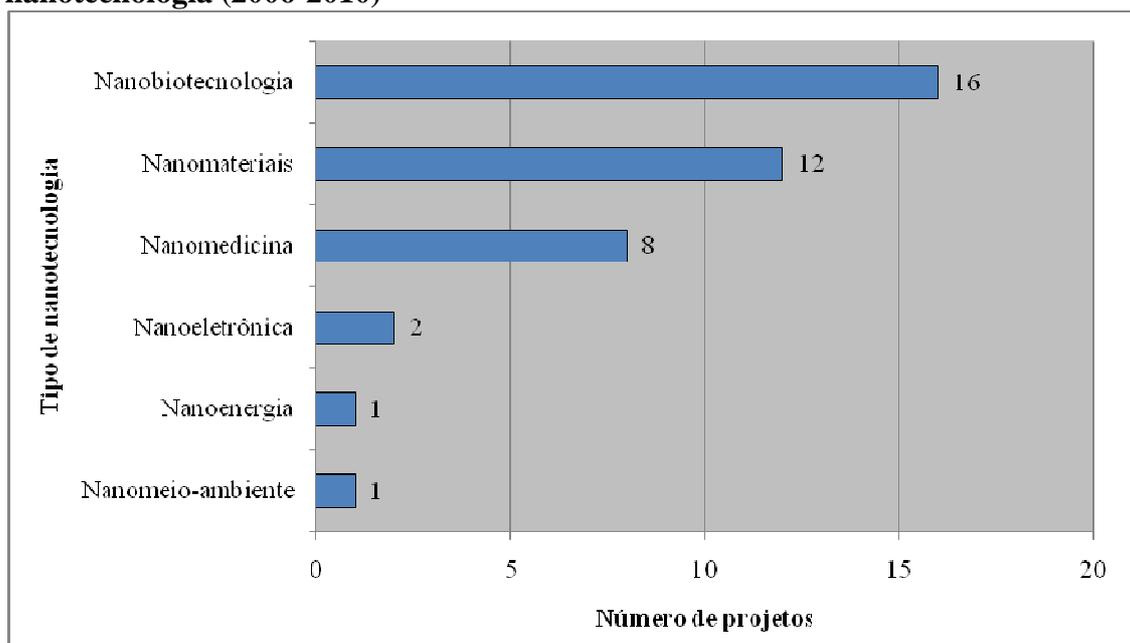
No capítulo 3 apresentou-se a inserção da Subvenção Econômica na PDP como importante instrumento de apoio à inovação no Brasil, ressaltando sua importância como um dos principais instrumentos de apoio às atividades em nanotecnologia entre os anos 2006 e 2010. Assim, foram identificados 40 projetos relacionados ao desenvolvimento de nanotecnologia neste período, sendo 11 projetos em 2006, 19 em 2007, 4 em 2008, 3 em 2009, e 3 em 2010, conforma apontado no quadro 12. Estes projetos estavam relacionados a diferentes nanotecnologias principais, conforme a figura 20¹⁸²: Nanobiotecnologia (16), Nanomateriais (12), Nanomedicina (8), Nanoeletrônica (2), Nanoenergia (1) e Nanomeio ambiente (1).

Neste contexto, esta seção tem por objetivo apresentar algumas características das empresas, e dos projetos em nanotecnologia desenvolvidas por elas, que obtiveram recursos da Subvenção para tais atividades. Para isso, a seção está dividida em três partes. Na primeira, apresenta-se um breve panorama do perfil das empresas, o tipo de nanotecnologia desenvolvida, e os setores impactados diretamente por elas. Na segunda, busca-se realizar uma análise parcial de alguns dos projetos apoiados por este

¹⁸² É importante ressaltar que esta classificação está baseada na finalidade principal da nanotecnologia desenvolvida no projeto, uma vez que outras nanotecnologias também estão relacionadas às principais identificadas.

instrumento. Neste caso, algumas das empresas que obtiveram recursos da Subvenção Econômica foram entrevistadas conforme bloco VI do questionário em anexo. Por fim, a terceira parte apresenta um breve panorama da Chamada Pública para Subvenção Econômica para nanotecnologia em 2013, apresentando-se como uma clara tentativa de retomar o foco nas áreas consideradas estratégicas na política nacional.

Figura 20 – Número de projetos aprovados na Subvenção Econômica por tipo de nanotecnologia (2006-2010)



Fonte: Elaboração própria.

7.2.1 – Perfil das empresas e tipos de nanotecnologia

Como nos casos anteriormente apresentados, as nanotecnologias estão espalhadas em empresas relacionadas a diferentes atividades econômicas, uma vez que a nanotecnologia não pode ser considerada uma indústria, nem mesmo ser classificada como uma atividade econômica¹⁸³. A maioria das empresas engajadas em desenvolver esses projetos de nanotecnologia não as tem como atividade principal, mas está aos poucos incorporando as nanotecnologias em seus processos produtivos, assim como desenvolvendo produtos baseados nas nanotecnologias, conforme já discutido ao longo

¹⁸³ Não há uma atividade econômica na Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) ou na ISIC (*International Standard Industrial Classification*) classificada como nanotecnologia. Por ser uma “tecnologia de propósito geral”, as nanotecnologias são utilizadas e desenvolvidas para auxiliar e em combinação com outras atividades “principais”. Ademais, ainda que uma empresa tenha o desenvolvimento da nanotecnologia como sua atividade principal, será sempre com o objetivo de aplicar em algo específico.

deste trabalho. O quadro 20 mostra as atividades econômicas nas quais as empresas que obtiveram recursos da Subvenção Econômica estão desenvolvendo e aplicando as diferentes nanotecnologias.

Quadro 20 – Atividades econômicas impactadas pelos projetos de nanotecnologia na Subvenção Econômica (2006-2010)

Temas de Nanotecnologia	Atividades Econômicas Impactadas (CNAE 2.0)
Nanomeio-ambiente	Esgoto e Atividades Relacionadas (370)
Nanoenergia	Extração de Outros Minerais Não-Metálicos (089)
Nanoeletrônica	Fabricação de Componentes Eletrônicos (261) Fabricação de Equipamentos de Informática e Periféricos (262)
Nanomedicina	Fabricação de Produtos Alimentícios (10) Fabricação de Produtos Farmoquímicos e Farmacêuticos (21) Fabricação de Instrumentos e Materiais para Uso Médico e Odontológico e de Artigos Ópticos (325) Comércio Atacadista de Produtos de Consumo Não-Alimentar (464) Comércio Varejista de Produtos Farmacêuticos, Perfumaria e Cosméticos e Artigos Médicos, Ópticos e Ortopédicos (477) Pesquisa e Desenvolvimento Experimental em Ciências Físicas e Naturais (721)
Nanomateriais	Fabricação de Produtos Têxteis (13) Fabricação de Produtos Químicos (20) Fabricação de Produtos Químicos Orgânicos (202) Fabricação de Resinas e Elastômeros (203) Fabricação de Instrumentos e Materiais para Uso Médico e Odontológico e de Artigos Ópticos (325) Pesquisa e Desenvolvimento Experimental em Ciências Físicas e Naturais (721)
Nanobiotecnologia	Fabricação de Produtos Têxteis (13) Fabricação de Produtos Químicos (20) Fabricação de Produtos Farmoquímicos e Farmacêuticos (21) Fabricação de Instrumentos e Materiais para Uso Médico e Odontológico e de Artigos Ópticos (325) Comércio Varejista de Produtos Farmacêuticos, Perfumaria e Cosméticos e Artigos Médicos, Ópticos e Ortopédicos (477) Comércio Varejista de Produtos Farmacêuticos, sem manipulação de fórmulas (4771) Serviços de Arquitetura e Engenharia; Testes e Análises Técnicas (71) Pesquisa e Desenvolvimento Experimental em Ciências Físicas e Naturais (721)

Fonte: Elaboração própria baseado na classificação das empresas segundo a CNAE 2.0 (IBGE).

Em relação ao porte das empresas, é interessante observar (quadro 21) que dependendo da metodologia utilizada para definir o tamanho das empresas, apresentam-se cenários um pouco distintos. Considerando o porte baseado no número de pessoas ocupadas nas empresas, observa-se que 81% das empresas são classificadas como micro (38%) ou pequenas (43%) empresas. Interessante ressaltar que apenas na primeira chamada (2006), onde havia uma estratégia clara para as nanotecnologias, todos os

portes foram contemplados, ainda que com predominância para as micro e pequenas empresas.

Por outro lado, ao se considerar o porte baseado na receita bruta das empresas, o cenário é diferente. Neste caso, 62% das empresas são consideradas médias ou grandes. A participação das micro e pequenas empresas somam 38%, com clara predominância das microempresas (30%).

Quadro 21 – Porte das empresas com projetos de nanotecnologia na Subvenção Econômica (2006-2010)

	2006	2007	2008	2009	2010	Total
Tamanho das Empresas (Pessoal Ocupado)^a	11	16	4	3	3	37
Micro	3	8	0	2	1	14 (38%)
Pequena	4	7	2	1	2	16 (43%)
Média	2	0	1	0	0	3 (8%)
Grande	2	1	1	0	0	4 (11%)
Tamanho das Empresas (Faixa de Receita Bruta)^b	11	16	4	3	3	37
Micro	2	6	0	2	1	11 (30%)
Pequena	0	2	1	0	0	3 (8%)
Média	5	6	2	1	2	16 (43%)
Grande	4	2	1	0	0	7 (19%)

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do IBGE e FINEP.

a Porte das empresas segundo Pessoal Ocupado (PO) baseado na metodologia utilizada pelo IBGE e SEBRAE, que definem tamanho segundo os seguintes estratos: Micro Empresa ($0 < PO < 19$); Pequena Empresa ($20 < PO < 99$); Média Empresa ($100 < PO < 499$); Grande Empresa ($PO \geq 500$).

b Porte das empresas segundo faixa de receita bruta total baseada na metodologia utilizada e adaptada de FINEP (2011) como segue (R\$): Micro Empresa (< 240 mil); Pequena Empresa ($240 \text{ mil} < R < 2.4$ milhões); Média Empresa ($2.4 \text{ milhões} < R < 300$ milhões); Grande Empresa ($R \geq 300$ milhões).

Em relação à idade das empresas, o quadro 22 mostra que 56% das empresas têm até de 20 anos, distribuídos igualmente entre as que têm até 10 e 20 anos de idade (ambas com 28%). Interessante destacar que estas empresas (até 20 anos de idade) estão relacionadas a três tipos de nanotecnologias: nanomedicina, nanomateriais e nanobiotecnologia. Por sua vez, mais da metade dos projetos relacionadas a estas mesmas nanotecnologias são desenvolvidos por empresas de até 20 anos de idade (75%, 50% e 62%, respectivamente). Ademais, elas representam 90% do total de projetos de nanotecnologia aprovados na Subvenção Econômica (Figura 20), o que demonstra a importância das empresas mais jovens no desenvolvimento dessas novas tecnologias.

Quadro 22 – Idade das empresas por temas de nanotecnologia na Subvenção Econômica (2006-2010)

Idade das Empresas (em anos)	Até 10 anos	Até 20 anos	Até 30 anos	Até 40 anos	Mais de 40 anos
Nanotecnologia					
Nanomeio-ambiente	-	-	-	100%	-
Nanoenergia	-	-	-	100%	-
Nanomedicina	25%	50%	13%	-	13%
Nanoeletrônica			50%	50%	
Nanomateriais	33%	17%	17%	25%	8%
Nanobiotecnologia	31%	31%	6%	6%	25%
Total	28%	28%	13%	13%	15%

Fonte: Elaboração própria.

7.2.2 – Resultados parciais dos projetos contratados na Subvenção Econômica

Os resultados que seguem se referem a 22 projetos de nanotecnologia apoiados pela Subvenção Econômica entre os anos 2006 e 2010. A análise será apresentada segundo o ano da contratação, a saber: 2006 (7 projetos); 2007 (11 projetos); 2008 (3 projetos) e 2009 (1 projeto), conforme quadro 23. Nenhuma das três empresas com projetos identificados em 2010 foi entrevistada.

Contratados em 2006

Em 2006 foram contratados 11 projetos referentes a nanotecnologia. Foram entrevistadas nesta pesquisa empresas que desenvolveram 7 destes projetos, todos referentes à nanomateriais e nanobiotecnologia, compatíveis com os temas priorizados na chamada daquele ano, conforme apontado no capítulo 3.

Desses sete projetos quatro foram finalizados, segundo o plano de trabalho executado desde a contratação. Um dos entrevistados (Proj.1-2006) afirmou ter executado o trabalho antes do início do projeto (na Subvenção), devido à demora na contratação. Os outros três projetos finalizados estavam ligados ao uso e incorporação de nanotecnologia para área odontológica. O Proj.3-2006 se refere à produção de cimento obturador com nanopartículas. O Proj.5-2006 está relacionado a produção de nanomaterial a partir do uso de diamante CVD que, apesar de ser primordialmente

voltado para uso odontológico neste projeto, serve também para outros segmentos industriais, inclusive defesa e uso em perfuração para extração de petróleo. Por fim, o objetivo maior do Proj.7-2006 era ser capaz de atingir auto-suficiência na produção de nanomaterial que utiliza como insumo.

Em relação aos demais projetos ainda não totalmente executados, tem-se o seguinte cenário: o Proj.2-2006 apenas informou que ainda está em fase de desenvolvimento; o Proj.4-2006 encontra-se atualmente com 70% das metas executadas; o Proj.6-2006 está relacionado a 8 produtos, onde 3 estão em fase de entrada no mercado, e 1 finalizado na etapa de laboratório. Os demais estão incompletos. O informante estima que possui em torno de 50% do projeto executado.

Quadro 23 – Projetos selecionados por ano de contratação

Projetos	Nanotecnologia	Porte	Ano Fundação
Proj.1-2006	Nanomateriais	Micro	2005
Proj.2-2006	Nanobiotecnologia	Grande	1972
Proj.3-2006	Nanobiotecnologia	Pequena	1994
Proj.4-2006	Nanomateriais	Micro	1979
Proj.5-2006	Nanomateriais	Micro	1998
Proj.6-2006	Nanobiotecnologia	Média	1992
Proj.7-2006	Nanomateriais	Média	1984
Proj.1-2007	Nanobiotecnologia	Pequena	1994
Proj.2-2007	Nanobiotecnologia	Pequena	1994
Proj.3-2007	Nanomedicina	Micro	2003
Proj.4-2007	Nanomateriais	Pequena	1975
Proj.5-2007	Nanomateriais	Pequena	2002
Proj.6-2007	Nanomateriais	Pequena	2002
Proj.7-2007	Nanomedicina	Pequena	2002
Proj.8-2007	Nanomedicina	Média	1998
Proj.9-2007	Nanomateriais	Grande	2006
Proj.10-2007	Nanobiotecnologia	Pequena	2002
Proj.11-2007	Nanomateriais	Pequena	2003
Proj.1-2008	Nanobiotecnologia	Micro	2005
Proj.2-2008	Nanomedicina	Grande	1972
Proj.3-2008	Nanoeletrônica	Média	1988
Proj.1-2009	Nanobiotecnologia	Média	1989

Fonte: Elaboração própria.

Perguntadas se dispõem ou implementaram centro de P&D, ou estrutura similar para esta finalidade, a partir da contratação da Subvenção, apenas uma empresa (Proj.6-2006) afirmou que não, exatamente aquela relacionada a 8 produtos com 50% do projeto executado.

Em relação ao estágio de desenvolvimento para introdução no mercado do produto objeto de contrato da Subvenção, tem-se o seguinte cenário:

- P&D: Proj.4-2006, Proj.5-2006 e Proj.6-2006;
- Protótipo: Proj.2-2006, Proj.4-2006 e Proj.5-2006;
- Pronto para introdução no mercado: Proj.5-2006 e Proj.6-2006;
- Vendas no mercado: Todos exceto Proj.4-2006.

Sobre o Proj.4-2006, que está executando P&D e protótipo, o informante destacou que a empresa está investindo com seus recursos próprios na última fase do projeto, visto que a 3ª parcela da subvenção não foi depositada.

Dos sete projetos analisados contratados em 2006, apenas dois afirmaram ter estabelecido parceria tecnológica com outra empresa, sendo um deles na forma de contrapartida com clientes referenciais, onde a atividade baseou-se no auxílio nas análises e linha de produção através da matéria prima (nano) para desenvolvimento de produto para chegar ao mercado. Além disso, três das empresas estavam vinculadas a incubadora ou parque tecnológico, sendo uma delas formada com o propósito de explorar a tecnologia em questão.

Por fim, dentre os principais obstáculos e dificuldades apontados pelas empresas para a implementação desses projetos destacam-se: atrasos no cronograma de desembolso do projeto (5 projetos), falta de informação sobre a tecnologia e mercados (4 projetos) e ausência de pessoal qualificado (3 projetos).

Além desses obstáculos, as empresas apontaram ainda:

- Falta de continuidade das políticas governamentais de apoio, como observado a partir da Chamada de 2008;
- Editais abertos aponta dirigismo da instituição (FINEP) para determinados projetos, o que deixa de ser eficiente para aproveitar as potencialidades mais amplas do país;
- A aferição por igualdade na avaliação dos relatórios, o que torna idêntica a avaliação para qualquer porte de empresa, fato que dificulta, por exemplo, que uma microempresa desenvolva atividades de P&D; e
- Tempo de tramitação burocrática dos processos. Uma das empresas alegou que teve que recorrer a outras fontes de recursos para manter o andamento da pesquisa e desenvolvimento.

Contratados em 2007

Em 2007 foram contratados 19 projetos referentes a nanotecnologia. Foram entrevistadas nesta pesquisa empresas que desenvolveram 11 destes projetos, referentes à nanomateriais, nanobiotecnologia e nanomedicina. Neste ano, a prioridade da nanotecnologia estava voltada para ‘Produtos e processos com base em Nanotecnologias nos setores de Produção de Alimentos, Têxtil, Metal Mecânico, Energia, Petróleo e Gás, Cosméticos e Saúde’.

Dos onze projetos, quatro foram completamente executados (Proj.1-2007, Proj.4-2007, Proj.9-2007 e Proj.10-2007). Entretanto, os Proj.9-2007 e Proj.10-2007 ainda não estão disponíveis para comercialização, sendo que o Proj.9-2007 já está pronto para introdução no mercado e o Proj.10-2007 está no estágio de protótipo. Três outros projetos desenvolvidos na mesma empresa encontram-se parcialmente desenvolvidos, apesar de já terem produtos que incorporaram a nanotecnologia desenvolvida no mercado. Outros três projetos ainda estão em andamento. Segundo as empresas, entre 70% e 95% já foram executados, estando um deles em fase de avaliação de produto e outro em protótipo. Por fim, o último projeto (Proj.8-2007) já encontra-se na fase de protótipo de acordo com as seguintes etapas: i) otimização do processo: 100%; ii) avaliação do processo: 90%; iii) caracterização técnica do produto: 70%; iv) desenvolvimento de fluxos e processos: 70%; v) testes e ensaios: 75%; e vi) confecção do produto: 30%.

Destas empresas, apenas duas apontaram ter estabelecido parcerias com outras empresas nos projetos, e quatro estiveram vinculadas a alguma incubadora ou parque tecnológico.

Em relação aos principais obstáculos e dificuldades apontados pelas empresas para a implementação desses projetos destacam-se: atrasos no cronograma de desembolso do projeto (10 projetos), ausência de pessoal qualificado (7 projetos), dificuldade para registro de propriedade intelectual (7 projetos) e falta de informação sobre a tecnologia e mercados (6 projetos). Dois outros complicadores também foram apontados: burocracia na prestação de contas; e dificuldade na definição de etapas do processo produtivo da nanotecnologia em questão.

Contratados em 2008

Neste ano foram contratados 4 projetos referentes a nanotecnologia. Foram entrevistadas nesta pesquisa empresas que desenvolveram 3 destes projetos, referentes à nanobiotecnologia, nanoeletrônica e nanomedicina. Neste ano já não havia mais nenhum tema específico para a nanotecnologia.

Nestes casos, o plano de trabalho destes projetos encontram-se da seguinte forma:

1 - Proj.1-2008:

- Desenvolvimento e aplicação em escala laboratorial: 100% executado;
- Síntese e aplicação dos materiais em escala de laboratório: 100% executado;
- Obtenção da funcionalidade do material através da aplicação da nanotecnologia: 100% executado;
- Aplicação das tecnologias desenvolvidas em escala industrial: 80% executado;
- Documentação e avaliação de propriedade industrial: 100% executado.

Segundo a empresa, este produto já se encontra disponível para venda no mercado.

2 - Proj.2-2008: Projeto de nanotecnologia desenvolvido pela empresa encontra-se fase de P&D.

3 - Proj.3-2008:

- Confecção de protótipo: 100% executado;
- Desenvolvimento de dispositivos: 100% executado;
- Implantação de piloto de campo: 100% executado;
- Estudo de viabilidade para produção em larga escala: Ainda não realizado.

Segundo a empresa, este produto está pronto para introdução no mercado.

Duas das três empresas estiveram vinculadas com incubadora ou parque tecnológico, e todas estabeleceram parceria tecnológica ou produtiva com outras empresas.

Durante o desenvolvimento do Proj.1-2008, a empresa estabeleceu várias parcerias com potenciais clientes para o teste dos produtos em desenvolvimento. A

parceria com as empresas foi fundamental para o desenvolvimento final do produto e estabelecimento de uma relação de longo prazo com os clientes. Três dos parceiros do projeto Subvenção são clientes do produto desenvolvido.

Em relação ao Proj.2-2008, as parcerias estabelecidas com outras empresas foram feitas na forma de prestação de serviços para realização de algumas etapas do desenvolvimento tecnológico.

No caso do Proj.3-2008, foi realizada contratação para desenvolvimento de parte do projeto com direito a *royalties* na comercialização.

Neste caso, as maiores dificuldades no processo de implementação do projeto estiveram relacionadas à ausência de pessoal qualificado e, em menor grau, falta de informação sobre a tecnologia e mercados. Uma das empresas citou também a dificuldade de estabelecer parcerias, ainda que tenha realizado tal atividade.

Contratado em 2009

Como ano anterior, não havia mais nenhum tema específico para a nanotecnologia na Chamada de 2009.

Neste caso, trata-se de um projeto de nanobiotecnologia relacionado à substância em escala nanométrica para desenvolvimento de formulação fotoprotetora e hidroxiapatita nanométrica para composição de biomaterial indicado para substituição óssea.

O plano de trabalho deste projeto (Proj. 1-2009) encontra-se da seguinte forma:

- Contratação de profissionais para execução do projeto: 100% executado;
- Produção de lotes em escala laboratorial e definição da formulação ideal: 100% executado;
- Produção de lotes pilotos e validações: 100% executado;
- Estudos de estabilidade: 70% executado;
- Treinamentos para capacitação dos colaboradores envolvidos no projeto: Ainda não realizado.

Deste modo, o projeto encontra-se em fase de realização de protótipo.

Neste caso, a empresa indicou apenas a falta de informação sobre a tecnologia e mercado como dificuldade no decorrer do processo de implementação do projeto.

Por fim, considerando todos os projetos no período analisado de forma agregada, tem-se a seguinte configuração acerca do estágio de desenvolvimento: P&D: 50%; Protótipo: 64%; Pronto para introdução no mercado: 36%; e Vendas no mercado: 59%.

Quanto às dificuldades e obstáculos, foram elas em ordem decrescente: Atrasos no cronograma de desembolso: 68%; Ausência de pessoal qualificado: 55%; Falta de informação sobre a tecnologia e mercados: 55%; e Dificuldade para registro de Propriedade Intelectual: 41%.

Quatro pontos merecem consideração. Primeiro, a Subvenção Econômica é um instrumento utilizado principalmente para o apoio ao engajamento em atividades de P&D. No Brasil, o objetivo deste instrumento foi o de promover aumento nas atividades de inovação e incremento da competitividade em empresas e da economia. Portanto, é natural que a maior parte dos gastos com as atividades das empresas relativas aos projetos de nanotecnologias esteja distribuída na P&D (interna) ou aquisição externa de P&D. Por isso, nos casos aqui pesquisados, aproximadamente, 60% da distribuição dos gastos das atividades das empresas relativas aos projetos de nanotecnologia foram direcionados para estas duas atividades.

Entretanto, e isso remete ao segundo ponto, apesar da maior parte dos gastos está voltada para P&D, muitos dos projetos ainda não foram terminados e levados ao mercado, alguns nem serão. Isto é um importante indicativo de que existem outros componentes tão, ou mais, importantes do que a P&D para que um produto ou processo seja técnica e economicamente viável, capaz de se tornar uma inovação.

Em terceiro lugar, os maiores obstáculos estavam ligados aos atrasos no cronograma de desembolso e na falta de informação sobre a tecnologia e mercados, junto com a falta de pessoal qualificado, apesar deste último ter sido considerado um dos principais desafios e dificuldades para o uso e desenvolvimento da nanotecnologia para a maioria das empresas entrevistadas (figura 19). Este cenário, no entanto, não é anormal, uma vez que as empresas que obtiveram recursos da Subvenção os fizeram para desenvolver determinadas tecnologias. Elas já estavam minimamente preparadas para tais atividades, o que inclui pessoal minimamente qualificado, ainda que tenha havido dificuldades.

