



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE ECONOMIA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM POLÍTICAS PÚBLICAS, ESTRATÉGIAS E
DESENVOLVIMENTO – IE / PPED

LAURA CAUFOUR

**AS POLÍTICAS PÚBLICAS DE INCENTIVO À IMPLEMENTAÇÃO DE SMART
GRIDS: EXPERIÊNCIA FRANCESA**

Rio de Janeiro
Dezembro de 2015

LAURA CAUFOR

**AS POLÍTICAS PÚBLICAS DE INCENTIVO À IMPLEMENTAÇÃO DE SMART
GRIDS: EXPERIÊNCIA FRANCESA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento, Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento.

Orientador : Prof. Dr. João Felipe Cury Marinho Mathias

Rio de Janeiro

2015

FICHA CATALÓGRAFICA

C371 Caufour, Laura .

As políticas públicas de incentivo à implementação de *smart grids* : experiência francesa /
Laura Caufour. -- 2015.

125 f. ; 31 cm.

Orientador: João Felipe Cury Marinho Mathias.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Economia,
Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento, 2015.

Referências: f. 119-125.

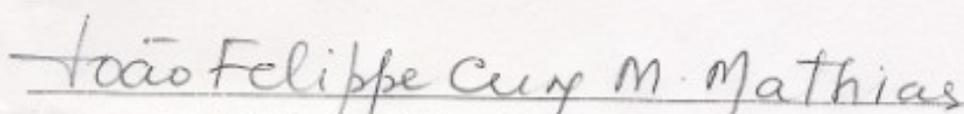
1. Sistemas tecnológicos – *Smart grids*. 2. Redes inteligentes de energia. 3. Inovações tecnológicas. I. Mathias, João Felipe Cury Marinho, orient. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Instituto de Economia. III. Título.

CDD 338.064

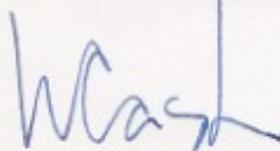
LAURA CAUFOR

AS POLÍTICAS PÚBLICAS DE INCENTIVO À IMPLEMENTAÇÃO DE SMART
GRIDS: EXPERIÊNCIA FRANCESA

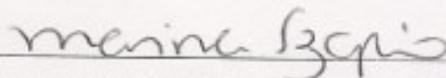
Dissertação submetida ao Corpo Docente do Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento do Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de MESTRE em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento.



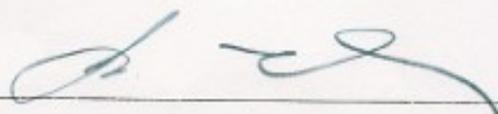
Prof. Dr. João Felipe Cury Marinho Mathias
Universidade Federal do Rio de Janeiro – PPED/UFRJ



Prof. Dr. Nivalde José de Castro
Universidade Federal do Rio de Janeiro – PPED/UFRJ



Prof. Dr. Marina Honorio de Souza Szapiro
Universidade Federal do Rio de Janeiro – PPGE/UFRJ



Prof. Dr. Lucca Zamboni
EDP

Rio de Janeiro
Dezembro de 2015

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e à minha irmã, Josiane, Franck e Lisa, pelo amor, carinho e apoio incondicionais desde sempre.

A o meu melhor amigo, Franco, pelo seu amor, a sua linda energia e o seu apoio, especialmente no processo de seleção do mestrado. Esta dissertação não existiria sem você.

Aos meus grandes amigos espalhados pelo mundo, Aude, Clément, Marion, Sabrina, e Johanna, e especialmente à minhas queridas amigas do Rio, Émilie, Marie e Morgane, pelo carinho, as grandes conversas e boas risadas.

Ao meu orientador, Professor João Felipe Cury Marinho Mathias, por sua grande contribuição nesse trabalho, e pelo maravilhoso exemplo que você me deu, tanto como pesquisador quanto como pessoa.

Aos meus colegas do GESEL, Guilherme Dantas, Rubens Rosental, Alexandre Lafranque, Paola Dorado e Fabiano Lacombe, pelo aprendizado e a paciência ao longo desses dois anos. Agradecimento especial para o Professor Nivalde José de Castro pelas oportunidades de ensinamentos e incentivos desde minha entrada no GESEL.

Ao corpo docente do PPED, em especial à Professora Renata La Rovere, pela oportunidade de ingressar no PPED.

Por fim, agradeço aos funcionários da secretaria do PPED e em particular ao Guilherme Santana, pela presteza e disponibilidade.

RESUMO

CAUFOUR, L. (2015). As políticas públicas de incentivo à implementação de *smart grids*: experiência francesa. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós Graduação em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento (PPED). Instituto de Economia (IE), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Rio de Janeiro: Dezembro de 2015.

As tecnologias *smart grids* estão revelando-se fundamentais para enfrentar os novos desafios do setor da energia, em particular em termos de sustentabilidade ambiental. Nesse contexto, uma série de países, incluindo a França, já mostrou grande interesse em implantá-las. Este trabalho tem por objetivo central identificar as políticas públicas para o desenvolvimento de tecnologias *smart grids* na França, com destaque aos aspectos regulatórios. Tende-se mostrar que, *as smart grids* ainda se encontrando em fase inicial de implementação, elas enfrentam diversas e numerosas barreiras, que não serão superadas pela mera lógica do mercado. Nesse sentido, nas fases iniciais de sua implementação, o apoio de políticas públicas é crucial para o desenvolvimento dos projetos e dos mercados ligados às tecnologias. A hipótese deste trabalho é que as *smart grids* podem ser enquadradas analiticamente como sistemas tecnológicos, pois essa abordagem procura focar na competição entre tecnologias novas e tecnologias incumbentes, e então nas barreiras à emergência de novos sistemas tecnológicos e à intervenção pública para contorná-las.

Palavras chaves: *smart grids*, redes inteligentes, sistema tecnológico, inovação tecnológica.

ABSTRACT

CAUFOUR, L. (2015). As políticas públicas de incentivo à implementação de *smart grids*: experiência francesa. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós Graduação em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento (PPED). Instituto de Economia (IE), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Rio de Janeiro: Dezembro de 2015.

Smart grids technologies are proving to be essential to meet the new challenges of the energy sector, particularly in terms of environmental sustainability. In this context, a number of countries, including France, has shown great interest in deploying them. This work has as main objective to identify public policies for the development of smart grids technologies in France, with emphasis on regulatory aspects. It tends to show that the smart grid still lying at an early stage of implementation, they face various and numerous barriers that will not be overcome by the mere market logic. Therefore, in the early stages of implementation, support from public policies is crucial for the development of technology related projects and markets. The hypothesis is that smart grids can be analytically apprehended as technological systems, as this approach seeks to focus on the competition between new and incumbent technologies, as well as on the barriers to the emergence of new technological systems and on public intervention to overpass them.

Keywords: smart grids, technological system, technological innovation.

LISTA DAS FIGURAS

| | |
|--|-----|
| Figura 1: Taxonomia das inovações..... | 20 |
| Figura 2: Ilustração dos três níveis de análise de um sistema tecnológico..... | 33 |
| Figura 3: Tipos de tecnologias de <i>smart grids</i> | 46 |
| Figura 4: Desenvolvimento de um sistema elétrico mais inteligente..... | 60 |
| Figura 5: Número de projetos de <i>smart grids</i> por região na França..... | 99 |
| Figura 6: Organismos de normalização..... | 110 |

LISTA DOS QUADROS

| | |
|--|-----|
| Quadro 1: Tipos de limites de um sistema de inovação..... | 28 |
| Quadro 2: Mecanismos de incentivo e de bloqueio para cada função do sistema tecnológico de algumas tecnologias de energia renovável..... | 39 |
| Quadro 3: Principais <i>drivers</i> motivadores para implementação de <i>smart grids</i> e tecnologias associadas..... | 48 |
| Quadro 4: Componentes de um sistema tecnológico de <i>smart grids</i> | 58 |
| Quadro 5: Visão geral das categorias de barreiras a <i>smart grids</i> por <i>stakeholders</i> | 66 |
| Quadro 6: Barreiras e políticas públicas de incentivo à implementação de <i>smart grids</i> por função do sistema tecnológico..... | 77 |
| Quadro 7: Principais atores do sistema tecnológico francês de <i>smart grids</i> por categoria..... | 90 |
| Quadro 8: Instituições francesas envolvidas na implementação de <i>smart grids</i> por categorias..... | 94 |
| Quadro 9: Barreiras econômicas e regulatórias à implementação de <i>smart grids</i> na França. | 102 |
| Quadro 10: Barreiras sociais à implementação de <i>smart grids</i> na França..... | 105 |
| Quadro 11: Políticas públicas de incentivo à implementação de <i>smart grids</i> por função do sistema tecnológico e as suas aplicações na França..... | 113 |

LISTA DAS TABELAS

| | |
|--|-----|
| Tabela 1: Trajetórias de despesas de pesquisa e desenvolvimento da ERDF entre 2014 e 2017..... | 108 |
|--|-----|

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| INTRODUÇÃO..... | 10 |
| 1 ARCABOUÇO TEÓRICO-ANALÍTICO: A ABORDAGEM DE SISTEMAS TECNOLÓGICOS | 14 |
| 1.1 TEORIA EVOLUCIONÁRIA DA MUDANÇA ECONÔMICA E DA INOVAÇÃO... | 15 |
| 1.2 A ABORDAGEM DE SISTEMAS DE INOVAÇÃO..... | 19 |
| 1.2.1 Taxonomia das inovações..... | 20 |
| 1.2.2 O conceito de sistemas de inovação: componentes, relações, funções..... | 21 |
| 1.2.3. Falha de sistema e necessidade da intervenção pública..... | 24 |
| 1.2.4 Definição dos limites de um sistema de inovação e abordagens específicas | 26 |
| 1.3 A ABORDAGEM ESPECÍFICA DE SISTEMAS TECNOLÓGICOS..... | 29 |
| 1.3.1 Caracterização de um sistema tecnológico..... | 30 |
| 1.3.2 Considerações metodológicas sobre a aplicação da abordagem de sistemas tecnológicos..... | 32 |
| 1.3.3 Emergência de novos sistemas tecnológicos na área de energia | 35 |
| 1.3.4 Barreiras, mecanismos incitativos e políticas públicas relativas à emergência de novos sistemas tecnológicos no setor da energia..... | 38 |
| 2 APLICAÇÃO DO QUADRO TEÓRICO ÀS SMART GRIDS..... | 42 |
| 2.1 O CONCEITO DE SMART GRIDS: DEFINIÇÃO, TECNOLOGIAS E DRIVERS... | 43 |
| 2.2 ESTUDO DOS SISTEMAS TECNOLÓGICOS DE SMART GRIDS..... | 50 |
| 2.2.1 Considerações metodológicas: nível de análise e limites de um sistema tecnológico de <i>smart grids</i> | 51 |
| 2.2.2 Os componentes dos sistemas tecnológicos de <i>smart grid</i> | 52 |
| 2.2.3 A fase formativa dos sistemas tecnológicos de <i>smart grid</i> | 60 |
| 2.2.4 Falhas de mercado e barreiras à emergência dos sistemas tecnológicos de <i>smart grids</i> | 65 |
| 2.2.5 Políticas públicas e regulação implementadas para favorecer a emergência de sistemas tecnológicos de <i>smart grids</i> | 71 |

| | |
|--|------------|
| 3 ESTUDO DE CASO DO SISTEMA TECNOLÓGICO DE SMART GRIDS E AS POLÍTICAS PÚBLICAS DE INCENTIVO AO SEU DESENVOLVIMENTO NA FRANÇA..... | 79 |
| 3.1. CONTEXTO NACIONAL..... | 80 |
| 3.1.1 O sistema nacional de inovação francês..... | 80 |
| 3.1.2 O setor elétrico francês | 83 |
| 3.1.3 Transição energética e outros <i>drivers</i> de <i>smart grids</i> na França..... | 85 |
| 3.2 O SISTEMA TECNOLÓGICO FRANCÊS DE SMART GRIDS..... | 88 |
| 3.2.1 Componentes do sistema tecnológico francês de <i>smart grids</i> | 89 |
| 3.2.2 Fase formativa..... | 95 |
| 3.2.3 Barreiras ao desenvolvimento do sistema tecnológico de <i>smart grids</i> na França | 101 |
| 3.2.4 Políticas públicas com foco no aspecto regulatório..... | 106 |
| 3.2.5 Uma síntese..... | 112 |
| | |
| CONCLUSÃO..... | 115 |
| | |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 119 |

INTRODUÇÃO

Ao longo das próximas décadas, o consumo de energia em geral e de energia elétrica em particular crescerá a taxas importantes, impulsionado principalmente pelo desenvolvimento dos países emergentes e em desenvolvimento (IEA, 2013). Simultaneamente, a expansão da oferta de energia está cada vez mais restringida pela necessidade de se mitigarem os impactos ambientais a ela correlatos, e em particular as emissões de gases de efeito estufa. Tornou-se, portanto, essencial procurar fazer um uso dos recursos energéticos mais eficientes, assim como investir em fontes de energia renováveis. Frente aos desafios supracitados, surgiram no mundo uma série de inovações tecnológicas dentre as quais a geração de grande escala ou distribuída por fontes de energia renováveis, o armazenamento distribuído, os equipamentos de monitoramento e comunicação permitindo *demand response*¹ e os veículos elétricos são as mais importantes nesse contexto (THINK, 2013). Contudo, a implementação em grande escala de algumas delas levantam novas questões, em particular sobre a segurança do sistema e o aumento dos custos de produção.

Nesse contexto, governos estabelecem as suas políticas energéticas ao redor de três objetivos principais: fornecer energia elétrica confiável e segura para o funcionamento das suas economias; promover o desenvolvimento econômico com a modicidade da tarifa; garantir a sustentabilidade ecológica (BRUNEKREEFT *et al.*, 2015). Ao longo da última década, as *smart grids* têm sido reconhecidas com parte fundamental da solução para combinar esses três objetivos.

Existem várias definições de *smart grids*. Neste trabalho é usada a definição do órgão regulador europeu (CEER, 2014), que define uma rede inteligente como uma rede elétrica que consegue integrar os comportamentos de todos os usuários conectados, de maneira eficiente em termos de custos e sustentável, com baixo nível de perda, alta qualidade da energia e segurança.

O conceito de *smart grids* abrange uma ampla gama de tecnologias diferentes que pode variar segundo os casos. Para dar uma visão geral, a IEA (2011) destaca seis grandes categorias de tecnologias de *smart grids*:

¹ Segundo a literatura relacionada à Economia da Energia, *demand response* pode ser definido como as mudanças no uso da energia elétrica dos padrões de consumo normais pelo consumidor final, em resposta às mudanças no preço da energia elétrica ao longo do tempo, ou aos incentivos desenhados para diminuir o uso da energia elétrica quando o preço de atacado nos mercados está alto ou quando a segurança do sistema está ameaçada (BALIJEPALLI, 2011).

- i) monitoramento e controle, e integração de tecnologia de informação e comunicação;
- ii) integração de fontes de energia renováveis distribuídas;
- iii) aplicações para melhorar a transmissão;
- iv) administração da rede de distribuição;
- v) infraestrutura de medição avançada ;
- vi) infraestrutura de carregamento de veículos elétricos; e
- vii) sistemas de gerenciamento da demanda.

Apesar de representarem novas oportunidades de negócios, observa-se que o desenvolvimento das novas tecnologias que compõe as *smart grids* não acontece de modo natural e precisa em alguma medida ser apoiado pelas autoridades públicas (MARQUES *et al.*, 2014; BRUNEKREEFT *et al.*, 2015). Entretanto, o caráter complexo, diverso e evolucionário (IEA, 2011; BRUNEKREEFT *et al.*, 2015) desse conjunto de inovações dificulta a elaboração de políticas públicas eficientes que requerem então um entendimento detalhado do processo de implementação delas.

O objetivo geral deste trabalho é identificar e analisar as políticas públicas adotadas para o desenvolvimento de tecnologias *smart grids* na França, com destaque aos aspectos regulatórios. Para tal propósito, pretende-se inicialmente apresentar o conceito de *smart grids* corretamente para inscrevê-lo em um arcabouço teórico e analítico adaptado. O assunto, sendo muito recente, não dispõe de literatura consensual sobre esse tema. Esta dissertação propõe-se a demonstrar que dentro da literatura sobre inovação tecnológica, as *smart grids* podem ser interpretadas como um sistema tecnológico, pois esse conceito é concebido com o objetivo de oferecer recomendações sobre políticas para o desenvolvimento e a difusão de tecnologias, particularmente referentes às políticas energéticas e ambientais.

A abordagem de Sistemas Tecnológicos ou *Tecnological Innovation Systems* (TIS) tem seu trabalho seminal em Carlsson e Stankiewicz (1991), que defendem os sistemas de inovação tecnológica como uma rede de agentes interagindo em setores específicos da economia ou da indústria inseridos numa infraestrutura institucional particular ou num conjunto de infraestruturas abrangendo geração, difusão e utilização de tecnologias. Tendo as suas raízes na teoria evolucionária da economia, tal abordagem permite compreender de maneira sistêmica a complexidade e a dinâmica do processo de inovação, estudando os seus componentes, mas, sobretudo além deles individualmente, a sua interdependência e as suas

interações. A abordagem procura focar na competição entre tecnologias emergentes e tecnologias incumbentes e dá assim ênfase particular ao período formativo de um sistema tecnológico, o que é claramente um tema estratégico no caso das *smart grids* dado o seu ainda baixo nível de maturidade. A evolução de um sistema tecnológico pode ser compreendida pelo estudo das suas funções. O cumprimento dessas funções determina se o sistema conseguirá ou não passar a fase formativa para tornar-se autossustentável. Assim, o estudo de barreiras para cada função do sistema permite identificar as fraquezas do sistema e portanto indica onde e como se deve aplicar políticas públicas. Na abordagem de sistemas tecnológicos, o papel das instituições, com o foco particular na regulação no caso do setor elétrico, é fundamental, pois ela influencia de diversas formas a evolução dos sistemas desde a sua criação até a sua viabilização (JACOBSSON E BERGEK, 2004).

No que remete a metodologia, a dissertação propõe-se expor o conceito de sistemas tecnológicos graças à uma revisão bibliográfica sobre o tema. Uma vez feito isso, serão conservados os elementos permitindo caracterizar da melhor forma possível um sistema tecnológico de *smart grids* de maneira geral, e assim identificar sob esse quadro as barreiras ao seu desenvolvimento e as políticas públicas desenvolvidas para superá-las. Finalmente, a terceira fase consistirá em estudar um caso particular de sistema tecnológico de *smart grids* graças à mesma linha de análise, a fim de identificar as políticas públicas implementadas, com um foco no aspecto regulatório.

O caso particular estudado será o sistema tecnológico de *smart grids* francês. Motivada por razões ambientais e industriais, a França é um dos países que se destacou internacionalmente por já ter adotado iniciativas a favor da implantação de tecnologias *smart grids*, e como maior investidor em valor da Europa em projetos de *smart grids* (EC, 2014). O fato de a França ser membro da União Europeia traz certo valor adicionado ao estudo do seu caso do ponto de vista institucional. Além disso, a forte presença do Estado no setor elétrico francês, com a predominância da empresa pública EDF, constitui um elemento interessante de se estudar no contexto da implementação de políticas públicas.

Nestes termos, o trabalho está estruturado em três capítulos. O primeiro capítulo estabelece as bases teóricas e analíticas, apresentando a abordagem de sistemas tecnológicos. Portanto, procura-se entender as suas origens, expondo brevemente a teoria evolucionária e a abordagem de sistemas de inovação, nas quais ela se insere. Em seguida, são expostas as suas características, a sua relevância, assim como as suas modalidades de aplicação ao estudo

concreto de sistemas, e a elaboração de políticas necessárias à sua emergência.

O segundo capítulo aplica o quadro teórico definido ao caso das *smart grids*. Apresenta-se o conceito de *smart grids* e a relevância do seu desenvolvimento. Em seguida, graças a caracterização de um sistema tecnológico de *smart grids* de maneira genérica, discute-se a evolução da implementação de *smart grids* no mundo, assim como as políticas públicas a ela associadas.

O terceiro capítulo constitui o estudo de caso do sistema tecnológico francês de *smart grids*. É apresentada uma breve descrição da situação nacional em termos de sistema de inovação e de setor elétrico, a partir da qual caracteriza-se o sistema tecnológico francês de *smart grids*, graças ao quadro teórico previamente exposto, no intuito de apresentar as políticas públicas implementadas para fazê-lo emergir e se sustentar.

Merece destaque que este trabalho acadêmico vinculado ao Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento do Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro foi desenvolvido no âmbito do projeto de pesquisa “Avaliação de Políticas e Ações de Incentivo às Inovações Tecnológicas no Setor Elétrico: Análise da Experiência Internacional e Propostas para o Brasil” do programa de pesquisa e desenvolvimento da ANEEL através do grupo EDP.

1 ARCABOUÇO TEÓRICO-ANALÍTICO: A ABORDAGEM DE SISTEMAS TECNOLÓGICOS

Para estudar as políticas de incentivo à implementação de *smart grids* como se propõe este trabalho, precisa-se de um quadro analítico adaptado à complexidade do assunto. Devido às características do conjunto de inovações tecnológicas rotuladas de *smart grids*, foi escolhida a abordagem de “sistemas tecnológicos”. Portanto, esse capítulo procura entender as origens, as características e a relevância dessa abordagem, assim como as suas modalidades de aplicação ao estudo concreto de sistemas tecnológicos e à elaboração de políticas necessárias à sua emergência.

O tema das inovações tecnológicas tem sido objeto de atenção crescente nas áreas acadêmica, empresarial e política ao longo do século 20 (ARCHIBUGI *et al.*, 1998). Na área acadêmica, as teorias de Schumpeter (1942) e a abordagem evolucionária nascidas a partir delas vieram modificar a visão dominante na época. Assim, enquanto a teoria neoclássica considerava a inovação como um fator exógeno nos processos de crescimento e mudança econômicos, a abordagem evolucionária construiu-se a o redor da crítica dessa última, apontando as inovações como um fator endógeno determinante da mudança econômica.

Parte-se então do estudo dos processos de surgimento e desenvolvimento das inovações dentro de uma economia. Para os autores da abordagem evolucionária, entender a mudança tecnológica requer o estudo das redes microeconômicas. Essa noção de rede é fundamental, pois dela surgiu o conceito de abordagem sistêmica, ou seja, uma abordagem que leva em conta a complexidade das interações entre os atores e a importância do contexto institucional nelas.

Assim nasceu, com o trabalho seminal de Freeman (1987), a abordagem de sistema de inovação, base teórico-conceitual do presente trabalho. Um sistema de inovação remete a todos os fatores importantes em termos econômicos, sociais, políticos ou outros que influenciam o desenvolvimento, a difusão e o uso da inovação (EDQUIST e JOHNSON, 1997, *apud* EDQUIST, 2001). Desenvolveu-se a partir dessa definição uma ampla literatura que procura definir os sistemas de inovação, assim como os métodos para aplicá-los à prática. Essa análise minuciosa passou a ser de grande relevância para os *policy makers*, pois por um lado destacou a importância da intervenção pública no processo de inovação, e por outro

forneceu as ferramentas analíticas para elaborar políticas públicas adaptadas a cada situação (EDQUIST, 2001; JACABSSON e BERGEK, 2011). Contudo, ao longo do tempo emergiram algumas problemáticas metodológicas associadas ao estudo de sistema de inovação, principalmente relacionadas aos seus limites analíticos. Para solucioná-las e permitir uma análise mais profunda, foram criadas várias abordagens diferentes de sistemas de inovação, variando segundo os seus limites. Dentre elas, a abordagem de sistemas tecnológicos ganhou grande destaque e será a base principal deste estudo analítico.