Por fim, o fato de 59% dos projetos estarem disponíveis para venda no mercado não significa, necessariamente, que isto tenha relação direta com os recursos da Subvenção. Na verdade, muitas das empresas já estavam ou iriam desenvolver seus projetos independentemente dos recursos da Subvenção Econômica. Além disso, muitos

desses produtos já estavam no mercado. A nanotecnologia veio para melhorar e aumentar a competitividade, como é um dos objetivos desse instrumento. Portanto, a Subvenção foi e está sendo importante para as empresas melhorarem suas capacitações e capacidade de atuação, mas não é correto associar o sucesso (ou fracasso) das inovações diretamente à Subvenção Econômica. Se por um lado, os sucessos associados devem ser pensados em conjunto com outras ações, por outro, os fracassos não devem ser diretamente relacionados aos seus problemas e limitações, ainda que estes não devam ser ignorados.

7.2.3 – Subvenção Econômica à Inovação em nanotecnologia 2013: um breve panorama

Em março de 2013, a FINEP lança um pacote de quatro editais com um total de R\$ 144 milhões em recursos de subvenção econômica para empresas de qualquer porte nas áreas de nanotecnologia, biotecnologia, tecnologias da informação e comunicação (TICs), construção sustentável e saneamento ambiental¹⁸⁴.

A nanotecnologia terá um aporte de R\$ 30 milhões para projetos de inovação relacionados aos seguintes temas:

- 1- Plásticos e Borrachas (R\$ 12 milhões);
- 2- Papel e Celulose (R\$ 10 milhões); e
- 3- Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos (HPPC): R\$ 8 milhões.

O objetivo da seleção pública é “conceder recursos de subvenção econômica para o desenvolvimento de produtos e/ou processos inovadores, que envolvam significativo risco tecnológico associados à clara oportunidade de mercado, visando o desenvolvimento de produtos com base em processos nanotecnológicos inovadores” (FINEP, 2013).

¹⁸⁴ Este pacote faz parte do ‘Plano Inova Empresa’, que se trata de um conjunto de ações voltadas para investimentos em inovação com o objetivo de elevar a produtividade e a competitividade da economia. Este plano possui quatro diretrizes principais: i) ampliação do patamar de investimentos; ii) maior aporte para apoio para projetos de risco tecnológico; iii) fortalecimento das relações entre empresas, ICTs e setor público; e iv) definição de áreas estratégicas. Esta última está relacionada às diretrizes de ‘Ciência, tecnologia e inovação como eixo estruturante do desenvolvimento do Brasil’ no âmbito da “Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação 2012-2015”, onde a nanotecnologia figura, mais uma vez, como parte dos ‘Programas prioritários para os setores portadores de futuro’, junto com a biotecnologia como áreas de ‘Fronteiras para inovação’.

O edital destaca que o resultado da proposta que será objeto da seleção, ao final do período de execução, deverá estar em condição de ingressar em uma das etapas de certificação, produção e/ou comercialização. Deste modo, não serão aceitas propostas cujo resultado esteja aquém destas possibilidades.

Dois pontos merecem comentário neste contexto. O primeiro (positivo), destaca a retomada da nanotecnologia como área prioritária explícita deste instrumento desde 2008. Neste caso, delimitou-se o escopo de atuação em temas bastante específicos que, como visto neste trabalho, referem-se a temas com potencial de desenvolvimento relacionados aos nanomateriais e produtos na área de HPPC. Além disso, destaca-se o objetivo de apoiar projetos com risco tecnológico associados e clara oportunidades de mercado.

O segundo (negativo), no entanto, aponta, mais uma vez, para o equívoco de associar o instrumento Subvenção à inovação, sobretudo se os itens financiáveis se referem à ‘Despesas de Custeio’ e ‘Despesas de Capital’¹⁸⁵. Além disso, a exigência das condições destacadas ao final do período de execução parece ser contraditória com o objetivo de financiar projetos com risco tecnológico, cujos resultados são, por natureza, incertos. Desta maneira, corre-se o risco de eleger projetos já com certa maturação onde os riscos tecnológicos já foram consideravelmente diminuídos, podendo-se deixar de escolher projetos com grande potencial inovador, mas ainda incipientes, onde os riscos e incertezas são bem mais elevados.

Seja como for, a retomada da nanotecnologia como área prioritária como foco de política é muito importante e positiva, sobretudo se esta retomada vier acompanhada de uma reconfiguração dos programas e instrumentos no sentido de atuarem de forma mais coordenada e voltados para uma definição clara dos objetivos e das prioridades estratégicas do país. Este ponto e os resultados desta chamada merecem apreciação futura.

7.3 – Mecanismos de apoio à inovação em nanotecnologia: a percepção dos atores

A pesquisa e desenvolvimento (P&D) já foi apontada como um dos principais elementos para o desenvolvimento das nanotecnologias no Brasil. No entanto, levantou-se a discussão no final do capítulo anterior a respeito da abrangência do

¹⁸⁵ Para uma análise crítica da Subvenção nesse sentido para o Complexo Industrial da Saúde, ver Mota (2013).

conceito de P&D e considerou-se a hipótese de que os atores utilizam-se do termo e das atividades de P&D de maneiras diferentes, dependendo das especificidades das próprias atividades desenvolvidas nas empresas e institutos de pesquisa.

Esta seção tem por objetivo buscar captar a percepção dessas instituições acerca dos aspectos gerais da política existente, buscando levantar alguns instrumentos que consideram importantes para o fomento das atividades em nanotecnologia nas organizações em questão. Apesar de alguns pontos parecerem repetitivos, o objetivo foi exatamente tentar ressaltar algumas diferenças importantes quanto ao objetivo de determinados instrumentos, de modo a buscar captar de que forma eles podem ser mais eficazes.

Deste modo, procurou-se, primeiramente, saber das empresas e institutos de pesquisa entrevistados algumas percepções gerais sobre aspectos da política de inovação existente para a nanotecnologia. A análise dos resultados será apresentada pela frequência nas respostas, e não um percentual do total, uma vez que esta parte do questionário foi respondida por algumas empresas que não responderam as outras questões.

Para a maior parte das instituições entrevistadas (19), a política existente para a nanotecnologia é limitada em relação ao processo de inovação das nanotecnologias. Isso ocorre tanto porque, como já exposto, os instrumentos focam em poucas atividades relacionadas a este processo como porque as nanotecnologias não são homogêneas, o que torna determinadas ações pouco ou menos eficazes do que outras. Ainda que essas atividades sejam importantes, elas não são suficientes para muitas empresas e nanotecnologias, dependendo do grau de maturidade destas.

Neste contexto, empresas e institutos de pesquisa (17) consideram que a política deveria ser mais específica para cada tipo de nanotecnologia, ou seja, deveriam considerar as necessidades e especificidades das diferentes nanotecnologias de acordo com seu grau de maturidade, prioridade no contexto de desenvolvimento do país e sua trajetória, em curso e/ou potencial.

Por este motivo, estas instituições consideram que a política é muito abrangente, considerando os diferentes tipos de nanotecnologias (12), e que favorece apenas alguns tipos de nanotecnologia (12). No primeiro caso, é abrangente porque implicitamente se considera a nanotecnologia homogênea, uma vez que se utiliza de poucos instrumentos para os mesmos objetivos em nanotecnologias distintas. No segundo, pelas mesmas razões, não se leva em conta distintos graus de maturidade que certas nanotecnologias já

possuem. Portanto, aquelas que já estão em fases mais avançadas de desenvolvimento de suas nanotecnologias podem se beneficiar mais ou menos de determinados instrumentos. Em geral, estas necessitam mais de estímulos à produção industrial do que à pesquisa.

Por outro lado, oito instituições apontaram que consideram a política existente adequada para estimular o desenvolvimento da nanotecnologia, apesar das diferentes nanotecnologias. Destas, três são grandes centros de pesquisa no país. Nestes casos, a utilização dos recursos provenientes das políticas são obviamente voltados para o desenvolvimento de suas atividades em nanotecnologias, ou seja, está de acordo com o foco e atividades fins das instituições. Logo, é natural que considerem a política adequada para suas atividades.

As outras cinco instituições são empresas. Uma delas trata-se de uma empresa surgida na universidade, formada no contexto das primeiras iniciativas voltadas para o estímulo da nanotecnologia no Brasil. Neste caso, pode-se dizer que tem sido um caso bem-sucedido, utilizando-se dos recursos obtidos para financiar suas pesquisas e capacitações, e aproveitando a proximidade com a universidade, conseguiu mercado na produção de materiais direcionados para a área de cosméticos.

As outras quatro empresas foram empresas que obtiveram recursos da Subvenção Econômica. Uma grande empresa utiliza este recurso especificamente para aprender a trabalhar com e desenvolver nanomateriais para a área médica. Sua atuação ainda não está voltada diretamente para o mercado, mas para a internalização da nanotecnologia visando o lançamento de produtos diferenciados. Outra grande empresa também utiliza os recursos para atividades em laboratórios. No primeiro caso, a receita da empresa naquele ano foi da ordem de R\$ 600 milhões e os recursos obtidos de R\$ 1,4 milhão. No segundo, a receita da empresa foi de R\$ 1,4 bilhão, sendo o valor financiado em torno de R\$ 2 milhões. Em ambos os casos, pode-se dizer que a utilização dos recursos não era imprescindível para as atividades de nanotecnologia, haja visto que o objetivo de ambas era incorporar as nanotecnologias aos seus processos. As outras duas empresas são de médio porte, onde uma delas conseguiu com o recurso obtido desenvolver tecnologia própria e produzir o produto antes importando.

Por fim, apenas uma empresa apontou que a política abrange todo o processo de inovação em nanotecnologia. Este caso trata-se de uma empresa relativa à produção de laminados de aço, que apenas no período 2009-2011 passou a utilizar nanotecnologia e não obteve nenhum recurso para suas atividades em nanotecnologia.

Neste contexto, a figura 21 apresenta alguns instrumentos e mecanismos apresentados às empresas e instituições de pesquisa para consideração quanto sua importância como forma de apoio às atividades de nanotecnologia desenvolvidas por estas organizações.

Os mecanismos de apoio considerados importantes com maior frequência foram ‘financiamento para investimentos gerais’ e ‘incentivos à formação de parcerias com instituições de pesquisa e universidades’. Apesar de ser um item bastante amplo, o que se chamou de investimentos gerais aponta para a existência de outras carências não atendidas pelas empresas em relação às suas capacidades de investimento, que se potencializa quando se trata de investimento em uma nova tecnologia com riscos e incertezas inerentes. O outro item, ‘incentivos à formação de parcerias com instituições de pesquisa e universidades’, apenas reforça uma importante atividade para o processo de inovação que já é objeto dos instrumentos existentes, mas que não tem sido tão bem-sucedido como poderia, conforme já analisado anteriormente. O reconhecimento de sua importância como mecanismo essencial para o desenvolvimento das nanotecnologias está relacionado tanto à formação de capacitação dos atores envolvidos quanto ao desafio de transformar o conhecimento existente nessas instituições em novos produtos e processos.

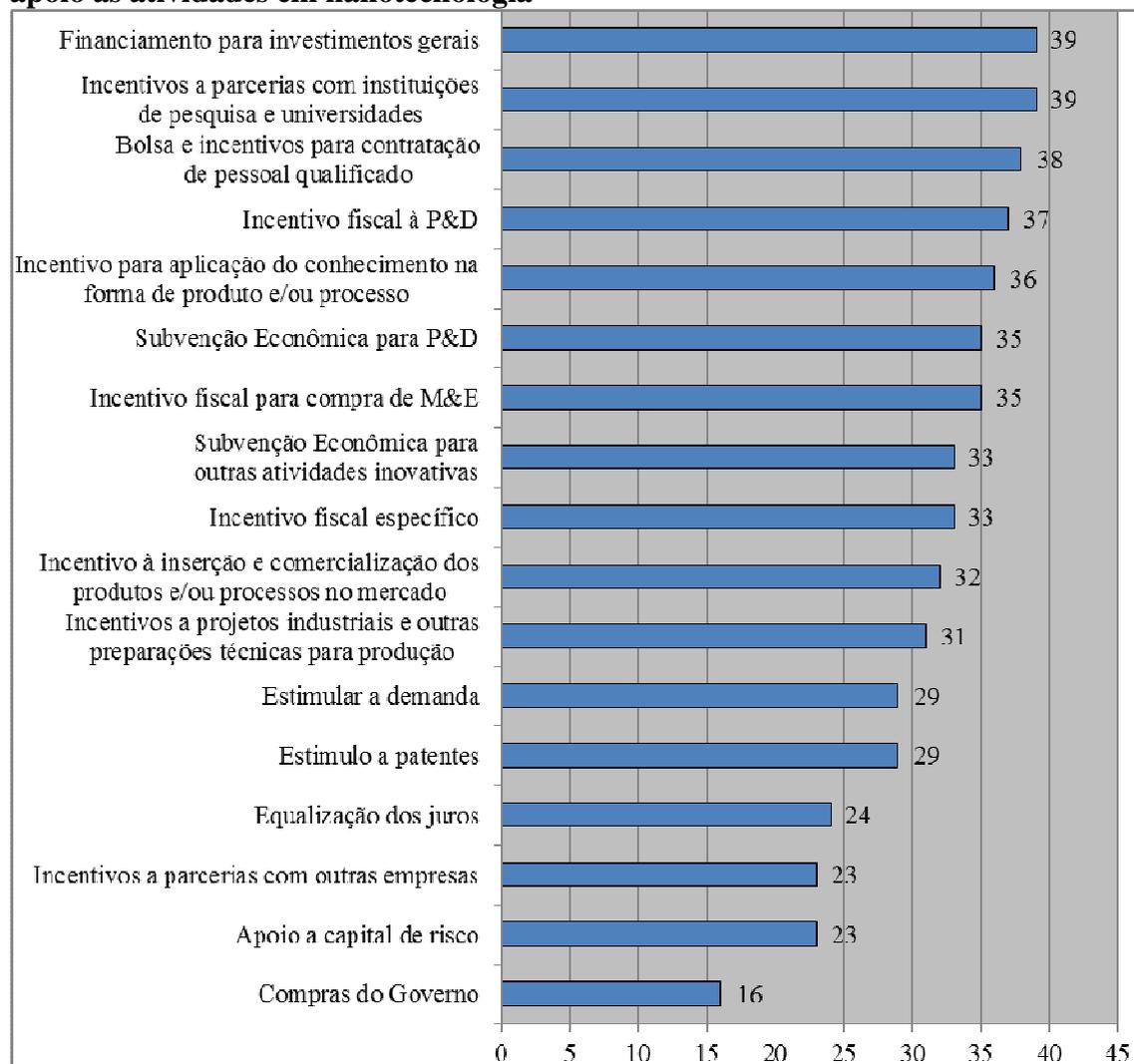
Este cenário se complementa quando se considera como importantes mecanismos o uso de ‘bolsas e outros incentivos para a contratação de pessoal qualificado’ e da ‘aplicação desse conhecimento na forma de produtos e processos’, reforçando a importância das parcerias para utilização do conhecimento gerado nas universidades e institutos de pesquisa.

Outros mecanismos que também se destacaram neste contexto foram os incentivos fiscais e a subvenção. No caso dos incentivos, o ‘incentivo fiscal para atividades de P&D’, interna ou externa à firma, tem pequena predominância sobre os ‘incentivos fiscais para a compra de máquinas e equipamentos’ para uso e desenvolvimento das nanotecnologias. Situação parecida ocorre em relação à ‘subvenção economia para P&D’ e para ‘outras atividades inovativas’.

Outros mecanismos importantes estão relacionados a ações que viabilizem a produção para inserção no mercado e comercialização. Deste modo, os entrevistados apontaram que instrumentos que criem ‘incentivos à inserção e comercialização dos produtos e processos no mercado’ e ‘incentivos a projetos industriais e outras

preparações técnicas para produção’ são importantes como fomento às atividades em nanotecnologias.

Figura 21 – Instrumentos e mecanismos considerados importantes como forma de apoio às atividades em nanotecnologia



Fonte: Elaboração própria.

Na sequência, de modo que completando o ‘ciclo inovativo’, apontou-se a importância de se ‘estimular a demanda de produtos e processos’ nanotecnológicos. Tendo em vista todas as dificuldades relacionadas à oferta, as incertezas relacionadas à falta de demanda se tornam fatores que dificultam o andamento dessas atividades. Contudo, o interessante neste cenário é que as ‘compras do governo’ como mecanismo de garantir demanda aparece em último lugar no *ranking* dos instrumentos e mecanismos relacionados.

Outros mecanismos apontados são ‘estímulo a patentes’, relacionados à diminuição da dificuldade no processo e tempo de obtenção de patentes, ‘equalização dos juros’, voltados à diminuição dos custos de financiamento, ‘incentivos a parcerias com outras empresas’ e ‘apoio a capital de risco’, baseado na aposta do potencial das empresas em relação às nanotecnologias.

Para finalizar, alguns pontos merecem destaque. Primeiro, os mecanismos e instrumentos apontados reforçam, por um lado, a relevância das atividades de P&D para as nanotecnologias, mas também evidenciam que outras atividades voltadas para o conhecimento e capacitação de pessoal e a necessidade de viabilizar técnica e economicamente a produção de produtos e processos vai além dessas primeiras atividades para a efetivação do processo inovativo. Segundo, esses mecanismos e instrumentos são ações que, isoladamente, poderiam ser utilizados para qualquer fim voltados para determinadas necessidades e prioridades em um determinado momento, não necessariamente para um objeto específico, neste caso para estimular as nanotecnologias. Deste modo, em terceiro lugar, para que estes mecanismos e instrumentos assumam a configuração de uma política de inovação, eles devem coexistir e atuar de forma coordenada e complementar, dentro de uma lógica operativa voltada para objetivos e prioridades definidos. Finalmente, são estes mecanismos e instrumentos que atuam como políticas explícitas, quando voltadas especificamente para um objeto, e implícitas, quando atuam sobre as primeiras de forma indireta. Deste modo, o que se entende como política de inovação é o conjunto dessas esferas de políticas atuando de forma coordenada de modo a se reforçarem mutuamente.

7.4 – Dificuldades para aproveitar os instrumentos de política existentes

Esta seção tem por objetivo apresentar algumas dificuldades apontadas pelas empresas e institutos de pesquisa para aproveitar os mecanismos e instrumentos de políticas existentes para nanotecnologia no Brasil. Optou-se, no questionário, por deixar esta questão em aberto, ou seja, sujeito à descrição dos atores entrevistados, sem opções para escolha binária ou por grau de importância. Entendeu-se que, deste modo, obter-se-ia respostas mais específicas, ainda que mais sujeitas à subjetividade.

Deste modo, dividiu-se as respostas em seis grupos: i) Burocracia e custo; ii) Riscos e incertezas; iii) Informação e conhecimento; iv) Recursos humanos; v) Limitações da política; e vi) Outros.

i) Burocracia e custo

O excesso de burocracia foi apontado como um importante entrave para o aproveitamento dos instrumentos existentes. O tempo de tramitação burocrática do processo de obtenção de recursos foi um fator que teve impacto negativo em alguns casos. Além disso, observou-se também grande demora no repasse das verbas por parte da agência financiadora, no caso a FINEP. Uma das empresas entrevistadas relatou que teve que recorrer a outras fontes de recursos para manter o andamento da pesquisa e desenvolvimento.

Em outro caso, a empresa fez uma declaração desistindo do projeto. Segundo a empresa, quando saiu a aprovação do projeto, as prioridades da empresa não eram mais as mesmas na área de nanotecnologia, por isso enviaram uma carta a FINEP explicando que estavam abrindo mão do projeto. Portanto, não receberam nenhuma parcela e não houve desenvolvimento do projeto por parte da empresa. A pesquisadora responsável pelo projeto se desligou da empresa e levou o projeto consigo. Um fator interessante que estaria de acordo com as diretrizes da política para nanotecnologia foi que o projeto nasceu dentro da área industrial da BioRio, ou seja, em total parceria com a universidade. Entretanto, segundo palavras da entrevistada: "Tivemos medo de não conseguir honrar com o proposto (...) Só recebe dinheiro quem tem dinheiro (...) Estamos desanimados com a FINEP. O processo é muito moroso (...) O projeto é bom mas se não começar no momento correto, passa o tempo da empresa (...) A inovação é muito dinâmica".

Além disso, também houveram problemas relacionados ao elevado custo durante o processo de obtenção dos recursos pleiteados, sobretudo custos com escritórios de advocacia.

ii) Riscos e incerteza

Em relação aos riscos e incertezas apontados para a utilização dos instrumentos, as empresas entrevistadas apontaram questões relacionadas aos mecanismos de proteção intelectual e dificuldades relativas à própria concepção dos instrumentos. No primeiro caso, apontou-se que “os mecanismos de proteção intelectual são insuficientes e pouco eficientes; o empresário se sente inseguro para incluir todos os projetos de forma mais ampla nos programas de fomento à inovação” em nanotecnologia. Esta questão mostra

que as incertezas não estão apenas relacionadas à aceitação, difusão e/ou regulamentação das nanotecnologias. Existe também o problema (e tempo) da propriedade intelectual que, no Brasil, atua como fator negativo para o desenvolvimento das atividades.

No segundo caso, a “falta de continuidade das políticas governamentais de apoio para todas as áreas tecnológicas consideradas prioritárias” se apresentou como um importante entrave para a utilização das políticas. Este problema, como já mencionado anteriormente, e que se evidenciou de forma mais clara na Subvenção Econômica, é uma questão crucial na estrutura da própria política de nanotecnologia no Brasil. As incertezas inerentes à concepção das próprias nanotecnologias, aliadas a incerteza da existência das políticas que supostamente serviriam para dirimir as primeiras incertezas são fatores que certamente dificultam o aproveitamento dos mecanismos e instrumentos existentes.

iii) Informação e conhecimento

Neste caso, diversas empresas apontaram que a falta de informação e conhecimento a respeito da política de incentivo existente para as nanotecnologias foram fator que dificultou e mesmo impediu que aproveitassem os mecanismos e instrumentos. Em um dos casos, a empresa apontou que a falta de conhecimento e informação sobre os “arranjos nanotecnológicos” foi um fator que dificultou o acesso às linhas de incentivo e crédito, obstruindo a busca por políticas de apoio.

Em outro caso, a falta de conhecimento e informações sobre os instrumentos, e suporte para aplicar os incentivos adequados foram cruciais para não se fazer uso das políticas, “uma vez que o desenvolvimento (das atividades) não pode ficar estagnado aguardando uma solução para o recebimento desses incentivos. Trata-se de um processo contínuo, com motivação que superam os riscos de ficar aguardando maiores informações de como podemos e quando receberemos tais incentivos. Ao mesmo tempo nos sentimos frustrados por não aproveitar a totalidade desses benefícios e ter maior investimento em outras inovações em nanotecnologia”.

iv) Recursos humanos

Verificou-se que a falta de pessoal qualificado é um importante fator que tem dificultado o desenvolvimento de atividades relacionadas às nanotecnologias no Brasil. As empresas entrevistadas apontaram a necessidade de recursos humanos qualificados como um importante fator que contribuiu para dificultar o acesso das empresas aos mecanismos e instrumentos existentes de apoio à nanotecnologia. A dificuldade de contratação e retenção de recursos humanos diversos atrapalhou diversas empresas a levar adiante suas atividades em nanotecnologia. Portanto, apesar da existência de instrumentos que lhes fossem úteis, essas empresas não possuíam pessoal qualificado para desenvolver os projetos em nanotecnologia.

v) Limitações da política

As dificuldades encontradas pelas empresas para o aproveitamento das políticas também estão relacionadas às limitações existentes das mesmas. Percebeu-se que algumas dessas limitações estão associadas tanto às especificidades das nanotecnologias quanto das próprias empresas.

Uma importante dificuldade identificada, e também associada às relacionadas aos riscos e incertezas, se refere à falta de continuidade das políticas governamentais de apoio às atividades em nanotecnologia. Apesar de figurar como área estratégica prioritária, não houve uma definição do que seria prioritário em nanotecnologia, tampouco continuidade no apoio a elas, aparecendo apenas indiretamente quando havia nanotecnologia como parte de algum projeto, como ocorreu no caso da Funtec e da Subvenção Econômica.

Um problema identificado se refere às ‘limitações existentes nos editais’. Para as empresas, o ‘enquadramento nos editais são muito amplos, o que dificulta muitas vezes a incorporação de um projeto em nanotecnologia’. Por isso, muitas empresas têm dificuldade em ‘identificar e associar os instrumentos corretos da política de inovação aos objetivos de desenvolvimento das empresas’ relacionados às nanotecnologias.

Por um lado, algumas empresas apontaram a necessidade de editais mais específicos para determinadas áreas. Por exemplo, apesar de vários projetos para desenvolvimento de produtos odontológicos terem sido financiados pela Subvenção,

apontou-se a ausência de editais direcionados especificamente para esta área, ainda que algumas linhas estejam direcionadas para a área de Saúde.

Por outro lado, outro problema apontado foi que as atuais linhas destinadas ao fomento das nanotecnologias são destinadas a setores específicos da indústria, e na sua grande maioria de bens de consumo. Segundo apontado, “as empresas de bens de capital desenvolvem o incremento de áreas de tecnologias, necessárias para a competitividade da indústria, mas de pouca exposição, já que são indústrias que não estão ligadas a um consumidor final”. Dessa forma, apontam que não existem linhas de fomento para este tipo de indústria, havendo “uma real **necessidade de movimentar as políticas de apoio a nanotecnologia para um formato mais estratégico**”. Deste modo, “**esta política poderia ser tanto mais abrangente quanto mais específica**”¹⁸⁶ só que em maior quantidade. Assim, estaria atingindo o segmento de indústrias de bens de capital”.

Estes exemplos mostram que as dificuldades apontadas estão relacionadas ao tipo de atividade das empresas e das nanotecnologias que elas desenvolvem. Se, para umas, uma política mais abrangente é necessária, para outras, políticas mais direcionadas e específicas são essenciais. Assim, a hipótese levantada neste trabalho de que as políticas para as nanotecnologias devem ser pensadas de acordo com o tipo de nanotecnologia se mostra consistente, segundo a percepção das empresas para a utilização dos instrumentos de política.

Outro problema se refere à avaliação dos relatórios pelas equipes técnicas governamentais. Segundo relatado, esta avaliação supera todo o esforço realizado dentro da empresa ao longo do desenvolvimento do projeto. A aferição por igualdade na avaliação dos projetos faz com que empresas de diferentes portes e capacitações sejam avaliadas da mesma forma, o que dificulta micro empresas a captar recursos e desenvolver atividades de P&D, por exemplo, frente aos instrumentos existentes.

Por fim, completando as dificuldades apontadas relacionadas às limitações das políticas, apontou-se que existe uma falta de uma discussão técnica e científica no uso das nanotecnologias desenvolvidas no país. Esta discussão, segundo entrevistado, é feita apenas nas universidades e centros de pesquisa, fora do escopo das empresas. Contudo, aponta que as empresas deveriam sempre ser consideradas para estes debates, uma vez que é nelas que se desenvolvem “formas específicas de desenvolvimento e soluções”. Em outras palavras, o que o entrevistado aponta é a falta de comunicação entre a

¹⁸⁶ Grifos do autor.

academia e o setor produtivo. Ainda que esta aproximação seja objeto da política, o que se relata é uma grande lacuna nestas atividades, como já apontado.

Deste modo, é possível inferir que a limitação da política está relacionada ao aprofundamento do entendimento dos processos de incentivo; ou seja, entender o que a política busca beneficiar com os projetos nesta área.

vi) *Outras limitações*

Algumas outras limitações estão relacionadas a:

- Obtenção dos recursos financeiros necessários para a implementação dos projetos e adequação dos laboratórios de pesquisa;
- Dificuldade relativa à contrapartida do financiamento;
- Dificuldade para escalonamento;
- Dificuldade de encontrar parcerias para o desenvolvimento da nanotecnologia.

Para algumas empresas, o que influencia na decisão da empresa em relação à nanotecnologia é o desafio de comprovar a segurança dos produtos nanotecnológicos através de métodos alternativos e a falta de uma nanometrologia padronizada e validada. Deste modo, uma limitação da política é não focar nestas questões.

Por fim, perguntou-se as empresas e institutos de pesquisa se a atual crise influenciou de alguma forma a decisão em relação aos investimentos em nanotecnologia. Como discutido anteriormente, a difusão das novas tecnologias e consolidação do novo paradigma ocorre em concomitância com o esgotamento do padrão produtivo baseado na exploração das velhas tecnologias, levando os empresários a diminuir investimentos nessas tecnologias, configurando um período de crise. Nesse contexto, inicia-se um novo ciclo de investimentos baseados em novas tecnologias que apontam para um novo padrão produtivo e um novo paradigma. Neste ‘período de instalação’ (PEREZ, 2002; 2007), as novas tecnologias convivem com as antigas e os investimentos em novos produtos e processos possuem um elevado grau de incerteza (FREEMAN *et al.*, 1982).

Nesse período, os investimentos nas novas tecnologias ainda são tímidos, porém incessantes. As empresas enxergam as possibilidades que podem surgir a partir dessas tecnologias, mas ainda sujeitas às incertezas e riscos desse período.

Assim, das 51 empresas e institutos de pesquisa que responderam esta questão, aproximadamente 45 (88%) disseram que a atual crise não afetou as atividades relacionadas às nanotecnologias. Apenas 6 (12%) afirmaram que a crise teve impacto negativo.

Dentre aquelas que disseram que a crise não afetou, segue alguns comentários a respeito:

- “Os conceitos de desenvolvimento considerados no andamento da empresa não levaram em conta as crises incorporadas nos centros de pesquisa existentes na nossa área nos últimos 10 anos”;
- “A pesquisa já estava em andamento mesmo antes da crise”;
- “A crise não alterou os planos da empresa”;
- “A pesquisa é anterior a crise”;
- “Em momentos de crise, os investimentos em P&D são potencializados”;
- “Não houve influência. Normalmente existem pequenas instabilidades, mas quando se tem inovações em várias frentes, em geral, crises fortalecem as Empresas Inovadoras”.

Portanto, a pesquisa de campo aponta para um cenário onde as empresas, de fato, percebem a importância das nanotecnologias na nova configuração produtiva que se desenha e a janela de oportunidade ainda (semi)aberta e, ainda que timidamente, persistem nas atividades relacionadas às nanotecnologias. É neste cenário que a política de inovação deve atuar, enquanto houver tempo.

7.5 – Elementos para política de nanotecnologia

As janelas de oportunidade ocorrem quando novas tecnologias surgem com o potencial de modificar a configuração de toda uma economia. Reconhecer que uma tecnologia (ou grupo de tecnologias) possui tais características, principalmente quando ela ainda é pouco difundida, é uma rara oportunidade (LASTRES, 1994). É nesse cenário que o desenho de políticas que visem promover essas novas tecnologias emergentes se torna fundamental¹⁸⁷. Esta seção tem por objetivo apresentar algumas

¹⁸⁷ Carlsson e Jacobsson (1997, p.285) destacam que “*a fundamental task of policy is to identify new technological opportunities at an early stage and to contribute to raising the awareness of these opportunities as broadly as possible in industry, academia, and elsewhere*”.

proposições de políticas de nanotecnologia baseadas nos resultados e análises apresentados neste trabalho. A seção se complementa com a leitura do anexo I, que apresenta as percepções e opiniões dos atores entrevistados a respeito de uma política de inovação adequada, segundo suas perspectivas, para as nanotecnologias no Brasil.

O Brasil foi capaz de reconhecer estas oportunidades em relação à nanotecnologia relativamente cedo, contudo, ainda não tem sido capaz de desenhar uma estrutura de política produtiva e inovativa capaz de promover o desenvolvimento da nanotecnologia de forma consistente e continuada.

Apontou-se ao longo deste trabalho que a política de inovação desenhada para a nanotecnologia no Brasil concentrou-se prioritariamente na formação da infraestrutura científica e tecnológica e na pesquisa básica. Ao dar muita ênfase à “parte científica” da nanotecnologia, descuidando de outras atividades importantes do processo inovativo, a política implicitamente se estruturou a partir de uma visão linear do processo de inovação.

Ainda assim, avançou-se desde então. As iniciativas foram, e continuam sendo, importantes e fundamentais, apesar de insuficientes, uma vez que a produção e comercialização de nanotecnologia no Brasil ainda são bastante incipientes.

Pelas características das nanotecnologias - que se espalham por diversas áreas do conhecimento, setores econômicos e diferentes instituições e organizações -, seu caso se apresenta como um exemplo interessante de como uma política sistêmica pode ser estruturada, visto que esta política necessariamente estará relacionada a vários elementos do sistema econômico. No entanto, é exatamente esta abrangência, por um lado, e especificidade, por outro, que torna a política de inovação para as nanotecnologias uma tarefa tão complexa.

Em primeiro lugar, uma condição fundamental para o desenho de políticas para nanotecnologia é identificar quais são as principais nanotecnologias, suas características e, principalmente, quais as prioridades: i) identificar quem desenvolve a nanotecnologia; ii) qual a natureza da nanotecnologia e quais as expectativas sobre ela; iii) que esforços são feitos para seu desenvolvimento; iv) quem são os atuais e potenciais usuários da nanotecnologia (empresas e setores); v) quais as principais instituições envolvidas nesta nanotecnologia; e vi) ter alguma clareza quanto às vantagens de se aplicar esta nova tecnologia. Este esforço está intimamente relacionado à construção de indicadores de

inovação específicos e consistentes, focados na dinâmica inovativa dos sistemas nanotecnológicos de inovação, de modo a dar suporte ao desenho de políticas¹⁸⁸.

Ao tentar responder alguma dessas questões, aumenta-se o entendimento das diferentes nanotecnologias, possibilitando a escolha de prioridades estratégicas de desenvolvimento. Albuquerque *et al.* (2010) sugerem investir em estudos de prospecção e monitoramento dos setores estratégicos, com foco específico para as inovações nanotecnológicas, criando linhas de crédito específicas visando o aproveitamento de “janelas de oportunidade”, principalmente em setores chave da economia. Nesse sentido, propõe-se que a abordagem dos sistemas nanotecnológicos de inovação possa ser o quadro analítico adequado no primeiro momento.

Deste modo, a identificação de trajetórias nanotecnológicas visa fornecer as bases para a estruturação de uma agenda com diretrizes e ações para o desenvolvimento das aplicações de nanotecnologias apontadas como as mais promissoras e estratégicas para o Brasil¹⁸⁹.

Neste cenário, uma política geral de inovação para nanotecnologia se mostra insuficiente. Estratégias e instrumentos de política podem ser pensados para cada sub-área específica e campo de aplicação nas quais as nanotecnologias se desenvolvem, levando em consideração a multiplicidade das abordagens de pesquisa e aplicações, dado que algumas dessas sub-áreas ainda estão em sua fase incipiente de desenvolvimento, enquanto outras em fases mais avançadas. Por esse motivo, políticas que busquem priorizar áreas de aplicação específicas podem levar em consideração a dinâmica e estrutura das diferentes nanotecnologias.

Além disso, mostrou-se que diferentes tipos de empresas atuam nestas sub-áreas. Em geral, as pequenas empresas *start-ups* possuem maiores vantagens nas atividades de P&D experimental nas novas tecnologias em comparação com as maiores já estabelecidas, em especial devido ao efeito *lock-in* nas atividades das últimas. Contudo, empresas maiores possuem maiores vantagens quando as fontes de competitividade mudam da P&D para a produção e custos.

Por isso, as empresas maiores e já estabelecidas estão relativamente em melhor posição para utilizar rapidamente as nanotecnologias devido às suas capacidades em

¹⁸⁸ Ver apêndice.

¹⁸⁹ Análise análoga foi feita por Rafols *et al.* (2010) para os nanomateriais no Reino Unido: “Our argument is that specific characteristics of the industrial dynamics of nanomaterials have important implications for innovation governance, because they limit and enable different potential interventions that could be used to influence innovation trajectories” (*Ibidem*, p.4).

adquirir e operar instrumentos e maquinarias de alto valor. Nesse caso, ainda que as pequenas empresas geralmente sejam o foco das políticas de governo, deve-se também levar em consideração as necessidades das empresas maiores e já estabelecidas, uma vez que muitas vezes são elas que, de fato, concretizam o processo de inovação. Segundo Albuquerque *et al.* (2010, p.273), “(...) a difusão conseqüente da nanotecnologia só será alcançada se forem utilizadas as potencialidades das empresas nacionais já estabelecidas em segmentos-chaves, articulando cadeias produtivas dessas empresas com a cadeia de valor da nanotecnologia”. Estas características foram observados neste estudo, sobretudo em relação a determinadas nanotecnologias utilizadas e desenvolvidas na área de cosméticos, odontológica e de nanomateriais, por exemplo.

Outra questão bastante relevante como foco de política para nanotecnologia é em relação aos recursos humanos (cientistas e trabalhadores) das nanotecnologias. As empresas enfrentam dificuldades em identificar e contratar pessoas que sejam tanto especialistas – com habilidades particulares nas nanotecnologias específicas – quanto generalistas – que possam agir como “guardiões” (*gatekeepers*) que atuem transversalmente nas diversas disciplinas científicas, nas fronteiras organizacionais, e nas diversas áreas de produção.

Deste modo, investir na formação de recursos humanos nas nanotecnologias vinculados não apenas às áreas técnicas, mas também nas áreas social, econômicas, ambiental e de saúde e segurança, também é um elemento essencial da política. Destacou-se que um importante passo foi dado nesse sentido com a constituição do primeiro curso de graduação em nanociência e nanotecnologia do Brasil na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) a partir de 2010.

A política deve envolver também o desenvolvimento tecnológico com foco no mercado. Conforme já discutido, há uma grande distância entre a pesquisa/desenvolvimento científico e o que é necessário para transformar o conhecimento gerado em inovação, resultando em um produto/processo inovativo. Para isso, além da aproximação entre as universidades/institutos de pesquisa e as empresas, ainda há barreiras técnicas e econômicas para a produção em escala e inserção no mercado.

Nesse cenário, a utilização do poder de compra do Estado para que as empresas possam desenvolver produtos utilizando nanotecnologia adquire caráter estratégico junto às demais políticas. A garantia de sua demanda fará com que as empresas se

sintam mais dispostas a investir, reduzindo o grau de incerteza e riscos. Segundo Cassiolato (2011), “um elemento garantidor do investimento são as compras públicas (...). Todos os países que têm um sistema nacional de inovação forte a utilizam (...). É um mecanismo usado largamente para dar fôlego a investimentos que são de alto risco e custo”¹⁹⁰. Segundo Edler e Georghiou (2007), essa demanda pode ser de duas formas: geral ou específica. No primeiro caso, as compras públicas são organizadas de forma geral, de modo que a inovação se torne um critério essencial nas chamadas por propostas e na análise dos documentos dessas propostas. No segundo caso, as compras se referem a demandas estratégicas, relacionadas à compra de determinadas tecnologias, produtos ou serviços que se espera seja introduzidas no mercado. Este tipo de estratégia está mais relacionada a políticas tecnológicas e setoriais. A aplicação sistêmica de ambas as formas de demanda requer uma ação coordenada entre vários ministérios e autoridades.

Nesse contexto, a criação de novos instrumentos e a utilização dos já existentes de forma coordenada também são elementos importantes para que as políticas tenham sucesso. Por isso, instituições como BNDES e FINEP, e a utilização dos Fundos Setoriais, devem estar articulados para que os instrumentos possam funcionar estrategicamente e as políticas tenham resultado.

Por fim, as políticas para as nanotecnologias devem focar na constituição de uma estrutura de governança que coordene as ações das diversas esferas do governo, principalmente a Federal¹⁹¹. Essas ações devem estar pautadas na “definição e implementação de uma estratégia que permita a sua introdução e difusão ordenada na economia e na sociedade, como parte de uma Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável do país, conferindo aos investimentos nessa área o estatuto de investimentos estratégicos” (ALBUQUERQUE *et al.*, 2010, p.273) no âmbito das políticas do sistema

¹⁹⁰ “(...) *procurement policy is a far more efficient instrument to use in stimulating innovation than any of a wide range of frequently used R&D subsidies*” (Geroski, 1990 *apud* EDLER e GEORGHIOU, 2007, p.949). Essas políticas se caracterizam como políticas de inovação do lado da demanda, conceituadas como todas as medidas públicas utilizadas para induzir as inovações e/ou agilizar a difusão das inovações através do aumento na demanda (pelas inovações), definindo novos requisitos funcionais para produtos e serviços, ou melhor articulando a própria demanda (EDLER e GEORGHIOU, 2007).

¹⁹¹ Em junho de 2010, através da Portaria Interministerial Nº 510, os Ministérios de Estado da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), da Defesa (MD), do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), da Educação (MEC), do Meio Ambiente (MMA), de Minas e Energia (MME) e da Saúde (MS) instituíram o Comitê Interministerial de Nanotecnologias (CIN), “com a finalidade de assessorar os Ministérios representados no Comitê na integração da gestão e na coordenação, bem como no aprimoramento das políticas, diretrizes e ações voltadas para o desenvolvimento das nanotecnologias no país”. A primeira reunião do Comitê ocorreu em outubro de 2012. Até o presente momento nenhuma ação mais concreta foi realizada no âmbito desta nova instituição.

nacional de inovação do país. “São necessários programas e ações estruturados de longo prazo, em que as políticas de ciência e tecnologia são conectadas a políticas macroeconômicas, comerciais, de compras públicas e de desenvolvimento regional e socioambiental, apoiadas em uma clara estratégia do Estado” (CASSIOLATO, 2011).

Portanto, conclui-se que a essência da política de inovação no âmbito de um sistema nacional de inovação é a de criar ações a partir de uma clara estratégia de desenvolvimento, baseada na coordenação e harmonia de políticas de ciência, tecnologia, industrial e social, onde o Estado possui papel fundamental. A nanotecnologia requer um Estado que funcione bem para que seu estabelecimento seja adequado¹⁹².

7.6 – Considerações parciais

O capítulo procurou apresentar um panorama analítico dos principais mecanismos e instrumentos utilizados para promover a nanotecnologia no Brasil na última década baseado nos resultados obtidos a partir das entrevistas com atores em empresas e institutos de pesquisa no país.

Dentre os mecanismos e instrumentos mais conhecidos e utilizados para o fomento das inovações em nanotecnologias no Brasil, destaca-se a Subvenção Econômica. O instrumento apoiou diversos projetos em P&D, principalmente em jovens pequenas empresas.

Os resultados mostraram que a maioria dos projetos está na fase de P&D e desenvolvimento de protótipos. Apesar de muitos dos produtos também já estarem disponíveis para a venda o mercado, a maioria já estava antes das nanotecnologias. Estas foram incorporadas às atividades das empresas.

Apesar de não ser seu principal objetivo, a Subvenção tendo sido um importante instrumento para promover o desenvolvimento de pesquisa e capacitação dentro das empresas, além de vir promovendo maior aproximação do setor produtivo com a academia, ainda que muitos problemas ainda existam. Além disso, tem servido também para apontar áreas em nanotecnologia em ascensão no Brasil, ou seja, apontar as trajetórias em curso e as em potencial.

¹⁹² “(...) *nanotechnology requires a well-working state to establish itself appropriately (...)*” (DRECHESLER, 2009, p.102).

No entanto, é um preciso estar claro que trata-se de um instrumento voltado para fomentar atividades de P&D, mas que não pode ser considerado um programa de inovação. Primeiro, uma política de inovação não pode ser operada utilizando-se instrumentos que funcionem através de editais e chamadas públicas. Como já discutido, é necessário ter prioridades objetivas e foco nas políticas, ou seja, é preciso ter claro o que se pretende alcançar e desenvolver. Além disso, não há uma diretriz para nanotecnologia na Subvenção Econômica, tampouco houve uma continuidade no instrumento para estas tecnologias. Apesar da retomada da nanotecnologia como foco de política em 2013, ainda não se sabe se há, de fato, uma diretriz para a nanotecnologia no instrumento, ou se haverá continuidade nos próximos anos. Portanto, apesar de ter sido importante para inserir a nanotecnologia no cenário nacional, nas empresas, universidades e centros de pesquisa, trata-se de um instrumento limitado quando o objetivo é promover a inovação.

Na sequência, apontou-se atividades inovativas que as empresas e institutos de pesquisa consideram importantes para o uso e desenvolvimento das nanotecnologias. Observou-se que as necessidades e perspectivas sobre as políticas variam tanto de acordo com as empresas, dependendo de suas características e atividades, como do tipo de nanotecnologia, assim como as dificuldades enfrentadas por elas no decorrer desse processo.

Neste contexto, o que se conclui é que o Brasil foi capaz de reconhecer a existência de ‘janelas de oportunidade’ relacionadas à nanotecnologia relativamente cedo. Entretanto, ainda não foi capaz de desenhar uma estrutura de política produtiva e inovativa capaz de aproveitar estas janelas e promover o desenvolvimento da nanotecnologia de forma consistente e continuada. Este cenário, sobretudo se analisado em concomitância com outros programas e instrumentos para outras áreas consideradas estratégicas¹⁹³ no âmbito dos programas mobilizadores, aponta um Estado fragmentado do ponto de vista do direcionamento e mesmo das prioridades das políticas.

¹⁹³ Ver, por exemplo, Bianchi (2012) para uma análise das políticas para biotecnologia e Mota (2013) para análise das políticas para o Complexo Industrial da Saúde.

CONCLUSÃO

Este trabalho se propôs analisar a política de inovação brasileira para as nanotecnologias a partir do referencial teórico neo-schumpeteriano. A análise buscou considerar a consistência e articulação dos programas e instrumentos desenhados ao longo da última década como um conjunto de ações denominadas políticas de inovação no âmbito do sistema nacional de inovação. As propostas e conclusões aqui apresentadas representam tão somente um esforço interpretativo acerca de um objeto no sentido de proporcionar elementos para atuação sobre ele.

O argumento desenvolvido refere-se à emergência de novas tecnologias com potencial de criar novas trajetórias e se consolidar como um novo paradigma tecnológico. Especificamente, o desenvolvimento da nanotecnologia oferece uma rara oportunidade de estudar a evolução inicial de um conjunto de novas tecnologias, ou mesmo de uma revolução tecnológica, em tempo real. No entanto, pouco ainda se sabe a respeito da dinâmica inovativa destas tecnologias.

É neste contexto que a opção pela abordagem neo-schumpeteriana se justifica, sobretudo por partir da idéia de que a inovação é um processo de aprendizado e acúmulo de conhecimentos que se formam ao longo de uma trajetória, na dinâmica de um processo sistêmico e interativo de um conjunto de atores e instituições. Nesta perspectiva, a política tem o papel tanto de estimular o progresso ao longo de uma trajetória já prevalecente ou, como no caso das nanotecnologias, tem a tarefa mais difícil de tornar o ambiente mais propício para que os agentes mudem de uma trajetória para outra. Uma das tarefas mais importantes do governo (através da política) é guiar a busca pelo novo conhecimento nas trajetórias (LUNDVALL, 1992).

Esta abordagem também considera que a elaboração de políticas faz parte de um processo de aprendizado que co-evolui com o entendimento da dinâmica inovativa do objeto que se pretende estimular¹⁹⁴. Por isso, a política de inovação é aqui descrita como um processo de aprendizado de política, ou seja, um processo de aprendizado e transformação institucional em constante mudança que se reflete na elaboração de novos tipos de instrumentos e novas práticas de tomadas de decisão, formadas e renovadas à medida que avaliações de políticas são realizadas e novas configurações se

¹⁹⁴ “We would argue that policy processes are better thought of as a subset of the broader category of innovation processes. Policy processes are not amenable to instrumental rationality any more than are innovation processes – the focus should be on incremental/adaptive learning, experimentation, reflection, debate and argument about means/ends, and even creative tensions” (FLANAGAN, 2010, p.27).

apresentam. O aprendizado, como afirma Lundvall (1992), é a principal característica da evolução econômica e social, que pode ser afetado pela política e institucionalizado de maneiras mais ou menos eficiente¹⁹⁵.

Este processo de aprendizado é particularmente importante no momento em que novas trajetórias tecnológicas estão sendo traçadas e consolidadas. Por isso, a análise das políticas está baseada no âmbito dos sistemas de inovação, pois, são esses sistemas que oferecem o quadro analítico necessário para o melhor entendimento dos processos interativos e inovativos destas novas tecnologias. Nesta perspectiva, o conjunto de políticas que atuam nesses sistemas se refere a ações de longo prazo voltadas não apenas para o crescimento econômico, mas, sobretudo, para o desenvolvimento econômico e social. Este é o objetivo implícito do sistema nacional de inovação. É nesse contexto, portanto, que a análise das políticas voltadas para as nanotecnologias foram analisadas.

Nesse contexto, o capítulo 1 procurou apresentar a emergência e evolução das nanotecnologias a partir da concepção de paradigmas e trajetórias tecnológicas. Argumentou-se que as nanotecnologias vêm se consolidando como tecnologias capazes de trazer uma nova onda de transformações revolucionárias com o potencial de modificar as estruturas econômicas e sociais por ocasião da consolidação de um novo paradigma tecno-econômico. Além disso, o reconhecimento do potencial revolucionário das nanotecnologias, quando elas ainda estão nos primeiros estágios de difusão, apresenta-se como uma janela de oportunidade para empresas e países se consolidarem nesses estágios iniciais.

O aproveitamento dessas oportunidades está relacionado à atuação do Estado para a elaboração e coordenação de políticas que estimulem e criem as condições necessárias para a conformação do ambiente no qual essa nova trajetória será configurada. Esta atuação ocorre através da concepção e aplicação de políticas de inovação no âmbito dos sistemas de inovação.

Pelas características das nanotecnologias, optou-se por utilizar tanto a abordagem mais restrita dos sistemas tecnológicos de inovação quanto a abordagem mais ampla dos sistemas nacionais de inovação. O primeiro permite um quadro analítico onde é possível uma apreciação mais acurada das diferentes nanotecnologias,

¹⁹⁵ “*Learning (...) is the main characteristic of social and economic evolution and learning can be affected by policy-making and, deliberately, institutionalized in more or less efficient ways. Also in policy-making, itself, learning may be more or less efficiently institutionalized*” (DALUM et al., 1992, p.299).

destacando suas principais características e especificidades, permitindo um maior entendimento da dinâmica inovativa da nanotecnologia específica, além da possibilidade da aplicação de políticas (mais restritas) de forma mais direcionada. O segundo, por sua vez, apresenta o âmbito geral, a ‘configuração global’ na qual esses sub-sistemas se formam e se desenvolvem e afetam a estrutura econômica e social¹⁹⁶.