Surgida no início dos anos 1990 com o trabalho de Carlsson e Stankeiwicz (1991) principalmente para permitir prover aos *policy makers* a identificação das fragilidades de um sistema em particular, a abordagem de sistemas tecnológicos é limitada por uma ou um conjunto coerente de tecnologias. Assim, usando o arcabouço analítico de sistemas de inovação adaptado às suas particularidades, ela foi objeto de vários desenvolvimentos, notadamente na área de energia, que procuram entender como surgem sistemas tecnológicos novos, quais barreiras enfrentam e como políticas públicas podem influenciá-los da maneira mais eficiente possível. Mais uma vez, o papel das instituições é central e é objeto de destaque particular.

Desta forma, será primeiramente brevemente apresentada a teoria evolucionária a fim de justificar a relevância da visão sistêmica. Em seguida, será apresentado o conceito de sistema de inovação, suas ferramentas de estudo e suas implicações metodológicas e políticas. Finalmente, uma terceira seção será dedicada à análise dos sistemas tecnológicos, tentando-se apresentar detalhadamente o conceito de modo a poder usá-lo e adaptá-lo à análise das *smart grids* a ser desenvolvida no segundo capítulo.

1.1 TEORIA EVOLUCIONÁRIA DA MUDANÇA ECONÔMICA E DA INOVAÇÃO

Ao longo da segunda metade do século 20, a literatura tem reconhecido a relação entre a mudança tecnológica e o crescimento econômico. Contudo, as teorias dominantes em termos de análise de crescimento econômico, e em particular a teoria neoclássica, por considerar a mudança econômica como um fator exógeno, não permite entender corretamente as conexões causais entre mudança tecnológica e crescimento econômico, resultando na necessidade de novas abordagens (DOSI, 1982; CARLSSON e STANKIEWICZ, 1991).

As análises convencionais do crescimento econômico consideram esse último como o resultado do aumento dos *inputs* ou de um resíduo, que pode ser uma melhoria na qualidade dos *inputs* ou na eficiência do seu uso. Contudo, como apontam Carlsson e Stankiewicz (1991), essa função falha ao tentar analisar e estimar as mudanças de qualidade e de composição da produção, e mais ainda em períodos longos.

Além disso, Carlsson e Stankiewicz (1991) usam o caso da economia sueca para mostrar que a inovação tecnológica tem um papel cada vez mais importante no crescimento econômico, enquanto o peso dos recursos naturais (*inputs*) diminui. Ao mesmo tempo, a inovação tecnológica tende a ser cada vez mais global por causa da globalização da economia e da interdependência dos mercados mundiais, e, como consequência, cada vez mais complexa de se compreender.

Assim, ao estudar crescimento econômico, deve-se estudar mudança tecnológica e inovação tecnológica (CARLSSON e STANKIEWICZ, 1991). Nesse assunto também as teorias ortodoxas são contestadas². Dosi (1982) destaca e critica dois grupos de teorias sobre direções causais das mudanças tecnológicas. O primeiro remete às teorias chamadas de “*demand pull*”, que consideram as forças de mercado como principais determinantes do progresso técnico, percebendo assim as inovações como resultado de diversas demandas da sociedade (por melhor qualidade, por exemplo). O segundo grupo reúne as teorias ditas “*technology push*”, que focam no lado da oferta, considerando a tecnologia como fator autônomo ou quase autônomo, independente do mercado. Assim, assume que o progresso técnico e a inovação são basicamente mecanismos reativos e que os fatores do lado da oferta apresentam independência no curto prazo às mudanças de mercado (DOSI, 1984). Dosi (1982) critica firmemente essas duas abordagens, em particular a da *demand pull*. Para ele, existem três fraquezas principais nesta última. A primeira remete ao conceito da reatividade (“*reactivness*”) passiva e mecânica da mudança tecnológica vis-à-vis às condições de mercado. Em segundo, o autor critica a sua incapacidade de definir o porquê e o quando de

2 Tigre (1998) afirma que a teoria neoclássica tradicional, por ter um foco de interesse principal vinculado a teoria dos preços e alocação dos recursos, negligencia consideravelmente o papel da firma e simplifica demasiadamente a sua conceitualização. O autor destaca quatro premissas principais para constatar o irrealismo da teoria neoclássica: a firma é vista como uma “caixa-preta” que combina fatores de produção disponíveis no mercado para produzir produtos comercializáveis; o mercado tende a estabelecer em certo prazo condições de concorrência e informação perfeitas. Da mesma maneira, a firma também se depara com um tamanho “ótimo” de equilíbrio; as possibilidades tecnológicas são usualmente representadas pela função de produção, que especifica a produção correspondente a cada combinação possível de fatores. As tecnologias estão disponíveis no mercado, seja através de bens de capital ou no conhecimento incorporado pelos trabalhadores; é assumida a racionalidade perfeita dos agentes, diante de objetivos da firma de maximização de lucros (TIGRE, 1998).

certos desenvolvimentos ao invés de outros e de certo *timing* ao invés de outro. Terceiro, é a negligência das mudanças no tempo da capacidade inventiva que não tem relação direta com as mudanças das condições de mercados.

Já a abordagem *technology push* desconsidera a complexidade e a incerteza associadas às mudanças tecnológicas e à inovação e não leva em conta a importância intuitiva dos fatores econômicos (DOSI, 1982), que será examinada em seguida.

Assim, para melhor entender a mudança tecnológica, precisa-se de uma abordagem analítica mais dinâmica na qual a base tecnológica é integrada como fator endógeno. É baseada nessa necessidade que se desenvolveu a abordagem evolucionária (CARLSSON e STANKIEWICZ, 1991).

A abordagem evolucionária, amplamente influenciada pelo trabalho do economista austríaco Joseph Alois Schumpeter, destaca-se como crítica à teoria ortodoxa, focando no estudo do processo da mudança tecnológica e econômica em nível microeconômico. Os autores dessa corrente econômica que vem ganhando força ao longo da segunda metade do século 20 defendem que o crescimento econômico em nível macro apenas pode ser entendido estudando a interdependência entre as unidades micro e as relações entre unidades micro e setores da economia. Assim, o macro não é mais apenas um agregado de várias unidades micro, mas uma rede complexa de relações micro (CARLSSON e STANKIEWICZ, 1991).

Dentre os autores supracitados, destacam-se Nelson e Winter, que tiveram um papel de consolidação da teoria de Schumpeter. No seu livro de referência, “Uma Teoria Evolucionária da Mudança Econômica”, de 1982 (no Brasil a edição é de 2005), os autores exploram os temas do padrão de comportamento das firmas e da busca pela inovação, baseada na crítica à ortodoxia teórica, e principalmente à sua ideia de maximização dos lucros como pressuposto fundamental para seus desenvolvimento teóricos. Para Nelson e Winter (1982), a abordagem evolucionária nada mais faz do que apresentar uma teoria das capacidades e do comportamento das empresas que operam num ambiente de mercado, e propõe a análise de uma gama de fenômenos associados à mudança econômica, que pode ser resultante de inovações de parte das firmas.

Assim, uma diferença fundamental entre a teoria neoclássica e a teoria evolucionária do crescimento econômico é a visão da firma. Na teoria neoclássica, as firmas têm um conhecimento perfeito que lhes permite aperfeiçoar os seus comportamentos. A teoria evolucionária surge uma vez que se reconhece que as firmas não têm conhecimento perfeito e

que elas funcionam com bases de conhecimento diferentes, assim como segundo hipóteses sobre tecnologia e mercado, por exemplo, diferentes (PELIKAN, 1988 *apud* CARLSSON e STANKIEWICZ, 1991). Assim, as firmas diferem umas das outras de várias formas, como por exemplo, nas informações que têm, em como e até que ponto usam o seu conhecimento, nos recursos dedicados para estender a sua base de conhecimento, na sua eficiência ao realizar pesquisas, ou na sua capacidade em aprender da experiência (METCALFE, 1989, *apud* CARLSSON e STANKIEWICZ, 1991). Um ponto essencial de diferenciação remete à sua capacidade de reparar oportunidades e à disposição em arriscar, pois o sucesso oriundo de um agente que arriscou pressiona os mercados e força os outros a adaptar-se para sobreviver. Cria um tipo de concorrência que gera oportunidades de crescimento de longo prazo, ao contrário da concorrência estática que reduz o número de oportunidades e tende então a um equilíbrio estático. Essa visão sobre as diferenças entre as firmas resultou na emergência do conceito de competência econômica (*economic competence*), que pode ser definida como a capacidade dos agentes em identificar e explorar as oportunidades de negócios (CARLSSON e STANKIEWICZ, 1991) e que será detalhado na seção seguinte.

Além disso, na teoria evolucionária, as noções de redes e de interações são fundamentais. Em particular, Carlsson e Stankiewicz (1991) colocam que para estudar a mudança econômica e não unicamente o aumento da produção de um determinado tipo de bem ou serviço como apenas o permite a função de produção ortodoxa, é preciso estudar primeiro as causas da mudança econômica. Eles identificam três causas de mudança econômica: a variedade, a inovação e a difusão da inovação. Destacando o caráter altamente complexo e incerto e as problemáticas encontradas ao longo desses três processos, os autores enfatizam a necessidade de se ver o sistema onde a inovação acontece como um todo. Segundo essa visão sistêmica, nem as empresas nem a inovação consideradas sozinhas podem explicar a mudança econômica, uma vez que são vistos como partes de um sistema mais abrangente, onde vários agentes interagem e as instituições desenvolvem um papel importante. Assim, junto com a competência econômica dos agentes supracitada, os fatores organizacionais e institucionais definem um sistema cujo estudo permitira captar da melhor maneira o processo de mudança econômica (CARLSSON e STANKIEWICZ 1991). A importância da visão sistêmica do processo de inovação vai crescendo na literatura a partir dos anos 1980 com a teorização do conceito de sistema de inovação, objeto analítico da seção seguinte.

1.2 A ABORDAGEM DE SISTEMAS DE INOVAÇÃO

Para entender a complexidade do processo de inovação, precisa-se de uma abordagem mais sistêmica que permita estudar as interações dos atores e que leve em conta o papel fundamental das instituições³. É nesse contexto que nasceu a abordagem de sistema de inovação no final da década de 1980 com os textos do FREEMAN (1987), LUNDVALL (1992) e NELSON (1993), que constituem o seu trabalho seminal (EDQUIST, 2001; JACOBSSON e BERGEK, 2011).

Segundo Edquist e Johnson (1997, *apud* EDQUIST, 2001), um sistema de inovação é o conjunto de todos os fatores importantes em termos econômicos, sociais, políticos ou outros, que influenciam o desenvolvimento, a difusão e o uso da inovação. A função de um sistema de inovação é gerar, difundir e usar inovações, assim o seu estudo foca nos determinantes da inovação mais do que nas suas consequências (EDQUIST, 2001).

Contudo, o conceito de inovação é muito amplo e pode ser dividido em vários tipos distintos, cada um tendo determinantes diferentes. Edquist (2001) observa que a literatura sobre sistemas de inovação, apesar de usar a palavra inovação no sentido geral, tende a focar na inovação tecnológica, e em particular na inovação de processo tecnológico. Portanto, é necessário deixar clara a divisão entre as diferentes categorias de inovações para melhor definir um sistema em particular.

A abordagem de sistemas de inovação é muito ligada às políticas públicas, pois, além de ser um conceito amplamente utilizado na literatura, ele constitui também um arcabouço importante para *policy makers* na área de inovação, principalmente permitindo a identificação das fragilidades do sistema (EDQUIST, 2001; JACOBSSON e BERGEK, 2011), o que justifica a sua relevância para o presente trabalho.

A partir do quadro conceitual de sistemas de inovação e na perspectiva de servir de base à elaboração de políticas públicas, foram desenvolvidas diversas abordagens de sistemas de inovação que variam nos seus limites geográficos e/ou tecnológicos (JACOBSSON e BERGEK, 2011).

Assim, nessa parte, será rapidamente exposta uma taxonomia das inovações. Em seguida, será apresentado o conceito de sistema de inovação, focando nos seus componentes,

³ A teoria institucionalista nascida nos Estados Unidos no início do século XX tem por fundamento a importância do papel das instituições no processo de mudança econômica. Segundo ela, o estudo das instituições em uma perspectiva evolucionária é crucial para compreender, entre outros, os processos de inovação (CHANG e EVANS, 2005).

na relação entre eles, e na suas funções. Uma seção será dedicada à importância do estudo de sistema de inovação na elaboração de políticas públicas, tema de grande relevância nesse trabalho. Finalmente, serão apresentadas as diferentes dimensões para compreender um sistema de inovação e a abordagem específica de sistema de inovação nacional.

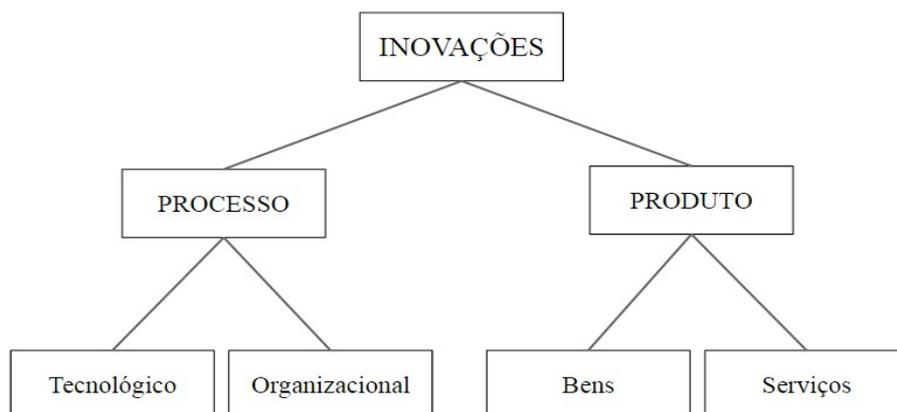
1.2.1 Taxonomia das inovações

Edquist (2001) define as inovações da forma seguinte:

Innovations are new creations of economic significance normally carried out by firms (or sometimes individuals). They may be brand new but more often new combinations of existing elements. It is a matter of *what* is produced and *how*. (EDQUIST, 2001, p.7)

Como o mostra a Figura 1, existem vários tipos de inovações, que podem ser reunidos em dois grupos principais, ou seja, as inovações de processo e as inovações de produto. As inovações de processo tratam do “como” foi produzido e podem ser subdivididas em inovações de processo tecnológico e inovações de processo organizacional. Já as inovações de produto remetem a “o que” foi produzido e podem ser de bens ou de serviços (EDQUIST, 2001).

Figura 1: Taxonomia das inovações.



Fonte: Adaptação de EDQUIST (2001).

No entanto, existem várias outras maneiras de classificar as inovações. Uma classificação relevante no âmbito do presente trabalho seria a distinção entre inovações

incrementais e radicais, que remete aos efeitos das inovações no sistema econômico e tecnológico. As inovações incrementais acontecem mais ou menos continuamente em um setor de atividade e são o resultado mais de aprimoramentos sugeridos por pessoas diretamente envolvidas no processo produtivo ou por iniciativas e propostas dos usuários, do que de atividades formais de pesquisa e desenvolvimento. Em geral, remetem à implantação, operação e otimização de unidades fabris e equipamentos e à melhoria de qualidade de produtos e serviços para uma variedade de aplicações específicas. Já as inovações radicais induzem uma quebra na estrutura passada de produção de bens e serviços. Tais inovações são resultado de atividades de pesquisa e desenvolvimento efetuadas por empresas, universidades e/ou institutos de pesquisa e constituem a base para novas plantas, fábricas e mercados, bem como melhoria no custo e qualidade de produtos existentes, envolvendo um processo combinado de inovações técnicas e organizacionais (FREEMAN *et al.*, 1982, *apud* COCCIA, 2006).

As categorias de inovações são muito complexas e não necessariamente distintas. Por exemplo, uma inovação de produto pode ser transformada em uma inovação de processo em um segundo momento (EDQUIST, 2001), e as combinações de inovações podem resultar em diferentes níveis de mudanças econômicas (MARTINS, 1999). A noção de sistema de inovação permite então levar em conta essas combinações e complexidades.

1.2.2 O conceito de sistemas de inovação: componentes, relações, funções

A abordagem de sistemas de inovação surgiu no final da década de 1980, no contexto de debates sobre as inadequações da teoria neoclássica, como foi explicado anteriormente. Edquist e Johnson (1997, *apud* EDQUIST, 2001, p. 2) consideram que um sistema de inovação pode ser definido como: “all important economic, social, political, organizational, and other factors that influence the development, diffusion and use of innovations”. Segundo Carlsson *et al.* (2002), um sistema de inovação é feito de componentes, relações e atributos⁴. Cabe mencionar que essa visão geral é amplamente compartilhada na literatura, apesar de ser expressa de modo um pouco diferente.

Os componentes de um sistema de inovação são as partes atuando nesse sistema (CARLSSON *et al.*, 2002). Edquist (2001) distingue dois tipos principais de componentes: as

4 Os atributos podem também ser chamados de funções ou atividades dependendo dos autores.

organizações e as instituições. As organizações são: “formal structures with an explicit purpose and [...] consciously created” (EDQUIST e JOHNSON, 1997 *apud* EDQUIST, 2001, p. 5). Assim, a noção de organização designa principalmente as empresas, mas também as universidades ou as agências de políticas públicas por exemplo. Já as instituições remetem a um “set of common habits, routines, established practices, rules, or laws that regulate the relations and interactions between individuals, groups and organizations” (EDQUIST e JOHNSON, 1997 *apud* EDQUIST, 2001, p. 5). Por exemplo, as leis e normas sobre patentes são um tipo de instituição importante nos sistemas de inovação. Contudo, a especificação desses componentes varia segundo as suas diferentes definições na literatura, e segundo os diferentes sistemas tecnológicos, pois a presença e o peso de certo componente podem variar de um sistema para outro, e diferentes componentes podem cumprir a mesma função em sistemas diferentes (EDQUIST, 2001).

As relações características de um sistema de inovação são as ligações entre os seus componentes. Cada componente é relacionado a pelo menos um outro componente. As relações são um aspecto fundamental do sistema de inovação, pois, como foi destacado anteriormente, um sistema é mais do que a soma das suas partes do fato da profunda interdependência dos seus componentes. Assim, a mudança de propriedade ou de comportamento, ou a remoção de um componente vai automaticamente induzir mudança no sistema como um todo e vice-versa (CARLSSON *et al.*, 2002; JACOBSSON e BERGEGK, 2011). O dinamismo de um sistema, e a sua capacidade de mudar e crescer no tempo, depende do nível de interação dos seus componentes, ou seja, das suas relações (CARLSSON *et al.*, 2002). Um dos tipos de relações mais importante em um sistema tecnológico é a transferência de tecnologia (CARLSSON *et al.*, 2002), ou o processo de aprendizado, pois ele é normalmente considerado como base de desenvolvimento de uma inovação (EDQUIST, 2001). Como os outros tipos de relações, ele pode resultar de interações nos mercados ou fora dos mercados. É importante destacar que o processo de aquisição tecnológica é demorado e implica diversas transações de diversos tipos (EDQUIST, 2001; CARLSSON *et al.*, 2002).

Finalmente, os atributos são as propriedades dos componentes e das relações entre eles. Eles caracterizam o sistema e podem ser chamados também de funções (JOHNSON, 1998; EDQUIST, 2001) ou de atividades (EDQUIST, 2001). A função de um sistema de inovação é gerar, difundir e utilizar a tecnologia. Portanto o atributo principal de um sistema é a capacidade dos seus atores em gerar, difundir e utilizar tecnologias que tenha um valor

econômico. Essa capacidade foi teorizada com o nome de competência econômica ou *economic competence* (CARLSSON e STANKIEWICZ, 1991; CARLSSON *et al.*, 2002). A competência econômica é a habilidade de identificar e explorar oportunidades de negócios. Carlsson *et al.* (2002) distinguem quatro tipos de capacidade envolvidos no conceito de competência econômica. O primeiro é a capacidade seletiva, ou seja, a capacidade de fazer escolhas inovativas em termos de mercados, produtos, tecnologias e estruturas organizacionais. O segundo tipo é a capacidade organizacional, que remete à capacidade de organizar e coordenar os recursos e as atividades econômicas dentro de uma organização para ela alcançar os seus objetivos globais. Em terceiro vem a capacidade funcional. Essa tem a ver com a execução eficiente de várias funções dentro do sistema para implementar e utilizar tecnologias eficazmente no mercado. Finalmente, o quarto tipo, a capacidade de aprendizado ou a capacidade adaptativa, remete ao processo de aprender dos seus sucessos e das suas falhas para corrigir os seus erros, à leitura dos sinais de mercado, à tomada de decisão apropriada e à difusão da tecnologia no sistema.

Além dessa função principal de gerar, difundir e usar inovações, existem também diversas outras “funções específicas” ou “atividades” que influenciam esses processos em níveis específicos, podendo assim ser considerados como determinantes dos processos de inovação ou fatores influenciando-os (EDQUIST, 2001). Para Johnson (1998), identificar e entender essas funções em um sistema de inovação contribui de diversas formas no seu estudo. Primeiro, ele permite identificar os limites do sistema (conceito detalhado na seção 1.2.4 deste trabalho) em termos geográficos e tecnológicos. Segundo, as funções podem servir de ferramenta para descrever o estado presente de um sistema. Assim permite aos *policy makers* identificar e potencialmente estimular ou remover os mecanismos que bloqueiam ou induzem essas funções (esse ponto será detalhado na seção 1.2.3 deste trabalho). Terceiro, serve para estudar a dinâmica do sistema, pois mapear os padrões funcionais de um sistema ajuda a entender como o sistema emergiu, e assim a melhor estudar os processos de emergências e mudanças dos sistemas em geral, exercício bastante difícil. Quarto, o conceito de função permite avaliar a performance de um sistema, apreciando em particular como cada função está apoiada pelo sistema. Por último, analisar as funções pode servir de base para comparar dois sistemas, pois dois sistemas podem ter estruturas muito diferentes e funcionar igualmente bem.

A literatura fornece diversas listas dessas funções ou atividades que parecem ter sido

elaboradas na base da intuição e que são mais ou menos parecidas (EDQUIST, 2001). Edquist (2001) considera essa diversidade como uma fraqueza da teoria dos sistemas de inovação e recomenda realizar estudos mais profundos sobre os determinantes da inovação. Ele sustenta que nessa área, é importante levar em conta a taxonomia das inovações, pois os determinantes e as relações entre eles podem variar significativamente de um tipo de inovação para outro. Por exemplo, os determinantes de inovações de produtos serão diferentes de inovações de serviços, assim como os determinantes de inovações incrementais serão diferentes de inovações radicais. Nesse sentido, o autor preconiza também integrar ao trabalho conceitual e teórico estudos empíricos. Vista a complexidade do tema, será usada nesse trabalho a lista de atividades fundamentais de um sistema de inovação de Liu e White (*apud* EDQUIST, 2001) que pareceu ser a mais geral e abrangente:

- i) pesquisa (básica, de desenvolvimento e de engenharia);
- ii) implementação (fabricação);
- iii) uso final (consumidores dos produtos ou produção oriunda do processo);
- iv) ligação (reunião dos conhecimentos complementares); e
- v) educação.

1.2.3. Falha de sistema e necessidade da intervenção pública

A abordagem de sistema de inovação é amplamente usada na literatura para estudar o processo de inovação e a mudança econômica mais geralmente, mas ela também passou a constituir um arcabouço de grande relevância na área de inovação tecnológica para os *policy makers* (JOHNSON, 1998; EDQUIST, 2001; JACOBSSON e BERGEK, 2011). Nessa abordagem, o estudo das relações dentro de um sistema é um aspecto fundamental, pois ele mostra a complexidade, mas, sobretudo a fragilidade de um sistema de inovação, a fraqueza de um elemento podendo ameaçar o sistema inteiro. A literatura estudou essa fragilidade com o conceito de falha de sistema (*system failure*). Esse último foi amplamente usado por um lado para justificar a necessidade da intervenção política, e por outro para elaborar políticas públicas de inovação (JACOBSSON e BERGEK, 2011).

A justificativa da necessidade da intervenção política baseada na abordagem de sistema de inovação apoia-se na crítica de falha de mercado (*market failure*) atribuída à teoria neoclássica. Por exemplo, Jacobsson e Bergek (2011) destacam dois tipos principais de falhas

de mercado com respeito à introdução de novas tecnologias na área de energia renovável. A primeira trata das externalidades positivas das atividades de pesquisa e desenvolvimento. Os seus resultados beneficiam vários atores além do investidor, o que desmotiva as empresas que tendem, portanto, a sub-investir nessas áreas. A segunda remete à incapacidade do mercado de integrar as externalidades ambientais negativas. Os autores consideram que as políticas públicas hoje desenvolvidas para atenuar essas falhas, ou seja, o apoio financeiro às atividades de pesquisa e desenvolvimento e os incentivos econômicos⁵, não são suficientes, e que são necessárias políticas tecnológicas específicas. Contudo, a elaboração de políticas específicas requer a identificação dos processos importantes para a dinâmica de certo setor tecnológico, do tipo de políticas necessárias e da fase do processo onde a intervenção é necessária. É nesse sentido que os sistemas de inovação podem oferecer subsídios aos *policy makers*, por permitir identificar as fraquezas de um sistema e então os processos e os componentes para quais a intervenção seria mais benéfica. Graças a essas informações, os *policy makers* podem promover o seu crescimento ou influenciar a direção de certo sistema tecnológico (JACOBSSON e BERGEK, 2011). Edquist (2001) adota a mesma linha de raciocínio, justificando a relevância da intervenção pública por um lado pelas falhas de mercado e por outro pela capacidade das autoridades públicas de solucionar e mitigar essas falhas, e conclui pela necessidade da abordagem de sistema de inovação para capacitar *policy makers* provendo-os com as informações necessárias à sua intervenção.

A capacitação dos *policy makers* é relacionada à análise do conceito de falhas de sistema (*system failure*), ou seja, de deficiência no funcionamento do sistema (EDQUIST, 2001; JACOBSSON e BERGEK, 2011). É admitido na literatura que qualquer fraqueza de um dos elementos do sistema pode obstruir o desenvolvimento do sistema como um todo (CARLSSON e JACOBSSON, 1997; EDQUIST, 1999; MALERBA, 1996, *apud* JACOBSSON e BERGEK, 2011). Explica-se pela grande interdependência e pelo interlaço entre os componentes em um sistema, já apontados na seção sobre as relações. Assim, qualquer mudança em um componente pode induzir mudanças nos outros até criar um conjunto de ações e reações que permitem o seu desenvolvimento ou provocam falhas de sistema até o seu colapso. Fornecendo informações sobre os componentes, as relações e as funções de um sistema, a abordagem de sistema de inovação permite a identificação dessas falhas, assim como das suas causas (componente, conjunto de componentes, relações entre

5 Como exemplo de incentivo econômico pode citar-se o princípio de poluidor pagador.

eles) e indica assim aos *policy makers* como e onde aplicar a sua intervenção (EDQUIST, 2001; JACOBSSON e BERGEK, 2011).

Para orientá-los, a literatura destaca alguns tipos de falha de sistema comuns. Klein Woolthuis *et al.* (2005, *apud* JACOBSSON e BERGEK, 2011) listam quatro tipos de falhas relacionadas a componentes estruturais: falhas nas infraestruturas (relacionadas à tecnologia); falhas institucionais; falhas nas interações (relacionadas às redes); e falhas de capacidade (relacionadas aos atores). Já para Edquist (2001), as falhas de sistema podem ser o resultado de quatro tipos de problemas potencialmente cumulativos: funções inapropriadas ou inexistentes; organizações inapropriadas ou inexistentes; instituições inapropriadas ou inexistentes; e interações ou ligações entre os componentes inapropriadas ou inexistentes.

1.2.4 Definição dos limites de um sistema de inovação e abordagens específicas

Metodologicamente, os sistemas de inovação podem ser apresentados em diferentes dimensões, que remetem à noção de limites do sistema. Os limites definem o que fica dentro e o que fica fora do sistema. Identificá-los é crucial, em particular para estudos empíricos de sistemas de inovação específicos (EDQUIST, 2001).

Destacam-se quatro tipos principais de limites: os limites espaciais, físicos ou geográficos; os limites setoriais ou tecnológicos; os limites funcionais; e os limites temporais (EDQUIST, 2001; CARLSSON *et al.*, 2002)⁶. Assim primeiramente, um sistema pode ser delimitado geograficamente. O foco de estudo pode ser nacional ou regional. Trata-se de identificar uma área geográfica que seja “coerente” com respeito ao processo de inovação. Pode corresponder ou não a áreas administrativas. Nesse sentido, um critério pode ser um nível mínimo de cooperação respeito ao aprendizado tácito entre as organizações. Segundo, pode usar-se a mobilidade dos trabalhadores qualificados como carregadores de conhecimento. E um terceiro remete a uma proporção mínima de colaboração oficial entre as organizações em termos de inovação (EDQUIST, 2001).

Os limites do sistema podem também ser setoriais ou tecnológicos, ou seja, o sistema é limitado a um certa área tecnológica. Nesse caso, os limites geográficos podem ser simplesmente nacionais (devido ao caráter nacional das políticas de inovação), ou regionais.

⁶ Esta lista é uma síntese dos trabalhos de EDQUIST (2001) e de CARLSSON *et al.* (2002), pois o primeiro menciona limites espaciais ou geográficos, setoriais e funcionais, e o segundo limites físicos ou geográficos, setoriais ou tecnológicos, e temporais.

Contudo, cabe mencionar que podem ser também internacionais e são cada vez mais difíceis de ser encontrados devido à crescente internacionalização da maioria dos setores de atividades (EDQUIST, 2001; CARLSSON *et al.* 2002).

Uma vez os limites geográficos e até setoriais estabelecidos, não pode-se considerar dentro do sistema de inovação o sistema socioeconômico inteiro. Assim, os limites funcionais servem para definir quais partes dele devem ser incluídas no sistema. É uma tarefa complicada que passa pela definição clara do tipo de inovação do sistema em questão segundo a taxonomia das inovações, assim como pela identificação dos determinantes do desenvolvimento, da difusão e do uso das inovações (EDQUIST, 2001).

Os limites temporais remetem ao aspecto dinâmico de um sistema, e então ao fato que os seus componentes, relações e atributos estão em constante mudança. Assim, um retrato de um sistema em um momento dado pode ser diferente de um retrato do mesmo sistema em outro momento (CARLSSON *et al.*, 2002).

Todos os sistemas de inovação têm os seus próprios limites, o que dificulta o seu estudo empírico mais detalhado dentro do mesmo quadro conceitual. Por isso foram criadas ao longo do tempo diversas abordagens mais específicas que, dentro do quadro geral de sistema de inovação que foi exposto, buscam prover aos *policy makers* a identificação das fragilidades desses. Essas diversas abordagens variam segundo os seus limites geográficos e/ou tecnológicos, mas também segundo o ou os aspectos dos sistemas de inovação, principalmente devido a diferenças básicas nos campos de pesquisa (JOHNSON, 1998). Dentre os mais comuns, destacam-se, por exemplo, em nível geográfico os sistemas nacionais de inovação ou os sistemas de inovação regionais, e em nível setorial os sistemas de inovação setoriais ou os sistemas de inovação tecnológicos.

O quadro 1 apresenta uma síntese dos diferentes tipos de limites de um sistema de inovação especificando para cada um as referências bibliográficas usadas para apresentá-los neste trabalho, o objeto que pretende definir ou limitar e as abordagens de sistemas de inovação das quais ele é o principal determinante. Contudo, é importante ressaltar que cada abordagem pode ser definida em segunda instância pelos outros tipos de limites. Assim, por exemplo, um sistema de inovação pode ter limites geográficos, funcionais e temporais específicos.

Quadro 1: Tipos de limites de um sistema de inovação.

| Tipo de limites | Referências bibliográficas ⁷ | Objeto definido | Abordagens específicas associadas |
|---------------------------|---|--|---|
| Geográficos | EDQUIST (2001); CARLSSON <i>et al.</i> (2002) | Uma área geográfica específica | - Sistemas nacionais de inovação - Sistemas regionais de inovação |
| Setoriais ou tecnológicos | EDQUIST (2001); CARLSSON <i>et al.</i> (2002) | Um setor de atividade ou uma tecnologia específica | - Sistemas de inovação setoriais - Sistemas de inovação tecnológicos |
| Funcionais | EDQUIST (2001) | As partes do sistema socioeconômico incluídas no sistema de inovação | |
| Temporais | CARLSSON <i>et al.</i> (2002) | Um momento em qual escolhe-se estudar o sistema | |

Fonte: Adaptação de EDQUIST (2001) e de CARLSSON *et al.* (2002).

Na continuação desse trabalho, o foco será dado aos sistemas de inovação tecnológicos ou sistemas tecnológicos, que serão o objeto da seção 1.3. Contudo, vale aqui expor brevemente a abordagem de sistema nacional de inovação, pois, como o colocam Carlsson e Stankeiwicz (1995 *apud* EDQUIST, 2001), o estado-nação constitui uma barreira para vários sistemas tecnológicos. Além disso, Edquist (2001) lembra que a maioria das políticas públicas influenciando os processos de inovação ou a economia como um todo ainda são desenhadas e implementadas ao nível nacional, o que se verifica no caso das políticas ligadas a *smart grids*.

Segundo Carlsson *et al.* (2002), a abordagem de sistema nacional de inovação tem o seu trabalho seminal em Freeman (1987), Lundvall (1988, 1992), e Nelson (1988, 1993). Existem várias definições dos sistemas nacionais de inovação. Para Freeman (1987, *apud* OCDE, 1997, p. 10), é: “the network of institutions in the public and private sectors whose activity and interactions initiate, import, modify and diffuse new technologies”. Para Nelson (1993, *apud* OCDE, 1997, p.10), é: “a set of institutions whose interactions determine the innovative performance ... of national firms”. Como para todos os sistemas de inovação, o foco está na noção de rede de interações que influi na inovação. A particularidade dos sistemas nacionais de inovação tem dois aspectos principais: o foco particular nos fluxos de conhecimento e a escala nacional.

A abordagem de sistema nacional de inovação considera o conhecimento, representado pelos seres humanos e tecnologia, como uma chave do crescimento econômico. A sua análise tem por objetivo a melhoria da performance das economias baseadas no conhecimento

⁷ A lista de referências corresponde aos autores utilizados neste trabalho mas não é exaustiva.

(“*knowledge-based economies*”). Nesse intuito, ela procura a mapear os fluxos de conhecimento, a fim de avaliar e comparar os seus principais canais ao nível nacional, de identificar os bloqueios e de sugerir políticas para melhorar as sua fluidez (OCDE, 1997). A OCDE (1997) destaca quatro tipos principais de fluxos de conhecimento: as interações entre as empresas; as interações entre as empresas, as universidades e os centros públicos de pesquisa; a difusão de conhecimento e tecnologia para as firmas; e os movimentos de mão de obra.

A dimensão nacional justifica-se pelo fato de cada país, apesar da crescente globalização, ainda tem o seu perfil institucional próprio (OCDE, 1997; LUNDVALL *et al.*, 2002), sendo que as instituições, que seja no setor privado, público ou nas universidades, estão consideravelmente envolvidas no processo de produção e difusão de conhecimento.

Concluindo, a abordagem de sistemas de inovação, por permitir a compreensão da complexidade do seu processo, constitui uma ferramenta indispensável ao estudo da inovação e da mudança tecnológica, que seja na área acadêmica ou na área de elaboração de políticas públicas. Afinando a análise e devido ao fato das *smart grids* serem uma inovação tecnológica (o que será estudado com mais detalhe no segundo capítulo), cabe agora apresentar a abordagem de sistemas tecnológicos.

1.3 A ABORDAGEM ESPECÍFICA DE SISTEMAS TECNOLÓGICOS

O objetivo desse trabalho é estudar as políticas públicas de incentivo à implementação de *smart grids*. Precisa-se então, dentro da abordagem de sistema de inovação, afinar o quadro analítico e teórico para aplicá-lo ao tema. As *smart grids* representando um conjunto de inovações tecnológicas (que serão qualificadas com maior detalhamento no segundo capítulo), a abordagem analítica escolhida é a de sistemas de inovação tecnológicos, ou sistemas tecnológicos.

Um sistema tecnológico é um sistema de inovação que foca em uma tecnologia específica em particular. Define-se como: “A technological system is defined as a dynamic network of agents interacting in a specific economic/industrial area under a particular institutional infrastructure and involved in the generation, diffusion and utilization of technology” (CARLSSON e STANKEIWICZ, 1991, p. 93). O arcabouço foi assim desenvolvido com o objetivo de oferecer subsídios às políticas de incentivo à inovação

tecnológica.

O estudo de sistemas tecnológicos segue a lógica exposta para os sistemas de inovação, ou seja, estudo dos seus componentes, das relações entre eles e das funções do sistema, com algumas particularidades próprias. Um dos elementos cruciais é a identificação das questões fundamentais associadas aos sistemas de inovação para a difusão e uso de novas tecnologias. Assim, o arcabouço analítico dos sistemas tecnológicos procura focar na competição entre tecnologias novas e tecnologias incumbentes, e então nas barreiras à emergência de novos sistemas tecnológicos e na intervenção pública para contorná-las. Nesse sentido, uma grande importância é dada ao papel das instituições e das políticas públicas. Esse ponto será de grande relevância no estudo do papel das políticas públicas relacionadas a *smart grids*.

Portanto, essa seção tem por objetivo apresentar de maneira ampla a abordagem de sistemas tecnológicos a fim de estabelecer um quadro teórico e analítico sólido para estudar as *smart grids*. Por isso, serão apresentadas as características gerais de um sistema tecnológico, assim como as ferramentas para o estudo empírico de sistemas tecnológicos particulares. Em seguida, serão apresentadas as problemáticas relacionadas à emergência de novos sistemas tecnológicos no setor da energia, ou seja as barreiras e a necessidade de políticas públicas no processo.

1.3.1 Caracterização de um sistema tecnológico

A abordagem de sistemas tecnológicos tem o seu trabalho seminal em Carlsson e Stankeiwicz (1991) e é baseada na hipótese fundamental do caráter endógeno da mudança tecnológica. Ela é uma das abordagens derivadas dos sistemas de inovação e tem assim limites próprios. O seu limite principal, que define a sua essência, é tecnológico. Assim, um sistema tecnológico é definido como uma rede dinâmica de agentes interagindo em uma área econômica ou industrial específica dentro de um quadro institucional particular, e envolvida na geração, difusão e utilização da tecnologia (CARLSSON e STANKEIWICZ, 1991). Jacobsson e Bergek (2004) consideram essa abordagem particularmente útil quando trata-se de estudar a concorrência entre tecnologia emergentes e tecnologia incumbentes (*i.e.* estabelecidas) e foi amplamente utilizada na área de energia.

Uma vez a área econômica ou industrial especificada, precisa-se definir os limites geográficos do sistema. Existe um conflito na literatura entre a dimensão transnacional inerente ao processo de inovação tecnológica e a limitação geográfica aplicada nos estudos baseados na abordagem de sistemas tecnológicos (GOSENS *et al.*, 2015).

Como foi explicado em relação aos sistemas de inovação em geral, para estudar um sistema tecnológico, precisa-se estudar por um lado os seus componentes, e por outro as suas funções. Assim, foi adaptada de diversas formas a descrição da composição de um sistema de inovação e das suas funções relacionadas aos sistemas tecnológicos. Com respeito aos seus componentes, Jacobsson e Bergek (2004) destacam três elementos fundamentais:

- i) Atores (e suas competências): firmas, usuários, empresários, investidores, ou outras organizações. Os autores destacam a importância do “*prime mover*”, ou seja, um ator ou um conjunto de atores que tenham um poder tecnológico, financeiro ou político suficiente para influenciar fortemente o processo de desenvolvimento e difusão da tecnologia. Além disso, os atores podem criar uma força política de modo a exercerem um lobby em relação a um determinado sistema tecnológico;
- ii) Redes (*networks*): importantes canais de transferência de conhecimento tanto tácito, quanto explícito⁸. As redes podem ser construídas em torno de mercados e podem consequentemente conduzir à identificação de problemas e ao desenvolvimento de novas soluções tecnológicas. Elas também podem estabelecer-se fora do mercado e nesse caso ser vetores de uma difusão mais geral da informação e contribuir a influenciar as instituições. As redes podem moldar as visões dos atores em relação ao futuro, podendo, portanto, influenciar a percepção do que é desejável e do que é possível;
- iii) Instituições: estipulam as normas e regras que regulam as interações entre os atores, englobando vários segmentos da sociedade. As instituições possuem vários papéis, influenciando as estruturas de incentivo e as estruturas de demanda relacionadas às tecnologias.

Do mesmo jeito do que para os componentes de um sistema de inovação, podem também ser identificadas algumas funções próprias aos sistemas tecnológicos. Destaca-se que as funções constituem um nível intermediário entre os componentes do sistema e a sua

⁸ O conceito de conhecimento tácito remete ao conhecimento interiorizado pelos indivíduos e, portanto, dificilmente comunicável. É relativo a situações ou contextos de ações (organizacionais, tecnológicos, etc.) particulares. Já o conhecimento explícito corresponde ao conhecimento formalizado de forma oral ou escrita, como normas, modos operatórios ou bases de dados por exemplo.

performance (JACOBSSON e BERGEK, 2004). O seu estudo é necessário na medida em que, como já foi explicado para os sistemas de inovação em geral, o sistema tecnológico não é apenas uma soma dos seus componentes mais uma rede de interações, assim, a avaliação dos componentes não permite avaliar o sistema como um todo (CARLSSON *et al.*, 2002). Jacobsson e Bergek (2004) identificam graças a uma ampla revisão da literatura sobre sistemas tecnológicos cinco funções básicas interligadas:

- i) A criação e a difusão de novos conhecimentos;
- ii) A orientação da direção da pesquisa entre utilizadores e fornecedores de tecnologia;
- iii) O fornecimento de recursos como o capital ou as competências;
- iv) A criação de externalidades econômicas positivas, intermediadas pelo mercado ou não;
- v) A formação de mercado⁹.

1.3.2 Considerações metodológicas sobre a aplicação da abordagem de sistemas tecnológicos

Para estudar um sistema tecnológico em particular, precisa-se examinar os seus componentes e as suas funções, segundo o quadro analítico apresentado. Contudo, a aplicação desse quadro levanta uma série de problemas metodológicos que precisam ser levados em conta. Baseando-se em uma ampla revisão da literatura, Carlsson *et al.* (2002) destacam três questões metodológicas problemáticas principais: o nível de análise; os limites; e a medida da performance.

Carlsson *et al.* (2002) explicam que, para aplicar o quadro teórico dos sistemas tecnológicos à um sistema existente da maneira mais eficiente, precisa-se primeiro definir um nível de análise. Esse passo é fundamental na medida que em função dele podem variar os limites do sistema, os atores envolvidos, as redes e as instituições. Conforme ilustrado pela Figura 2, os autores mencionam três níveis de análise interligados aos quais os sistemas tecnológicos podem aplicar-se:

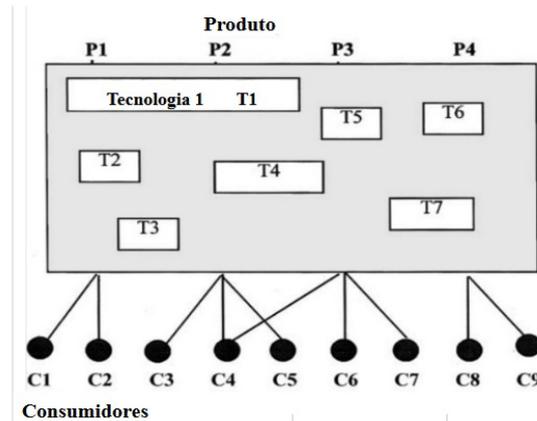
- i) o nível da tecnologia no sentido de uma área de conhecimento (T1, T2, etc.);
- ii) o nível do produto (P1, P2, etc.); e
- iii) o nível de um conjunto de produtos destinados a satisfazer uma única função.

Na Figura 2, C1, C2, etc., representam os consumidores atendidos pelos produtos. Essa

9 A formação de mercado é crucial, pois as inovações raramente acham mercados prontos.

representação permite entender quais elementos (tecnologias, produtos e consumidores) deverão ser considerados na análise segundo o seu foco principal.

Figura 2: Ilustração dos três níveis de análise de um sistema tecnológico.



Fonte: CARLSSON *et al.* (2002, p. 238).

Primeiro, pode-se estudar um sistema tecnológico ao nível da tecnologia (ou de um conjunto coerente de tecnologias) no sentido de uma área de conhecimento. Uma tecnologia pode ser presente em uma série de produtos¹⁰, contudo, nesse tipo de estudo, o foco é dado à relação entre tecnologias e à difusão das tecnologias em diferentes aplicações, e não aos produtos em si¹¹. Nesse caso, são incluídas na análise todas as entidades tendo competência em certa área tecnológica independentemente da sua aplicação em produtos. Essa abordagem tende a dar mais atenção às atividades de resolução de problemas tecnológicos e à geração de novas competências e conhecimento.

Já as duas abordagens ao nível do produto (ou de um conjunto de produtos) são escolhidas em geral quando se quer estudar a difusão e o uso de uma nova tecnologia. A análise ao nível do produto coloca um produto específico como ponto central a partir do qual o sistema é estudado¹², e permite estudar as suas ligações com os seus consumidores. Na Figura 2, ao escolher conduzir a análise a partir do produto P1, por exemplo, deverão ser

¹⁰ Por exemplo, na Figura 2, T1 é utilizado em P1, P2 e P3.

¹¹ Um exemplo de área de conhecimento pode ser o processamento de sinal digital, que é usado em numerosos produtos diferentes como telefones celulares ou sistemas de controle, por exemplo (CARLSSON *et al.*, 2002).

¹² O robô industrial, composto por várias tecnologias como sensores ou sistemas de controle, constitui um exemplo de produto de análise (CARLSSON *et al.*, 2002).

consideradas as tecnologias T1, T2 e T3 e os consumidores C1 e C2.