Deste modo, argumentou-se que é a partir dos sistemas nanotecnológicos que é possível pensar e estruturar ações voltadas para as nanotecnologias mais especificamente, ou seja, é nesse âmbito que as políticas explícitas ficam mais evidentes. Por outro lado, é na lógica do sistema nacional de inovação que é possível analisar a dinâmica evolutiva e sistêmica do processo de inovação de forma mais ampla. É neste âmbito que as políticas implícitas atuam de forma a estimular ou atrapalhar a atuação das outras.

Desta forma, a análise procurou apontar que o papel do Estado está relacionado à concepção e aplicação da política de inovação, que no âmbito do sistema nacional de inovação está relacionado à coordenação sistêmica desse *mix* de políticas.

Nesta linha de argumento, o capítulo procurou evidenciar que as políticas de inovação devem buscar refletir a complexidade do processo de inovação, que vai além dos mecanismos relacionados às atividades de ciência e tecnologia. No caso das nanotecnologias, o argumento construído procurou evidenciar que a política de inovação para as nanotecnologias está relacionada à evolução do processo de aprendizado relacionado a estas tecnologias, ou seja, ao melhor entendimento dos seus processos de inovação. Deste modo, as políticas de inovação desenhadas tornam-se potencialmente mais adequadas para seu efetivo desenvolvimento e consolidação.

Assim, concluiu-se que as políticas de inovação no advento de um novo paradigma estão relacionadas à criação das condições estruturais e institucionais para que a nova trajetória tecno-econômica seja viável. Em outras palavras, a própria concepção e consolidação do paradigma tecno-econômico trata-se de um processo sistêmico (e complexo) que envolve diversos aspectos do arcabouço tecnológico, social, econômico, político e institucional. Nesse contexto, a política de inovação torna-se um

¹⁹⁶ “*Social and technological systems do not develop independently. The two evolve together in complex feedback loops, wherein each drives, restrains, and accelerates changes in the other. Understanding how developments in nanoscience and applications with nanotechnology are likely to diffuse is a critical part of anticipating these kinds of social and economic transformations*” (METHA, 2002, p.272).

instrumento ativo para apoiar/estimular/promover a definição/criação de uma trajetória (ou trajetórias) para a consolidação deste paradigma.

Neste contexto, o capítulo 2 procurou reforçar os argumentos apontados no capítulo anterior apresentando um panorama das principais características e histórico de desenvolvimento das nanotecnologias, bem como de seu potencial inovador e capacidade de afetar diversas áreas da economia e sociedade.

Nesse sentido, apresentou-se as principais técnicas de produção na nanoescala e de que forma a nanociência se diferencia da nanotecnologia. Essas técnicas de produção ressaltam diferentes abordagens na manipulação de átomos e moléculas na nanoescala. Essa possibilidade de manipulação na escala nanométrica revela novas propriedades e funções que os átomos e moléculas passam a apresentar, abrindo um leque de possibilidades para inovações relacionadas.

Essas possibilidades são ampliadas quando consideradas as diversas e diferentes áreas do conhecimento relacionadas às nanotecnologias, apontando-se o componente multi e interdisciplinar dessas tecnologias. Esta característica, por sua vez, reflete na gama de aplicações e usos para as nanotecnologias, ou seja, na sua capacidade de se espalhar e afetar diversos setores e atividades econômicas. A esta capacidade de se espalhar pelo sistema econômico denomina-se ‘tecnologia de propósito geral’.

Deste modo, destacou-se a importância do conhecimento científico multidisciplinar para as nanotecnologias. Este conhecimento se refere à base cognitiva fundamental para as nanotecnologias. Deste modo, argumentou-se que as nanotecnologias são tecnologias ‘baseadas na ciência’. No entanto, procurou-se deixar claro que apesar da relevância da ciência, isso não significa que a nanotecnologia seja resultado direto das pesquisas em nanociências. Por isso a relevância em apontar a diferença entre as nanociências e as nanotecnologias, diferenças estas que se refletem no entendimento do objeto e desenho de políticas.

Não obstante a importância da nanociência para a nanotecnologia, a última não é resultado direto e linear da primeira, mas sim parte de um processo mais amplo e complexo, onde a ciência pode ser condição necessária, mas não necessariamente suficiente.

Neste contexto, destacou-se que sendo multidisciplinar e associada a diferentes técnicas de manipulação e produção, o conjunto ‘nanotecnologia’ se refere a diferentes nanotecnologias que não são homogêneas que, portanto, não devem ser tratadas como tal. Sendo distintas em diversos aspectos, seus processos de inovação também são

distintos, possuindo uma lógica própria. Logo, argumentou-se que o entendimento desses processos passa pela análise dos diferentes sistemas nanotecnológicos de inovações, como proposto no capítulo 1.

Assim, concluiu-se que a identificação de trajetórias nanotecnológicas no Brasil abre espaço para o desenho de políticas de inovação para a construção, desenvolvimento e consolidação de sistemas nanotecnológicos relacionados a estas trajetórias capazes de estimular o desenvolvimento do sistema nacional de inovação em nanotecnologia no país.

O capítulo 3, então, analisou as principais iniciativas e características das políticas desenhadas para estimular o desenvolvimento das nanotecnologias no Brasil sob a ótica do desenho de política para a inovação no âmbito do sistema nacional de inovação. O capítulo mostrou que as primeiras iniciativas para o estímulo às atividades de nanotecnologia no Brasil surgiram em concomitância com iniciativas de outros países, tendo como característica comum a importância do desenvolvimento da parte científica da nanotecnologia, sobretudo no estímulo às atividades de P&D. Além disso, o capítulo apresentou as principais características e objetivos do principal instrumento utilizado para promover a inovação em nanotecnologia, a Subvenção Econômica.

A política surge no âmbito da retomada de uma atuação mais ativa do Estado na concepção de políticas de desenvolvimento competitivo da indústria brasileira, buscando aumentar a eficiência produtiva e aumento da capacidade de inovação das empresas. Deste modo, a política de nanotecnologia surge no âmbito de linhas de ações voltadas para a promoção de atividades consideradas com grande potencial futuro ('portadoras de futuro') e dos programas mobilizadores em áreas estratégicas, incorporando a concepção da importância da inovação para o aumento da competitividade. Por isso as políticas ganharam o *status* de políticas de inovação.

Deste modo, o conjunto de ações e instrumentos configurou uma política estruturada para atender as seguintes prioridades: estímulo às atividades de P&D nas empresas e institutos de ciência e tecnologia; apoio à formação de redes e estrutura de laboratório; e aumento da relação entre o setor produtivo e as universidades e institutos de pesquisa.

A lógica implícita dessas ações e instrumentos parte da formação de capacidade de pesquisa e desenvolvimento de ciência, sobretudo na formação de grupos e redes de pesquisa nas universidades de institutos de pesquisa. Deste modo, o componente P (pesquisa) possui grande relevância como ponto de partida. Na sequência, a formação

de laboratórios, ou seja, de uma infraestrutura tecnológica, serviria como o elo necessário de ligação entre o componente P com o componente D (desenvolvimento). Por fim, a relação entre o setor produtivo e os centros de pesquisa, responsáveis pelo desenvolvimento das ciências, seria o ponto final para efetivar essa concepção linear da ciência, tecnologia e inovação.

Por estar fundamentada nesta lógica sequencial, argumentou-se, nesta tese, que a atual política está desenhada a partir de uma visão linear do processo de inovação, não apenas porque a quase totalidade das ações está voltada para a consolidação da infraestrutura científica e, em menor escala, tecnológica, mas, também, porque as medidas são de caráter geral (aplicáveis a todas as empresas, tecnologias e setores da economia). Esta solução é chamada por Marques e Abrunhosa (2005) de uma solução *first best*, pois, assume-se que não é possível ou desejável tratar as externalidades setor a setor, empresa a empresa ou inovação a inovação, e, no caso em foco, nanotecnologia a nanotecnologia. Tudo se passa como se existisse apenas uma externalidade, associada a um fator (conhecimento) único.

Além disso, a linearidade da política também se reflete na visão de que a inovação (pela inovação) é capaz de aumentar a competitividade e promover desenvolvimento econômico, com o bem-estar social emergindo como uma consequência mecânica, como bem apontam Invernizzi *et al.* (2008). Nesta perspectiva, o desenvolvimento é visto tão somente como sinônimo de crescimento e melhoramento da competitividade. A política social é substituída pela política tecnológica¹⁹⁷.

Entretanto, apesar das claras limitações como políticas de inovação, essas ações vêm garantindo a consolidação de um estruturado sistema de pesquisa no país. Do ponto de vista da criação de capacitações, pesquisa e serviços tecnológicos voltados para os sistemas nanotecnológicos, - relacionados à concepção mais restrita do sistema nacional de inovação (figura 2) - essas ações têm trazido resultados importantes. No entanto, poucas ações foram concretas na expansão dessa concepção para além do subsistema de ciência e tecnologia. Essa limitação se reflete na efetivação da inovação em nanotecnologia pela sua difusão através da produção industrial e comercialização.

¹⁹⁷ “(...) development is frequently equated with growth and competitiveness enhancement, assuming that trickle-down effects will benefit society as a whole. The extreme instrumental positions substitute technology policy for social policy” (INVERNIZZI *et al.*, 2008, p.134-135). Na perspectiva utilizada neste trabalho, a política social se confunde com o que se considerou como o papel da política de inovação.

Assim, concluiu-se que a política desenhada para a nanotecnologia no Brasil tem sido bastante relevante para realçar a importância e trazer a nanotecnologia para destaque no cenário nacional, mas ainda bastante limitada no sentido de relacionar os programas e instrumentos existentes para atingir os objetivos a que se propõem, ou seja, promover inovação. Por isso, é bastante provável que a configuração política existente não seja capaz de criar as condições necessárias para se aproveitar a janela de oportunidade existente para as nanotecnologias da melhor forma possível, pois ainda que contemplem a palavra “inovação” na definição de seus programas, os instrumentos, de fato, se dirigem as etapas iniciais do processo inovativo, em especial as atividades de P&D.

A partir desse contexto, a segunda parte do trabalho focou em apresentar a análise resultante das evidências empíricas. O capítulo 5 apresentou um panorama da difusão das nanotecnologias nas empresas a partir da análise da Pesquisa de Inovação Tecnológica (PINTEC 2008) e dos grupos de pesquisa pertencentes às universidades e outras instituições de pesquisa espalhadas pelo país. Argumentou-se que a difusão das nanotecnologias nas empresas e o crescimento dos grupos de pesquisa em nanotecnologia é resultado das iniciativas para o desenvolvimento de atividades de nanotecnologia no Brasil ao longo da última década.

A PINTEC mostrou que um conjunto de empresas, que representa um universo de 487 empresas, informou realizar alguma atividade relacionada à produção e/ou uso de nanotecnologia. Destas, aproximadamente, 94% (458) são empresas inovadoras. Estas empresas estão espalhadas em 21 atividades econômicas da indústria de transformação, mais as instituições de pesquisa e desenvolvimento, mostrando o quanto essas tecnologias se espalham pelo sistema econômico. Este conjunto de empresas e instituições de pesquisa se mostrou relativamente mais inovador que as demais que não exerceram atividades em nanotecnologia pesquisadas na PINTEC, além de terem maior propensão a interagir e cooperar com as universidades e outras instituições de pesquisa.

Além disso, a maioria exerceu algum tipo de atividade relacionada à pesquisa e desenvolvimento (contínuo e/ou ocasional) e possui um quadro relativamente heterogêneo de pessoas ocupadas nessas atividades, assim como a imensa maioria recebeu algum tipo de apoio do governo em suas atividades, entre estes, apoio a projetos de P&D e inovação tecnológica. No entanto, a maior parte do apoio a este tipo de projeto foi sem parceria com universidades e institutos de pesquisa. Este fato aliado à

baixa inserção de pesquisadores nas empresas por meio de bolsas, por exemplo, aponta que ainda não houve ampla integração entre instituições de pesquisa e setor produtivo.

Apesar da difusão nas empresas, o efeito da política se mostra mais perceptível na evolução e crescimento dos grupos de pesquisa envolvidos em linhas de pesquisa relacionados às nanotecnologias no Brasil, sobretudo na década de 2000. Em 2012 identificou-se 749 grupos de pesquisa e 4649 linhas de pesquisa associadas a diversos temas de nanotecnologia, principalmente nas áreas relacionadas à ciência dura (*hard Science*) como Ciências Exatas e da Terra (Física e Química) e Engenharias.

Nesse contexto, discutiu-se o papel das universidades e a relação com o setor produtivo para o desenvolvimento das nanotecnologias no âmbito do sistema nacional de inovação. Destacou-se a importância da formação de recursos humanos qualificados, bem como de diversas formas de aprendizado e conhecimento multi e interdisciplinar.

Em relação à política, nesse contexto, a análise destaca que estas dão maior ênfase à formação do conhecimento científico codificado, ainda que apontem buscar iniciativas no sentido de criar condições para o ‘aprendizado baseado na experiência’, especialmente através das parcerias entre empresas e instituições de pesquisa, principalmente as universidades.

De qualquer forma, essas ações reforçam a idéia de que a política foi elaborada para operar a partir da perspectiva mais restrita dos sistemas de inovação, uma vez que criam expectativas exageradas a respeito do papel da ciência como origem primeira da inovação, por um lado, e da pesquisa nas universidades para contribuição direta para a inovação através da relação universidade-empresa, por outro.

Esta relação, por sua vez, vai além do incentivo fiscal para a realização de projetos de P&D em conjunto. Ainda é necessário encontrar mecanismos e interesses em comum entre essas instituições, de forma que a interação entre elas seja benéfica para ambos os lados, contribuindo efetivamente para a inovação.

No capítulo 6 apresentou-se uma análise mais detalhada das nanotecnologias utilizadas nas empresas e institutos de pesquisa com base nos resultados da pesquisa de campo. A análise se deteve tanto nas características das organizações entrevistadas quanto nos projetos de nanotecnologia desenvolvidos por elas.

Mais uma vez, verificou-se que as nanotecnologias estão espalhadas em diversas atividades econômicas, com destaque para atividades relacionadas à fabricação de produtos químicos, produtos diversos e pesquisa e desenvolvimento. Nestas, chama a atenção a inserção das nanotecnologias na fabricação de cosméticos, produtos de

perfumaria e de higiene pessoal (produtos químicos) e fabricação de instrumentos e materiais para uso médico e odontológico (produtos diversos). Além desses, identificou-se, ainda, importante presença de produtos farmoquímicos e farmacêuticos, em especial a fabricação de medicamentos para uso humano.

Além das atividades econômicas, muitas nanotecnologias foram identificadas como parte das atividades das empresas e institutos de pesquisa, com destaque para os nanomateriais, nanocompósitos e nanobiotecnologia, sendo os primeiros utilizados em diversas outras nanotecnologias, desempenhando o papel de uma ‘nanotecnologia de propósito geral’. Verificou-se que essas nanotecnologias necessitam a convergência de diversas áreas do conhecimento, principalmente Química, Física e Biologia, que foram aplicadas em diversas atividades e setores como a biotecnologia e biomédica, os materiais avançados, processamento industrial, entre outros.

Nesse contexto, com base nas atividades de nanotecnologia desenvolvidas pelas empresas e institutos de pesquisa, bem como pela análise dos potenciais inovativos existentes, sugeriu-se o agrupamento de nanotecnologias de modo a configurar quadros analíticos para apreciação das trajetórias nanotecnológicas em conformação e/ou potenciais. Assim, os grupos identificados foram: i) Nanomateriais; ii) Nanobiotecnologia; iii) Nanoeletrônica; iv) Nanoenergia e Meio-ambiente; e v) Nanomedicina, Cosméticos e Saúde.

Na seqüência, relacionou-se esses grupos de nanotecnologias às atividades inovativas associadas aos projetos desenvolvidos nas organizações entrevistadas. Verificou-se, portanto, que as atividades de pesquisa e desenvolvimento (P&D) e as parcerias com universidades e institutos de pesquisa foram atividades consideradas importantes para grande parte das organizações entrevistadas. No caso da P&D, essas atividades foram consideradas importantes para as organizações em todos os grupos de nanotecnologias. No caso das parcerias, destacam-se a nanoenergia e meio-ambiente e a nanobiotecnologia nas parcerias com universidade, e a nanobiotecnologia e a nanoeletrônica nas parcerias com os institutos de pesquisa e com as empresas. Destaca-se que estas atividades estão relacionadas à capacitação de pessoal.

No que diz respeito aos componentes críticos para o processo de inovação, segundo as empresas e institutos de pesquisa, mais uma vez a P&D teve destaque. No entanto, a capacidade de transformar o conhecimento científico em tecnologia aplicada e a mão-de-obra qualificada aparecem na seqüência como importantes componentes do

processo de inovação. Isto mostra a importância de outras atividades, além da P&D, para o processo de inovação em nanotecnologia.

Outro aspecto fundamental dos resultados analisados no capítulo se refere aos objetivos e motivações das organizações para o uso e desenvolvimento das nanotecnologias. Nesse sentido, o aumento na participação do mercado, do lucro e a agregação de valor do produto foram os principais objetivos para o desenvolvimento das atividades em nanotecnologia, segundo 84%, 79% e 74% das organizações, respectivamente.

Dentre as principais motivações encontradas pelas organizações para uso e desenvolvimento de nanotecnologia, destacou-se a avaliação da própria instituição à respeito de se tratar de uma boa oportunidade naquele momento. Esta motivação foi apontada por 80% das organizações. Além da oportunidade identificada, o fato de 61% das empresas e instituições de pesquisa possuir capacidade organizacional necessária para tais atividades também foi fundamental, enquanto para 52% das organizações a motivação surgiu a partir da necessidade de se adaptar aos clientes.

Somando-se a isso, o capítulo finaliza com a apresentação dos principais desafios e obstáculos enfrentados nestas atividades. A falta de pessoal qualificado foi apontado como o principal obstáculo para o desenvolvimento das atividades em nanotecnologia. Ao especificar o tipo de pessoal, 70% das organizações apontou a falta de especialistas nas nanotecnologias, enquanto 41% apontou os generalistas. Na sequência apontou-se à dificuldade da produção em escala ('escalabilidade') e a dificuldade em transformar o conhecimento científico em produtos e processos, mencionado, respectivamente, por 65% e 63% das instituições entrevistadas. Estas dificuldades, por sua vez, se relacionam a diversas outras também indicadas na análise, principalmente, a dificuldade relativa à falta de conhecimento multidisciplinar (56%) e o elevado custo (55%).

Esses fatores, portanto, reforçam o argumento de que o processo de inovação em nanotecnologia se refere a diversos outros fatores tão ou mais relevantes, em determinados casos, do que a P&D e que as ações voltadas para o fomento dessas tecnologias devem tentar incluir esses fatores.

Foi nesse sentido, portanto, que o capítulo 7 desta tese procurou discutir os principais mecanismos e instrumentos utilizados para promover a nanotecnologia no Brasil. A análise mostrou que pouco mais de 77% das instituições entrevistadas possuíam algum conhecimento acerca dos programas e instrumentos existentes e

utilizados para promover as nanotecnologias. Entretanto, pouco mais de 54% destas instituições fizeram uso de alguns desses mecanismos. Verificou-se que a Subvenção Econômica para P&D foi o instrumento mais conhecido e também utilizado pelas empresas e instituições de pesquisa.

Deste modo, apresentou-se os principais resultados dos projetos de nanotecnologia subvencionados entre os anos 2006 e 2010. A maioria dos projetos esteve relacionado a nanobiotecnologia, nanomateriais e nanomedicina. A maior parte dos projetos foi desenvolvida por micro e pequenas empresas, quando considerado o porte por pessoal ocupado, e micro e média, considerando o porte pela faixa de receita. Além disso, 56% das empresas possuíam até 20 anos de idade.

Em relação ao estágio de desenvolvimento dos projetos, observou-se a seguinte configuração: P&D: 50%; Protótipo: 64%; Pronto para introdução no mercado: 36%; e Vendas no mercado: 59%. Quanto às dificuldades e obstáculos, as principais foram: Atrasos no cronograma de desembolso: 68%; Ausência de pessoal qualificado: 55%; Falta de informação sobre a tecnologia e mercados: 55%; e Dificuldade para registro de Propriedade Intelectual: 41%.

A análise apontou que a Subvenção Econômica trata-se de um instrumento utilizado para apoiar atividades de P&D. No entanto, tem sido apresentado como um instrumento para promover inovação e incremento da competitividade. Além disso, um grande obstáculo em relação à utilização da Subvenção esteve relacionado aos atrasos no cronograma de desembolso e descontinuidade do foco na nanotecnologia, dificultando e, muitas vezes, inviabilizando o andamento e execução de projetos.

Portanto, concluiu-se que a Subvenção não pode ser considerada um programa de apoio à inovação nas empresas. Sendo voltada para o financiamento das atividades de P&D, o instrumento não prevê financiamento para outras importantes fases ou atividades comumente envolvidas nos processos inovativos.

Apesar do incentivo à P&D ter sido extremamente positivo no sentido de inserir estas atividades nas empresas, possivelmente buscando estimular a criação de uma cultura de P&D no setor produtivo, é importante destacar que estas atividades pertencem a uma estrutura bem mais complexa.

Buscando captar alguns pontos dessa estrutura, o capítulo apresenta uma série de instrumentos e mecanismos que empresas e institutos de pesquisa consideraram relevantes para a inovação em nanotecnologia, com destaque para financiamento, incentivos a

parcerias, qualificação e instrumentos que auxiliem a introdução de produtos e processo no mercado e sua comercialização.

Nesse sentido, concluiu-se que, além da necessidade de melhor entendimento das diferentes nanotecnologias, é necessário também identificar potencialidades e definir prioridades para ações estratégicas. É preciso entender a dinâmica de um processo para melhor se mobilizar para atuar sobre ele. Não é possível nem desejável tentar promover as nanotecnologias como se fossem tecnologias homogêneas. Por isso, uma ‘política geral’ de inovação para nanotecnologia se mostra insuficiente. Estratégias e instrumentos de política podem ser estruturadas para sub-áreas específicas e campos de aplicação nas quais as nanotecnologias se desenvolvem.

Se, por um lado, ações mais específicas devem ser pensadas para atuar nos sistemas nanotecnológicos, por outro, e pela abrangência das nanotecnologias, as ações voltadas para esses sistemas perpassam seu escopo e refletem na estrutura da sociedade, ou seja, eles estão inseridos na lógica de um sistema nacional. Essas ações podem se consolidar na estrutura econômica e social, muitas vezes sendo mais duradouras do que a própria tecnologia. Deste modo, mais importante do que a janela de oportunidade existente em si, são as ações voltadas para os fins desejados.

Nesse contexto, a política de inovação ‘adequada’ é aquela que estimula a busca pela solução e se adequa à realidade para transformá-la. Ela estimula a integração para buscar em conjunto os resultados esperados. Essas ações, portanto, se transformam em ações voltadas para o desenvolvimento, ações que se consolidam e se transformam em elementos estruturais, econômicos, sociais e culturais.

Nesse sentido, a conclusão que se chega é que o país não tem sido capaz de desenhar uma estrutura de política produtiva e inovativa capaz de aproveitar as janelas de oportunidade e promover o desenvolvimento da nanotecnologia de forma consistente e continuada. Não há, de fato, uma política de Estado capaz de definir prioridades e traçar estratégias de desenvolvimento de longo prazo. E esta constatação vai além das ações voltadas para o estímulo ao desenvolvimento das nanotecnologias. O que tem havido são políticas de governo (*politics* e *policies*), fragmentadas e míopes. É preciso melhor considerar o papel da “Economia Política da Política de Inovação” no âmbito do sistema nacional de inovação.

Limitações e agenda para novas pesquisas

Esta tese procurou abordar a importância da política de inovação para o desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil, tendo como âmbito de análise o sistema nacional de inovação. Nesse sentido, foram analisadas as principais características dos instrumentos e mecanismos de apoio às atividades de nanotecnologia, e como esses instrumentos atuaram sobre as nanotecnologias. Concluiu-se que as ações executadas não se configuram como uma política de inovação, por isso a incompatibilidade de relacionar os objetivos aos resultados.

Destacou-se que um dos aspectos fundamentais para o desenho de políticas para a nanotecnologia é compreender sua complexidade e especificidade. Sendo a nanotecnologia um conjunto de tecnologias ainda no seu estágio inicial, pouco conhecimento ainda existe sobre este objeto. Deste modo, parte da discussão levantada nesta tese está relacionada a um conjunto de possibilidades e não de uma análise *ex post facto*, imprimindo à pesquisa um caráter exploratório, ou seja, um estudo que tem por objetivo criar maior familiaridade com o objeto, levantando questões e testando idéias, a fim de torná-lo mais explícito.