A análise ao nível de um conjunto de produtos, por sua vez, foca em um conjunto de produtos escolhidos por serem complementares ou substituíveis e evoluírem no mesmo mercado com um quadro institucional e um ambiente de seleção comuns¹³. Deve ser escolhido quando o interesse é estudar um mercado específico e o sistema de atores e instituições fornecendo produtos a esse mercado. Na Figura 2, o conjunto de produtos estudados poderia incluir P1, P2, P3 e P4, abrangendo assim as tecnologias de T1 a T7 e os consumidores de C1 a C9. Devido à sua amplitude, esse tipo de estudo não permite fornecer análise detalhada ao nível tecnológico.

A segunda questão metodológica levantada por Carlsson *et al.* (2002) remete aos limites do sistema, em particular em termos de tecnologia e de atores. Ao aplicar a abordagem de sistemas tecnológicos ao um sistema em particular, o pesquisador confronta-se logo à necessidade da definição dos limites de uma área de conhecimento, ainda mais quando o nível de análise escolhido remete à tecnologia. Uma solução proposta pelos autores consiste na avaliação das distâncias em termos de conhecimento entre várias tecnologias e na identificação de um ponto de ruptura no *continuum*¹⁴. Outra solução para estabelecer se duas sub-tecnologias pertencem à mesma área de conhecimento seria avaliar a quantidade de treinamento que os engenheiros especialistas em uma precisam para contribuir significativamente em outra. Apesar de insistir na necessidade de usar-se um método consistente e explícito para definir esses limites tecnológicos de um sistema, os autores reconhecem que existe nessa tarefa certa dimensão arbitrária.

Além da questão dos limites tecnológicos, destaca-se também a questão da definição dos limites em termos de atores, ou seja, o como saber quais atores pertencem a um sistema e o como achar todos esses atores. Esse assunto não é tão problemático ao escolher-se analisar o sistema ao nível do produto ou dos produtos, pois as firmas são alocadas a setores industriais pelos órgãos públicos de estatísticas. Podem usar-se também as listas de membros classificados por área específica de produtos das associações e organizações industriais. Ao aplicar-se o nível de análise da tecnologia, esses métodos não funcionam tão bem. O método

13 Um exemplo de mercado pode ser o mercado da saúde. A análise incluiria então todos os produtos e todas as tecnologias presentes nele.

14 Os autores mencionam que algumas tentativas foram feitas para medir formalmente as “distancias tecnológicas” ou seja, a proximidade de dois campos tecnológicos. Contudo, eles destacam que essas medidas são pouco úteis ao tentar, por exemplo, determinar se a tecnologia de antena de micro-onda faz parte do mesmo campo de conhecimento particular que as tecnologias de frequência ótica e radio, ou que os componentes relacionados a micro-ondas.

mais utilizado nesse caso é o mapeamento da base de competências das firmas usando as patentes. Contudo, existem várias restrições como, por exemplo, o fato de certas bases de dados de patentes não classificam as patentes segundo áreas específicas de conhecimento. O terceiro método proposto pelos autores chama-se o método “bola de neve” (*snowball method*) e pode ser utilizado com qualquer nível de análise. Consiste em, partindo ou de uma tecnologia ou de um produto, pedir para cada ator apontar outros atores. Esse método também apresenta alguns problemas, como por exemplo, o risco da lista de atores assim estabelecidas ser demasiadamente abrangente. Em conclusão, dado a inerente incerteza de cada um, Carlsson *et al.* (2002) aconselham usar uma combinação de diferentes métodos. Cabe mencionar que a problemática dos limites de um sistema é agravada pelo caráter dinâmico dele, que faz que eles estão mudando ao longo do tempo.

Finalmente, a terceira e última questão metodológica diz a respeito da performance de um sistema. Dado que o foco do presente trabalho é a emergência de um sistema tecnológico e não a avaliação de um sistema tecnológico existente, esse ponto não será considerado¹⁵.

1.3.3 Emergência de novos sistemas tecnológicos na área de energia

Como foi mencionado na introdução deste trabalho, o setor da energia elétrica deve transformar-se para enfrentar os vários desafios que estão se apresentando a ele. Por isso, precisa-se que novos sistemas tecnológicos sólidos na suas funções e constituídos ao redor de uma série de tecnologias novas emirjam (JACOBSSON e BERGEK, 2004). Nesse âmbito, o sistema tecnológico baseado nas novas tecnologias associadas ao conceito de *smart grids* é apresentado como uma alternativa aos desafios postos. Portanto, cabe agora estudar a emergência de novos sistemas tecnológicos.

A arcabouço analítico de sistemas tecnológicos apoiá-se na literatura sobre ciclos de produto/atividades que tem o seu trabalho seminal em Utterback e Abernathy (1975). Nesta direção, Jacobsson e Bergek (2004) identificam duas fases principais na evolução de um produto ou um setor de atividade: um período de formação seguido de um período de expansão de mercados. Como o objetivo do trabalho é o estudo da emergência de um novo sistema tecnológico, uma atenção particular será dada ao período de formação.

¹⁵ Para avaliar a performance de um sistema, precisa-se estudar cada um dos seus atores, não individualmente, mas conectados no sistema como um todo. É um exercício complexo que depende do nível de análise escolhido assim como do nível de maturidade do sistema (CARLSSON *et al.*, 2002).

O período formativo é caracterizado por alta incerteza em termos de tecnologias, mercados e regulações. Com a finalidade de entender o processo de emergência do período formativo, ou seja, como os diferentes componentes de um sistema emergem e como as cinco funções supracitadas se reforçam, Jacobsson e Bergek (2004) distinguem quatro das suas características:

- i) a formação de mercado;
- ii) a entrada de empresas e outras organizações;
- iii) as mudanças institucionais; e
- iv) a formação de coalizões em torno da nova tecnologia.

O elemento fundamental da fase formativa é a formação de mercado, pois é ele que vai induzir os três outros. No período formativo, a tecnologia emergente apresenta uma superioridade em alguma dimensão ou em alguns nichos de mercado, mas subsídios governamentais são geralmente necessários. Eles permitem constituir “espaços protegidos” que servem de “*nursing market*” (ERICSSON e MAITLAND, 1989, *apud* JACOBSSON e BERGEK, 2004) onde o processo de aprendizado, a performance da nova tecnologia e as preferências dos consumidores podem ser desenvolvidos sem sofrer pressão dos mercados.

Tais espaços protegidos, por permitirem orientar a direção das pesquisas, constituem incentivos à entrada de firmas ao longo da cadeia de valor, ou seja, a segunda característica do período de formação. A importância desse processo remete aos recursos e em particular ao conhecimento trazido, aos *gaps* preenchidos ou às novas demandas satisfeitas pelas novas firmas em um sistema tecnológico. Além disso, a entrada de firmas pode permitir uma maior divisão do trabalho e assim resultar em economias externas positivas.

A terceira característica diz a respeito da importância crucial da mudança (ou alinhamento) institucional e das suas políticas, pois a falta de alinhamento entre a nova tecnologia e o quadro institucional pode resultar no bloqueio de várias funções. Em particular, ele tem uma forte influência na legitimidade da nova tecnologia, nos atores do sistema, no seu acesso aos recursos e na formação de mercados. O conceito de mudança institucional é abrangente e multidimensional. Trata-se da necessária redireção das políticas de ciências e tecnologia a fim de apoiar a emergência de um novo sistema específico, mas inclui também a criação ou a regulação de mercados, as políticas fiscais, o sistema de valor ou a formação de padrões por exemplo. A importância do quadro institucional na fase formativa tem por consequência a criação de uma competição entre as firmas para influenciá-lo. Assim a

competição não se restringe apenas aos bens e serviços, mas também o contexto político institucional, e existem estratégias de aliança entre as firmas para manipular coletivamente o ambiente institucional.

Finalmente, a formação de coalizão em torno da nova tecnologia também tem grande importância. Ela é necessária para o engajamento dos atores nos debates políticos de modo a influenciar as instituições e a agenda política, o que pressupõe um convencimento de que a adoção de uma determinada tecnologia merece especial atenção dos *policy makers*.

Tal período formativo é muito demorado, incerto e laborioso. Segundo estudos citados por Jacobsson e Bergek (2004), ele pode durar até algumas décadas e requer investimentos iniciais consequentes cujos retornos podem parecer baixos. Contudo, ele é indispensável para alcançar certo ponto que os autores chamam de “*change in gear*”. Esse ponto marca o momento a partir do qual o sistema começa a funcionar de maneira autossustentável. Alcançá-lo requer que os mercados tenham crescido suficientemente para permitir ao sistema de conectar-se com uma série de oportunidades em termos de tecnologia e de mercado. Essas conexões poderão potencialmente gerar um ciclo de reações positivas, incluindo todos os componentes do sistema, assim como as suas funções positivas, criando assim um círculo virtuoso. Contudo, devido ao dinamismo, à instabilidade e à fragilidade inerentes a um sistema tecnológico, Jacobsson e Bergek (2004) insistem na incerteza desse processo. A profunda interligação dos componentes junto com o ambiente seletivo geral (além do mercado) potencialmente favorável à tecnologia incumbente podem levar rapidamente a uma falha de sistema, apesar de eventuais investimentos importantes nele realizados. Os autores destacam quatro fatores interligados e possivelmente cumulativos de um sistema que podem impedir o seu desenvolvimento:

- i) falha no alinhamento das instituições;
- ii) falha na formação de mercados devida, por exemplo, a subsídios à tecnologia incumbente;
- iii) falta de novas firmas entrando no sistema, devida, por exemplo, à falta de mercados; e
- iv) fraqueza da conectividade das redes que podem prejudicar o processo de difusão da nova tecnologia.

Esses mecanismos podem ocorrer no período formativo, mas também durante a transição para a segunda fase. Portanto, precisam ser estudados com atenção, assim como os mecanismos incitativos, para elaborar políticas públicas adaptadas (JACOBSSON e

BERGEK, 2004), como já foi mencionado anteriormente. Esses mecanismos e políticas no setor da energia são tratados na seção seguinte.

1.3.4 Barreiras, mecanismos incitativos e políticas públicas relativas à emergência de novos sistemas tecnológicos no setor da energia

Esse trabalho de identificação das barreiras (ou mecanismos de bloqueio) à difusão das tecnologias de *smart grids* é um trabalho específico e será um dos propósitos do segundo capítulo. Contudo, para efetuar-lo, é interessante estudar casos similares no setor da energia. Nesse sentido, o trabalho de Jacobsson e Bergek (2004) sobre sistemas tecnológicos na área de energia renovável na Alemanha, na Holanda e na Suécia é de grande utilidade aqui, uma vez que as áreas de energia renovável e de *smart grids* são fortemente ligadas, a primeira sendo um poderoso *driver* da segunda (esse ponto será detalhado no capítulo seguinte). Além disso, as tecnologias relacionadas à energia renovável são mais antigas e permitem assim uma visão mais ampla do fenômeno no tempo.

Como se pode observar no Quadro 2, Jacobsson e Bergek (2004) identificam três mecanismos indutivos e cinco barreiras específicas à difusão de tecnologia de energia renovável, todos tendo uma influência em uma ou algumas das funções de um sistema tecnológico expostas anteriormente.

Quadro 2: Mecanismos de incentivo e de bloqueio para cada função do sistema tecnológico de algumas tecnologias de energia renovável¹⁶.

| Mecanismos de incentivo | Mecanismos de bloqueio |
|---|---|
| Criação e difusão de conhecimento novo | |
| - Políticas governamentais - Entrada de novas firmas | - Alta incerteza - Conectividade fraca entre os atores - Comportamento ambíguo das firmas já estabelecidas |
| Fornecimento de recursos | |
| - Políticas governamentais - Entrada de novas firmas - <i>Feedback</i> da formação de mercado | - Falta de legitimidade - Comportamento ambíguo das firmas já estabelecidas |
| Orientação da direção da pesquisa | |
| - Políticas governamentais - Entrada de novas firmas - <i>Feedback</i> da formação de mercado | - Alta incerteza - Falta de legitimidade - Conectividade fraca entre os atores - Comportamento ambíguo das firmas já estabelecidas - Políticas governamentais |
| Criação de externalidades econômicas positivas | |
| | - Conectividade fraca entre os atores |
| Formação de mercado | |
| - Políticas governamentais - Entrada de novas firmas - <i>Feedback</i> da formação de mercado | - Alta incerteza - Falta de legitimidade - Conectividade fraca entre os atores - Comportamento ambíguo das firmas já estabelecidas - Políticas governamentais |

Fonte: Adaptação de JACOBSSON e BERGEK (2004)

Os autores identificam três mecanismos incitativos principais. O primeiro e o mais importante é a atuação do governo, particularmente através de financiamento de atividades de pesquisa e desenvolvimento, tendo permitido a criação de conhecimentos novos, o acesso aos recursos e a orientação das pesquisas. Inclui também instrumentos tais como subsídios a investimentos, programas de demonstração e mudanças legislativas que contribuíram à criação de mercados. O segundo mecanismo diz respeito à entrada e atividade das firmas no sistema. Permite a criação de conhecimentos novos, o acesso aos recursos, o desenvolvimento de novos desenhos em cada área da tecnologia e favorece a criação de mercados. O terceiro mecanismo, o ciclo de reações oriundo da criação de mercado, influenciou várias funções, por exemplo, aumentando o número de vendas e assim gerando recursos crescentes para o desenvolvimento da tecnologia.

¹⁶ Jacobsson e Bergek (2004) ressaltam que esse quadro foi elaborado a partir dos estudos de casos que eles conduziram, portanto, deve ser considerado apenas como uma visão geral dos mecanismos mais importantes tirados desses estudos.

Em relação aos mecanismos de bloqueio ou barreiras, os dois primeiros, a alta incerteza em termos de tecnologia, de economia e de mercados, e a falta de legitimidade da nova tecnologia para os diferentes atores são barreiras comuns à emergência da maioria dos sistemas tecnológicos. Além disso, Jacobsson e Bergek (2004) apontam a fraqueza da conectividade, que remete tanto à fraqueza do aprendizado como à fraqueza das redes políticas entre os atores do sistema; o comportamento ambíguo ou hostil de certas comercializadoras de energia e fornecedores de bens de capital estabelecidos; e as políticas do governo.

Tais análises levaram Jacobsson e Bergek (2004) a formularem seis desafios essenciais a serem levados em conta para os *policy makers* enfrentarem as barreiras e favorecerem a emergência de um novo sistema tecnológico:

- i) criar condições para aparição do processo de causação cumulativa em várias novas tecnologias de energia. Esse ponto é fundamental para permitir ao sistema de tornar-se autossustentável e assim não depender de intervenção pública repetida;
- ii) criar um conhecimento de cada sistema tecnológico. Permite por uma lado especificar os mecanismos de incentivo e de bloqueio para cada tecnologia e por outro elaborar as políticas que influenciam o padrão funcional do sistema;
- iii) implementar uma coordenação dessas políticas;
- iv) começar a contribuir ao processo de alinhamento institucional no período formativo;
- v) incentivar a experimentação de vários desenhos diferentes pelos atores;
- vi) favorecer a transição do período formativo para uma fase caracterizada pela difusão rápida e sustentada das novas tecnologias. Implica a implementação de políticas tarifárias fortes, previsíveis e persistentes que criam condições favoráveis para os investidores.

Uma vez dito isso, Jacobsson e Bergek (2004) reconhecem a dificuldade de enfrentar tais desafios. Assim, apontam para três questões com as quais os *policy makers* vão ter que se deparar ao tentar resolvê-los. A primeira remete à dificuldade de alcançar um conhecimento sólido de um sistema devido à forte complexidade da sua estrutura e da sua dinâmica, tornando-o muito imprevisível. Segundo, eles apontam a problemática da escala temporal muito longa e terceiro os problemas causados pelas lutas políticas para ganhar maior influência sobre as instituições. Assim é importante os *policy makers* desenvolverem certas capacidades específicas, como uma alta competência analítica, um conhecimento aprofundado dos sistemas tecnológicos relevantes, competências de coordenação, paciência, flexibilidade e

força política. Por isso, eles podem procurar trabalhar com os membros das coalizões de tecnologias específicas, os representantes da indústria ou do capital privado e outras organizações tendo interesse no sistema. Os autores apontam como uma solução abrangente o reforço das coalizões criando condições favoráveis ao capital privado, pois eles consideram que a maior conquista do período formativo poderia ser o surgimento de coalizões suficientemente fortes para apoiar elementos do estado na superação de vários mecanismos de bloqueio.

Em síntese, esse primeiro capítulo procurou definir um quadro teórico apropriado para tratar a questão das políticas públicas de incentivo à implementação de *smart grids*. O quadro escolhido foi a abordagem de sistemas tecnológicos. A partir disso, destacou-se a importância do contexto institucional na evolução dos sistemas tecnológicos, assim como a existência de barreiras à sua emergência, e assim a necessidade de políticas públicas fortes e minuciosamente elaboradas.

Uma vez que foi apresentado o arcabouço teórico e analítico, cabe selecionar os elementos a serem considerados para a análise específica das *smart grids* no segundo capítulo. Primeiro, a taxonomia das inovações do Edquist (2001) será útil para qualificar as *smart grids* e as suas tecnologias como inovações. Segundo precisar-se-á aplicar as considerações metodológicas como a escolha do nível de análise e a definição dos limites para delimitar o sistema e o quadro de análise. Uma vez isso feito, a apresentação dos componentes será feita conforme exposto por Jacobsson e Bergek (2004). Os elementos sobre a fase formativa de um sistema tecnológico serão de particular relevância dado o nível pouco avançado de maturidade das *smart grids*. Finalmente, as barreiras ao desenvolvimento de um sistema tecnológico assim como a importância das políticas públicas para superá-las serão fundamentais no segundo capítulo. Em particular, o trabalho que faz corresponder as barreiras e os mecanismos indutivos às funções de um sistema (JACOBSSON e BERGEK, 2004) será adaptado ao caso das *smart grids* permitindo assim abordar o seu caráter evolucionário de maneira sistêmica.

2 APLICAÇÃO DO QUADRO TEÓRICO ÀS *SMART GRIDS*

Como foi explicado na introdução deste trabalho, o setor da energia em geral e o setor elétrico em particular estão enfrentando novos desafios que requerem deles uma transformação profunda. Por um lado, a demanda por energia elétrica continua crescendo a taxas elevadas. Simultaneamente, a expansão da oferta de energia está cada vez mais limitada pela necessidade de se mitigar os impactos ambientais a ela correlatos, e em particular as emissões de gases de efeito estufa. As diversas tecnologias desenvolvidas para lidar com essas duas problemáticas, dentre as quais a geração por fontes de energia renováveis é a mais importante, levantam novas questões, em particular sobre a segurança do sistema e o aumento dos custos de produção.

Nesse contexto, governos estabelecem as suas políticas energéticas ao redor de três objetivos principais: fornecer energia elétrica confiável e segura para o funcionamento das suas economias; promover o desenvolvimento econômico graças a modicidade da tarifa; e garantir a sustentabilidade ecológica (BRUNEKREEFT *et al.*, 2015). Ao longo da última década, as *smart grids* têm sido reconhecidas como parte fundamental da solução para combinar esses três objetivos.

Apesar de representarem novas oportunidades de negócios, observa-se que o desenvolvimento das novas tecnologias que compõe uma *smart grids* não acontece de modo natural e precisa então ser apoiado pelas autoridades públicas, em particular através da regulação¹⁷. Entretanto, o caráter complexo, diverso e evolucionário (IEA, 2011; BRUNEKREEFT *et al.*, 2015) desse conjunto de inovações tecnológicas dificulta e elaboração de políticas públicas eficientes. Assim, precisa-se criar um entendimento exaustivo desse processo.

A hipótese deste trabalho é que um entendimento da complexidade do processo de implementação de *smart grids* pode ser fornecido pela abordagem de sistemas tecnológicos apresentada no primeiro capítulo. O interesse de aplicar esse quadro teórico e analítico às *smart grids* remete ao entendimento do conjunto de inovações como um sistema, o que permite entender a sua dinâmica funcional e assim identificar as barreiras ao seu desenvolvimento. A identificação das barreiras permite então a elaboração de políticas

¹⁷ Esse papel pode ser desenvolvido por empresas privadas, contudo, nesse caso também uma regulação especial é necessária.

públicas precisas e eficientes para superar as falhas de mercado¹⁸.

Nesse capítulo, a primeira seção tratará do conceito geral de *smart grids* apresentando as suas diferentes definições, as tecnologias associadas e os seus principais *drivers*. A partir das características gerais expostas e a complexidade do conceito destacada, a segunda seção aprofundará o tema apresentando as *smart grids* como um sistema tecnológico. Por isso, serão feitas algumas considerações metodológicas específicas e apresentados os componentes do sistema. Em seguida, a fase de desenvolvimento atual das *smart grids* será evidenciada como fase formativa, a fim de identificar as barreiras ao processo de *change-in-gear* e finalmente apresentar as diferentes políticas públicas para superá-las.

2.1 O CONCEITO DE SMART GRIDS: DEFINIÇÃO, TECNOLOGIAS E *DRIVERS*

Existem várias definições de *smart grids* (BRUNEKREEFT *et al.*, 2015; CLASTRES, 2010; MUENCH *et al.*, 2014). A definição da IEA, que foca nas tecnologias da informação e da comunicação, recebeu um acordo relativamente extenso dos profissionais da área, sendo expressa nos seguintes termos (BRUNEKREEFT *et al.*, 2015, p. 13):

An electricity network that uses digital and other advanced technologies to monitor and manage the transport of electricity from all generation sources to meet the varying electricity demands of end users. Smart grids coordinate the needs and capabilities of all generators, grid operators, end users and electricity market stakeholders to operate all parts of the system as efficiently as possible, minimizing costs and environmental impacts while maximizing system reliability, resilience and stability.

Uma outra definição foi dada pela *International Electrotechnical Commission* (BRUNEKREEFT *et al.*, 2015, p. 13):

The general understanding is that the Smart Grid is the concept of modernizing the electric grid. The Smart Grid comprises everything related to the electric system in between any point of generation and any point of consumption. Through the addition of Smart Grid technologies the grid becomes more flexible, interactive and is able to provide real time feedback. It is an electricity network that can intelligently integrate the actions of all users connected to it – generators, consumers and those that do both – in order to efficiently deliver sustainable, economic and secure electricity supplies.

¹⁸ Adiante será detalhado o assunto das falhas de mercado, em particular graças ao conceito de externalidades positivas e negativas.

Clastres (2010) relata a visão europeia da *European Smart Grids Technology Platform*, segundo a qual as *smart grids* são redes elétricas capazes de integrar inteligentemente o comportamento e as ações de todos os usuários conectados, ou seja os produtores, os consumidores e aqueles que têm as duas atividades, a fim de fornecer energia elétrica sustentável, econômica e segura.

Já a visão americana dá uma ênfase nos objetivos destacando as funções principais das *smart grids*. Assim segundo o *U.S. Department of Energy*, uma rede inteligente deve (CLASTRES, 2010; AMIN, 2011):

- i) ser “*self-healing*”¹⁹ vis-à-vis eventos perturbadores;
- ii) permitir uma participação ativa dos consumidores;
- iii) reagir e evitar ataques físicos e digitais;
- iv) fornecer eletricidade de qualidade e adaptada a todas as necessidades;
- v) acolher todas as opções de geração e de armazenamento;
- vi) permitir a emergência de novos produtos, serviços e mercados; e
- vii) otimizar a utilização e a administração dos ativos.