Em segundo lugar, certamente a pesquisa não foi exaustiva. Devido à complexidade do objeto, diversos pontos levantados nesta pesquisa devem ser aprofundados e avaliados com maior acuidade, além de ser necessária a inclusão de outras discussões tão relevantes quanto às levantadas neste trabalho, de modo a proporcionar mais informação e conhecimento para o desenho de ações de apoio. Por exemplo, a análise desenvolvida esteve implicitamente voltada para os aspectos positivos das nanotecnologias. Entretanto, ainda há diversas dúvidas e debates acerca dos riscos associados às nanotecnologias, seja à saúde humana seja ao meio ambiente. Além disso, a nanotecnologia também incita discussões relacionadas aos potenciais efeitos sociais em várias frentes. Exatamente por reconhecer a importância desses temas, o autor optou por não abordá-los neste trabalho, uma vez que o objetivo deste está relacionado a outros aspectos da nanotecnologia.

Terceiro, o estudo realizado nesta tese esteve voltado para um conjunto limitado de instituições (firmas e institutos de pesquisa) e alguns indivíduos relacionados à elaboração e execução dos instrumentos (*policy makers*). Portanto, a análise não permite que os resultados sejam generalizados para o universo da população. Inclusive, ressalta-

se que a própria identificação deste universo ainda é uma tarefa a ser realizada¹⁹⁸. Deste modo, as conclusões se referem às organizações e situações pesquisadas, sujeitas tanto à capacidade perceptiva dos entrevistados quanto à competência do pesquisador.

Portanto, ainda que a análise desenvolvida nesta tese seja bastante relevante para a compreensão do objeto, e da forma de atuação sobre ele, ainda há muito a ser pesquisado.

Deste modo, o autor sugere algumas questões que merecem ser discutidas e pesquisadas no âmbito de uma possível agenda de pesquisa: i) Estudar dinâmica dos sistemas nanotecnológicos de inovação, buscando traçar prioridades e desenhar políticas explícitas específicas que estejam relacionadas aos interesses do sistema nacional de inovação; ii) Pensar o desenho de políticas levando em consideração questões associadas à saúde, risco, meio ambiente e regulação¹⁹⁹. Esses temas devem estar relacionados aos diferentes sistemas nanotecnológicos; iii) Estudar melhor o papel das universidades e como elas e os demais institutos de pesquisa podem se aproximar de maneira eficiente do setor produtivo; iv) Estudar a importância dos direitos de propriedades (propriedade intelectual e patente) na dinâmica das nanotecnologias²⁰⁰; v) Considerar o contexto geo-político e analisar a inserção das grandes empresas multinacionais de países desenvolvidos na dinâmica do desenvolvimento e difusão das nanotecnologias nos países em desenvolvimento; vi) Desenvolvimento de indicadores específicos para nanotecnologia; vii) Estudar e melhor qualificar as atividades de P&D; viii) Estudar a configuração que se desenha a partir da Estratégia Nacional de C&T 2012-2015, onde a nanotecnologia volta para o foco da política; ix) Estudar o componente da ‘Economia Política da Política de Inovação’; e x) Por fim, contextualizar a nanotecnologia ao papel e a atuação do Estado no desenvolvimento. Existe limite para intervenção do Estado? Qual o papel do empresário nesse contexto? Como isso tem ocorrido no Brasil? O que a História tem a dizer?

¹⁹⁸ Na breve discussão sobre a importância dos indicadores para a nanotecnologia, realizada no apêndice deste trabalho, sugere-se uma abordagem de identificação do universo das empresas atuantes em nanotecnologia no Brasil.

¹⁹⁹ “(...) *the type of regulation and standardisation will influence the direction of future search activities. If for instance standards are formulated in functional terms rather than in terms of product and process specifications, the search activities may be more open-ended and less bounded within existing trajectories*” (GREGERSEN, 1992, p.147).

²⁰⁰ Lembrando que patentes e publicações não devem ser erroneamente interpretadas como indicadores de inovação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDI – AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL & CGEE - CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICO (2010a). “*Panorama da Nanotecnologia no Mundo e no Brasil*”.
- ABDI – AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (2010b). “*Estudo Prospectivo Nanotecnologia: 2008-2025*”.
- ALBUQUERQUE, E. M., DALCOMUNI, S. M., FONSECA, M. G. D., CHAVES, C. V. & FERREIRA, M. B. (2010). “*Baseados na Ciência*”, In: CASSIOLATO, J. E. (Coord). “*Perspectivas do Investimento na Economia do Conhecimento*”, *Perspectivas do Investimento no Brasil* (3). Editora Synergia.
- ANDERSEN, E. S. (1992). “*Approaching National Systems of Innovation from the Production and Linkage Structure*”; In: LUNDEVALL, B. A. (Org). “*National Systems of Innovation: towards a theory of innovation and interactive learning*”. London: Pinter.
- ANDERSEN, M. M. (2011). “*Silent innovation: corporate strategizing in early nanotechnology evolution*”. *Journal of Technology Transfer*, 36, pp. 680-696.
- ANDRADE, A. Z. B. (2009). “*Estudo Comparativo Entre a Subvenção Econômica à Inovação Operada Pela FINEP e Programas Correlatos de Subsídio em Países Desenvolvidos*”; orientador: Dra. Alketa Peci. Rio de Janeiro, 2009. (Dissertação de Mestrado em Administração Pública apresentada a Escola Brasileira de Administração Pública e de Empresas da Fundação Getúlio Vargas).
- AROCENA, R. & SUTZ, J. (2000). “*Interactive Learning Spaces and Development Problems in Latin America*”. DRUID Working Paper, nº 13.
- ARROW, K. (1962). “*The Economic Implication of Learning by Doing*”. *The Review of Economic Studies*, Vol. 29, Nº 3 (Junho 1962), pp. 155-173.
- BATTARD, N. (2012). “*Convergence and multidisciplinary in nanotechnology: Laboratories as technological hubs*”. *Technovation* 32, pp. 234-244.
- BERGEK, A., JACOBSSON, S., CARLSSON, B., LINDMARK, S. & RICKNE, A. (2008). “*Analysing the functional dynamics of technological innovation systems: A scheme of analysis*”. *Research Policy* (37), 3, pp.407-429.
- BIANCHI, C. (2010). “*Biotechnologia moderna no Brasil: uma aproximação a partir dos grupos de pesquisa*”. Nota Técnica. Observatório de Políticas Estratégicas de Produção e Inovação no Brasil. RedeSist, Instituto de Economia, UFRJ.

- BIANCHI, C. (2012). “*O Papel das Políticas Públicas no Regime de Inovação de Biotecnologia para Saúde Humana – Brasil 2002-2010*”; orientador: José Eduardo Cassiolato. Rio de Janeiro, 2012. (Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro).
- BONACCORSI, A. & THOMA, G. (2007). “*Institutional complementarity and inventive performance in nano science and technology*”. *Research Policy* (36), pp. 813-831.
- BORRÁS, S. (2009). “*The Widening and Deepening of Innovation Policy: What Conditions Provide for Effective Governance?*”. CIRCLE Electronic Working Paper Series. Paper nº 2009/02. Center for Innovation, Research and Competence in the Learning Economy (CIRCLE).
- BOZEMAN, B., LAREDO, P. & MANGEMATIN, V. (2007). “*Understanding the emergence and deployment of “nano” S&T*”. *Research Policy* (36), pp. 807-812.
- BRASIL (2008). “*Orientações para a construção da Política de Desenvolvimento Produtivo*”. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior; Ministério da Fazenda; Ministério da Ciência e Tecnologia; Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES); Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI).
- BRESCHI, S. & MALERBA, F. (1997). “*Sectoral Innovation Systems: Technological Regimes, Schumpeterian Dynamics, and Spatial Boundaries*”, In: EDQUIST, C. (Ed). “*Systems of Innovation – Technologies, Institutions and Organizations*”. Science, Technology and the International Political Economy Series. Pinter: London e Washington.
- BRESNAHAN, T. F. & TRAJTENBERG, M. (1996). “*General Purpose Technologies: ‘engines of growth’?*”. *Journal of Econometrics, Annals of Econometrics* (65), pp. 83-108.
- CARAÇA, J., LUNDVALL, B.A. & MENDONÇA, S. (2009). “*The changing role of science in innovation process: from Queen to Cinderella?*”. *Technological Forecasting & Social Change* (76), pp. 861-867.
- CARLSSON, B. (1994). “*Technological Systems and Economic Performance*”, In: DODGSON, M. & ROTHWELL, R. (Eds). “*The Handbook of Industrial Innovation*”. Edward Elgar: Cheltenham (Reino Unido) e Brookfield (EUA).

- CARLSSON, B. (2006). “*Internationalization of innovation systems: A survey of the literature*”. *Research Policy* (35), pp. 56-67.
- CARLSSON, B. & STANCKIEWICZ, R. (1991). “*On the Nature, Function, and Composition of Technological Systems*”. *Journal of Evolutionary Economics*, 1 (2), 93-118.
- CARLSSON, B. & JACOBSSON, S. (1993). “*Technological Systems and Economic Performance: the diffusion of factory automation in Sweden*”, In: FORAY, D. & FREEMAN, C. (Eds). “*Technology and Wealth of Nations- The Dynamics of Constructed Advantage*”. Pinter Publishers: London e Washington.
- CARLSSON, B. & JACOBSSON, S. (1997). “*Diversity Creation and Technological Systems: A Technology Policy Perspective*”, In: EDQUIST, C. (Ed). “*Systems of Innovation – Technologies, Institutions and Organizations*”. Science, Technology and the International Political Economy Series. Pinter: London e Washington.
- CARLSSON, B., JACOBSSON, S., HOLMÉN, M. & RICKNE, A. (2002). “*Innovation systems: analytical and methodological issues*”. *Research Policy* 31, pp. 233-245.
- CASSIOLATO, J. E. (1992). “*The Role of User-Producer in Innovation and Diffusion of New Technologies*”, Orientador: Norman Clark. (Tese de Doutorado em Economia apresentada a *Science Policy Research Unity (SPRU)*, Universidade de Sussex.
- CASSIOLATO, J. E. (2010). “*Perspectivas do Investimento na Economia do Conhecimento*”. *Perspectivas do Investimento no Brasil* (3). Editora Synergia.
- CASSIOLATO, J. E. (2010). “*Mecanismos de apoio à inovação no Brasil: uma breve crítica*”. *Parcerias Estratégicas*, vol. 15, nº 31, p. 75-81.
- CASSIOLATO, J. E. & LASTRES, H. M. M. (2003). “*O foco em arranjos produtivos e inovativos locais de micro e pequenas empresas*”, In: CASSIOLATO, J. E. , LASTRES, H. M. M & MACIEL, M. L. (Org). “*Pequena empresa: cooperação e desenvolvimento local*”. Relume Dumará Editora.
- CASSIOLATO, J. E. & LASTRES, H. M. M. (2005). “*Sistemas de Inovação e Desenvolvimento – as implicações de política*”. *São Paulo em Perspectiva*, v. 19, nº 1, p. 34-45, jan./mar.
- CASSIOLATO, J. E., GUIMARÃES, V. PEIXOTO, F. J. M. & LASTRES, H. M. M. (2005). “*Innovation Systems and Development: what can we learn from the Latin*

- American experience?*”. Paper apresentado no 3rd Globelics Conference, Pretoria, South Africa.
- CASSIOLATO, J. E. & LASTRES, H. M. M. (2008). “*Discussing Innovation and Development: Converging points between the Latin American school and the Innovation Systems perspective?*”. Globelics, Working Paper Series, No. 08-02.
- CASSIOLATO, J. E. , LASTRES, H. M. M & MACIEL, M. L. (2003). “*Pequena empresa: cooperação e desenvolvimento local*”. Relume Dumará Editora.
- CASSIOLATO, J. E., LASTRES, H. M. M. & ARROIO, A. (2005) (Orgs). “*Conhecimento, Sistemas de Inovação e Desenvolvimento*”. Editora da UFRJ: Rio de Janeiro, p. 429-449.
- CASSIOLATO, J. E., RAPINI, M. S. & BITTENCOURT, P. (2007). “*A Relação Universidade-Indústria no Sistema Nacional de Inovação Brasileiro: uma Síntese do Debate e Perspectivas Recentes*”. Research Paper 11/07. Projeto “Estudo Comparativo dos Sistemas de Inovação no Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul”- BRICS. RedeSist, Instituto de Economia, UFRJ.
- CASSIOLATO, J. E., STALLIVIERI, F., RAPINI, M. & PODCAMENI, M. G. V. B. (2008). “*Indicadores de Inovação: uma análise crítica para os BRICS*”. Research Paper 02/08. BRICS Project: “A Competitive Study of the National Innovation Systems of Brazil, Russia, India, China and South Africa”.
- CASSIOLATO, J. E., LASTRES, H. M. M. & PEIXOTO, F. J. M. (2012). “*The Latin American Structuralist School and the Innovation Systems Perspective: Jorge Katz, Learning and Micro and Macro Connections*”, In: DUTRÉNIT, G., LEE, K., NELSON, R., VERA-CRUZ, A. & SOETE, L. (Eds.). “*Learning, Capability Building for Development*”. Palgrave Macmillan (NO PRELO).
- CHANDLER, A. D. (1990). “*Scale and Scope: The Dynamics of Industrial Capitalism*”. The Belknap Press of Harvard University, Cambridge (MA).
- CHEN, H. & ROCO, M.C. (2009). “*Nanotechnology: An Emerging Field*”, In: CHEN, H. & ROCO, M.C., “*Mapping Nanotechnology Innovations and Knowledge – Global Longitudinal Patent and Literature Analysis*”. Integrated Series in Information Systems. Springer.
- COMMISSION ON THE EUROPEAN COMMUNITIES (2004). “*EU Policies for Nanosciences and Nanotechnologies*”. Community Research. Towards an European Strategy for Nanotechnology.

- COUTINHO, L. G. (2005). “*Regimes macroeconômicos e estratégias de negócio: uma política industrial alternativa para o Brasil no século XXI*”, In: CASSIOLATO, J. E., LASTRES, H. M. M. & ARROIO, A. (Orgs). “*Conhecimento, Sistemas de Inovação e Desenvolvimento*”. Editora da UFRJ: Rio de Janeiro, p. 429-449.
- DALUM, B., JOHNSON, B. & LUNDVALL, B. A. (1992). “*Public Policy in the Learning Society*”, In: LUNDVALL, B. A. (Org). “*National Systems of Innovation: towards a theory of innovation and interactive learning*”. London: Pinter.
- DECOMTEC – Departamento de Competitividade e Tecnologia (2009). “*Manual dos Instrumentos da Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP)*”. Cadernos Política Industrial Nº2, FIESP.
- DEMO, P. (2002). “*Complexidade e Aprendizagem – A Dinâmica Não Linear do Conhecimento*”. São Paulo: Editora Atlas.
- DOSI, G. (1982). “*Technological Paradigms and Technological Trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change*”. Research Policy, vol. 2, nº 3, pp. 147-62.
- DOSI, G. (1984). “*Mudança Técnica e Transformação Industrial – A teoria e uma aplicação à indústria dos semicondutores*”. Clássicos da Inovação. Tradução: Carlos D. Szlak - Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2006.
- DOSI, G. (1988a). “*The Nature of the Innovative Process*”, in: DOSI, G., FREEMAN, C., NELSON, R., SILVERBERG, G. & SOETE, L. (orgs.), “*Technical Change and Economic Theory*”. Printer Publishers, London and New York.
- DOSI, G. (1988b). “*Sources, Procedures, and Microeconomics Effects of Innovation*”. Journal of Economic Literature, Vol. XXVI (September 1988), pp. 1120-1171.
- DOSI, G. (1991). “*Perspectives on Evolutionary Theory*”. Science and Public Policy, vol. 16, no. 6, pp. 353-61.
- DOSI, G., FREEMAN, C., NELSON, R., SILVERBERG, G. & SOETE, L. (1988), “*Technical Change and Economic Theory*”. Printer Publishers, London and New York.
- DRECHSLER, W. (2009). “*Governance In and Of Techno-Economic Paradigm Shifts: Considerations For and From The Nanotechnology Surge*”, in: DRECHSLER, W., KATTEL, R. & REINERT, E. S. (orgs.), “*Techno-Economics Paradigms –*

- Essays in Honour of Carlota Perez*". The Anthem Other Canon Series. Anthem Press.
- DREXLER, K. E. (1987). "*Engines of Creation – The coming era of nanotechnology*". New York: Anchor Books. A Division of Random House, Inc.
- EDLER, J. & GEORGHIOU, L. (2007). "*Public procurement and innovation – Resurrecting the demand side*". *Research Policy*, 36, pp. 949-963.
- EDQUIST, C. (1997). "*Introduction*", In: EDQUIST, C. (Ed). "*Systems of Innovation – Technologies, Institutions and Organizations*". Science, Technology and the International Political Economy Series. Pinter: London e Washington.
- EDQUIST, C. (2005). "*Systems of Innovation: Perspectives and Challenges*", In: FAGERBERG, J., MOWERY, D. C. & NELSON, R. R. (Eds). *The Oxford Handbook of Innovation*. Oxford University Press.
- EDQUIST, C. & JOHNSON, B. (1997). "*Institutions and Organizations in Systems of Innovation*", In: EDQUIST, C. (Ed). "*Systems of Innovation – Technologies, Institutions and Organizations*". Science, Technology and the International Political Economy Series. Pinter: London e Washington.
- EHRNBERG, E. & JACOBSSON, S. (1997). "*Technological Discontinuities and Incumbent's Performance: An Analytical Framework*", In: EDQUIST, C. (Ed). "*Systems of Innovation – Technologies, Institutions and Organizations*". Science, Technology and the International Political Economy Series. Pinter: London e Washington.
- FAGERBERG, J. (2005). "*Introduction*", In: FAGERBERG, J., MOWERY, D. C. & NELSON, R. R. (Eds). "*The Oxford Handbook of Innovation*". Oxford University Press.
- FAGERBERG, J., MOWERY, D. C. & NELSON, R. R. (Eds). "*The Oxford Handbook of Innovation*". Oxford University Press.
- FAZZIO, A. (2011). "*Brasil e China no Futuro da Nanotecnologia*". In: "*Brasil e China no Reordenamento das Relações Internacionais: Desafios e Oportunidades*". Ministério das Relações Exteriores. Fundação Alexandre Gusmão. Brasília.
- FEYNMAN, R. P. (1959). "*There's Plenty of Room at the Bottom*". Transcript of the classic talk that Richard Feynman gave on December 29th 1959 at the annual meeting of the American Physical Society at the California Institute of Technology (Caltech). First published in the February 1960 issue of Caltech's

- Engineering and Science. Available on the web at <http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html>
- FINEP (2006). “*Chamada Pública MCT/FINEP, Subvenção Econômica à Inovação – 01/2006*”. Ministério da Ciência e Tecnologia.
- FINEP (2007). “*Seleção Pública MCT/FINEP, Subvenção Econômica à Inovação – 01/2007*”. Ministério da Ciência e Tecnologia.
- FINEP (2008). “*Seleção Pública MCT/FINEP/FNDCT, Subvenção Econômica à Inovação – 01/2008*”. Ministério da Ciência e Tecnologia.
- FINEP (2009). “*Seleção Pública MCT/FINEP/FNDCT, Subvenção Econômica à Inovação – 01/2009*”. Ministério da Ciência e Tecnologia.
- FINEP (2010). “*Seleção Pública MCT/FINEP/FNDCT, Subvenção Econômica à Inovação – 01/2010*”. Ministério da Ciência e Tecnologia.
- FINEP (2011). “*Perfil das Empresas Apoiadas pelo Programa de Subvenção Econômica 2006-2009*”. Diretoria de Inovação (DRIN), Departamento de Acompanhamento (DAC) - Ministério da Ciência e Tecnologia.
- FINEP (2013). “*Seleção Pública MCTI/FINEP/FNDCT, Subvenção Econômica à Inovação – 03/2013 - Nanotecnologia*”. Ministério da Ciência e Tecnologia.
- FLANAGAN, K., UYARRA, E. & LARANJA, M. (2010). “*The ‘Policy Mix’ for Innovation: rethinking innovation policy in a multi-level, multi-actor context*”. Manchester Business School. Working Paper, N° 599. Disponível em: http://www.mbs.ac.uk/research/working_papers/
- FLANAGAN, K., UYARRA, E. & LARANJA, M. (2011). “*Reconceptualising the ‘policy mix’ for innovation*”. Research Policy 40, pp. 702-713.
- FONASH, J. (2001). “*Education and training of the nanotechnology workforce*”. Journal of Nanoparticle Research 3: 79-82.
- FORAY, D. (1993). “*General Introduction*”. In: FORAY, D. & FREEMAN, C. (Eds.). “*Technology and the Wealth of Nations – The Dynamics of Constructed Advantage*”. Pinter Publishers. London and New York.
- FORAY, D. & FREEMAN, C. (1993) (Eds.). “*Technology and the Wealth of Nations – The Dynamics of Constructed Advantage*”. Pinter Publishers. London and New York.
- FRANSMAN, M. (1990). “*The Market and Beyond*”. Cambridge University Press, Cambridge.

- FREEMAN, C. (1982). "*Innovation and Long Cycles of Economic Development*". Artigo apresentado no International Seminar on Innovation and Development at the Industrial Sector, Departamento de Economia da Universidade de Campinas, Campinas, agosto de 1982.
- FREEMAN, C. (1987). "*Technology Policy and Economic Performance: Lessons From Japan*". Frances Pinter, London.
- FREEMAN, C. (1992). "*Formal Scientific and Technical Institutions in the National System of Innovation*", In: LUNDVALL, B. Å. (Ed.). "*National Systems of Innovation: towards a theory of innovation and interactive learning*". The anthem Other Canon Series. London: Anthem Press (2ª edição do livro de 1992).
- FREEMAN, C. (2003). "*Policies for Developing New Technologies*". SPRU Electronic Working Paper Series, Paper N°. 98. The Freeman Centre, University of Sussex.
- FREEMAN, C. (1993). "*Introduction*", In: FORAY, D. & FREEMAN, C. (Eds.). "*Technology and the Wealth of Nations – The Dynamics of Constructed Advantage*". Pinter Publishers. London and New York.
- FREEMAN, C., CLARK, J. & SOETE, L. (1982). "*Unemployment and Technical Innovation*". Frances Pinter (Publishers), London.
- FREEMAN, C. & PEREZ, C. (1988). "*Structural Crises of Adjustment: Business Cycles and Investment Behaviour*", In: DOSI, G., FREEMAN, C., NELSON, R., SILVERBERG, G. & SOETE, L. (orgs.), "*Technical Change and Economic Theory*". Printer Publishers, London and New York.
- FREEMAN, C.; SOETE, L. (1997). "*The Economics of Industrial Innovation*". Cambridge, Mass Press, 3a Ed., 1997.
- FREEMAN, C. & LOUÇÃ, F. (2001). "*As Time Goes By – From the Industrial Revolutions to the Information Revolution*", 1ª edição. Oxford University Press.
- GIBBONS, M., LIMOGENS, C., NOWOTNY, H. & SCHWARTZMAN, S. (1994). "*The New Production of Knowledge*", London: Sage.
- GODIN, B. (2005). *The Rise of Innovation Surveys: Measuring a Fuzzy Concept*, In: GODIN, B. Measurement and statistics on science and technology: 1920 to the present. London: Routledge.
- GODINHO, M. M. (2003). "Inovação: conceitos e perspectivas fundamentais", In: RODRIGUES, M. J., NEVES, A. & GODINHO, M. M. (Eds). "Para uma Política de Inovação em Portugal". Lisboa: Dom Quixote.

- GORDON, J. L. P. L. (2010). “*Políticas Para Nanotecnologia no Brasil – 2004/2008*”; orientador: José Eduardo Cassiolato. Rio de Janeiro, 2010. (Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro).
- GUIMARÃES, C. F. C. (2010). “*Desenvolvimento da Nanotecnologia em Empresas Brasileiras e suas Potenciais Implicações para o Emprego*”; orientador: Noela Invernizzi. Curitiba, Paraná, 2010. (Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná).
- HALL, J. S. (2005). “*Nanofuture – What’s Next For Nanotechnology?*”. Prometheus Books. New York.
- HELPMAN, E. & TRAJTENBERG, M. (1994). “*A Time to Sow and a Time to Reap: Growth Based On General Purpose Technologies*”. NBER Working Paper Series. Working Paper No 4854.
- HERRERA, A. (1971). “*Ciencia y política en América Latina*”. Ed. Siglo Veintiuno. Editores SA, Buenos Aires.
- HOLLAND, J. H. (1998). “*Hidden order: how adaptation builds complexity*”. Massachusetts: Perseus Books.
- HUANG, C. & WU, Y. (2011). “*State-led technological development: A case of China’s nanotechnology development*”. Working Paper Series N° 013. United Nations University – Maastricht Economic and social Research and training centre on Innovation and Technology (MERIT). Maastricht.
- HULLMANN, A. (2007). “*Measuring and assessing the development of nanotechnology*”. *Scientometrics*, Vol. 70, N° 3. pp. 739-758.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2009). “*Pesquisa de Inovação Tecnológica 2008 – Instruções para o preenchimento do questionário*”. Rio de Janeiro: IBGE, 2009.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010). “*Pesquisa de Inovação Tecnológica 2008*”. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.
- INMETRO (2012). “*Divisão de Metrologia de Materiais*”. Diretoria de Metrologia Científica e Industrial – DIMCI.
- INSTITUTO INOVAÇÃO (2005). “*Nanotecnologia*”. Knowledge Center. Setembro.

- INVERNIZZI, N., FOLADORI, G. & MACLURCAN, D. (2008). “*Nanotechnology’s Controversial Role for the South*”. *Science, Technology & Society* 13:1, pp. 123-148.
- INVERNIZZI, N. (2011). “*Nanotechnology between the lab and the shop floor: what are the effects on labor?*”. *Journal of Nanoparticle Research*, Volume 13, Issue 6, pp. 2249-2268.
- INVERNIZZI, N., KORBES, C. & FUCK, M. P. (2011). “*Política de Nanotecnología en Brasil: a 10 años de las primeras redes*”. In: FOLADORI, G., ZALLAGO, E. & INVERNIZZI, N. (Eds.) *Perspectivas sobre el desarrollo de las nanotecnologías en América Latina*. México DF: Porrúa.
- IPEA (2010a). “*Estrutura Produtiva Avançada e Regionalmente Integrada: desafios do desenvolvimento produtivo brasileiro*”. Projeto Perspectivas do Desenvolvimento Brasileiro, Livro 5, Volume 1.
- IPEA (2010b). “*Perspectivas do Desenvolvimento Brasileiro*”. Projeto Perspectivas do Desenvolvimento Brasileiro, Livro 10, Brasília.
- JAPAN (2006). “*Science and Technology Basic Plan*”. Government of Japan.
- JENSEN, M. B., JOHNSON, B., LORENZ, E. & LUNDEVALL, B. Å. (2007). “*Forms of Knowledge and Modes of Innovation*”. *Research Policy*, 36 (5), pp. 680-693.
- JOACHIM, C. & PLÉVERT, L. (2008). “*Nanociências – A Revolução do Invisível*”. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editora.
- JOHNSON, B. (1992). “*Institutional Learning*”, In: LUNDEVALL, B. Å. (Org). “*National Systems of Innovation: towards a theory of innovation and interactive learning*”. London: Pinter.
- KAY, A. (2006). “*The Dynamics of Public Policy: Theory and Evidence*”. Edward Elgar Publishing.
- KLINE, J. & ROSENBERG, N. (1986). “*An Overview of Innovation*”, In: LANDAU, R. & ROSENBERG, N. (Eds.). “*The Positive Sum Strategy: Harnessing Technology for Economic Growth*”, Washington D.C.: The National Academy Press, pp. 275-305.
- KNOBEL, M. (2004). “*Nanoredes*”. *Parcerias Estratégicas – Número 18 – Agosto/2004*.
- KOELLER, P. (2007). “*O Papel do Estado e a Política de Inovação*”. Research Paper 02/07. BRICS Project – A Comparative Study of National Innovation System of

Brazil, Russia, India, China and South Africa. RedeSist, Instituto de Economia, UFRJ.

- KOELLER, P. (2009). “*Política Nacional de Inovação no Brasil – Releitura das estratégias no período 1995-2006*”; orientador: José Eduardo Cassiolato. Rio de Janeiro, 2009. (Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro).
- KOELLER, P. & CASSIOLATO, J. E. (2009). “*Achievements and Shortcomings of Brazil’s Innovation Policies*”, In: CASSIOLATO, J. E. & VITORINO, V. (Eds.). “BRICS and Development Alternatives: Innovation Systems and Policies”. Anthem Press.
- KOELLER, P. & GORDON, J. L.(2010). “*The Role of the State in National Systems of Innovation*”. BRICS Project – A Comparative Study of National Innovation System of BRICS Countries (BRICS – IDRC Project). RedeSist, Instituto de Economia, UFRJ.
- KONDRATIEFF, N. D. (1935). “*The Long Waves in Economic Life*”. The Review of Economics and Statistics, Vol. 17, N° 6. November, pp. 105-115.
- KUHN, T. (1962). “*The Structure of Scientific Revolutions*”, 3ª edição. Chicago: The University of Chicago Press.
- KUHN, T. (1970). “*Logic of Discovery or Psychology of Research*”, in: LAKATOS, I. & MUSGRAVE, A. (1970). “*Criticism and the Growth of Knowledge*”. Cambridge University Press.
- LACAIVA, Z. G. M. & MORAIS, P. C. (2004). “*Aplicações biomédicas de nanopartículas magnéticas*”. Parcerias Estratégicas – Número 18 – Agosto/2004.
- LASTRES, H. M. M. (1994). “*The Advanced Materials Revolution and the Japanese System of Innovation*”. St. Martin’s Press. New York.
- LIPSEY, R., BEKAR, C. & CARLAW, K. (1998). “*What Requires explanation?*”, In: HELPMAN, E. (ed.). “*General Purpose Technologies and Economic Growth*”, Cambridge: MIT Press, pp. 14-54.
- LIPSEY, R. G.; CARLAW, K. I. & BEKAR, C. T. (2005). “*Economic Transformations - General Purpose Technologies and Long Term Economic Growth*”. Oxford University Press.
- LUNDEVALL, B. Å. (1985). “*Product Innovation and User-Producer Interaction*”. Industrial Development Research Series N° 31, Aalborg University Press.

- LUNDVALL, B. Å. (1988). “*Innovation as an interactive process: from user-producer interaction to the national system of innovation*”, In: DOSI, G., FREEMAN, C., NELSON, R., SILVERBERG, G. & SOETE, L. (Eds), “*Technical Change and Economic Theory*”. Printer Publishers, London and New York.
- LUNDVALL, B. Å. (1992). “*National Systems of Innovation: towards a theory of innovation and interactive learning*”. London: Pinter.
- LUNDVALL, B. Å. (1993). “*User-producer relationships, national systems of innovation and internationalization*”, In: FORAY, D. & FREEMAN, C. (Eds.). “*Technology and the Wealth of Nations – The Dynamics of Constructed Advantage*”. Pinter Publishers. London and New York.
- LUNDVALL, B. Å. (2002). “*The University in the Learning Economy*”. DRUID Working Paper, n° 6.
- LUNDVALL, B. Å. (2007). “*National Innovation System: Analytical Focusing Device and Policy Learning Tool*”. Working Paper R2007:004. ITPS – Swedish Institute for Growth Policy Studies.
- LUNDVALL, B. Å. (2010). “*Post Script: Innovation System Research Where it came from and where it might go*”, In: LUNDVALL, B. Å. (Ed.). “*National Systems of Innovation: towards a theory of innovation and interactive learning*”. The anthem Other Canon Series. London: Anthem Press (2^a edição do livro de 1992).
- LUNDVALL, B. Å. & BORRÁS, S. (2005). “*Science, Technology and Innovation Policy*”, In: FAGERBERG, J., MOWERY, D. C. & NELSON, R. R. (Eds). “*The Oxford Handbook of Innovation*”. Oxford University Press.
- MALERBA, F. (2002). “*Sectoral systems of innovation and production*”. Research Policy 31, pp. 247-264.
- MALERBA, F. (2005). “*Sectoral Systems: How and Why Innovation Differs Across Sectors*”, In: FAGERBERG, J., MOWERY, D.C. & NELSON, R.R. (Eds). “*The Oxford Handbook of Innovation*”. Oxford University Press.
- MARKARD, J. & TRUFFER, B. (2008). “*Technological innovation systems and the multi-level perspective: Towards an integrated framework*”. Research Policy 37, pp. 596-615.
- MARKARD, J. & WORCH, H. (2009). “*Technological innovation systems and the resource based view – Resources at the firm, network and system level*”. DIME Workshop on Environmental Innovation, Industrial Dynamics and Entrepreneurship. Utrecht University.

- MARQUES, A. & ABRUNHOSA, A. (2005). “*Do Modelo Linear de Inovação À Abordagem Sistêmica – Aspectos teóricos e de política econômica*”. Documento de Trabalho Nº 33, Junho. Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra (FEUC), Portugal.
- MARTÍNEZ, E. & ALBORNOZ, M. (1998). (Eds) “*Indicadores de ciencia y tecnologia: estado del arte y perspectivas*”. Caracas, Venezuela: Nueva Sociedad.
- MARTINS, P. (2008). “*Nanotecnologia e meio ambiente para uma sociedade sustentável*”. Centro de Investigación em Alimentación y Desarrollo, A.C.
- MEHTA, M. D. (2002). “*Nanoscience and Nanotechnology: Assessing the Nature of Innovation in These Fields*”. Bulletin of Science, Technology & Society, Vol. 22, No.4, August, 2002, 269-273.
- MELO, C. P. & PIMENTA, M. (2004). “*Nanociências e nanotecnologia*”. Parcerias Estratégicas – Número 18 – Agosto/2004.
- METCALFE, S. (1997). “*Technology systems and technology policy in an evolutionary framework*”, In: Archibugi, D., MICHIE, J. (Eds.), “*Technology, Globalisation and Economic Performance*”. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 268-296.
- MEYER-KRAHMER, F. (1997). “*Science-based Technologies and Interdisciplinarity: Challenges for Firms and Policy*”, In: EDQUIST, C. (Ed). “*Systems of Innovation – Technologies, Institutions and Organizations*”. Science, Technology and the International Political Economy Series. Pinter: London e Washington.
- MILES, I., LEITE, E. R., PIO, M. J. P. & TIGRE, P. B. (2010). “*Nanotecnologia: Oportunidades para a Indústria e Novas Qualificações Profissionais*”. Série de Estudos Tecnológicos e Organizacionais, Nº14. Brasília: SENAI.
- MILLER, J. C.; SERRATO, R.; REPRESAS-CARDENAS, J. M. & KUNDAHL, G. (2005). “*The Handbook of Nanotechnology – Business, Policy, and Intellectual Property Law*”. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- MIYAZAKI, K. & ISLAM, N. (2007). “*Nanotechnology systems of innovation – An analysis of industry and academia research activities*”. Technovation 27 (2007) 661-675.
- MOHUN, S. (2010). “*The Crisis of 2008 in Historical Perspective*”. Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil, Agosto.

- MOTA, F. B. (2011). “*Análise da Política de Desenvolvimento Produtivo para a área do Complexo Industrial da Saúde*”. Nota Técnica. Observatório de Políticas Estratégicas de Produção e Inovação no Brasil. RedeSist, Instituto de Economia, UFRJ.
- MOWERY, D. & SAMPAT, B. N. (2005). “Universities in National Innovation Systems”, In: FAGERBERG, J., MOWERY, D. C. & NELSON, R. R. (Eds). “*The Oxford Handbook of Innovation*”. Oxford University Press.
- MYTELKA, L. K. (2004). “*Catching up in New Wave Technologies*”. Oxford Development Studies, Vol. 32. Nº 3, Setembro.
- MYTELKA, L. K. & SMITH, K. (2002). “*Policy learning and innovation theory: an interactive and co-evolving process*”. Research Policy 31: 1467-1479.
- NEGRO, S. O. (2007). “*Dynamics of Technological Innovation Systems – The Case of Biomass Energy*”. Netherlands Geographical Studies 356, Copernicus Institute for Sustainable development and Innovation, Utrecht.
- NELSON, R. (1993). “*National Innovation Systems*”. Oxford University Press, New York.
- NELSON, R. & ROSENBERG, N. (1993). “*Technical Innovation and National Systems*”, In: NELSON, R. (Ed). “*National Innovation Systems*”. Oxford University Press, New York.
- NORTH, D. C. (1990). “*Institutions, Institutional Change and Economic Performance*”. Cambridge University Press.
- NORTH, D. C. (1991). “*Institutions*”. The Journal of Economic Perspective, Vol. 5, Nº 1, pp. 97-112.
- NORTH, D. C. (2005). “*Understanding the Process of Economic Change*”. Princeton University Press.
- OECD (1990). “*Technological Innovation: some definitions and building blocks*”. Draft Background Report, Chapter 2. Technology/Economy Programme (TEP). Paris: OECD.
- OECD (2002). “*The Measurement of Scientific and Technological Activities. Proposed Standard Practice for Surveys on Research and Experimental Development: Frascati Manual*”. Paris: OECD.
- OECD (2010). “*The Impacts of Nanotechnology on Companies – Policy Insights from Case Studies*”. OECD Publishing.

- OECD (2011). “*Statistical Framework on Nanotechnology*”. Working Party on Nanotechnology, Final Report. Directorate for Science, Technology and Industry (DSTI). Committee for Scientific and Technological Policy (STP).
- OECD/EUROSTAT (1997). “*Proposed Guidelines for Collecting and Interpreting Technological Innovation Data – Oslo Manual*”. OECD, Paris. Second Edition.
- OECD/EUROSTAT (2005). “*Proposed Guidelines for Collecting and Interpreting Innovation Data – Oslo Manual*”. OECD, Paris. Third Edition.
- OLIVEIRA, S. C. (2008). “*Sobre a Interação Universidade-Empresa no Desenvolvimento de Software: Um Estudo de Caso no Recife*”; orientadora: Lia Hasenclever. Rio de Janeiro, 2008. (Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro).
- ORSENIGO, L. (1993). “*The dynamics of competition in a science-based technology: the case of biotechnology*”, In: FORAY, D. & FREEMAN. C. (Eds.). “*Technology and the Wealth of Nations – The Dynamics of Constructed Advantage*”. Pinter Publishers. London and New York.
- OTT, I., PAPILOUD, C. & ZÜLSDORF, T. (2009). “*What Drives Innovation? Causes and Consequences for Nanotechnologies*”. Managing Global Transitions, Volume 7, Number 1, Spring (2009).
- PALMBERG, C. & NIKULAINEN, T. (2006). “*Industrial Renewal and Growth Through Nanotechnology? – An Overview With Focus On Finland*”. Discussion Paper N° 1020. The Research Institute of the Finnish Economy.
- PALMBERG, C., DERNIS, H. & MIGUET, C. (2009). “*Nanotechnology: An Overview Based on Indicators and Statistics*”. OECD Science, Technology and Industry Working Papers, 2009/7, OECD Publishing.
- PARANHOS, J. (2010). “*Interação entre empresas e instituições de ciência e tecnologia no sistema farmacêutico de inovação brasileiro: estrutura, conteúdo e dinâmica*”; orientadora: Lia Hasenclever. Rio de Janeiro, 2010. (Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro).
- PARANHOS, J. (2012). “*Interação Entre Empresas e Instituições de Ciência e Tecnologia – O caso do sistema farmacêutico de inovação brasileiro*”. Rio de Janeiro: EdUERJ.

- PARANHOS, J. & HASENCLEVER, L. (2011). “*Is industry-university interaction promoting innovation in the Brazilian pharmaceutical industry?*”. *Industry & Higher Education* 25 (5), pp. 397-407.
- PAVITT, K. (1990). “*What we know about the strategic management of technology*”. *California Management Review* 32, 17.
- PAVITT, K. (1993). “*What do firms learn from basic research?*”, In: FORAY, D. & FREEMAN, C. (Eds.). “*Technology and the Wealth of Nations – The Dynamics of Constructed Advantage*”. Pinter Publishers. London and New York.
- PEIXOTO, F. J. M. (2005). “*O local e os sistemas de inovações em países subdesenvolvidos: o caso do arranjo produtivo de moda praia de Cabo Frio/RJ*”; orientador: José Eduardo Cassiolato. Rio de Janeiro, 2005. (Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro).
- PEIXOTO, F. J. M. (2011a). “*Understanding Innovation in Nanotechnology: A Proposal for Improving Innovation Policy for Nanotechnology in Brazil*”. Paper apresentado na DIME-DRUID Academy Winter Conference 2011. Janeiro, Aalborg, Dinamarca.
- PEIXOTO, F. J. M. (2011b). “*Nanotechnology and Innovation Policy: Assessing the Economic Subvention Program in Brazil*”. *Globelics 2011, The 9th Globelics International Conference: Creativity, Innovation and Economics Development*. Novembro, Buenos Aires, Argentina.
- PEIXOTO, F. J. M. (2011c). “*Um Panorama da Nanotecnologia: Descrição e Definição*”. Nota Técnica. Observatório de Políticas Estratégicas de Produção e Inovação no Brasil. RedeSist, Instituto de Economia, UFRJ.
- PEIXOTO, F. J. M. (2011d). “*Análise da Política de Inovação em Nanotecnologia no Brasil: implicações para a política a partir de uma abordagem sistêmica*”. Nota Técnica. Observatório de Políticas Estratégicas de Produção e Inovação no Brasil. RedeSist, Instituto de Economia, UFRJ.
- PEIXOTO, F. J. M. (2012). “*Nanotechnology University-Industry Relationship: An Outline of the Brazilian Experience*”. *Globelics 2012, The 10th Globelics International Conference: Innovation and Development: Opportunities and Challenges in Globalisation*. Novembro, Hangzhou, China.
- PEIXOTO, F. J. M. (2013). “*A Política de Inovação em Nanotecnologia no Brasil em um contexto de crescimento e crise: perspectivas após uma década*”, In:

- CASSIOLATO, J.E. PODCAMENI, M.G. & FONTAINE, P. (Eds)...(NO PRELO).
- PEIXOTO, F. J. M., ARRUDA, D. R. & CHATAIGNIER, J. (2011). “*Contextualizando a Política de Desenvolvimento Produtivo no Brasil: Os Programas Mobilizadores em Áreas Estratégicas*”. Relatório de Pesquisa. Observatório de Políticas Estratégicas de Produção e Inovação no Brasil. RedeSist, Instituto de Economia, UFRJ.
- PEREIRA, N. (2005). “*Fundos Setoriais: Avaliação das Estratégias de Implementação e Gestão*”. Ipea. Texto para Discussão No 1136. Brasília, novembro.
- PEREZ, C. (1983). “*Structural Change and the Assimilation of New Technologies in the Economic and Social Systems*”. *Futures*, Vol. 15, No. 5.
- PEREZ, C. (2002). “*Technological Revolutions and Financial Capital – The Dynamics of Bubbles and Golden Ages*”, 1ª edição. Edward Elgar.
- PEREZ, C. (2007). “*Great Surges of Development and Alternative Forms of Globalization*”. Working Paper in Technology and Economic Dynamics, nº 15. The Other Canon Foundation, Norway. Tallinn University of Technology, Tallinn.
- PEREZ, C. & SOETE, L. (1988). “*Catching up in technology: entry barriers and windows of opportunities*”, in: DOSI, G. et alli (orgs.), “*Technical Change and Economic Theory*”. Londres: Pinter Publishers.
- POPPER, K. (1970). “*Normal Science and Its Dangers*”, in: LAKATOS, I. & MUSGRAVE, A. (1970). “*Criticism and the Growth of Knowledge*”. Cambridge University Press.
- PORTER, A. L., YOUTIE, J., SHAPIRA, P. & SCHOENECK, D. J. (2008). “*Refining search terms for nanotechnology*”. *Journal of Nanoparticle Research*, 10 (5), pp. 715-728.
- QUINA, F. H. (2004). “*Nanotecnologia e o meio ambiente: perspectivas e riscos*”. *Química Nova*, Vol. 27 nº 6. São Paulo, Nov/Dez.
- RAFOLS, I., ZWANENBERG, P. V., MORGAN, M., NIGHTINGALE, P. & SMITH A. (2010). “*Missing links in nanomaterials governance: bringing industrial dynamics and downstream policies into view*”. SPRU Electronic Working Paper Series, Paper Nº. 180. The Freeman Centre, University of Sussex.
- RAMETSTEINER, E. & WEISS, G. (2006). “*Assessing policies from a systems perspective – Experiences with applied innovation systems analysis and implications for policy evaluation*”. *Policy and Economics*, 8: 564-576.

- ROCO, M. C. (2011). *The Long View of Nanotechnology Development: The National Nanotechnology Initiative at Ten Years*. Nanotechnology Research Directions for Societal Needs in 2020. Science Policy Reports, Vol. 1, pp. 1-28.
- ROMIG Jr., BAKER, A. B., JOHANNES, J., ZIPPERIAN, T., EIJKEL, K., KIRCHHOFF, B., MANI, H.S., RAO, C.N.R. & WALSH, S. (2007). “An introduction to nanotechnology policy: Opportunities and constraints for emerging and established economies”. *Technological Forecasting and Social Change* 74, 1634-1642.
- ROSENBERG, N. (1976). “*Perspectives on Technology*”. Cambridge University Press.
- ROSENBERG, N. (1982). “Inside the Black Box: Technology and Economics”. Cambridge University Press.
- ROSENBERG, N. (1994). “Exploring the Black Box: Technology, Economics and History”. Cambridge University Press.
- ROTHAERMEL, F. (2001). “*Incumbent’s Advantage Through Exploiting Complementary Assets Via Interfirm Cooperation*”. *Strategic Management Journal*, 22 (6-7): 687-699.
- SAGASTI, F. (1978). “*Ciencia y tecnología para el desarrollo: Informe Comparativo Central del Proyecto sobre Instrumentos de Política Científica y Tecnológica (STPI)*”. Bogotá, Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID). 244p.
- SALAZAR, M. & HOLBROOK, A. (2004). *A Debate on Innovation Surveys*. *Science and Public Policy*, volume 31, number 4, August, pp.254-266.
- SANTOS, M. (2003). “Economia Espacial”. Editora da Universidade de São Paulo (Edusp), 2ª edição, São Paulo.
- SANTOS, L. A. (2008). “*Sistema Brasileiro de Inovação em Nanotecnologia: Uma Análise Preliminar*”; orientador: César Gonçalves. Rio de Janeiro, 2008. (Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração do Instituto COPPEAD de Administração da Universidade Federal do Rio de Janeiro).
- SCHUMPETER, J. A. (1939). “*Business Cycles – A Theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process*”. McGraw-Hill Book Company. New York, Toronto, London.

- SERRA, A. (1613). “*Breve Tratado das causas que podem fazer os reinos desprovidos de minas ter abundância de ouro e prata*”. Editora Segesta, Curitiba, PR.
- SILVA, F. V. C. (2010). “*Estatísticas de Inovação Tecnológica: a visão da PINTEC 2008*”. Parcerias Estratégicas, volume 15, número 31, Dezembro, pp. 245-250.
- SILVERBERG, G. (1990). “*Adoption and diffusion of technology as a collective evolutionary process*”, In: FREEMAN, C. & SOETE, L. (Eds). *New Explorations in the Economics of Technical Change*. London: Pinter Publishers.
- SMITH, K. (2005). “*Measuring Innovation*”, In: FAGERBERG, J., MOWERY, D. C. & NELSON, R. R. (Eds). *The Oxford Handbook of Innovation*. Oxford University Press.
- SZAPIRO, M. H. S. (2005). “*Reestruturação do setor de telecomunicações na década de noventa: um estudo comparativo dos impactos sobre o sistema de inovação no Brasil e na Espanha*”; orientador: José Eduardo Cassiolato. Rio de Janeiro, 2005. (Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro).
- THE ROYAL SOCIETY (2004). “*Nanosciences and Nanotechnologies: Opportunities and Uncertainties*”. The Royal Society and The Royal Academy of Engineering, July.
- THURSBY, J. & THURSBY, M. (2011). “*University-industry linkages in nanotechnology and biotechnology: evidence on collaborative patterns for new methods of invention*”. *Journal of Technology Transfer*, 36, pp. 605-623.
- TIGRE, P. (2006). “*Gestão da Inovação – A Economia da Tecnologia no Brasil*”. Rio de Janeiro: Editora Campus.
- VON DE KOKEN, F. S. C. (2006). “*Nanotecnologia no Agronegócio: Um Estudo Econômico do Uso da “Língua Eletrônica” na Cafeicultura*”; orientador: Sonia Maria Dalcomuni. Vitória, ES, 2006. (Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia – PPGECO da Universidade Federal do Espírito Santo).
- WHATMORE, R. W. (2001). “*Nanotechnology: Big Prospects for Small Engineering*”. *Ingenia*, Issue 9, August, 28-34.
- WILSON, M., KANNANGARA, K., SMITH, G., SIMMONS, M. & RAGUSE, B. (2002). “*Nanotechnology – Basic Science and Emerging Technologies*”. Chapman & Hall/CRC. CRC Press Company.

- WONG, P. K., HO, Y. P. & CHAN, C. K. (2007). “*Internationalization and evolution of application areas of an emerging technology: The case of nanotechnology*”. *Scientometrics*, Vol. 70, Nº 3. pp. 715-737.
- WONGLIMPIYARAT, J. (2005). “*The nano-revolution of Schumpeter’s Kondratieff Cycle*”. *Technovation* 25 (2005) 1349-1354.
- WOOD, S., JONES, R. & GELDART, A. (2004). “*The Social and economic Challenges of Nanotechnology*”. Economic and Social Research Council (ESRC), UK.
- YOUTIE, J., IACOPETTA, M. & GRAHAM, S. (2008). “*Assessing the nature of nanotechnology: can we uncover an emerging general purpose technology?*”. *J Techol Transfer* (2008) 33: 315-329.
- ZANETTI-RAMOS, B. G. & CRECZYNSKI-PASA, T. B. (2008). “*O Desenvolvimento da Nanotecnologia: Cenário Mundial e Nacional de Investimentos*”. *Revista Brasileira de Farmácia*, 89 (2): 95-101.

APÊNDICE – Indicadores de inovação para nanotecnologia: uma breve reflexão

“(...) lack of measurement certainly does not mean lack of importance”.