AMIN (2011) completa com quatro objetivos principais para o sistema elétrico *end-to-end* (da extração de fontes fósseis até a geração, transmissão, distribuição e uso final) do futuro:

- i) permitir fluxos de energia e de informação bidirecionais seguros e em tempo real;
- ii) integrar fontes de energias renováveis e intermitentes que permitam “descarbonizar”²⁰ o sistema;
- iii) permitir a gestão da demanda efetiva, a escolha do consumidor e a operação segura e eficiente da rede; e
- iv) permitir a coleta segura e a comunicação dos dados detalhados sobre uso de energia para ajudar a reduzir a demanda e aumentar a eficiência.

Assim, existe um entendimento comum do conceito de *smart grids* que inclui as noções de inteligência (ou tecnologias da informação e comunicação), eficiência, sustentabilidade e integração do comportamento de todos os atores. Mas as visões mais específicas de *smart grids* diferem substancialmente em termos de perspectiva de abordagem,

19 Segundo Amin e Wollenberg (2005), uma rede “*self-healing*” é uma rede que usa tecnologias de informação, detecção, controle e comunicação para lidar com os eventos imprevistos e minimizar os seus impactos negativos.

20 A “descarbonização” é o processo de transição para economias com baixo consumo de carbono. Constitui um aspecto importante da luta contra o aquecimento global, reafirmado e enfatizado no documento final da COP21 realizado na França em 2015.

potencialidades e utilidade de um caso para outro e de um país para outro. Na medida em que o objetivo deste trabalho é estudar as políticas públicas de incentivo à implementação de *smart grids* na França, será usada a definição do órgão regulador europeu (CEER, 2014, p. 10):

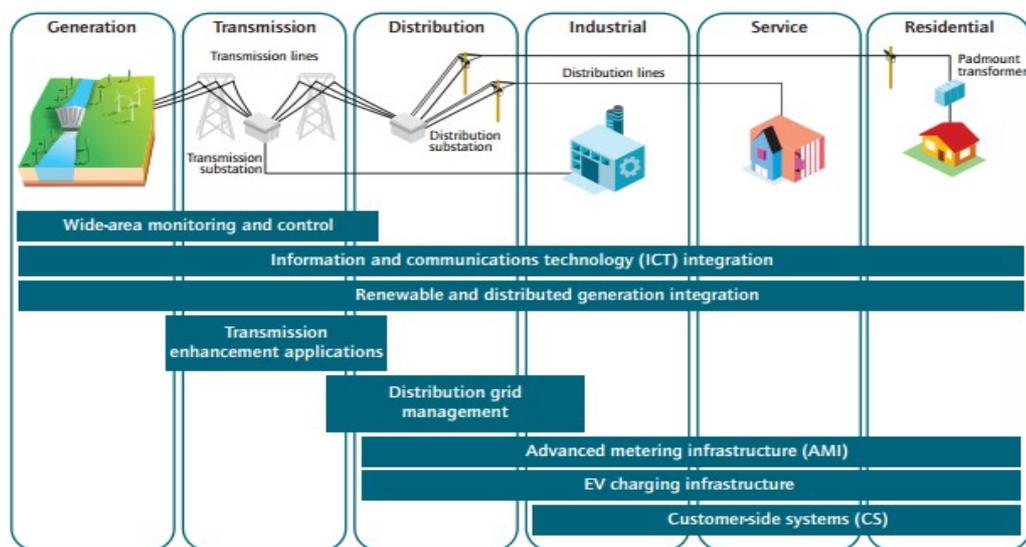
A smart grid is an electricity network that can cost-efficiently integrate the behaviour and actions of all users connected to it – generators, consumers and those that do both – in order to ensure economically efficient, sustainable power systems with low losses and high levels of quality and security of supply and safety.’

A diversidade das definições de *smart grids* também é presente ao abordar a questão das tecnologias associadas. O conceito abrange uma série de tecnologias diferentes que pode variar segundo os casos. De modo consensual, do lado do produtor e dos consumidores, a principal tecnologia remete ao medidor inteligente. Ele permite medir a produção ou o consumo efetivo em tempo real. A informação gerada é uni ou bidirecional, dando em certos casos a possibilidade da transmissora ou da distribuidora operar a carga a distância. Já nas redes de transmissão ou de distribuição, as principais tecnologias associadas remetem aos captores e redes de comunicação que permitem transmitir ao operador uma informação sobre o estado da rede em tempo real (CLASTRES, 2011). Assim as *smart grids* referem-se principalmente por um lado a medidores inteligentes, e de outro a automação, ou seja ao monitoramento e a administração automatizada das redes de transmissão e de distribuição graças a captores, sensores e softwares de tratamento de dados por exemplo. Contudo, existem também numerosas outras tecnologias associadas às *smart grids*, dentre as quais destacam-se as capacidades de geração distribuída por fontes de energia renováveis conectadas à rede de distribuição, as capacidades de armazenamento conectadas à rede de distribuição e os veículos elétricos (THINK, 2013). Para dar uma visão geral das tecnologias associadas às *smart grids*, a Figura 3 apresenta os diferentes tipos de tecnologias associadas a *smart grids* ao longo da cadeia de valor (*supply chain*) do setor elétrico. Assim, segundo a IEA (2011), as grandes categorias de tecnologias de *smart grids* são:

- i) monitoramento e controle (*wide-area monitoring control*), e integração de tecnologia de informação e comunicação (*information and communication technology integration*);
- ii) integração de fontes de energia renováveis distribuídas (*renewable and distributed generation integration*);
- iii) aplicações de realce da transmissão (*transmission enhancement application*);

- iv) administração da rede de distribuição (*distribution grid management*);
- v) infraestrutura de medição avançada (*advanced metering infrastructure*);
- vi) infraestrutura de carregamento de veículos elétricos (*electric vehicle charging infrastructure*); e
- vii) sistemas de gerenciamento da demanda (*customer-side system*).

Figura 3: Tipos de tecnologias de *smart grids*.



Fontes: IEA (2011, p. 17).

Como verificado, o conceito de *smart grids* é muito amplo e tem impacto praticamente em todos os níveis da cadeia de valor do setor elétrico. Assim, são numerosas e diversas as razões que justificam a sua implementação. Frente ao desafio dos governos de combinar, na sua regulação do setor elétrico, a confiabilidade e a segurança do abastecimento, a modicidade da tarifa e a sustentabilidade do sistema (BRUNEKREEFT *et al.*, 2015), as *smart grids* constituem uma resposta mais eficiente do que as tecnologias convencionais (CLASTRES, 2010; IEA, 2011; MARQUES *et al.*, 2014; MUENCH *et al.*, 2014; BRUNEKREEFT *et al.* 2015).

De maneira mais detalhada, é possível sintetizar os principais *drivers* à implementação de *smart grids* no mundo da seguinte maneira (ISGAN, 2014)²¹:

²¹ Apesar de não aparecer na lista de *drivers* da ISGAN apresentada, é importante mencionar a importância da redução de perdas não técnicas (furtos), argumento fundamental na implementação de *smart grids* em alguns países como, por exemplo, a Itália.

- i) melhoria da eficiência energética;
- ii) integração de fontes de energia renováveis;
- iii) confiabilidade do sistema;
- iv) desenvolvimento de novos produtos e serviços; e
- v) escolha do consumidor; e
- vi) otimização dos ativos.

O Quadro 3 apresenta, para cada um desses *drivers* as tecnologias de *smart grids* associadas.

Quadro 3: Principais *drivers* motivadores para implementação de *smart grids* e tecnologias associadas.

| <i>Drivers</i> | Tecnologias associadas |
|---|---|
| <i>Driver 1: Eficiência</i> | Infraestrutura de medição avançada |
| | Integração de recursos com energia distribuída |
| | Gerenciamento de rede inteligente para transmissão coordenada |
| | Novos modelos de mercado |
| | Tecnologias de informação e comunicação |
| <i>Driver 2: Energias Renováveis</i> | Integração de fontes energéticas renováveis |
| | Eólica |
| | Integração de recursos com energia distribuída |
| | Solar e solar fotovoltaica |
| | Hidroelétrica |
| <i>Driver 3: Confiabilidade</i> | Deteção, identificação e solução de falhas |
| | Sistemas de gerenciamento de distribuição e interrupção |
| | Integração de recursos com energia distribuída |
| | Infraestrutura de medição avançada |
| | Gerenciamento de rede inteligente para transmissão coordenada |
| <i>Driver 4: Desenvolvimento de produtos e mercados</i> | Infraestrutura de medição avançada |
| | Domicílios inteligentes (“ <i>Smart homes</i> ”) |
| | Integração de recursos com energia distribuída |
| | Tecnologias de informação e comunicação |
| | Sistemas de gerenciamento de distribuição e interrupção. |
| <i>Driver 5: Escolha dos consumidores</i> | Infraestrutura de medição avançada |
| | Domicílios inteligentes (“ <i>Smart homes</i> ”) |
| | Integração de recursos com energia distribuída |
| | Tecnologias de informação e comunicação |
| | Novos modelos de mercado |
| <i>Driver 6: Otimização dos ativos</i> | Monitoramento e manutenção |
| | Ferramentas de planejamento, utilização e previsão |
| | Sistemas de gerenciamento de distribuição e interrupção |
| | Integração de gerenciamento da demanda |
| | Gerenciamento de rede inteligente para transmissão coordenada |

FONTE: Adaptação de ISGAN (2014).

Constata-se no Quadro 3 a importância da infraestrutura de medição avançada e a inclusão de fontes renováveis na matriz elétrica, incluindo a geração distribuída, para cada um dos *drivers*. Contudo, existe grande diversidade nas motivações dos países segundo as suas problemáticas e escolhas nacionais (CLASTRES, 2010). Assim os seis *drivers* vão ter importância diferenciada de um país para outro, o que vai explicar a variedade nas tecnologias e políticas públicas implementadas em termos nacionais.

Na União Europeia, a implementação de *smart grids* é claramente ligada aos objetivos definidos pelo Plano Europeu sobre Alterações Climáticas²², e em particular aos objetivos de integração de fontes renováveis e de eficiência energética. Assim, as tecnologias mais desenvolvidas são a geração distribuída e os medidores inteligentes. Apesar desses objetivos comuns, existem *drivers* específicos por países.

Por exemplo, o caso da Itália é significativo. Um dos principais problemas do seu setor elétrico era a elevada quantidade de perdas não técnicas devido à inadimplência e aos furtos (CLASTRES, 2010). Para resolver esse problema, a implementação em grande escala de medidores inteligentes foi identificada como a solução mais pertinente, por permitir monitorar o consumo de energia em tempo real. Desta forma, os ganhos oriundos da redução destas perdas consistiram um importante *driver* para a realização do *roll out* de medidores inteligentes.

Já no caso alemão, a preocupação torna-se mais diretamente para a participação de fontes de energia renováveis e a eliminação de forma progressiva da geração de energia elétrica a partir da fonte nuclear. Dado os desafios derivados da inserção de geração intermitentes e descentralizada em grande escala, a automação da rede assume grande relevância.

Na Suécia e na Dinamarca, a eletrificação dos transportes e veículos se mostra um *driver* muito relevante, enquanto em outros países a geração distribuída é um argumento fundamental (CLASTRES, 2010).

Na França, as *smart grids* são desenvolvidas para informar os consumidores, controlar e reduzir a demanda por energia, melhorar a qualidade do fornecimento e o funcionamento do

²² Em janeiro de 2007, a Comissão Europeia apresentou o plano europeu sobre alterações climáticas. Esse plano, chamado também de plano 20-20-20, inclui três objetivos principais para 2020: reduzir as emissões de gases de efeito estufa de 20% em relação aos níveis de 1990; melhorar a eficiência energética de 20%; alcançar 20% na utilização de fontes de energia renováveis no total de consumo energético até 2020 (EC, 2015).

mercado elétrico, ou controlar os custos das distribuidoras (CLASTRES, 2010). Esse ponto será detalhado no terceiro capítulo deste trabalho.

A partir da definição do conceito de *smart grids*, das tecnologias associadas e dos *drivers*, a seção seguinte tem por objetivo, graças ao quadro teórico e analítico desenvolvido no primeiro capítulo, estudar a implementação das *smart grids* como um sistema tecnológico.

2.2 ESTUDO DOS SISTEMAS TECNOLÓGICOS DE *SMART GRIDS*

Segundo a definição de Edquist (2001), inovações são novas criações significativas em termos econômicos normalmente oriundas de firmas. Podem ser elementos novos ou novas combinações de elementos existentes. Trata-se do que é produzido, no caso de inovações de produtos (bens ou serviços), e de como é produzido no caso de inovação de processo. As tecnologias de *smart grids* são novos bens (como medidores por exemplo), novos serviços (tarifa *time-of-use*) ou novos processos (geração distribuída) no setor elétrico, e são assim unanimemente consideradas como inovações.

Algumas dessas inovações podem ser classificadas como incrementais, pois elas remetem à implantação, operação e otimização de unidades fabris e equipamentos e à melhoria de qualidade de produtos e serviços. Já outras são inovações radicais na medida em que elas induzem uma quebra de paradigma na estrutura passada de produção de bens e serviços. Cabe ressaltar que essa distinção entre inovações incrementais e radicais pode variar de um país para outro, em função do avanço tecnológico do sistema.

Assim as *smart grids* apresentam-se como um conjunto de inovações numerosas e diversas que irão impactar de formas diferentes os setores elétricos nacionais, assim como o setor elétrico global. Essas inovações são interligadas, ainda muito recentes e, portanto, envolvem alto grau de incerteza. Com tais características, a literatura considera comumente a implementação das *smart grids* como um processo evolucionário (IEA, 2011; BRUNEKREEFT *et al.*, 2015). Além disso, por tratar-se de um setor economicamente e politicamente estratégico, o quadro institucional em geral e a intervenção pública em particular são fundamentais. Nesse sentido, é considerado pertinente usar-se o arcabouço teórico e analítico de sistemas tecnológicos.

Portanto, essa seção propõe-se em aplicar a abordagem de sistemas tecnológicos às *smart grids*, principalmente a partir do trabalho de Jacobsson e Bergek (2004) apresentado no

primeiro capítulo. O objetivo é desenvolver um entendimento que permita compreender a complexidade do processo da sua implementação e assim estudar as políticas que influenciam o padrão funcional do sistema.

Nesse sentido, em primeiro lugar, serão definidos os níveis de análises e os limites relevantes a aplicar ao estudo de um sistema tecnológico de *smart grids*. Em seguida, serão especificados os seus componentes, ou seja os atores, as relações e as instituições. Uma vez essas bases postas, serão estudadas as características gerais da fase formativa dos sistemas tecnológicos de *smart grids* e assim formuladas as suas barreiras específicas. Finalmente, serão apresentadas as diferentes políticas públicas comumente usadas no mundo para enfrentar essas barreiras e permitir o desenvolvimento do sistema até alcançar o ponto de *change-in-gear*, a partir do qual o sistema fica autossustentável.

2.2.1 Considerações metodológicas: nível de análise e limites de um sistema tecnológico de *smart grids*

Antes de começar a análise de sistemas tecnológicos de *smart grids*, precisa-se, conforme recomendado por Carlsson *et al.* (2002) escolher o nível de análise do sistema e definir os seus limites em termos tecnológicos e geográficos. Como foi exposto anteriormente, as *smart grids* incluem vários produtos e tecnologias atuando no mesmo mercado, o mercado da energia elétrica, sob o mesmo quadro institucional. Portanto, o nível de análise mais adaptado é o conjunto de produtos. Devem-se então levar em conta as múltiplas tecnologias, produtos e consumidores atuando com as *smart grids*.

O nível de análise escolhido sendo bastante vasto, traz consigo a necessidade de definir limites precisos para as tecnologias incluídas no estudo. A lista é longa e abrangente, e decidiu-se focar nas duas principais funções identificadas pela literatura, ou seja, as tecnologias de medição inteligente e de automação da rede (CLASTRES, 2010). Cabe destacar que as tecnologias tais como as fontes de energia renováveis ou os veículos elétricos passam assim a ser vistas apenas como *drivers* e não serão estudadas como tecnologias ou produtos do sistema, pois elas podem ser consideradas como outros sistemas tecnológicos com barreiras e políticas públicas específicas.

Cabe então delimitar geograficamente o sistema. Apesar de existir relatórios de organizações internacionais e trabalhos acadêmicos que estudam a implementação de *smart*

grids em nível internacional ou continental (em particular para a União Europeia), a grande maioria foca no nível nacional. Deve-se em particular à abrangência do conceito de *smart grids* e a então grande variedade de *drivers*. Os países tendo motivações e objetivos diferentes em relação à sua implementação, as políticas desenvolvidas diferem de um país para outro. Além disso, é importante ressaltar que, apesar de existir alguns objetivos definidos em nível global, as políticas energéticas e de inovação são de maneira geral definidas e aplicadas nacionalmente.

Assim, parece mais relevante definir um sistema tecnológico de *smart grids* em nível nacional, como será feito para a França no terceiro capítulo. Contudo, o capítulo 2 propõe-se a estudar os sistemas tecnológicos de *smart grids* de maneira genérica para construir um entendimento global do assunto e assim poder aplicá-lo ao caso específico da França. Por isso nessa seção, a análise incluirá uma série de parâmetros internacionais que são indispensáveis à compreensão da análise em nível nacional.

A questão da elaboração da lista completa dos atores não será tratada nesta seção, pois requer a definição de um sistema tecnológico particular, como será o caso no terceiro capítulo.

2.2.2 Os componentes dos sistemas tecnológicos de *smart grid*

Para estudar um sistema tecnológico particular, precisa-se identificar os seus componentes. Segundo Jacobsson e Bergek (2004), os componentes de um sistema podem ser apresentadas em três categorias: os atores, as redes e as instituições. A implementação das *smart grids* está tendo um impacto em todas as etapas da cadeia de valor do setor elétrico, gerando ganhos potenciais a dividir entre os seus atores (MEEUS *et al.*, 2010, *apud* CLASTRES, 2010). Portanto, os atores principais de um sistema tecnológico de *smart grids* são os atores principais do setor elétrico. Inclui: as geradoras, que terão melhor visibilidade sobre demanda a satisfazer e informações mais precisas sobre os movimentos da rede de distribuição, o que facilita o equilíbrio e a otimização dos recursos; as transmissoras e distribuidoras que terão melhor visibilidade sobre os fluxos que transitam nas suas redes e poderão então garantir uma melhor otimização do sistema, uma redução das falhas e do tempo dos blecautes e uma redução das perdas; as comercializadoras, que, por exemplo, conhecerão melhor o perfil dos seus consumidores e poderão assim criar ofertas comerciais mais

adaptadas e gerenciar melhor a demanda (*demande side management*)²³; e, finalmente, os consumidores, que vão poder, por exemplo, controlar melhor o seu consumo (CLASTRES, 2010).

A esses atores tradicionais do setor elétrico devem adicionar-se uma série de atores que atuam em vários níveis (como por exemplo, fabricação, investimentos, pesquisa). São as universidades, centros de pesquisa e consultorias²⁴; as empresas de tecnologia de comunicação e informação e de telecomunicações; todas as organizações que desenham, fabricam, testam, constroem, operam, fazem manutenção e gerenciam novas aplicações tecnológicas e em particular as soluções de *hardware* ou de serviços industriais (essas organizações atuam em muitas outras áreas além do setor elétrico); as autoridades públicas e o governo; as associações representando diversos interesses; e outras organizações (EC, 2014b). Assim são múltiplos e diversos os atores de um sistema tecnológico de *smart grids*. Para ter uma visão mais clara da situação, Muench *et al.* (2014) colocam que os atores mais relevantes são os *policy makers* (incluindo as autoridades de regulação)²⁵, seguidos pelos fornecedores de tecnologia, as distribuidoras e os usuários (consumidores, produtores e *prosumers*).

Segundo Jacobsson e Bergek (2004), as redes são importantes canais de transferência de conhecimento tanto tácito, quanto explícito. No caso das *smart grids*, existem diferentes tipos principais de redes. Primeiro, pode-se citar as redes entre as empresas sob a forma de colaboração tecnológica. Por exemplo, na França, a ERDF, principal distribuidora do país, e a Alstom, empresa especialista em infraestruturas de produção e operação de redes elétricas, estabeleceram em 2013 uma parceria de cinco anos para desenvolver e comercializar *softwares* de operação técnica de recursos energéticos distribuídos. Outra parte do acordo remete ao desenvolvimento em conjunto de produtos incluindo *softwares* no quadro de contratos de pesquisa (ERDF, 2013).

Existem também redes entre as empresas e o governo. É o caso da Alstom ainda, que está envolvida em trinta e três dos projetos monitorados pelo órgão regulador francês (CRE)

23 Cabe destacar que em certos casos, as atividades de comercialização, e então a definição de ofertas comerciais, são responsabilidade da distribuidora.

24 Na União Europeia, as universidades e os centros de pesquisa representam o tipo de organização que investe mais em *smart grids* com aproximadamente 30% da verba total, através de projetos de pesquisa e desenvolvimento assim como de projetos pilotos (EC, 2014b). Mais informações sobre os investimentos na Europa serão dadas posteriormente neste trabalho.

25 Os principais indutores de adoção de tecnologia em *smart grids* são as legislações. Contudo em certos casos, a adoção de tecnologia precedeu a mudança legislativa. Na Itália e na Califórnia, a implementação de medidores inteligentes foi um decisão da distribuidora, respectivamente, para lutar contra as perdas não técnicas, e para responder à crise de energia de 2001.

para desenvolver e testar tecnologias digitais como *softwares* de monitoramento e gerenciamento da rede de distribuição.

Além disso, as redes podem também ser importantes para integrar o governo e as universidades, no quadro de parceira de pesquisa. É o caso, por exemplo, do programa “*The Future Grid Research Program*” na Austrália que será mais detalhado na seção sobre políticas públicas.

Na escala internacional, existem parcerias entre países para favorecer a transferência de tecnologia. Nesse sentido, por exemplo, os Ministério da Economia russo assinou um acordo de colaboração com o Ministério da Economia holandês que inclui medidores inteligentes e *smart grids* em geral. Em 2013, o Ministério da Economia holandês realizou um estudo de mercado de medidores inteligentes e *smart grids* na Rússia a fim de identificar os principais atores do mercado russo e as oportunidades de negócio para os atores holandeses (DNC KEMA, 2013). As coalizões que serão detalhadas posteriormente neste capítulo também constituem poderosos canais de transferência de conhecimento.

Já as instituições estipulam as normas e regras que regulam as interações entre os atores, englobando vários segmentos da sociedade (JACOBSSON e BERGEK, 2004). No caso de sistemas tecnológicos de *smart grids*, existem diferentes níveis de instituições relevantes. Destacam-se na prática dois níveis principais: um nível federal ou comunitário no caso da Europa, e o nível local, onde aplica-se a regulação. Em nível federal ou comunitário são geralmente fixados os grandes objetivos relativos à política energética, em particular em termos de sustentabilidade. Por exemplo, na Austrália, para reduzir as emissões de dióxido de carbono, o governo federal anunciou em 2009 uma meta obrigatória em termos de fontes de energia renováveis (*Mandatory Renewable Energy Target*) de 45 000 MW ou 20% do consumo total até 2020. Em relação à eficiência energética, o *Ministerial Council of Energy* lançou o *National Framework for Energy Efficiency* que inclui desenvolvimento de padrões de eficiência energética, educação do público e da indústria sobre redução do consumo, e luta contra os obstáculos regulatórios que impedem a adoção das tecnologias de *smart grids*.

No Canadá, o governo federal atua no processo de planejamento e organiza as discussões entre os *stakeholders* sobre a necessária padronização das instalações para permitir a interoperabilidade do sistema. Por isso criou uma força-tarefa chamada “*Task on Smart Grid Technology and Standards*” que tem por objetivo produzir planos de ação para o desenvolvimento de *smart grids*. O primeiro plano foi publicado em 2012, insistindo na

necessidade de definir padrões técnicos em nível nacional e internacional para permitir vender e comprar tecnologia nos mercados internacionais. A privacidade dos dados é uma questão também tratada no nível federal. Nesses dois países, a aplicação da política energética é responsabilidade dos estados ou das províncias. Cabe mencionar que nos Estados Unidos a situação é um pouco diferente, pois a política energética é majoritariamente definida em nível estadual (CRISPIM *et al.*, 2014).

A União Europeia também constitui uma instituição central no processo de implementação das *smart grids* nos seus diferentes países membros, pois a legislação comunitária determina em grande parte as políticas energéticas nacionais. Os “*Energy Packages*” sucessivos estabeleceram regras comuns respeito à organização e às instituições do mercado da energia. Uma série de outras legislações vêm fixando regras e obrigações comuns em áreas como a interconectividade entre os diferentes países, transações no mercado atacadista, segurança do fornecimento e promoção da eficiência energética (CRISPIM *et al.*, 2014). Em relação a *smart grids*, além do plano europeu sobre alterações climáticas que pode ser considerado como um *driver*, uma das manifestações mais notáveis da importância da União é o parágrafo 2 do anexo 1 da diretiva 2009/72/CE sobre as regras comuns do mercado interior da energia elétrica. O anexo 1 trata em particular das medidas relativas à proteção dos consumidores e nele o parágrafo em questão estipula que os estados membros da União são responsáveis pela implementação de sistemas inteligentes de medição que favoreçam a participação ativa dos consumidores no mercado de comercialização de energia elétrica. A implantação de tal sistema pode ser subordinada a uma avaliação econômica de longo prazo dos custos e dos benefícios ambos pelo mercado e pelos consumidores, considerados individualmente. Caso essa avaliação seja favorável, pelo menos 80% dos clientes deverão ser equipados com sistemas de medição inteligente até 2020 (EU, 2009). Assim, a maioria dos países membros da União já traduziram essa diretiva em direito local e estão implementando sistemas de medição inteligente em grande escala (EC, 2014a).

Em nível local²⁶ das instituições de um sistema tecnológico de *smart grids*, o quadro regulatório no sentido amplo é fundamental. Para melhor compreendê-lo, BRUNEKREEFT (2015) propõem estudar as suas seis dimensões:

- i) A elaboração de políticas e as instituições fundamentais: trata-se da elaboração das

26 O nível local designa aqui o nível de aplicação do quadro regulatório principal, ou seja nacional no caso dos países da União Europeia e outros países centralizados, e estadual ou provincial na maioria dos países federativos. Cabe chamar atenção no caso do Brasil que apesar de ser um país federal tem um sistema elétrico altamente centralizado em nível federal.

políticas governamentais, das leis e da regulação, influenciadas pelo quadro institucional federal. No caso dos países da União Europeia, a política energética é de responsabilidade dos governos nacionais, dentro do quadro legislativo comunitário. Em geral, são eles que definem a estrutura do sistema elétrico e os diferentes deveres e direitos dos atores, atribuem licenças e concessões, e escolhem as tecnologias de geração. Além disso, e segundo a política e os objetivos definidos pelo governo, o órgão regulador nacional atua principalmente como entidade responsável por criar um quadro que permita a integração de novos serviços na rede elétrica distribuindo os potenciais custos adicionais entre os atores que beneficiam-se com a solução (CRISPIM *et al.*, 2014)

- ii) Estrutura de mercado: é caracterizada por todas as companhias envolvidas em cada etapa da cadeia de valor do setor elétrico (estrutura de mercado vertical), a composição do mercado, as condições competitivas em diferentes níveis da cadeia de valor (estrutura de mercado horizontal) e os papéis e responsabilidades dos atores do mercado. A importância dessa dimensão é muito visível em países como a Itália onde existe uma distribuidora em situação de quase monopólio, a Enel Distribuzione, que facilitou fortemente a instalação de medidores inteligentes. Na França também, como será detalhado no terceiro capítulo deste trabalho, a predominância da EDF e das suas subsidiárias no setor elétrico constitui uma particularidade determinante²⁷. Ao contrário, na Alemanha, a pluralidade de distribuidoras aparece como uma barreira ao desenvolvimento de *smart grids*.
- iii) Desenho tarifário do mercado: os preços da energia elétrica são de importância crucial no que diz respeito à utilização de diferentes fontes de geração, à decisão de investimento em novas capacidades de geração, aos padrões de consumo e aos investimentos em tecnologia de economia de energia. Assim, os incentivos monetários e os investimentos em novas capacidade de geração contribuem no longo prazo à coordenação da geração e do consumo, enquanto os preços finais afetam diretamente os padrões de consumo. A formação de preços é altamente influenciada pela estrutura do mercado e pelo desenho de mercado subjacente, geralmente definido pelo governo.
- iv) Regulação sobre desenvolvimento da infraestrutura e da rede: a regulação explica

²⁷ Observa-se uma situação similar na China onde existem apenas duas companhias, a *State Grid Corporation of China* (SGCC) e a *China Southern Power Grid* (CSG) que representam respectivamente 80% e 20% do mercado da distribuição.

como os investimentos na infraestrutura de *smart grids* podem ser incentivados através da regulação do sistema ou da rede. Essas práticas regulatórias influenciam diretamente a operação da infraestrutura da rede atual e os investimentos na infraestrutura da rede futura.

- v) Coordenação da geração e do consumo: trata-se da descrição das políticas governamentais para equilibrar a geração e o consumo de energia elétrica no curto prazo, operação grandemente facilitada por várias tecnologias de *smart grids*.
- vi) O papel das tecnologias de comunicação e informação: a integração dessas tecnologias nos componentes do sistema ao longo da cadeia de valor é fundamental no desenvolvimento de uma *smart grid*. A área regulatória associada inclui a relevância das empresas de tecnologias de comunicação e informação, as questões de padronização, a segurança digital e o financiamento das pesquisas em *smart grids*.

O Quadro 4 apresenta uma síntese dos componentes de um sistema tecnológico de *smart grids* e as funções básicas associadas segundo a relação apresentada por Jacobsson e Bergek (2004).

Quadro 4: Componentes de um sistema tecnológico de *smart grids*.

| Tipos de componentes | Principais componentes | Principais funções associadas no sistema |
|-----------------------------|--|--|
| Atores | Geradoras | - Fornecimento de recursos - Criação de externalidades econômicas positivas |
| | Transmissoras e distribuidoras | - Fornecimento de recursos - Criação de externalidades econômicas positivas - Formação de mercado |
| | Comercializadoras | - Fornecimento de recursos - Criação de externalidades econômicas positivas - Formação de mercado |
| | Consumidores finais | - Criação de externalidades econômicas positivas |
| | Universidades, centros de pesquisa e consultoras | - Criação e a difusão de novos conhecimentos - Orientação da direção da pesquisa entre utilizadores e fornecedores de tecnologia - Fornecimento de recursos - Criação de externalidades econômicas positivas |
| | Empresas de tecnologia de comunicação e informação e de telecomunicações | - Criação e a difusão de novos conhecimentos - Orientação da direção da pesquisa entre utilizadores e fornecedores de tecnologia - Fornecimento de recursos - Criação de externalidades econômicas positivas - Formação de mercado |
| | Organizações que desenham, fabricam, testam, constroem, operam, fazem manutenção e gerenciam novas aplicações tecnológicas e em particular as soluções de <i>hardware</i> ou de serviços industriais | - Criação e a difusão de novos conhecimentos - Orientação da direção da pesquisa entre utilizadores e fornecedores de tecnologia - Fornecimento de recursos - Criação de externalidades econômicas positivas - Formação de mercado |
| | Associações representando diversos interesses | - Criação e a difusão de novos conhecimentos - Orientação da direção da pesquisa entre utilizadores e fornecedores de tecnologia - Criação de externalidades econômicas positivas |
| | Autoridades públicas e governo do país | - Criação e a difusão de novos conhecimentos - Orientação da direção da pesquisa entre utilizadores e fornecedores de tecnologia - Fornecimento de recursos - Criação de externalidades econômicas positivas - Formação de mercado |
| Redes | Colaboração tecnológica entre empresas | - Criação e a difusão de novos conhecimentos - Orientação da direção da pesquisa entre utilizadores e fornecedores de tecnologia - Criação de externalidades econômicas positivas |
| | Redes entre empresas e governos | - Criação e a difusão de novos conhecimentos - Orientação da direção da pesquisa entre utilizadores e fornecedores de tecnologia - Criação de externalidades econômicas positivas |
| | Redes entre o governo e as universidades | - Criação e a difusão de novos conhecimentos - Orientação da direção da pesquisa entre utilizadores e |

| | | |
|--------------|--|--|
| | | fornecedores de tecnologia - Fornecimento de recursos - Criação de externalidades econômicas positivas |
| | Transferência de tecnologia entre países | - Fornecimento de recursos - Criação de externalidades econômicas positivas - Formação de mercado |
| Instituições | Instituições federais, ou comunitária na Europa, que definem objetivos, favorecem a padronização das tecnologias e tratam as questões de privacidade dos dados | - Criação e a difusão de novos conhecimentos - Orientação da direção da pesquisa entre utilizadores e fornecedores de tecnologia - Fornecimento de recursos - Criação de externalidades econômicas positivas - Formação de mercado |
| | Políticas governamentais, leis e regulação | - Criação e a difusão de novos conhecimentos - Orientação da direção da pesquisa entre utilizadores e fornecedores de tecnologia - Fornecimento de recursos - Criação de externalidades econômicas positivas - Formação de mercado |
| | Estrutura de mercado | - Orientação da direção da pesquisa entre utilizadores e fornecedores de tecnologia - Criação de externalidades econômicas positivas - Formação de mercado |
| | Desenho tarifário do mercado | - Fornecimento de recursos como o capital ou as competências - Criação de externalidades econômicas positivas - Formação de mercado |
| | Regulação sobre desenvolvimento da infraestrutura e da rede | - Fornecimento de recursos - Criação de externalidades econômicas positivas |
| | Coordenação da geração e do consumo | - Criação de externalidades econômicas positivas |
| | Tecnologias de comunicação e informação | - Criação e a difusão de novos conhecimentos - Orientação da direção da pesquisa entre utilizadores e fornecedores de tecnologia - Fornecimento de recursos - Criação de externalidades econômicas positivas |

Fonte: Elaboração própria a partir de JACOBSSON e BERGEK (2004).

Observa-se no Quadro 4 certa redundância no apoio das diferentes funções de um sistema de tecnológico de *smart grids* pelos seus atores, o que mostra a existência de fato de uma sistema conforme definido no primeiro capítulo. Contudo, a formação de mercado, apesar de ser fundamental ao desenvolvimento de qualquer sistema tecnológico, aparece ser a função menos representada e então a mais frágil. Assim, esse fato vem confirmar que os sistemas tecnológicos de *smart grids* existem de fato, mas ainda se encontram no seu período formativo. Esse ponto será tratado na seção seguinte.

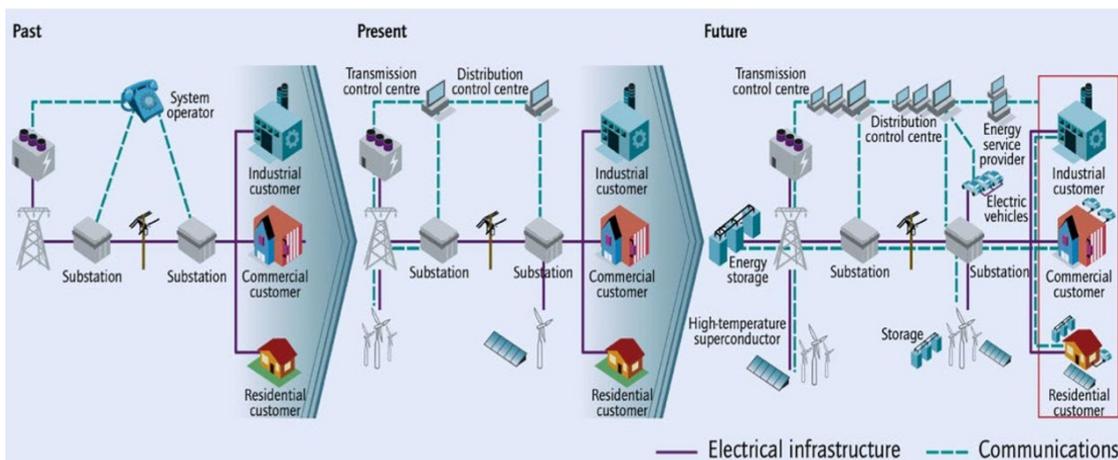
Com a apresentação dos diferentes componentes de um sistema tecnológico de *smart grids* e das suas relações, cabe entender como os atores estão se movendo hoje para

implementar efetivamente redes inteligentes no mundo.

2.2.3 A fase formativa dos sistemas tecnológicos de *smart grid*

Para transformar uma rede convencional em rede inteligente, precisa integrar uma série de tecnologias e componentes inovativos ao longo da cadeia de valor. A implementação dessas tecnologias e desses componentes inovativos é feita gradativamente no tempo de acordo com vários fatores tais como a atratividade comercial, a compatibilidade com as tecnologias existentes, as políticas regulatórias ou os ambientes de investimento (BRUNEKREEFT *et al.*, 2015). A Figura 4 ilustra o processo de modernização de uma rede convencional até uma rede inteligente.

Figura 4: Desenvolvimento de um sistema elétrico mais inteligente.



Fonte: IEA (2011, p. 6).

Hoje observa-se que algumas das tecnologias associadas a *smart grids* apresentadas na Figura 4 já têm alcançado certo nível de maturidade em alguns países, como, por exemplo, os sistemas de controle da rede ou as infraestruturas de medição avançada. Contudo, a implementação das *smart grids* em nível global ainda é muito prematura e várias tecnologias ainda são objeto de pesquisa e desenvolvimento (BRUNEKREEFT *et al.*, 2015). Assim, existe grande diversidade de um lado entre as tecnologias em relação ao seu nível de maturidade e de outro entre os países respeito à fase de desenvolvimento de certa tecnologia. Nesse sentido, para compreender a fase atual da evolução de sistemas tecnológicos de *smart*

grids, parece relevante usar o conceito de fase formativa de Jacobsson e Bergek (2004) exposto no primeiro capítulo. Como foi colocado pelos autores, no processo de emergência de um novo sistema tecnológico, a fase formativa é fundamental, pois é ela que determina se um processo de causas cumulativas (*cumulative causations*) vai surgir e tornar o sistema autossustentável ou se ele vai falhar (*market failure*). Esta seção propõe então caracterizar a fase formativa específica aos sistemas tecnológicos de *smart grids* para poder em seguida identificar os mecanismos de bloqueio próprios e as políticas públicas desenvolvidas.

A implementação das tecnologias de *smart grids* segue um caminho evolucionário (IEA, 2011; BRUNEKREEFT *et al.*, 2015). De maneira geral, o processo como um todo é demorado (MUENCH *et al.*, 2014) e muito incerto, e a repartição dos ganhos ao longo da cadeia de valor é dificilmente identificável pelos atores (CLASTRES, 2010). Portanto, observa-se uma atuação fundamental e estratégica das autoridades públicas no processo. A implementação efetiva das *smart grids* pode ser comparada com a maioria das outras inovações e assim dividida em três fases principais: pesquisa e desenvolvimento, projetos específicos de demonstração, e implementação de grande escala ou *roll-out*²⁸ (BRUNEKREEFT *et al.*, 2015).

Nos países da União Europeia, entre 2002 e 2014 foram investidos 3,15 bilhões de euros em um total de 459 projetos de pesquisa e desenvolvimento, demonstração e *roll-out*. Os projetos de pesquisa e desenvolvimento representam 26% do total investido, ou seja quase 1 bilhão de euros, enquanto os projetos de demonstração e *roll-out* nacional ou local respondem por 72% (EC, 2014b). Cabe destacar que os fundos regulatórios²⁹ e nacionais são investidos principalmente em projetos de demonstração e de *roll-out*. A predominância das atividades nesse tipo de projetos explica-se pelo fato deles desenvolverem um quadro para analisar os dados quantitativos e os benefícios, o que é necessário para construir o *business case* para tecnologias de *smart grids* rentáveis.

Como em qualquer sistema tecnológico, as atividades de pesquisa e desenvolvimento são indispensáveis na evolução das *smart grids*. Projetos de pesquisa e desenvolvimento compreendem trabalhos criativos empreendidos em uma base sistemática para aumentar o estoque de conhecimento incluindo o conhecimento do homem, da cultura e da sociedade. O

28 Cabe destacar que o *roll-out* já não faz mais parte da fase formativa de um sistema tecnológico e mostra certo grau de maturidade. Contudo, será estudado nessa seção, pois no caso das *smart grids*, os projetos de *roll-out* ainda são raros e remetem na maioria do tempo a implementação de uma tecnologia em particular e não às *smart grids* como um todo.

29 O órgão regulador não financia os projetos com os seus próprios recursos, mas através da tarifa.

termo de pesquisa e desenvolvimento engloba pesquisa básica, pesquisa aplicada e desenvolvimento experimental (EC, 2014b). Mais particularmente, as atividades de pesquisa e desenvolvimento fazem avançar a funcionalidade de *smart grids*, desenvolvendo tecnologias e ferramentas inovativas e de nova geração nas áreas de transmissão, distribuição, armazenamento de energia e eletrônica, e permitem avanços em termos de medidas sincronizadas no tempo de certos parâmetros das redes elétricas. As universidades, centros de pesquisa e consultoras desenvolvem um papel fundamental nessa área, pois são envolvidos em 30% dos projetos de pesquisa e desenvolvimento e realizam 54% dos investimentos em *smart grids* entre 2002 e 2014 na União Europeia (EC, 2014b).

Os projetos de demonstração vão dos projetos desenhados para testar a performance de uma tecnologia em diferentes ambientes operacionais aos projetos completos de experimentação da tecnologia nas instalações dos consumidores em condições reais de mercado. O objetivo desses projetos é expor a tecnologia a um ambiente de uso realista para testar a sua adequabilidade técnica e econômica ao seu uso generalizado (EC, 2014b).

Finalmente, os projetos de *roll-out* remetem à implementação de uma tecnologia, aplicação ou sistema como uma solução padrão dentro dos limites geográficos do projeto. Alguns projetos de *roll-out* são nacionais, enquanto outros são limitados a uma área geográfica menor (EC, 2014).

Contudo é importante mencionar que esses dados não incluem *roll-out* de medidores inteligentes, nem projetos pilotos realizados para estabelecer o análise custo/benefício. Devido às suas características próprias, eles são geralmente objeto de estudos específicos. Os medidores inteligentes são considerados como a tecnologia mais madura das *smart grids*, pois, de um lado, é a tecnologia que apresenta o maior nível de maturidade e de avanço (EC, 2014b) e, de outro, de acordo com a maioria dos estudos custo/benefício realizados nos países europeus conforme o pedido da União, o *roll-out* de medidores inteligentes já é rentável (EC, 2014a). São estimados em 35 bilhões de euros os investimentos totais na Europa para instalar aproximadamente 200 milhões de medidores até 2020. Assim, a taxa de instalação de medidores no continente deveria alcançar 72% em 2020. Contudo, é importante destacar que 23% disso são medidores já instalados na Finlândia, na Itália e na Suécia, países no quais a totalidade da população já está equipada (EC, 2014b). Assim, em certos países, essa tecnologia superou a fase formativa com sucesso, enquanto em outros ainda está na fase de pesquisa e teste.

Na fase formativa de sistemas tecnológicos de *smart grids*, a entrada no mercado de novas organizações (*new entrants*³⁰) também é muito importante. Elas permitem ampliar de um lado a estrutura de mercado horizontal entrando em competição com as empresas estabelecidas para produtos e serviços já existentes, e de outro a estrutura de mercado vertical oferecendo novos produtos ou serviços em novos mercados ou *niches*, ou usando o conhecimento existente de maneira inovativa modernizando produtos e serviços do setor elétrico (como empresas de comunicação e informação). A ampliação de estrutura de mercado horizontal permite aumentar o nível de concorrência, o que é considerado favorável à eficiência na alocação dos recursos, à baixa dos preços finais, à inovação e então à uma maior variedade de produtos e serviços competitivos propostos ao consumidor (BRUNEKREEFT *et al.*, 2015).

Outro aspecto importante da fase formativa dos sistemas tecnológicos de *smart grids* remete à mudança institucional³¹. Devido aos ganhos potenciais oriundos da implementação de tecnologias *smart grids* para os atores da cadeia de valor do setor elétrico, assim como aos fluxos informacionais que eles vão gerar, os sistemas de regulação devem ser adaptados para regular essas redes novas e para incentivar os investimentos. As novas ofertas tarifárias para os consumidores finais possibilitadas pelos medidores inteligentes devem favorecer a maior concorrência e então a busca por eficiências alocativas e produtivas (CLASTRES, 2010). Segundo Meeus *et al.* (2010, *apud* CLASTRES, 2010), existem várias barreiras institucionais que freiam o uso da nova tecnologia como o preço ao consumidor final regulado, a ausência de tarifação dinâmica ou diferenciada, alguma restrição na participação ao mercado ou esquemas de eficiência energética inapropriados.

Além disso, a mudança institucional é importante para a legitimidade da tecnologia. No caso da medição inteligente em particular, a participação dos consumidores é um determinante central do sucesso da tecnologia. Precisa-se então legitimar a nova tecnologia para eles assim como criar “*smart customers*” capazes de reagir aos sinais gerados pelos novos dispositivos (HEFFNER, 2011).

Finalmente, a formação de coalizão em torno da nova tecnologia também é fundamental para o desenvolvimento dos sistemas tecnológicos de *smart grids*, pois ela permite o engajamento dos atores nos debates políticos de modo a influenciar as instituições e

30 O termo “*new entrants*”, ou novos entrantes, remete aos atores que entraram recentemente em um mercado ou uma indústria.