Freeman (1992, p.183)

O interesse dos países em compilar informações para efeito de planejamento, monitoramento e avaliação das atividades de ciência, tecnologia e inovação (C,T&I) está relacionado a uma série de razões. Algumas se originam a partir dos interesses relacionados ao desenvolvimento teórico e metodológico das disciplinas que constroem o arcabouço dos assim chamados estudos sociais da ciência, tecnologia e inovação; outros do desenvolvimento institucional alcançado pelo sistema governamental da política de C,T&I e do conjunto de relações que este, junto a outros segmentos sociais, construiu; e alguns outros se relacionam tanto ao contexto sociopolítico e econômico geral como a mudança de perspectiva predominante acerca do papel que cabe à C,T&I no desenvolvimento econômico e social (MARTINEZ e ALBORNOZ, 1998).

Cassiolato *et al.* (2008) destacam três razões que levam a existência de indicadores de C,T&I: i) razão científica; ii) razão política; e iii) razão pragmática. A primeira, razão científica, refere-se à análise dos fatores que influenciam a direção e a velocidade dos processos de expansão das fronteiras do conhecimento científico, verificando as relações existentes entre a pesquisa básica, pesquisa aplicada, desenvolvimento experimental e inovação.

A razão política refere-se à formulação, avaliação e aperfeiçoamento de políticas, buscando o monitoramento da capacidade tecnológica de empresas, setores, regiões e países. Busca-se, com isso, fiscalizar a eficiência e eficácia de políticas, avaliando o desempenho, a qualidade e o potencial de instrumentos, instituições e grupos de pesquisa e de desenvolvimento. Desta forma, um dos objetivos dos indicadores de C,T&I é identificar as áreas científicas ou tecnológicas mais promissoras e avaliar os impactos de C,T&I e de suas políticas na economia e na sociedade. Com isso, busca-se fundamental o debate sobre as políticas.

Por fim, a razão pragmática está relacionada ao monitoramento de tendências e perspectivas de evolução da C,T&I. Através do uso de indicadores, busca-se identificar as oportunidades tecnológicas, localizar as competências e monitorar o processo de mudança técnica dos atores, bem como avaliar os impactos dessas mudanças.

Deste modo, a escolha das variáveis que devem ser objeto da construção de indicadores depende de serem assumidos determinados critérios sobre a relevância ou sobre a função de cada uma delas nos processos de produção, difusão e uso de conhecimentos científicos, tecnológicos e de inovações. Portanto, a elaboração e uso de indicadores de C,T&I está diretamente ligada ao modelo de inovação assumido.

1 – O papel dos indicadores de inovação para as nanotecnologias: dados e informação, diagnóstico e política

Os indicadores de inovação são geralmente utilizados para proporcionar informações aos formuladores de políticas (*policy makers*) e pesquisadores de modo que estes possuam maior compreensão a respeito dos processos inovativos. Com os dados e informações coletadas, a construção de indicadores pode revelar características particulares dos processos de inovação capazes de permitir aos formuladores de políticas a condução de diagnósticos mais precisos de modo que possam dar forma a políticas de inovação mais adequadas.

É nesse contexto que se destaca a importância de indicadores para as nanotecnologias. Pela razão científica, a construção de indicadores vem atender um importante componente para o desenho de políticas, conforme destacado nesta tese: o entendimento da dinâmica inovativa das nanotecnologias. Dessa forma, facilita-se a análise dos fatores que compõem o processo de inovação dessas tecnologias, verificando as relações existentes entre a ciência, tecnologia e inovação nas nanotecnologias.

Pela razão política, os indicadores fornecem os dados e informações necessárias para a formulação, avaliação e aperfeiçoamento de políticas. Deste modo, os indicadores também atendem outra questão amplamente levantada neste trabalho: a necessidade do entendimento do objeto para a formulação de políticas. Além disso, com os indicadores também identificam-se as áreas científicas ou tecnologias promissoras, como as nanotecnologias.

A razão pragmática, por sua vez, está relacionada às demais, uma vez que visa o monitoramento de tendências e perspectivas de evolução da C,T&I. Assim, com o uso de indicadores, busca-se identificar as oportunidades tecnológicas, localizar as competências e monitorar o processo de mudança técnica dos atores, atividades também amplamente levantadas neste trabalho.

É preciso lembrar, porém, que a inovação nesse contexto está relacionada a um processo complexo e sistêmico. Portanto, desenhar indicadores de inovação nesse contexto não se trata de uma tarefa trivial.

Como discutido neste trabalho, as políticas existentes normalmente estão direcionadas para ações voltadas para o ‘lado da oferta’, ou seja, direcionadas para atividades do lado produtivo, e ainda assim uma pequena parte deste, como os investimentos de atividades de P&D, como parte do suporte às capacitações em C&T ao nível da firma.

Salazar e Holbrook (2004) argumentam que embora boa parte da literatura de indicadores já reconheça que inovação vai além das atividades de P&D, os manuais de pesquisa de inovação, como o Manual de Oslo e de Bogotá, ainda consagram demasiada atenção para a P&D como um dos principais insumos da inovação. Deste modo, ao enfatizar os insumos da inovação (com questões sobre gastos, unidades formais de P&D, entre outros), os autores sugerem que as pesquisas de inovação provêm informações que levam as políticas desenhadas no sentido de cada vez mais reforçar o ‘lado da oferta’ ao incrementar as capacitações em C&T.

Como discutido, esta perspectiva está relacionada à visão linear do processo de inovação. E foi baseada nesta visão que as políticas de inovação para as nanotecnologias foram desenhadas no Brasil.

Foi nesse contexto, e devido às características específicas e complexas das nanotecnologias, que argumentou-se, nesta tese, que as políticas foram desenhadas tendo como pilar uma limitada compreensão do processo de inovação que se desejava apoiar. Portanto, compreender estas particularidades torna-se essencial para que formuladores de políticas definam prioridades para as iniciativas de políticas. Deste modo, uma pesquisa de inovação em nanotecnologia que examine tanto o comportamento inovativo das empresas a respeito das nanotecnologias que usam e desenvolvem, quanto as principais características do processo de inovação da nanotecnologia em questão, pode servir como uma ferramenta bastante útil como auxílio aos formuladores de políticas no desenho de políticas mais coerentes no Brasil.

Por fim, é importante ter em mente que qualquer indicador de inovação traz em si uma limitação implícita. Uma vez que medir é algo que vai além de adicionar números, mas que torna-se necessário assegurar que a unidade de análise seja homogênea, Cassiolato *et al.* (2008) destacam que a necessidade de se isolar e quantificar elementos iguais e equivalentes de uma atividade trata-se de uma antítese

com a idéia de mensurar a inovação que, por definição, é algo único. No caso das nanotecnologias, esse raciocínio também se aplica se os processos inovativos forem analisados isolados do seu contexto, ou seja, se o objeto de análise for a tecnologia única e exclusivamente, fora do contexto onde é desenvolvida, ou seja, das atividades das empresas e institutos de pesquisa.

É com esta limitação em mente, portanto, que a proposta para indicadores de inovação em nanotecnologias se, por um lado, devem considerar as características das diferentes nanotecnologias, por outro, devem também considerar as atividades dos atores para o uso e desenvolvimento dessas nanotecnologias.

2 – Abordagens das pesquisas de inovação

Existem duas abordagens principais para a coleta de dados sobre inovação. A primeira foca no comportamento inovativo ao nível da firma e suas atividades, explorando os fatores que influenciam suas estratégias, incentivos e barreiras à inovação, o âmbito das atividades inovativas, e os efeitos da inovação para as firmas. Esta abordagem foca no agente inovador, no sujeito da inovação, a firma. Por isso, é conhecida como “abordagem do sujeito” (*subject approach*). A segunda abordagem foca em inovações tecnológicas específicas, normalmente identificadas utilizando informações provenientes de avaliações de expertos, através de anúncios de novos produtos ou quando eles são objeto de políticas públicas. Esta abordagem é conhecida como “abordagem do objeto”, uma vez que está voltada para a melhor compreensão de uma tecnologia específica (OECD, 1997; SMITH, 2005).

Debates surgiram no início dos anos 1990 depois que a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) tentou sintetizar os resultados de pesquisas de inovação anteriores, e desenvolver um manual que serviria de base para práticas comuns nesta área. Como resultado, a OCDE organizou em colaboração com o Eurostat um encontro para o primeiro rascunho de um questionário padrão contendo uma lista de questões centrais que permitiriam comparações internacionais entre pesquisas de inovação nos países europeus. Após muita discussão, chegou-se a um manual contendo diretrizes para pesquisa de inovação que passou a ser conhecido como o ‘Manual de Oslo’ (GODIN, 2005; SMITH, 2005).

Uma das discussões principais esteve centrada na escolha da abordagem mais apropriada para a coleta de dados em uma pesquisa de inovação. A pesquisa deveria

considerar a inovação como um ‘resultado’ (*output*) ou como uma atividade (*subject approach*)?

Na primeira opção, a inovação serviria como a unidade de análise, que resultaria, segundo o Manual (OECD, 1997), em uma mensuração direta da inovação, tendo a vantagem de fazer perguntas relacionadas ao projeto. Esta abordagem funciona pela montagem de uma lista de relevantes inovações identificadas através de buscas na literatura especializada ou por painéis de especialistas, identificação das empresas que introduziram a inovação e, então, envio de questionários para elas com perguntas a respeito de inovações específicas (GODIN, 2005).

Na segunda opção, a empresa é a unidade de análise. Neste caso, as empresas dão respostas gerais sobre vários projetos, perdendo o foco de uma inovação específica. Do ponto de vista amostral e estatístico, é mais fácil utilizar a ‘abordagem do sujeito’. Além disso, está mais sujeita a padronização internacional e comparação.

Assim, a OCDE e o Eurostat optaram por utilizar a ‘abordagem do sujeito’ alegando que da perspectiva do desenvolvimento econômico, são as empresas que configuram os resultados econômicos e, portanto, são significativas para as políticas (OECD, 1997). Desde então, a ‘abordagem do sujeito’ tem sido a abordagem mais comumente utilizada nas pesquisas de inovação de diversos países.

Contudo, ambas as abordagens podem incorporar aspectos do processo de inovação. Por isso, o Manual de Oslo menciona que as duas abordagens podem ser combinadas²⁰¹. As vantagens e desvantagens de cada uma das abordagens vão depender dos objetivos para o uso dessas informações.

Deste modo, vale refletir qual a abordagem mais adequada para fornecer as informações necessárias para os formuladores de políticas na compreensão dos processos de inovação das nanotecnologias.

3 – Integrando abordagens para pesquisa em nanotecnologia

No Brasil, a Pesquisa de Inovação Tecnológica (PINTEC), conduzida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), surgiu a partir da necessidade de se disponibilizar para o governo e para a sociedade informações abrangentes e sistemáticas sobre as atividades de inovação desenvolvidas pelo setor privado nacional.

²⁰¹ Ressaltando que, nesses casos, a pesquisa deve estar limitada somente às inovações principais.

Depreendeu-se, então, que o seu objetivo principal seria levantar dados que visassem a construção de indicadores setoriais, nacionais e regionais das atividades de inovação nas empresas brasileiras, compatíveis com as recomendações internacionais, de forma a garantir a comparação dos seus resultados com os de outros países (Silva, 2010).

A unidade de análise da pesquisa está focada nas atividades, impactos e fatores que influenciam e dificultam o comportamento inovativo da firma como um todo. Como visto, estas características estão relacionadas à ‘abordagem do sujeito’. Não obstante, a PINTEC também possui importantes características relacionadas a ‘abordagem do objeto’, uma vez que também está interessada em obter informações sobre as principais inovações de produtos e processos desenvolvidas pelas empresas. Embora a pesquisa não foque na natureza específica dessas inovações, as atividades inovativas das empresas estão relacionadas às principais inovações descritas na pesquisa. De qualquer forma, apesar dessa tênue integração de ambas as abordagens, sem dúvida a ‘abordagem do sujeito’ prevalece.

Neste contexto, salienta-se que a ‘abordagem do sujeito’ predominante na PINTEC é um importante instrumento para os investigadores e formuladores de políticas no sentido de identificar onde (atividades econômicas e regiões do país) e que tipo de empresas e institutos de pesquisa (tamanho e idade) estão desenvolvendo atividades em nanotecnologia no Brasil.

Entretanto, as atividades inovativas aí investigadas não estão exclusivamente relacionadas às nanotecnologias, mas a uma ampla variedade de diferentes sistemas tecnológicos. Deste modo, torna-se apropriado a coleta de dados sobre determinados tipos de tecnologias e inovações específicas ao invés de somente o comportamento inovativo das instituições como um todo, uma vez que o objetivo é compreender e promover estas tecnologias em particular.

Nesse contexto, a ‘abordagem do objeto’ é um quadro de análise orientado para a tecnologia, de modo que possibilita uma avaliação da importância de uma inovação específica. Ela permite a descrição de uma inovação de produto e/ou processo, assim como dos objetivos da inovação, e ainda pode ser utilizada para coletar informações sobre cada inovação empreendida em uma empresa. Uma vez que as empresas podem desenvolver ambos os tipos de inovação, sem considerar as organizacionais entre outras, no período de análise de uma pesquisa, torna-se difícil usar tal classificação na análise dos dados quando se utiliza a ‘abordagem do sujeito’. Ademais, é mais provável que dados relacionados aos objetivos da inovação, as áreas que se beneficiam destas

inovações e as fontes de informação para as inovações sejam mais facilmente atribuíveis a inovações específicas ao invés das atividades inovativas das empresas com um todo (OECD, 1997; SMITH, 2005), embora normalmente seja difícil fazer esta distinção.

Uma vez que as nanotecnologias estão relacionadas a diferentes sistemas nanotecnológicos de inovação, a ‘abordagem do objeto’ pode ser bastante útil para capturar as diferenças nos processos de inovação das nanotecnologias. No entanto, é importante destacar que os diferentes processos de inovação também estão sujeitos às influências do ambiente no qual as empresas e institutos de pesquisa fazem parte, o que significa que o comportamento das organizações que desenvolvem nanotecnologias e, mais importante, sua relação com o resto do sistema são também relevantes.

Assim, a análise da dinâmica dos diferentes sistemas nanotecnológicos de inovação – e suas especificidades – torna-se mais relevante se analisada junto com o comportamento das organizações que se dedicam às nanotecnologias e suas relações com o sistema do qual fazem parte (o sistema nacional de inovação). Portanto, a ‘abordagem do objeto’ é mais bem aproveitada se utilizada como complemento à ‘abordagem do sujeito’ sempre que uma tecnologia específica for objeto de políticas específicas.

Deste modo, uma abordagem integrada de pesquisa de inovação pode ser mais adequada para fornecer informações mais precisas e relevantes sobre os processos de inovação em nanotecnologia para os pesquisadores e formuladores de políticas.

4 – Elementos para uma pesquisa de inovação em nanotecnologia: algumas considerações

O primeiro passo para uma abordagem integrada de pesquisa de inovação para nanotecnologia é identificar a população que será objeto da pesquisa. É importante identificar o conjunto de empresas e institutos de pesquisa que desenvolvem atividades em nanotecnologia de forma a compor uma amostra de grupos relevantes para serem entrevistadas.

Dado que as nanotecnologias estão espalhadas por diversos setores da economia e não são, por sua vez, consideradas um setor, é pouco provável haja um sistema classificatório que identifique efetivamente os atores envolvidos nas atividades de nanotecnologia. Esta limitação ocorre porque as empresas serão classificadas em outras atividades que incorporam as nanotecnologias. Ainda que existam organizações que

tenham a nanotecnologia como atividade principal, elas serão classificadas, por exemplo, como empresa do setor farmacêutico que desenvolve nanotecnologia, ou empresa do setor eletrônico, entre outros.

Deste modo, uma maneira de se identificar as nanotecnologias é procurar saber da inserção destas nas organizações pertencentes a diferentes atividades. A Pesquisa de Inovação Tecnológica (PINTEC) perguntou, na sua última versão, as empresas e instituições de pesquisa que fazem parte da sua amostra acerca do envolvimento em atividades de nanotecnologia. Embora o objetivo da pesquisa não estivesse diretamente voltado para captar informações sobre atividades inovativas específicas de nanotecnologia, mas do comportamento inovativa da firma como um todo, importantes informações e dados a respeito das empresas e institutos de pesquisa que utilizam e desenvolvem nanotecnologia no Brasil foram obtidas.

Além das instituições, identificou-se também em que atividades da economia²⁰² elas estão classificadas. Estas informações formam uma importante base de dados que possibilita um panorama de ‘quem’ são os atores do setor produtivo e ‘onde’ está a nanotecnologia no Brasil. Uma limitação, no entanto, se refere à amostra desta pesquisa, que abrange empresas que empregam dez ou mais pessoas em seus quadros de funcionários, deixando de forma do quadro de análise importantes pequenas empresas que normalmente desempenham um papel fundamental na difusão de novas tecnologias emergentes.

De qualquer forma, esta pesquisa proporciona informações relevantes sobre o comportamento inovativo dessas firmas que, se combinadas a informações específicas sobre as atividades em nanotecnologia, podem fornecer um entendimento mais completo de sua natureza. Ela pode, então, ser o ponto de partida para uma abordagem que examine e considere uma perspectiva mais abrangente da natureza das nanotecnologias, seu propósito e seus impactos.

Esta abordagem está relacionada à utilização das abordagens do ‘sujeito’ e do ‘objeto’ para captar informações sobre nanotecnologia, sobretudo buscando responder as seguintes questões: i) *O que é nanotecnologia?* Neste caso, a pergunta deve buscar responder quais as principais características das nanotecnologias em questão; ii) *Quem são os atores da nanotecnologia?* Busca-se identificar quem estuda, produz e utiliza nanotecnologia, e quais as suas atividades relacionadas a elas; iii) *Onde está a*

²⁰² As atividades econômicas estão baseadas na Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE 2.0).

nanotecnologia? Junto com os atores, identificar em que atividades, setores, empresa, instituições de ensino, pesquisa, laboratórios, entre outros, que a nanotecnologia está inserida; iv) *Quais os impactos das nanotecnologias?* Identificar de que forma a utilização e desenvolvimento das nanotecnologias modificou as atividades dos atores envolvidos; e v) *Quais as perspectivas, possibilidades e fatores limitantes das nanotecnologias?*

Espera-se que o desenvolvimento desta perspectiva híbrida de indicadores possa ajudar a revelar importantes características das ‘caixas-pretas’ dos processos de inovação em nanotecnologia de modo a proporcionar um escopo de análise mais amplo, com mais conhecimento para desenhar estratégias de atuação no processo de formação de políticas.

Neste contexto, o papel do IBGE de “retratar o Brasil com informações necessárias ao conhecimento de sua realidade (...)” é essencial, uma vez que é esta instituição que possui a capacidade estrutural e a experiência necessária para realizar este tipo de atividade, além das bases de informações necessárias para tal.

No caso das nanotecnologias, não apenas a PINTEC, mas também outras importantes pesquisas realizadas nesta instituição, como a Pesquisa Industrial Anual de Empresas, podem servir como importantes fontes de informação para a identificação de empresas industriais relacionadas às nanotecnologias no Brasil.

Além dessas, há ainda o Cadastro Central de Empresas (CEMPRE), que constitui um importante acervo de dados sobre as empresas e outras organizações formais e suas respectivas unidades locais existentes no Brasil, reunindo informações cadastrais e econômicas oriundas de pesquisas anuais do IBGE, nas áreas de Indústria, Construção Civil, Comércio e Serviços, e da Relação Anual de Informações Sociais - RAIS, do Ministério do Trabalho e Emprego.

Estas bases, se trabalhadas em conjunto, podem servir como fontes primárias para o desenho de um universo de instituições que atuam com nanotecnologias no Brasil. A partir delas, é possível formular pesquisas diversas relacionadas às nanotecnologias e extrair amostras relacionadas aos objetivos e interesses específicos.

ANEXO I – Sugestões de políticas para nanotecnologia segundo os entrevistados

Os pontos a seguir se referem a opiniões, aferições e sugestões de políticas de inovação para nanotecnologia no Brasil, segundo os entrevistados. Diversos temas são abordados. As opiniões tanto divergem como convergem de acordo com os interesses dos atores, tipos de nanotecnologia, tipos de instituições (empresas e institutos de pesquisa) e mesmo ideologia. Ressalta-se que a maioria dos pontos levantados foram discutidos ao longo deste trabalho.

Os pontos se referem, principalmente, aos seguintes temas: políticas gerais e específicas; formação de pessoal; interação universidade e institutos de pesquisa com setor produtivo; dificuldade de transformar conhecimento em produtos e processos; regulação; meio ambiente, saúde e segurança; capital de risco; políticas setoriais; definições de prioridade; e política de Estado. A seguir os pontos levantados.

- Envolvimento de EMPRESAS TÉCNICAS já nas fases iniciais, considerando melhorias de tecnologia sempre apoiada pela Indústria, uma vez que estes esforços não se tratam de Ciência Básica.
- Uma política de inovação adequada deve envolver o desenvolvimento tecnológico e também focar o mercado, no intuito de aproximar as universidades/institutos de pesquisa e as empresas, pois no Brasil há uma distância entre a pesquisa/desenvolvimento científico e o passo seguinte necessário para transformar a pesquisa em inovação, resultando em um produto/processo inovativo.
- Definição do conceito de nanotecnologia, legislação específica, políticas específicas que agilizem a formação de parcerias academia-empresa face à necessidade de conhecimento de diversas áreas de conhecimento, custo e tecnologias específicas necessárias para gerar um produto nanotecnológico. Necessário uma legislação voltada especificamente para a nanotecnologia.
- Devido ao grau de ‘pervasividade’ que esta tecnologia assume, dever-se-ia identificar alvos de desenvolvimento tecnológico específicos para serem alcançados.
- Ampliação de investimento que permitisse a produção em escala industrial de um nanomaterial desenvolvido em escala de laboratório.

- Agregaria maior especificidade, ou seja, que a política considerasse os diferentes campos e segmentos de aplicação.
- Específica para cada aplicação. Não se pode fazer empresas fortes em nanotecnologia com apenas dois editais. É necessário uma política de Estado e não de governo, a exemplo do empenho do governo para concorrer no mercado de etanol. Caso as demandas superem a oferta deveriam especificar por área nanotecnológica. Quem só trabalha com nanotecnologia geralmente fica de fora dos editais.
- Uma política de inovação adequada deveria abordar as diferentes áreas estratégicas em editais específicos (por exemplo, na área de saúde, as especialidades de Medicina e Odontologia deveriam ser abordadas individualmente), pois o grau de complexidade e as necessidades das pesquisas nas diferentes especialidades são variáveis, o que pode fazer com que projetos estratégicos para uma determinada especialidade seja subvalorizado quando comparado a outra.
- Uma política que pudesse contemplar sugestões de parcerias e *know-how* de acordo com a área da nanotecnologia, ou seja, projetos mistos e compartilhados. O uso da subvenção é uma excelente iniciativa que encoraja o empreendedor a seguir esse caminho, pois divide os riscos.
- Estudos seguros e eficazes: o nanocosmético, ainda é um assunto com pouco conhecimento técnico-científico, sem normalizações técnicas de análises e padronizações, e que devem primeiramente ter estudos seguros e eficazes para prospecção de inovação.
- Incentivo para projetos de pesquisa e inovação na área de biotecnologia, principalmente na forma de fomento a projetos de P&D de parceria entre empresas interessadas em aplicar nanotecnologias e instituições de pesquisa com infraestrutura para desenvolvimento.
- Como a nanotecnologia é multidisciplinar e com amplo espectro de aplicação (diversas tecnologias e setores industriais), pensamos que dentro da PNN deveria haver focos diferenciados para as diferentes possibilidades de utilizações e aplicações das Nanotecnologias.
- Uma política centrada no apoio aos arranjos produtivos locais para apoio às tecnologias e necessidades de cada região; uma regulamentação eficiente sob o

enfoque patentário e de regulação em saúde (ANVISA); regulação e uso de insumos da biodiversidade do Brasil (Ministério do Meio Ambiente), pois ao criar o CGEN (gestão do patrimônio genético), criou-se uma série de embargos equivocados de controle de rastreabilidade da comercialização de produtos da nossa biodiversidade, impedindo o desenvolvimento de alta tecnologia com o uso de produtos desta biodiversidade. Soma-se a isso um cadastramento das comunidades produtivas e o pagamento dos *royalties* a esta comunidade, mas desde que os processos de controle realmente fossem sérios e agilmente analisados.