31 Esse ponto será tratado com mais detalhamento na seção 2.2.5 sobre as políticas públicas.

a agenda política, o que pressupõe um convencimento de que a adoção de uma determinada tecnologia merece especial atenção dos *policy makers* (JACOBSSON e BERGEEK, 2004). Existem coalizões em nível internacional, regional e nacional. Das coalizões internacionais a *International Smart Grid Action Network* (ISGAN) é a mais relevante. A ISGAN é uma organização da IEA que busca implementar um programa de cooperação em termos de *smart grids* entre os governos dos principais países atores do setor, ou seja: Austrália, Áustria, Bélgica, Canadá, China, Dinamarca, União Europeia, Finlândia, França, Alemanha, Índia, Irlanda, Itália, Japão, República de Coreia, México, Holanda, Noruega, Rússia, África do Sul, Espanha, Suécia, Suíça, Reino Unido e Estados Unidos. O seu objetivo é favorecer o desenvolvimento e a implementação de tecnologias de *smart grids*, práticas e sistemas, assim como melhorar o entendimento das tecnologias de *smart grids*, práticas e sistemas para promover a adoção de políticas públicas de incentivo adaptadas. Além disso, a ISGAN facilita a difusão do conhecimento, a assistência técnica e a coordenação de projetos quando for necessário (ISGAN, 2015). Além da ISGAN, existem outras organizações internacionais que tem por missão contribuir à difusão das *smart grids* no mundo de diferentes maneiras. É o caso, por exemplo, da *Global Smart Grid Federation* (GSGF)³², que reúne diferentes coalizões nacionais, ou da *IEEE Smart Grid*, grupo profissionais de *smart grids* do mundo³³.

São numerosas as coalizões em nível nacional. Primeiro, elas podem se dar na forma de cooperação entre órgãos públicos e/ou organizações existentes. Devido ao caráter multidisciplinar das *smart grids*, é necessário coordenar os esforços entre as diferentes áreas (BRUNEKREEFT *et al.*, 2015). No setor empresarial, existem alianças entre diferentes organizações para reunir *know-how* por exemplo. É o caso da aliança entre Alstom e ERDF já mencionada. Esse tipo de aliança observa-se também em quase todos os projetos-pilotos que reúnem vários *know-how*. Em termos de políticas, segundo os *drivers* específicos a um país, a implementação de *smart grids* pode necessitar a coordenação das políticas energéticas, climáticas, de inovação e/ou econômicas. No Reino Unido por exemplo, os órgãos na base da política de implementação das *smart grids* são o órgão regulador nacional (*Office of Gas and Electricity Markets* - OFGEM) e o *Department of Energy and Climate Change* (DECC), responsável por incentivar a integração de fontes de energia renováveis na matriz elétrica. A partir deles foram criadas várias organizações representando diferentes *stakeholders* para atuar no desenvolvimento das *smart grids* (CRISPIM *et al.*, 2014).

32 Mais informações são disponíveis no site da GSGF: <http://www.globalsmartgridfederation.org/>

33 Mais informações são disponíveis no site da IEEE Smart Grid: <http://smartgrid.ieee.org/>

Na Austrália, não existe agência especial para supervisionar o desenvolvimento das *smart grids*, mas várias instituições federais trabalhando juntas para criar um ambiente propício à implementação das mesmas: *Australian Energy Market Commission, Australian Energy Regulator, the Australian Energy Market Operator, Department of Climate Change, Department of Resources, Energy and Tourism set Climate*,

Na Europa em nível comunitário, a principal coalizão é a *European Technology Platform for Electricity Networks of the Future (ETP SmartGrids)*. Trata-se de um fórum europeu estratégico criado em 2005 que tem por objetivo a cristalização das trajetórias de pesquisa e desenvolvimento sobre política e tecnologia no setor das *smart grids*, e a ligação das iniciativas em nível europeu (ETP SMARTGRIDS, 2015). Existe outras coalizões regionais como entre os Estados Unidos e o Canadá por exemplo, principalmente para estabelecer padrões de interoperabilidade necessários à interligação dos sistemas.

As coalizões nacionais podem também ser organizações desenhadas especificamente para ajudar na implementação de *Smart Grids*, reunindo diferentes *stakeholders* com diferentes interesses. No Reino Unido por exemplo, destaca-se o *Smart Grids Forum (SGF)*, grupo de líderes de opinião estratégicos, especialistas e investidores, e tem como objetivo identificar os desafios e as barreiras à implementação de *smart grids* e fornecer dados para ajudar a determinar o papel do OFGEM e do DECC nessa área (CRISPIM *et al.*, 2014). Na Austrália, a *Smart Grid Australia (SGA)* faz esse papel.

Concluindo, a implementação de *smart grids* no mundo foi firmemente iniciada mas ainda está na sua fase formativa e então arriscada em termos técnicos e econômicos. Assim, é importante identificar as potenciais barreiras à sua maturação de forma a implementar as políticas públicas necessárias para superá-las e assim possibilitar a autossustentabilidade do sistema. É o que se propõem a fazer as seções seguintes.

2.2.4 Falhas de mercado e barreiras à emergência dos sistemas tecnológicos de *smart grids*

Os sistemas tecnológicos podem enfrentar uma série de barreiras, ou seja, mecanismos que bloqueiam as suas funções (JACOBSSON e BERGEK, 2004) e freiam o processo de causas cumulativas já mencionado. Apesar delas serem específicas para cada país, procura-se nessa seção apresentar uma síntese das principais barreiras ao desenvolvimento de

smart grids verificadas em países selecionados e mais representativos. Muench *et al.* (2014) destacam quatro barreiras mais discutidas na literatura:

- i) as oportunidades de negócios não percebidas pelos usuários finais;
- ii) as preocupações respeito a segurança e privacidade dos dados;
- iii) a complexidade das tecnologias de *smart grids*; e
- iv) o planejamento insuficiente respeito à segurança dos dados.

Após estudo próprio e mais recente, os autores completam esta lista e estabelecem uma classificação para sintetizar o conjunto. Assim, eles distinguem três tipos de barreiras: as barreiras que remetem a custos e benefícios; as barreiras relacionadas ao conhecimento; e as barreiras devidas a mecanismos institucionais. No Quadro 5, eles apresentam os seus resultados relacionando cada barreira com a sua categoria, assim como com os atores mais envolvidos nela.

Quadro 5: Visão geral das categorias de barreiras a *smart grids* por *stakeholders*.

| | Custos e benefícios | Conhecimento | Mecanismos institucionais |
|--|---|---|---|
| <i>Policy-makers</i> | - Regulação prejudicando inovação - Regulação não permitindo planificação de segurança | - Alta complexidade da informação respeito ao sistema energético | - Adaptação fraca da estrutura organizacional dos fabricantes de tecnologia e dos diferentes operadores das rede - Problema do agente principal |
| Fornecedores de tecnologias <i>smart grid</i> | - Falta de percepção de oportunidades de negócios para o desenvolvimento de tecnologias de <i>smart grids</i> . | - Incerteza em respeito ao desenvolvimento do setor elétrico - Alta complexidade das tecnologias de <i>smart grids</i> | - Adaptação fraca da estrutura organizacional dos fabricantes de tecnologia e dos diferentes operadores das rede |
| Operadores da rede | - Falta de percepção de oportunidades de negócios para o desenvolvimento de tecnologias de <i>smart grids</i> . | - Falta de experiência com as tecnologias de <i>smart grids</i> | - Adaptação fraca da estrutura organizacional dos fabricantes de tecnologia e dos diferentes operadores das rede - Inexistência de infraestrutura de informação na área de energia - Problema do agente principal |
| Usuário final | - Falta de percepção de oportunidades de negócios para as aplicações de tecnologias de <i>smart grids</i> . | | - Conforto reduzido - Percepção de ameaça dos consumidores em termos de privacidade e segurança dos dados |

Fonte: Adaptação de MUENCH *et al.*, 2014.

Em termos de barreiras relacionadas a custos e benefícios, é interessante ressaltar a

análise realizada por Jacobsson e Bergek (2011). Para esses autores, a dificuldade de identificação dos ganhos para as organizações desestimula os investimentos, e em particular os investimentos em pesquisa e desenvolvimento, fundamentais na fase formativa. Verifica-se esse problema nos sistemas tecnológicos de *smart grids*, pois os ganhos potenciais são muito difusos ao longo da cadeia de valor do setor elétrico, o que dificulta a sua quantificação para cada ator (CLASTRES, 2010). Isso prejudica a necessária formação de mercados, pois dificulta a identificação de oportunidades de negócios (MUENCH *et al.*, 2014) e assim freia o potencial impulso dos *prime movers*³⁴. Uma regulação geral e tarifária incentivadora que permita a identificação e a repartição dos ganhos entre os diferentes atores é assim necessária para rentabilizar e então atrair os investimentos potenciais (CLASTRES, 2010).

Clastres (2010) aprofunda a análise lembrando que uma das vantagens das *smart grids* diz respeito à redução do congestionamento das redes, enquanto as mesmas geram rendas para os atores da cadeia do setor elétrico (GLACHANT e PIGNON, 2005 *apud* CLASTRES, 2010). Assim, a perda ou a diminuição da renda oriunda de congestionamento vai ter impactos diferenciados nos investimentos dependendo dos atores. Para certos atores como os consumidores e os proprietários de *merchant lines*, a redução de congestionamento será percebida como motivo para investir, enquanto para outros como os produtores ou os proprietários de redes existentes, poderá ser considerada como uma perda (CLASTRES, 2010).

Constata-se o impacto ambivalente da estrutura de mercado na superação das barreiras relacionadas a custos e benefícios. Em certos casos, os mercados onde predomina uma distribuidora, por exemplo, parecem ser mais favoráveis à implementação de novas tecnologias, que seja por mecanismos de mercado ou por incentivo público. Pode-se observar que na Itália, o poder de mercado da Enel Distribuzione favoreceu o *roll-out* de medidores inteligentes uma vez que ela viu nele uma oportunidade de negócio devida à redução das perdas não técnicas. Na França também, o poder da EDF, empresa pública, nos mercados, parece facilitar a implementação de políticas públicas. Nesses dois casos, a grande distribuidora serve de *prime mover* e permite a mudança no mercado. Contudo, Clastres (2010) observa que geralmente os atores que já tem certo poder nos mercados não consideram os ganhos oriundos do desenvolvimento de novas infraestruturas de rede suficientes para compensar os custos, e destaca então a necessidade de incentivos regulatórios.

34 O conceito de *prime mover* foi apresentado na seção 1.3.1

As barreiras relacionadas ao conhecimento dizem respeito à complexidade e à incerteza da informação sobre o sistema energético, sua regulação em geral e a regulação das tecnologias de *smart grids* em particular. Os atores do setor incluindo os *policy makers* não tem conhecimento exaustivo do setor da energia que, além de estar em uma fase de constante mudança, tende a ser cada vez mais complexo com a chegada das *smart grids*. Os benefícios desses últimos também não são detalhadamente entendidos. Ainda faltam resultados das experiências e existe um desconhecimento de como as *smart grids* funcionam em condições reais de mercado. A ausência de padronização também constitui uma barreira à generalização da produção de tecnologias de *smart grids* (MUENCH *et al.*, 2014).

Finalmente, existem também numerosas barreiras institucionais. Devido à sua importância neste trabalho, serão apresentadas com mais detalhamento e classificadas por *stakeholders*: *policy makers*; fabricantes de tecnologias de *smart grids*; operadores de redes; e usuários. Em relação aos *policy makers*, existe um problema de demora na adaptação à nova situação. Deve-se ao fato dos sistemas de regulação até então implementados não terem sido concebidos para promover a inovação tecnológica mas para garantir a eficiência do sistema elétrico e moderar os seus custos após a sua liberalização. Por exemplo, na Alemanha, o fator inovação é insuficientemente presente na regulação para incentivar as empresas. As distribuidoras podem recuperar apenas uma parte das suas despesas de pesquisa e desenvolvimento e apenas após longos prazos (MUENCH *et al.*, 2014). Além disso, existe um fator político que vem prejudicar a tomada de decisão. Os políticos devem lidar com a opinião dos seus partidos, dos seus eleitores e os fatores concretos em termos econômicos, sociais, tecnológicos, ecológicos e legais. Na hora de formular políticas, é comum os políticos focarem nos interesses dos seus partidos e dos seus eleitores potenciais, assim negligenciando os aspectos reais das problemáticas energéticas (MUENCH *et al.*, 2014). Em um sistema tecnológico de *smart grids*, podem assim constituir-se coalizões que prejudicam a legitimidade da nova tecnologia defendendo a tecnologia incumbente.

Do lado dos fabricantes de tecnologia, observa-se certa fraqueza na adaptação da estrutura organizacional. A necessidade de combinar departamentos antigamente separados como, por exemplo, *hardware* e *software*, cria novos desafios organizacionais devidos as suas culturas de trabalho diferentes. Além disso, por causa da complexidade crescente das tecnologias de transporte de energia inteligentes, as distribuidoras precisam de mais suporte dos fabricantes de tecnologia, que devem então transformar-se em provedores de soluções.

Enquanto algumas empresas já superaram esse desafio cultural, outras ainda precisam adaptar-se (MUENCH *et al.*, 2014).

Essa problemática da necessária adaptação da estrutura organizacional também vale para as distribuidoras, que devem enfrentar os novos desafios de um ambiente em constante mudança. Nesse contexto, observa-se certa relutância da parte dos executivos e dos funcionários em adotar novos padrões funcionais como ciclos de inovação mais curtos ou necessidade de priorizar a capacidade inovativa ao invés da eficiência dos custos. Além disso, apesar de ser um pré-requisito crucial para a transformação da rede em *smart grids*, a infraestrutura de informação no setor energético é um fator crítico. Constitui uma barreira institucional significativa relacionada às distribuidoras, pois a sua interrupção poderia ser altamente prejudicial. Portanto, a infraestrutura de informação precisa ter altos padrões de segurança e as suas partes críticas devem ser constantemente disponíveis. Finalmente, a última barreira dessa categoria remete ao conflito entre a duração do período necessário à rentabilização dos investimentos em *smart grids* (20 anos e mais), e a duração bem mais curta das carreiras dos tomadores de decisão nas empresas. O sucesso desses últimos é mais relacionado à performance operacional, e, portanto, eles tendem a pensar e tomar decisão no curto prazo (MUENCH *et al.* 2014).

A última categoria de barreiras institucionais é relacionada aos comportamentos dos usuários. Como já foi mencionado, o sucesso das aplicações de *demand response* depende da reação dos consumidores. Projetos-piloto mostraram que a reação desejada dos consumidores às informações colocadas à sua disposição não é durável, pois logo eles voltam aos seus padrões de consumo antigos. Deve-se a sua falta de percepção de oportunidades de negócios ou pelo menos de ganhos pessoais de tais tecnologias. Assim, elas passam a ser vistas como uma complicação a mais no cotidiano ao invés de uma fonte de economias. Além disso, foram formuladas numerosas preocupações respeito à privacidade e à segurança dos dados coletados pelos medidores inteligentes (MUENCH *et al.*, 2014). Na maioria dos países onde eles estão implantados, em conjunto com dispositivos de *demand response*, existem associações de consumidores lutando contra. Na Holanda, os debates sobre o assunto resultaram em uma legislação única na Europa, pois as distribuidoras devem por lei oferecer medidores inteligentes aos seus clientes, mas os consumidores ganharam o direito de recusar a instalação desses conforme a sua vontade (EC, 2014a).

Como alternativa à identificação e categorização das barreiras à implementação de

smart grids supracitadas, Muench *et al.* (2014) identificam três padrões estruturais que agem como mecanismos de bloqueio. Primeiro, existe uma interação bidirecional entre as organizações e o seu ambiente competitivo. Por exemplo, os incentivos regulatórios influenciam as percepções das oportunidades de negócios das distribuidoras. Reciprocamente, se uma distribuidora encontra sucesso lançando uma tecnologia *smart grids* para o consumidor final, é provável as outras distribuidoras seguirem e assim mudarem o ambiente competitivo. Segundo, por causa das barreiras relacionadas ao conhecimento e à incerteza sobre a regulação, as transmissoras e as distribuidoras atuam em um ambiente incerto. Por exemplo, a capacidade limitada das organizações em tratar a grande quantidade de informações sobre tecnologias de *smart grids* não permite a tomada de decisão em uma base de conhecimento completa. Terceiro, as barreiras relacionadas à fraca e lenta adaptação indica que os *stakeholders* do setor da energia ainda não se adaptaram aos novos requisitos do sistema energético. Pode-se explicar pela lentidão da reação à mudança externa ou pela falta de percepção da necessidade da adaptação. Portanto, as organizações experimentam o que MUENCH *et al.* (2014) chamam de inércia institucional.

Finalmente, é interessante expor brevemente o peculiar caso de implementação de medidores inteligentes no Reino Unido, pois ele destaca barreiras específicas a essa tecnologia. Sendo membro da União Europeia, como é o caso da França, o objetivo do país é equipar pelo menos 80% dos seus consumidores até 2020³⁵. Contudo, no seu último relatório, “*The Energy and Climate Change Committee*” (2015), a comissão do Parlamento britânico sobre mudança climática, mostrou-se bastante pessimista quanto ao cumprimento dos objetivos. Em particular, o relatório aponta que o governo falhou em cinco pontos. Como primeiro ponto, a comissão colocou que o governo deveria ter resolvido até agora os problemas técnicos de comunicação com as moradias compartilhadas e os grandes prédios. Segundo, aponta os problemas de compatibilidade entre as diferentes comercializadoras e os diferentes medidores. Em terceiro lugar, critica a demora no desempenho de um compromisso abrangente com o público sobre a instalação de medidores e o uso de longo prazo. O quarto ponto evidencia que o atraso das empresas de infraestrutura de comunicação escolhidas pelo governo criou desconfiança no programa. E, por último, observou-se certa relutância em

35 Sob a ótica legislativo, esse programa foi introduzido no quadro regulatório básico definido em 1989 (*Electricity Act 1989*) através de oito emendas efetivadas entre 2012 e 2015. Em linhas gerais, estas emendas estabelecem para as comercializadoras a obrigação de instalar medidores inteligentes em todos os seus consumidores. Assim, no Reino Unido, a implementação de medidores inteligente é responsabilidade das comercializadoras e não das distribuidoras como na maioria dos outros países.

melhorar a transparência publicando avaliações sobre o programa de medidores. A comissão considera esses problemas como sintomáticos de um programa que o governo deixou para as comercializadoras e falhou em impulsionar efetivamente. De acordo com a conclusão do relatório, se nada for feito e o governo não achar soluções para os problemas técnicos levantados, o projeto pode se tornar um ônus político e econômico (ENERGY AND CLIMATE CHANGE COMMITTEE, 2015).

2.2.5 Políticas públicas e regulação implementadas para favorecer a emergência de sistemas tecnológicos de *smart grids*

A necessidade de intervenção pública no setor da energia é amplamente reconhecida nos campos acadêmicos e políticos. Justifica-se principalmente pela existência de dois tipos de externalidades (JACOBSSON e BERGEK, 2011; BRUNEKREEFT *et al.*, 2015). As primeiras remetem às consequências negativas das emissões de poluentes associadas à geração elétrica. Essas são difíceis de medir economicamente e impactam a sociedade como um todo, e não apenas os atores responsáveis por elas. Assim, sem intervenção do governo, nem os produtores nem os consumidores teriam incentivos suficientes para considerar os seus impactos e agir de maneira mais sustentável. O segundo tipo são externalidades econômicas positivas. O progresso tecnológico depende fortemente da criação de novo conhecimento. Após a sua criação, esse conhecimento pode ser usado por todos os atores quase sem custos adicionais. Do ponto de vista da sociedade, as empresas não investem suficientemente porque uma parte significativa dos benefícios dos investimentos poderia ser usada por outros *stakeholders*. Assim, a ação do governo é necessária para incentivar as empresas em investirem em criação de conhecimento e inovação.

Além disso, as atividades de transmissão e distribuição sendo monopólios naturais são operadas mais eficientemente por um único ator (CLASTRES, 2010; BRUNEKREEFT *et al.*, 2015). Contudo, essa situação incentiva esse ator a praticar tarifas elevadas ou negligenciar a qualidade de serviço (BRUNEKREEFT *et al.*, 2015). Marques *et al.* (2014) completam esse ponto ressaltando que no longo prazo há diminuição dos custos marginais nessas duas atividades. Aparece assim necessária uma regulação sobre preços e qualidade para proteger os usuários dos potenciais abusos oriundos do mercado monopolístico, o que explica a existência generalizada de reguladores nacionais, mas também estaduais ou comunitários como na

Europa. Os órgãos reguladores têm dois tipos de objetivos associados à regulação de monopólios. O primeiro diz respeito ao controle da renda e dos preços das redes, e o segundo à segurança do acesso à infraestrutura monopolística para facilitar a concorrência entre os atores do mercado nas atividades comerciais da cadeia de valor do setor elétrico (BRUNEKREEFT *et al.*, 2015).

Essas problemáticas são de grande relevância ao tratar de *smart grids*, pois de um lado, um dos *drivers* principais para a sua implementação é a redução de emissão de poluentes e, por outro, elas necessitam investimentos em pesquisa e desenvolvimento como já foi explicado. Assim, dado o seu caráter evolucionário e o baixo nível de maturidade de algumas tecnologias de *smart grids*, a definição de orientações sistemáticas e de políticas públicas específicas de incentivo são essenciais para promover o desenvolvimento de *smart grids* (BRUNEKREEFT *et al.*, 2015). A complexidade dos sistemas e das relações entre os diferentes objetivos fixados pelas autoridades públicas necessita a combinação de diversas medidas. Diferentes áreas de conhecimento podem ser mobilizadas para alcançar esses objetivos, usando, por exemplo, mecanismos econômicos comuns³⁶, desenvolvimento de novas tecnologias e novos materiais, mudança comportamental dos consumidores ou dos produtores (CLASTRES, 2010).

Além disso, as inovações de *smart grids* concentram-se principalmente nas redes de transmissão e distribuição. Em função dos elevados custos iniciais de implementação combinados com a dificuldade de identificar os seus benefícios, a regulação tem um papel crucial no desenvolvimento de um quadro favorável à implementação de *smart grids* (CLASTRES, 2010; MARQUES *et al.*, 2014). Nesse sentido, Clastres (2010) insiste na necessidade de uma regulação dual: uma regulação de incentivo para promover e rentabilizar os investimentos especificando os ganhos associados para cada ator e definindo assim a sua parte na redistribuição das rendas da regulação; e uma regulação para administrar as diferentes informações geradas pelas *smart grids*³⁷.

A respeito dos investimentos, existem duas questões fundamentais a serem tratadas pelo órgão regulador e que remetem a quem investe e como financiar os mesmos. Em teoria, os investimentos de expansão da rede são realizados pelo dono da rede ou pelo operador do sistema, enquanto os investimentos de confiabilidade, em particular na rede de distribuição

36 Podem incluir as políticas de incentivo, o apoio à inovação e à pesquisa e desenvolvimento, a troca de licenças de emissões ou taxas, etc.

37 Esse tópico inclui a disponibilização dessas informações para os diferentes atores que as solicitam.

são decididos de maneira mais ótima pelo dono da rede. No caso das *smart grids*, esta distinção não aparece claramente. As tecnologias de *smart grids* visando a melhorar a confiabilidade do sistema e a torná-lo mais eficiente, elas podem encaixar-se tanto na categorias de investimentos de confiabilidade quanto na categoria dos investimentos de expansão, que o operador do sistema poderia considerar interessante realizar. Em relação aos investimentos em medidores inteligentes, observa-se que podem ser realizados por diversos atores, particularmente as distribuidoras ou as comercializadoras. Os beneficiários desses investimentos são múltiplos, o que complexifica a hierarquização dos benefícios para cada um, e então os mecanismos de repartição das rendas geradas que servem de incentivo à decisão de investir. O assunto dos investimentos em medidores inteligentes levanta também a questão da sua propriedade. Assim, será importante definir qual ator (distribuidora, comercializadora ou usuário) será proprietário dos aparelhos (CLASTRES, 2010). Em particular, a questão de definir se os medidores entram ou não na base de ativo da distribuidora é crucial pra regulação, principalmente em termos de tarifas.