- Uma política que tenha a definição sobre o uso das nanotecnologias. Por exemplo, da absorção, do solo, da manipulação humana e meio-ambiente.
- Uma política ambiental mais rígida.
- Aplicar as exigências ambientais, exigir as condições técnicas de cada produto conforme especificado visando oferecer produtos com a utilização da melhor tecnologia disponível.
- Outro aspecto muitíssimo importante e negligenciado pelas políticas públicas refere-se ao capital de risco visando a formação de empresas inovadoras de base tecnológica. Existem no país algumas iniciativas no setor público e universidades, porém a ausência de regulamentação na esfera privada cria obstáculos à inovação da pequena empresa, em especial na área de nanotecnologia.
- A elaboração de um plano estratégico de incentivo e fomento de pesquisa aplicada de origem nacional.
- A política deve priorizar a formação de recursos humanos e ainda sua retenção nas universidades, centros de pesquisa públicos e, em última instância, nas empresas ou setor produtivo.
- Incentivo ao uso de laboratórios de análises de centros de pesquisas.
- Incentivos fiscais para a contratação de pesquisadores.
- Fomentar a divulgação massiva entre os universitários para que os interessados comecem a orientar os seus desenvolvimentos estudantis com este foco.
- Propiciar prêmios de reconhecimento tecnológicos para este seguimento.
- Maiores investimentos para projetos comprovadamente promissores na área. Mais oportunidades de chamadas públicas de PNPD (Programa Nacional de Pós

Doutorado) industriais, pois este é o principal foco para formação de mão de obra especializada que tire os vícios dos pesquisadores acadêmicos nas empresas. Não existe outra maneira tão eficiente de formar mão-de-obra específica a que se pretende como esta no Brasil.

- Programas de formação de profissionais, especialmente com doutorado, voltados para as bases de P&D&I.
- Uma política de avaliação de pesquisadores onde não se busca apenas *paper*, mas também onde patentes sejam indicadores de produção em P&D&I.
- Os esforços devem estar focalizados não em nanotecnologia puramente, mas nas áreas existentes (semicondutores, materiais, fármacos, química, etc..) uma vez que acreditamos que o que haverá é a evolução, ou ainda, refinamento e modificação, dos sistemas produtivos existentes visando à adaptação destes nossos materiais, insumos e processos produtivos de acordo com os novos padrões e/ou demandas.
- A política deve ser desenvolvida por setores, o que, provavelmente, a fortaleceria.
- Deveríamos primeiro ter uma política adequada ao estímulo da inovação e não deveria ser carimbada pelo tipo como nanotecnologia, biodiversidade, etc. Inovação é inovação.
- Uma política não setorizada, diferente da atual, que é extremamente específica. Uma saída poderia ser a de formulação de políticas mais abrangentes (como o antigo fundo verde amarelo da FINEP) que possibilitem permear diversos setores. No caso de haver a necessidade de especificar, seja por classificar projetos ou por estratégica, então que seja criado um maior número de linhas atingindo diversos setores indústrias.
- A nanotecnologia é um assunto muito novo, ainda desconhecido, e os riscos envolvidos nos projetos são altos. Políticas de contrapartida de 50% não são ideais para fomentar este tipo de assunto. A contrapartida governamental, neste específico caso, deve ser mais agressiva pela característica da matéria. A contrapartida econômica de empresas privadas poderia ser aceita nestas políticas, permitindo a minimização do risco envolvido.

- Não vejo distinção entre a inovação em nanotecnologia ou em outras tecnologias. As pequenas e micro empresas são penalizadas na legislação de incentivo à inovação e também no sistema de tributação simples nacional.
- Ter uma visão mais estratégica e não favorecer grupos específicos. Dividir o poder de decisão de investimento com empresários deixando de ser uma pesquisa com viés puramente acadêmico. Esforços têm sido feito neste sentido e tem melhorado.
- Redução de impostos relacionados na cadeia do desenvolvimento.
- Uma política onde os recursos estivessem para o desenvolvimento na empresa, criando e fortalecendo parques fabris de produtos em nano, tornando-se de fato uma política e tendo continuidade; Divulgação das informações sobre nanotecnologia; Elaboração de editais que equilibrem a distribuição de verbas entre as universidades e as empresas; Envolvimento de todas as áreas do governo e não só do MCTI com ações contínuas a exemplo do "minha casa minha vida".
- Uma política adequada de subvenção econômica, especialmente voltada para pequenas Empresas inovadoras, com tecnologias de impacto.
- Existência de maior número de Editais.
- Redução dos impostos para compras de equipamentos de laboratórios e reagentes utilizados em pesquisas.
- Isenção de impostos para produtos com nanotecnologia.
- Definições governamentais nas áreas prioritárias de atuação com estabelecimento de metas e objetivos em curto, médio e longo prazo.
- Uma política de claríssimo entendimento, de fácil aplicação e uso com pouca burocracia.
- Uma política que estimulasse o desenvolvimento, aplicação em produto, o consumo e a propriedade intelectual.
- A política existente é muito limitada. Além disso deveria ter continuidade, pois nos últimos anos houveram constantes mudanças nas áreas e temas apoiados por subvenção econômica, apenas para citar um exemplo.
- Incorporação de índices capazes de medir o grau de incorporação de nanotecnologia nos produtos novos ou rejuvenescidos.
- Uma política consistente de estímulo ao Empreendedorismo com Inovação.

- As que facilitem o desenvolvimento e a inserção comercial de soluções envolvendo a nanotecnologia.
- Uma política que estimulasse e apoiasse, através de editais de subvenção econômica dedicados ao segmento da nanotecnologia, permitindo o aproveitamento de empresas privadas com fins lucrativos com comprovada competência para execução do projeto.
- Aumentar a eficiência de implementação das políticas já existentes.
- Desburocratização nos acessos ao financiamento; Incentivo a integração dos pesquisadores as empresas; Acesso as informações de pesquisas desenvolvidas por universidades e centros de pesquisas para transformação dessas pesquisas em produtos industriais.
- Uma política de compras de governo especialmente para produtos onde o governo faz uso, como os produtos médicos e odontológicos.
- Aumento de incentivos pelos órgãos de fomento.
- É extremamente importante o país ter pelo menos o mesmo nível de investimento público para o Programa Nacional de Nanotecnologia. Usando uma fração do PIB como referência, isso significaria pelo menos US\$ 250 milhões (R\$ 500 milhões) anuais investidos em Nanotecnologia.
- A política não deve ser apenas para nanotecnologia, precisa ser uma Política de Estado; necessário o fortalecimento da sinergia do Sistema Inovação: academia, empresa e governo; um *roadmap* de longo prazo para orientar e dar foco as pesquisas no país, com um conselho de altos especialistas, nacionais e internacionais; indicadores nacionais de inovação ágeis e inteligentes; incentivo à pesquisa, inovação e empreendedorismo em todos os níveis educacionais; incentivo ao jornalismo científico e popularização da ciência; reconhecimento de pesquisadores e instituições de pesquisa; incentivo a propriedade intelectual brasileira e transferência de tecnologia; incentivo a criação de empresas brasileiras.

ANEXO II – Questionário

A NANOTECNOLOGIA NO BRASIL: INOVAÇÃO E POLÍTICAS PÚBLICAS
Observatório de Políticas Estratégicas de Produção e Inovação no Brasil
RedeSist – Rede de Pesquisa em Sistemas e Arranjos Produtivos e Inovativos Locais
Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (IE-UFRJ)

Propósito da Pesquisa – As informações fornecidas por sua empresa são essenciais para o conhecimento das atividades inovativas relacionadas à nanotecnologia no Brasil de modo a fornecer subsídios para a formulação de políticas científicas, tecnológicas e de inovação, contribuindo para o desenvolvimento do Brasil. Os resultados da pesquisa serão agregados, impossibilitando a identificação da empresa. As informações contidas se destinam, exclusivamente, a fins estatísticos.

INFORMAÇÕES GERAIS

Razão social: _____
Ano de fundação: _____
CNPJ: _____
Endereço completo: _____
Responsável pelas informações/ Função na empresa/ Telefone e e-mail _____

Número de funcionários da empresa: _____

I. IDENTIFICAÇÃO SOBRE USO OU DESENVOLVIMENTO

1 - A empresa utilizou e/ou desenvolveu alguma atividade de nanotecnologia no período entre 2003- 2011?

	Antes	2003/2005	2006/2008	2009/2011
1. Sim, utilizou e desenvolveu	()	()	()	()
2. Apenas utilizou	()	()	()	()
3. Apenas desenvolveu	()	()	()	()
4. Não	()	()	()	()
1.5 - Se não usou/desenvolveu, pretende usar/desenvolver dentro de 2 anos?				
() Sim (Responder o questionário pensando nos planos para os próximos 2 anos)				
() Não (Passar para o Bloco V – Políticas)				

2 – Qual(is) a(s) principal(is) atividades relacionadas à utilização/desenvolvimento da nanotecnologia na empresa:

1. () Desenvolvimento e/ou uso de produtos de nanotecnologia
2. () Desenvolvimento e/ou uso de processos nanotecnológicos
3. () Pesquisa Básica e Aplicada (P&D)
 Nesse caso, você definiria sua atividade como:
 1. () Pesquisa Básica (Nanociência)
 2. () Pesquisa Aplicada (Nanociência)
 3. () Desenvolvimento (Nanotecnologia)
4. () Fornecedor de instrumentos ou de serviços técnicos.
 1. Qual? _____
5. () Testes para introdução no mercado
6. () Preparação para a produção e distribuição
7. () Marketing
8. () Marco regulatório e/ou propriedade intelectual
9. () Controle de qualidade
10. () Meio-ambiente, saúde e segurança
11. () Importação/Exportação

12. () Outro.

1. Especifique: _____

3 - Descreva brevemente o principal produto/processo utilizado pela empresa em nanotecnologia.

3.1 Que novidades essa utilização trouxe ao processo produtivo da empresa?

4 - Descreva brevemente o principal produto/processo desenvolvido pela empresa com nanotecnologia

4.1 - Que novidades esse desenvolvimento trouxe ao processo produtivo da empresa?

5 – Qual(is) a(s) principal(is) área(s) da nanotecnologia sua empresa está relacionada no uso/desenvolvimento? (marcar tantas quantas necessárias)

1. () Nanomeio-ambiente
2. () Nanobiotecnologia
3. () Nanoenergia
4. () Nanomateriais
5. () Nanoeletrônica
6. () Nanosensores
7. () Nanoinstrumentos (para observação, análise ou controle)
8. () Nanoferramentas (para manipulação, nanolitografia e nanofabricação)
9. () Nanofotônica
10. () Nanocompósitos
11. () Nano-ótica
12. () Nanomagnetismo
13. () Nanomecânica
14. () Nanomedicina
15. () Outro.

1. Especifique: _____

6 – Em relação ao conhecimento necessário para a utilização/desenvolvimento da nanotecnologia na empresa, quais são as principais áreas da ciência necessárias? (marcar tantas quantas necessárias)

1. () Biologia
2. () Química
3. () Física
4. () Farmácia
5. () Engenharia Eletrônica
6. () Engenharia Química
7. () Engenharia Mecânica
8. () Ciência da Computação
9. () Ciência dos Materiais
10. () Outro.

1. Especifique: _____

7 – Em relação à técnica utilizada para o desenvolvimento da nanotecnologia (SOMENTE PARA QUEM DESENVOLVE)

1. () Construção do material, produtos e/ou processos a partir da manipulação dos átomos e moléculas. Técnica de “baixo para cima” (*bottom-up*).

1.1. () Síntese química

1.2. () Automontagem

1.3. () Montagem determinada

2. () Construção do material, produto e/ou processo a partir da eliminação do excesso de material existente em uma amostra maior de material. Processo de miniaturização. Técnica de “cima para baixo” (*top-down*).

2.1. () Fotolitografia

2.2. () Nanolitografia de raios de elétrons

2.3. () Nanolitografia de raios de íons

3. () Outro.

1. Especifique: _____

8 – Quanto às atividades relacionadas à nanotecnologia, elas são:

() O principal negócio da empresa

() Diferem das demais atividades da empresa

9 – Em termos técnicos este produto/processo é:

() Aprimoramento de um já existente

() Completamente novo para a empresa

10 - Quais as principais aplicações da nanotecnologia que a empresa espera a partir dos desenvolvimentos que tem promovido (assinale as três principais em ordem crescente):

1. () Indústria automobilística

2. () Indústria aeronáutica

3. () Indústria de alimentos

4. () Indústria eletrônica e de comunicações

5. () Indústria química não farmacêutica

6. () Indústria farmacêutica (medicamentos)

7. () Indústria farmacêutica (cosméticos)

8. () Materiais avançados

9. () Biotecnologia e biomédica

10. () Instrumentos e materiais para uso médico e odontológico

11. () Processamento industrial

12. () Bens de consumo e aplicações

13. () Setor energético

14. () Meio ambiente

15. () Defesa

16. () Outro

1. Especifique: _____

II. ATIVIDADES INOVATIVAS RELACIONADAS À UTILIZAÇÃO E/OU DESENVOLVIMENTO DE NANOTECNOLOGIA

11 - Qual a importância das atividades inovativas relacionadas ao desenvolvimento/uso da nanotecnologia (Grau de importância 1:Alto; 2:Médio; 3:Baixa; 4:Não relevante):

1. () Atividade de P&D interna à empresa

2. () Aquisição de P&D externa à empresa

3. () Treinamento interno na empresa

4. () Treinamento externo à empresa

5. () Compra de máquinas e equipamentos
6. () Utilização de publicações acadêmicas
7. () Parceria com universidades
8. () Parceria com outros institutos de pesquisa
9. () Parceria com outras empresas
10. () Contratação de pesquisadores temporários
11. () Contratação de pesquisadores permanentes
12. () Utilização de novos materiais (insumos, matéria-prima, etc.)
13. () Utilização de licenças de uso ou patentes
14. () Outro
 1. Especifique: _____

12 - Qual a principal ocupação (formação básica) do pessoal envolvido no desenvolvimento de nanotecnologia na empresa?

1. () Químicos, físicos e assemelhados
2. () Engenheiros e assemelhados
3. () Médicos, dentistas e assemelhados
4. () Biólogos, farmacologistas e assemelhados
5. () Técnicos
 1. Especifique: _____
6. () Outros
 1. Especifique: _____

13 – Foi necessário contratar alguém novo para que introduzisse essa tecnologia na empresa?

Sim () Não ()

13.1 Caso afirmação positiva pode descrever o motivo da contratação?

13.2. Qual a formação básica necessária?

1. () Químicos, físicos e assemelhados
2. () Engenheiros e assemelhados
3. () Médicos, dentistas e assemelhados
4. () Biólogos, farmacologistas e assemelhados
5. () Técnicos
 1. Especifique: _____
6. () Outros
 1. Especifique: _____

14 – Na sua opinião, os principais fatores (componentes críticos) para o processo de inovação em nanotecnologia na sua empresa são (Grau de importância 1:Alto; 2:Médio; 3:Baixa; 4:Não relevante):

1. () P&D
2. () Interação e cooperação com instituições de pesquisa e universidades
3. () Conhecimento científico e técnico
4. () Máquinas e equipamentos adequados
5. () Mão-de-obra qualificada
6. () Infraestrutura adequada
7. () Políticas de inovação adequadas
8. () Financiamento
9. () Capacidade de transformar o conhecimento científico em tecnologias aplicadas
10. () Colaboração interdisciplinar
11. () Arranjo organizacional e institucional específico

12. () Outro
1. Especifique: _____

III. OBJETIVOS E MOTIVAÇÕES

15 - Indique os principais objetivos da empresa em relação ao uso/desenvolvimento da nanotecnologia (Grau de importância 1:Alto; 2:Médio; 3:Baixa; 4:Não relevante):

1. () Aumentar o lucro
2. () Manter a participação no mercado
3. () Ampliar a participação no mercado
4. () Condição de apropriar-se dos ganhos da nanotecnologia
5. () Reduzir custos
6. () Contribuir com o meio ambiente
7. () Agregar valor ao seu produto
8. () Se adequar à cadeia produtiva
9. () Outros
1. Especifique: _____

16 - As motivações da empresa para o uso ou desenvolvimento de nanotecnologia são fruto de (Grau de importância 1:Alto; 2:Médio; 3:Baixa; 4:Não relevante):

1. () A empresa entendeu que trata-se de boa oportunidade (avaliação interna)
2. () Necessidade de se adaptar a fornecedores
3. () Necessidade de se adaptar a clientes
4. () Os concorrentes passaram a usar
5. () A política para nanotecnologia
6. () Compras governamentais
7. () Estímulos ao longo da cadeia produtiva
8. () A empresa possuía conhecimento científico e tecnológico em nanotecnologia
9. () A empresa possuía capacidade organizacional necessária
10. () Outros
1. Especifique: _____

IV. BARREIRAS AO DESENVOLVIMENTO E COMERCIALIZAÇÃO DA NANOTECNOLOGIA

17- Quais as principais dificuldades encontradas para a utilização/desenvolvimento da nanotecnologia (Grau de importância 1:Alto; 2:Médio; 3:Baixa; 4:Não relevante):

1. () Dificuldade em desenvolver Pesquisa e Desenvolvimento (P&D)
2. () Falta de pessoal qualificado adequado
2.1. () Generalistas
2.2. () Especialistas
3. () Falta de conhecimento multidisciplinar em nanotecnologia
4. () Falta de treinamento em nanotecnologia
5. () Dificuldade de transformar o conhecimento científico em produtos e processos em nanotecnologia: protótipo, produção para comercialização (desenvolvimento).
6. () Dificuldade de produção em larga escala (escalabilidade)
7. () Falta de flexibilidade organizacional
8. () Baixa relação custo x benefício
9. () Falta de recursos financeiros
10. () Elevado custo (utilização e desenvolvimento): material, instrumentos, etc.
11. () Falta de instrumentos
12. () Insuficiente infraestrutura de Tecnologias Industriais Básicas (TIB) no país (laboratórios de referência, certificação, INMETRO, etc.)
13. () Falta de infraestrutura geral adequada

14. () Problemas relacionados à propriedade intelectual (alto custo e direitos pertencentes a outros)
15. () Risco, incerteza e/ou falta de regulamentação em relação ao meio-ambiente, saúde e segurança em nanotecnologia (EHS)
16. () Incerteza quanto à regulação e padronização
17. () Controle de qualidade
18. () Elevado risco
19. () Escassez de serviços técnicos de (nano)tecnologia
20. () Falta de demanda (mercado pouco atrativo)
21. () Rejeição Pública
22. () Falta de financiamento
23. () Falta de uma política governamental adequada
24. () Instabilidades macroeconômica
25. () Outro
1. Especifique: _____

V. POLÍTICA

18 - A sua empresa tem conhecimento sobre as políticas de apoio para as atividades de nanotecnologia?

Sim () Não ()

18.1 - Em caso afirmativo, quais?

1. () Programa Nacional de Nanotecnologia (PNN)
2. () Prime (FINEP)
3. () Subvenção Econômica (FINEP)
4. () Inovação Tecnológica (BNDES)
5. () Programa RHAE (CNPq)
6. () Outros
1. Especifique: _____

19 - A empresa recebe (ou recebeu) algum tipo de apoio governamental ou não governamental à inovação em nanotecnologia?

Sim () Não ()

19.1 - Em caso afirmativo, qual programa?

1. () Subvenção Econômica (FINEP)
2. () Prime (FINEP)
3. () BNDES
4. () CNPq
5. () RHAE/CNPq
6. () SEBRAE
7. () Banco do Brasil
8. () Fundação de Amparo à Pesquisas Estaduais
9. () Outros
1. Especifique: _____

19.2 - Qual a faixa de valor do apoio recebido (reembolsável ou não reembolsável)?

- () Menos de R\$ 500.000,00
- () Entre R\$ 500.000,00 e R\$ 1 Milhão
- () Entre R\$ 1 Milhão e R\$ 5 Milhões
- () Mais de R\$ 5 Milhões

20 - Sem essa(s) programa(s)/instrumentos(s) a empresa teria utilizado ou desenvolvido nanotecnologia?

Sim () Não ()

21 - Qual o mecanismos/instrumento a empresa considera mais importante como forma de fomento a atividades nanotecnológicas na empresa? A empresa utilizou? (Grau de importância 1:Alto; 2:Médio; 3:Baixa; 4:Não relevante):

1. () Compras do Governo
Utilizou? Sim () Não ()
 2. () Incentivo fiscal às atividades de P&D interna ou externa a firma
Utilizou? Sim () Não ()
 3. () Incentivo fiscal para compra de máquinas e equipamentos para uso/desenvolvimento da nanotecnologia em questão
Utilizou? Sim () Não ()
 4. () Incentivo para a aplicação do conhecimento adquirido na forma de produto e/ou processo em nanotecnologia
Utilizou? Sim () Não ()
 5. () Incentivo fiscal específico a utilização ou desenvolvimento de nanotecnologia
Utilizou? Sim () Não ()
 6. () Equalização de juros para investimentos em nanotecnologia
Utilizou? Sim () Não ()
 7. () Subvenção Econômica para P&D
Utilizou? Sim () Não ()
 8. () Subvenção Econômica para atividades inovativas em nanotecnologia
Utilizou? Sim () Não ()
 9. () Incentivo a parcerias com instituições de pesquisa e universidades
Utilizou? Sim () Não ()
 10. () Incentivo a parceria com outras empresas
Utilizou? Sim () Não ()
 11. () Bolsa ou incentivo para contratação de pessoal qualificado
Utilizou? Sim () Não ()
 12. () Incentivo à projetos industriais e outras preparações técnicas para a produção e distribuição
Utilizou? Sim () Não ()
 13. () Incentivo à inserção e comercialização dos produtos e/ou processos no mercado
Utilizou? Sim () Não ()
 14. () Estímulo a patentes
Utilizou? Sim () Não ()
 15. () Estimular a demanda
Utilizou? Sim () Não ()
 16. () Financiamento para investimentos na empresa em geral
Utilizou? Sim () Não ()
 17. () Apoio a capital de risco
Utilizou? Sim () Não ()
 18. () Outro
1. Especifique: _____

22 – Sobre alguns aspectos da política de inovação em nanotecnologia existente, você considera:

1. () A política é adequada para estimular o desenvolvimento da nanotecnologia, apesar das diferentes nanotecnologias
2. () A política é muito abrangente, considerando os diferentes tipos de nanotecnologia
3. () A política favorece apenas alguns tipos de nanotecnologias
4. () A política deveria ser mais específica para cada tipo de nanotecnologia
5. () A política abrange todo o processo de inovação da nanotecnologia
6. () A política é limitada em relação ao processo de inovação em nanotecnologia

23. Qual(is) a(s) dificuldade(s) que a empresa encontrou para aproveitar os instrumentos de política de inovação nanotecnológicas?

24. Na sua opinião, o que seria uma política de inovação adequada para a nanotecnologia?

25. A atual crise influenciou a decisão da empresa em relação à nanotecnologia de alguma forma? De que maneira?

VI: INFORMAÇÕES SOBRE O PROJETO DE SUBVENÇÃO ECONÔMICA (SOMENTE PARA QUEM OBTIVE FINANCIAMENTO DA FINEP PARA SUBVENÇÃO)

26. Qual o percentual do Plano de Trabalho que foi executado desde a contratação da subvenção (Metas-Físicas propostas versus executadas)?

Metas	% executado

27. A empresa dispõe ou implementou centro de P&D ou estrutura para essa finalidade a partir da contratação da subvenção?

Sim () Não ()

28. Qual o estágio de desenvolvimento/introdução no mercado do(s) produto(s) ou serviço(s) objeto(s) do contrato de subvenção econômica?

1. () P&D
2. () Protótipo
3. () Está pronta para a introdução no mercado
4. () Vendas no mercado
5. () Abandonou o projeto
6. () Outro (especificar)

29. Qual o percentual aproximado da distribuição dos gastos com atividades inovativas da empresa relativos ao projeto de subvenção (recursos Finep e contrapartida)?

Dispêndio em Atividades Inovativas	%
1. Pesquisa e Desenvolvimento (P&D)	
2. Aquisição externa de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D)	
3. Aquisição de outros conhecimentos externos, exclusive software	
4. Aquisição de software	
5. Aquisição de máquinas e equipamentos	
6. Treinamento	
7. Introdução das inovações tecnológicas no mercado	
8. Projeto industrial e outras preparações técnicas para a produção e distribuição	

9. Outros (especificar)	
Total do Dispêndio em atividades inovativas	

30. Qual o alcance das inovações de produtos, processos ou serviços desenvolvidas no âmbito do projeto de subvenção?

1. () São novos para sua empresa
2. () São novos para o mercado regional
3. () São novos para o mercado nacional
4. () São novos para o mercado internacional

31. A empresa estabeleceu alguma parceria tecnológica ou produtiva com outras empresas antes, durante ou após o desenvolvimento do contrato de subvenção? Qual a ligação desta parceria com o desenvolvimento apoiado pela subvenção?

32. A empresa recentemente foi adquirida ou adquiriu alguma outra empresa?

Sim () Não ()

33. A empresa está ou esteve vinculada a alguma incubadora ou parque tecnológico?

Sim () Não ()

34. Indique os principais obstáculos e dificuldades enfrentados pela empresa no decorrer do processo de implementação do projeto de subvenção econômica:

Limitações	Grau de importância			
	nulo	baixo	médio	alto
1. Ausência de pessoal qualificado				
2. Dificuldades para registro de Propriedade Intelectual (PI)				
3. Atrasos no cronograma de desembolso do projeto				
4. Falta de informação sobre a tecnologia e mercados				
5. Outros (especificar)				

35. A empresa conhece os outros programas da FINEP destinados ao apoio à inovação nas empresas? Quais? Participa de algum deles?

Programa	Conhece e participa	Conhece, mas não participa	Não tem conhecimento
1. Inova Brasil			
2. Juro Zero			
3. Prime			
4. Inovar			
5. PAPPE Subvenção			
6. Programa Nacional de Incubadoras			
7. Outros (especificar)			