Outra questão fundamental para o regulador é o modo de financiamento dos investimentos. As duas opções possíveis são os modelos *price-cap*³⁸ ou tarifação com base no custo marginal, e *cost-plus*³⁹. Geralmente, usa-se uma regulação *cost plus* para estimular a implementação de inovações na rede reduzindo a incerteza sobre a sua adoção, enquanto o modelo *price-cap* é preferido para garantir a eficiência dos custos. Contudo, o caráter difuso das tecnologias de *smart grids* vem modificar a eficácia desses mecanismos e requer assim uma regulação específica ou uma combinação de diferentes mecanismos (CLASTRES, 2010; MARQUES *et al.*, 2014).

Paralelamente à função regulatória que remete ao incentivo dos investimentos, existe também uma necessidade da regulação permitir melhorar o sistema informacional. As *smart grids* requerem um quadro especial para regular tanto a propriedade quanto as modalidades de cessão das informações geradas pelas diferentes tecnologias implementadas. Em particular, a questão da definição do seu preço é crucial. Deve-se decidir se esse último será determinado por uma negociação, pela regulação ou pelo mercado. Essa problemática é altamente relacionada à propriedade dos medidores (CLASTRES, 2010).

38 A tarifação *price cap* é um método de tarifação que consiste em limitar em um período definido as rendas de uma empresa em situação de monopólio.

39 A tarifação *cost plus* é uma estratégia de tarifação que consiste em estabelecer uma tarifa baseando-se no custo marginal de produção ao qual adiciona-se uma margem definida pelo órgão regulador. Serve em geral para proteger as inovações cujo custo de implementação ainda é elevado demais para elas serem competitivas nos mercados. Uma crítica a essa estratégia é que ela não incita à busca de redução desses custos.

Frente os novos desafios políticos e regulatórios supracitados, os governos implementaram diferentes combinações de diversas medidas conforme os contextos local e o seus objetivos específicos. Para apresentar uma visão geral delas, serão usados os seis tipos principais de políticas de incentivo à implementação de *smart grids* destacados por Brunekreeft (2015):

- i) Definição de uma política estratégica governamental de longo prazo de desenvolvimento do sistema elétrico do futuro. Tal política permite reduzir os riscos relacionados a investimentos para os potenciais investidores em pesquisa e desenvolvimento e em implementação de *smart grids*. A maioria dos governos dos países envolvidos no desenvolvimento de *smart grids* tem desenvolvido uma estratégia e realizado planos de ações de médio ou longo prazo para implementar as *smart grids*. Além disso existem planos de ações na escala europeia a até mundial⁴⁰.
- ii) Implementação de medidas regulatórias para incentivar as transmissoras e as distribuidoras a investir em tecnologias de *smart grids*. O exemplo mais significativo desse tipo de políticas são as legislações implementadas para o desenvolvimento de medidores inteligentes. Na maioria dos países equipados ou em curso de equipamento existe uma lei ou outro dispositivo legislativo para fixar objetivos de implementação e designar o responsável por ela. Por exemplo, na Itália como em grande parte dos casos na Europa, a responsabilidade é da distribuidora, enquanto no Reino Unido, é das comercializadoras (EC, 2014a). Além disso, decisões regulatórias vêm definir as diversas modalidades como, por exemplo, a possibilidade de repassar os custos para a tarifa final.
- iii) Promoção de um sistema de gerenciamento e de acesso aos dados do sistema que seja não-discriminatório, para permitir a todas as empresas de desenvolver modelos de negócios (*business models*) inovativos. Por exemplo, na Europa, alguns países como a Dinamarca ou o Reino Unido estão experimentando um sistema de administração de dados por uma entidade separada, que fica responsável por fornecer os dados para terceiras partes, dissociando assim o tratamento dos dados do medidor físico (EC, 2014a).
- iv) Financiamento governamental parcial da pesquisa e desenvolvimento para aumentar o nível de maturidade das tecnologias de *smart grids*. Por exemplo, na Austrália,

40 A IEA publicou em 2011 um documento intitulado “Technology Roadmap: Smart Grid” (IEA, 2011).

destaca-se um programa nacional de pesquisa chamado “*The Future Grid Research Program*”. Essa colaboração entre a organização governamental para pesquisa científica chamada “*Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation*” (CSIRO) e quatro das maiores universidades australianas (Sidney, Newcastle, Queensland e New South Wales) apoia-se em uma verba de 13 milhões de dólares australianos para desenvolver uma capacidade nacional de planejar e desenhar uma rede altamente eficiente e sustentável e ajudar nas escolhas dos *decision makers*. O projeto é financiado pelos parceiros das universidades com contribuições no montante de 10 milhões de dólares australianos e por 3 milhões de dólares australianos do fundo do próprio CSIRO (FUTURE GRID, 2015).

- v) Apoio à padronização relativa à rede, definição de diretrizes técnicas e de regulação para reduzir os custos de *roll-out* e integração de diferentes componentes de *smart grids* garantindo a interoperabilidade do sistema. No caso do Canadá, o governo federal atua no processo de planejamento e organiza as discussões entre os *stakeholders* para minimizar as diferenças entre as províncias. Em particular, identificou como prioridade a padronização dos produtos e serviços das diferentes tecnologias, como medidores inteligentes ou veículos elétricos para permitir de um lado a interoperabilidade do sistema, e de outro a formação de mercados em nível nacional e a adequação aos mercados internacionais.
- vi) Promoção de intercâmbios e de colaboração entre as diferentes organizações governamentais, as empresas do setor elétrico e outros atores relevantes para criar um entendimento comum das *smart grids*. Pode citar-se as coalizões nacionais apresentadas anteriormente, como no Reino Unido por exemplo. Cabe mencionar aqui também a existência de políticas sobre proteção e privacidade dos dados. Na Europa por exemplo, esse assunto é regulado pela diretiva 95/46/EC (EC, 2014a).

O segundo capítulo procurou identificar um possível enquadramento das tecnologias de *smart grids* como um sistema tecnológico, com o objetivo de especificar as principais barreiras ao seu desenvolvimento e as políticas implementadas no mundo para superá-las. Foi assim demonstrado que tais sistemas ainda estão na sua fase formativa e, portanto, precisam superar um série de barreiras para tornar-se autossustentáveis. Por isso os governos já implementaram diferentes medidas que podem variar conforme os seus objetivos e as suas especificidades econômicas e sociais. À guisa de conclusão desse capítulo, o Quadro 6

apresenta para cada função de um sistema tecnológico as barreiras associadas assim como as políticas públicas existentes para superá-las.

Quadro 6: Barreiras e políticas públicas de incentivo à implementação de *smart grids* por função do sistema tecnológico.

| Barreiras | Políticas públicas |
|---|---|
| Criação e difusão de novos conhecimentos | |
| <ul style="list-style-type: none"> - Falta de percepção de oportunidades de negócios para tecnologias de <i>smart grids</i>. - Complexidade da informação a respeito do sistema energético - Complexidade das tecnologias de <i>smart grids</i> - Incerteza a respeito do desenvolvimento do setor elétrico - Incerteza sobre padrões de segurança dos dados - Conflito de interesse para os <i>policy makers</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Financiamento governamental parcial da pesquisa e desenvolvimento - Promoção de intercâmbios e colaboração entre as diferentes organizações governamentais, as empresas do setor elétrico e outros atores relevantes |
| Orientação da direção da pesquisa entre utilizadores e fornecedores de tecnologia | |
| <ul style="list-style-type: none"> - Complexidade da informação em respeito ao sistema energético - Complexidade das tecnologias de <i>smart grids</i> - Incerteza em respeito ao desenvolvimento do setor elétrico - Incerteza sobre padrões de segurança dos dados - Dificuldade de adaptação dos <i>policy makers</i> à nova situação - Conflito de interesse para os <i>policy makers</i> | <ul style="list-style-type: none"> - Definição uma estratégia governamental de longo prazo de desenvolvimento do sistema elétrico do futuro - Implementação de medidas regulatórias para incentivar as transmissoras e as distribuidoras a investir em tecnologias de <i>smart grids</i>. - Financiamento governamental parcial da pesquisa e desenvolvimento - Apoio à padronização relativa à rede, definição de diretrizes técnicas e de regulação - Promoção de intercâmbios e colaboração entre as diferentes organizações governamentais, as empresas do setor elétrico e outros atores relevantes |
| Fornecimento de recursos como o capital ou competências | |
| <ul style="list-style-type: none"> - Adaptação fraca da estrutura organizacional dos fabricantes de tecnologia e dos diferentes operadores das rede - Inexistência de infraestrutura de informação na área de energia - Percepção de ameaça dos consumidores em termos de privacidade e segurança dos dados | <ul style="list-style-type: none"> - Definição uma estratégia governamental de longo prazo de desenvolvimento do sistema elétrico do futuro - Promoção dos intercâmbios e da colaboração entre as diferentes organizações governamentais, as empresas do setor elétrico e outros atores relevantes |
| Criação de externalidades positivas | |
| <ul style="list-style-type: none"> - Adaptação fraca da estrutura organizacional dos fabricantes de tecnologia e dos diferentes operadores das rede - Inexistência de infraestrutura de informação na área de energia | <ul style="list-style-type: none"> - Promoção de um sistema de gerenciamento de acesso aos dados do sistema que seja não-discriminatório e neutro em termos de tecnologia - Apoio à padronização relativa à rede, definição de diretrizes técnicas e de regulação |
| Formação de mercado | |
| <ul style="list-style-type: none"> - Regulação prejudicando a inovação - Regulação não permitindo planificação de segurança - Falta de percepção de oportunidades de negócios para tecnologias de <i>smart grids</i>. - Incerteza respeito ao desenvolvimento do setor elétrico - Incerteza sobre padrões de segurança dos dados - Dificuldade de adaptação dos <i>policy makers</i> à nova situação | <ul style="list-style-type: none"> - Definição uma estratégia governamental de longo prazo de desenvolvimento do sistema elétrico do futuro - Implementação de medidas regulatórias para incentivar as transmissoras e as distribuidoras a investir em tecnologias de <i>smart grids</i>. - Promoção de um sistema de gerenciamento de acesso aos dados do sistema que seja não-discriminatório e neutro em termos de tecnologia |

| | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - Conflito de interesse para os <i>policy makers</i> - Inexistência de infraestrutura de informação na área de energia - Percepção de ameaça dos consumidores em termos de privacidade e segurança dos dados | <ul style="list-style-type: none"> - Políticas sobre proteção dos dados |
|--|--|

Fontes: Adaptação de JACOBSSON e BERGEK (2004), MUENCH *et al.* (2014) e BRUNEKREEFT (2015).

Uma vez enquadradas as tecnologias de *smart grids* no quadro teórico e analítico de sistemas tecnológicos, esse trabalho propõe-se a estudar o caso particular da França que será o objeto do terceiro e último capítulo.

3 ESTUDO DE CASO DO SISTEMA TECNOLÓGICO DE *SMART GRIDS* E AS POLÍTICAS PÚBLICAS DE INCENTIVO AO SEU DESENVOLVIMENTO NA FRANÇA

Os dois primeiros capítulos enquadraram as tecnologias de *smart grids* na abordagem teórico-analítica de sistemas tecnológicos. Tal abordagem permite compreender a complexidade da dinâmica do processo da sua implementação e assim fornecer subsídios para a elaboração de políticas públicas.

As políticas públicas revelam-se cruciais na implementação de *smart grids*, pelas razões analisadas anteriormente. Assim, observa-se no mundo uma série de diferentes medidas, em nível internacional, continental e nacional, sendo implementadas para fazer emergir e em seguida sustentar sistemas tecnológicos de *smart grids*.

A França, membro da ISGAN⁴¹, faz parte do grupo de países mais ativos nessa área. Destaca-se por ser o maior investidor em volume de recursos na Europa em projetos de *smart grids*, e por ser um mercado potencialmente importante em comparação a outros países europeus, devido à sua dimensão econômica⁴² e populacional⁴³. Pode-se citar para ilustrar esse ponto o mercado francês de 35 milhões de medidores inteligentes (CRE, 2015a).

Além disso, a França tem uma estrutura do setor elétrico muito peculiar, devido principalmente à predominância da empresa pública EDF, líder mundial em energia elétrica e presente ao longo de toda a cadeia de valor. Essa presença do Estado permite desenvolver um papel importante na aplicação das políticas públicas. Nesse sentido, a França constitui um estudo de caso com consistência e riqueza analítica.

A França está interessada em desenvolver *smart grids* por duas razões principais. De um lado, na avaliação do país trata-se de um meio crucial para alcançar os objetivos ambientais fixados em nível europeu e sustentar o seu projeto nacional de transição energética. De outro, as *smart grids* constituem um dos eixos do projeto francês de reindustrialização em torno de novas tecnologias, e assim uma alavanca de crescimento econômico.

41 Os membros da ISGAN são principalmente governos. A adesão depende de um convite do *ISGAN Executive Committee* e é voluntária. Os membros entregam periodicamente relatórios sobre os seus progressos e projetos para facilitar o compartilhamento do conhecimento, a assistência técnica e a coordenação de projetos (ISGAN, 2015).

42 O PIB da França chegou a \$US 2,8 bilhões em 2014.

43 Com 66 milhões de habitantes em 2014, a França é o segundo país mais populoso da União Europeia junto com o Reino Unido, depois da Alemanha que conta 81 milhões de habitantes (BANQUE MONDIALE, 2015b).

Neste sentido, o terceiro capítulo propõe-se apresentar a experiência francesa de implementação de *smart grids* à luz do quadro teórico e analítico definido, com um foco particular no aspecto regulatório. Por isso, a primeira seção apresenta brevemente o contexto francês, e em particular o sistema de inovação, o setor elétrico e o projeto de transição energética. A segunda seção é a descrição do sistema tecnológico de *smart grids* francês. Constatando que, apesar de existir, ele permanece em sua fase formativa, e ainda incerta, sendo examinadas as barreiras que o sistema tecnológico enfrenta e as políticas públicas implementadas para promover o seu desenvolvimento sustentado.

3.1. CONTEXTO NACIONAL

A implementação de *smart grids* na França inscreve-se dentro de um contexto nacional próprio que a influencia de maneira determinante, sendo importante apresentá-lo com particular ênfase no sistema de inovação e no setor elétrico.

3.1.1 O sistema nacional de inovação francês

Para apresentar o ambiente inovativo no qual a implementação de *smart grids* está se desenvolvendo na França, pode usar-se o conceito de sistema nacional de inovação. Como foi mencionado no primeiro capítulo, um sistema nacional de inovação remete a uma rede institucional cujas interações determinam a *performance* inovativa das firmas nacionais (OCDE, 1997). Segundo um relatório publicado pela OCDE em 2014 com o objetivo de avaliar o sistema francês de inovação, esse último é oriundo de uma trajetória marcada por um sucesso desde o período pós Segunda Guerra, com a construção de um sistema científico sofisticado e numerosas realizações tecnológicas resultando de grandes programas nacionais.

Contudo, de um lado, as condições gerais de pesquisa e de inovação mudaram requerendo agora mais abertura, flexibilidade e adaptabilidade, e de outro as condições básicas da economia francesa são pouco favoráveis à inovação, por causa em particular do déficit de crescimento relacionado a uma competitividade geral degradada desde a crise de 2008 (OCDE, 2014).

Segundo o mesmo relatório (OCDE, 2014), a *performance* da França em termos

científicos é de nível médio se comparada com outros países europeus⁴⁴. A França gasta menos em pesquisa e desenvolvimento do que os seus principais concorrentes como a Alemanha. Esse último ponto deve-se à sua estrutura setorial e em particular à fraqueza do seu setor industrial que declinou significativamente a partir dos anos 1980⁴⁵. Assim ela tende a ser mais competitiva nos setores pouco intensivos em pesquisa e desenvolvimento como, por exemplo, a construção civil ou o setor do luxo⁴⁶.

Para enfrentar os desafios supracitados, uma série de reformas está em curso desde os anos 1990. A pesquisa pública francesa é tradicionalmente centralizada em organismos públicos de pesquisa que são tradicionalmente responsáveis pela administração estratégica, o financiamento, a execução e a avaliação da pesquisa. As reformas estão redefinindo as funções de diferentes órgãos. Segundo essa nova divisão, o Estado é responsável pela administração estratégica, ou seja principalmente pela definição da estratégia nacional e pela administração dos grandes programas de financiamento como o *Programme d'investissements d'Avenir*⁴⁷. À agência nacional da pesquisa (*Agence nationale de la recherche*) cabe a responsabilidade da administração do financiamento (por projeto), à uma agência especializada independente a avaliação, e às universidades a execução da pesquisa (OCDE, 2014).

Assim diversos organismos e programas garantem uma forte densidade da presença pública na área da inovação industrial. O ministério da educação nacional, do ensino superior e da pesquisa assim como outros atores públicos implementaram numerosos dispositivos para desenvolver as atividades de pesquisa e de inovação nas empresas, para apoiar os criadores de empresas inovativas e para favorecer as transferências de conhecimento entre as empresas e os centros de pesquisa. Os principais programas são: o crédito fiscal para a pesquisa (*le crédit impôt recherche*)⁴⁸; as convenções industriais de treinamento pela pesquisa; os institutos Carnot⁴⁹; a nova empresa inovativa (*la jeune entreprise innovante*); a nova empresa

44 O número de publicações e citações científicas é maior na França do que nos países do Sul, mas menor do que nos países da Europa do Norte, na Alemanha ou no Reino Unido (OCDE, 2014).

45 Em 1981, o setor industrial representava 29,9% do produto interior bruto. Diminuiu para 22,9% em 2001 e 19,4% em 2014 (BANQUE MONDIALE, 2015a).

46 O setor do luxo francês inclui principalmente marcas de moda, perfumes, cosméticos de luxo e álcool. O principal grupo de luxo francês é LVMH. Ele possui entre outros as marcas Louis Vuitton, Gucci ou Fendi, assim como marcas de bebidas como Moët et Chandon ou Veuve Clicquot.

47 O conceito será apresentado posteriormente nesta seção.

48 O crédito fiscal para a pesquisa francês é um dos mais generosos do mundo (OCDE, 2014).

49 Os *Instituts Carnot* são estruturas de pesquisa pública que têm por objetivo desenvolver a pesquisa em parceria, principalmente para favorecer a inovação nas empresas, tanto nas pequenas e médias empresas quanto nos grandes grupos (INSTITUTS CARNOT, 2015).

universitária (*la jeune entreprise universitaire*); os laboratórios ou estruturas comuns de pesquisa público/privado; os polos de competitividade (*les pôles de compétitivité*); os incubadores de empresas; o I-Lab; o empreendedorismo estudantil; as sociedades aceleração de transferência de tecnologias; os institutos de pesquisa tecnológica; e as pequenas e medias empresas no coração da Europa (MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE, DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE, 2015).

Entre esses programas, cabe apresentar aqui os três mais importantes no contexto desta dissertação. Primeiro, pode citar-se a criação em 2004 de um sistema intitulado polos de competitividades (*pôles de compétitivité*) para melhorar a competitividade do país. Um polo de competitividade reúne, em um território definido e ao redor de uma temática precisa, pequenas e grandes empresas, laboratórios de pesquisa e institutos de formação, em estreita colaboração com as autoridades públicas nacionais. O seu objetivo principal é apoiar a inovação, priorizando projetos de pesquisa e desenvolvimento particularmente inovativos. Ele também acompanha o desenvolvimento e o crescimento das suas empresas membros ajudando-as a colocar nos mercados os novos produtos nascidos dos projetos de pesquisa (GOUVERNEMENT FRANÇAIS, 2015d).

Em segundo lugar tem-se o programa demonstradores de pesquisa (*démonstrateurs de recherche*) que experimentam em condições reais de funcionamento as opções tecnológicas oriundas das atividades de pesquisa para avaliar os seus aspectos técnicos, mas também os modelos de negócios possíveis e a sua aceitação social. Um fundo de apoio público para a realização desse programa foi implementado em 2008 (MOISAN, 2011).

Por fim, o programa de investimentos do futuro (*programme d'investissements d'avenir*) foi lançado em 2010 para continuar e amplificar a ação do fundo de demonstradores de pesquisa. Com uma verba global de 47 bilhões de euros, o seu objetivo é promover a excelência francesa em termos de ensino superior e de pesquisa. Focando em seis eixos reconhecidos como estratégicos pelo futuro do país, ele financia um contingente de ações abrangendo a pesquisa fundamental, o treinamento, a transferência de tecnologia e a inovação industrial, dentre outros (MOISAN, 2011; GOUVERNEMENT FRANÇAIS, 2015).

O fundo de demonstradores de pesquisa e o programa de investimento do futuro são administrados pelo governo em conjunto com a agência para o controle da energia (*Agence pour la Maîtrise de l'Énergie*) e a agência nacional da pesquisa, e funcionam com um sistema de leilões específicos para cada projeto, chamados “*appel à manifestation d'intérêts*”.

3.1.2 O setor elétrico francês

Além do ambiente inovativo, é importante examinar, ainda que de forma resumida, o setor elétrico francês, para entender o contexto em qual acontece a implementação de *smart grids*. Apesar da liberalização do mercado da energia elétrica em 1997⁵⁰, a *Electricité de France* (EDF), sociedade anônima com participação de quase 85% do Estado francês, permanece o ator predominante do setor elétrico francês. Ela desenvolve um papel central na atividade de geração, e através das suas subsidiárias RTE e ERDF, na transmissão e na distribuição.

A matriz elétrica francesa é dominada pela fonte nuclear⁵¹. A opção por essa fonte ocorreu após o primeiro choque do petróleo com o intuito de tornar o país menos dependente energeticamente de seus vizinhos (WILDT, 2013). Em 2012, 75% dos 539,8 TWh gerados eram oriundo de fonte nuclear (EUROSTAT, 2013). No entanto, esta escolha está sendo reconsiderada, conforme explicado na próxima seção sobre a transição energética.

As fontes solar e eólica estão ganhando espaço na geração. A energia solar na França vem crescendo a taxas superiores a 100% anual, passando de 42 GWh em 2008 para 4 TWh em 2012. Por sua parte, a geração eólica cresceu a taxas maiores de 20% ao ano desde 2008 até 2012 (EUROSTAT, 2013).

A França é um exportador líquido de energia elétrica, cerca de 80% da eletricidade gerada sendo destinada ao consumo final, e o restante exportado nos países vizinhos (CRE, 2015).

São contabilizados 30,8 milhões de consumidores residenciais, que representam 36% do consumo de energia elétrica total de 434 TWh em 2012. Já o consumo dos serviços é responsável por 32% e o consumo do setor industrial por 26% do consumo total. Segundo um estudo da RTE (2014), no período 2011-2014, o consumo total variou principalmente segundo o clima, pois, uma vez o fator climático removido, ele permaneceu relativamente estável. Apesar do consumo industrial total permanecer estável no período (fator climático removido), observam-se variações do consumo dos diferentes setores industriais em função do seu dinamismo econômico próprio (RTE, 2014).

50 Assim como nos demais países da União Europeia, a liberalização do mercado elétrico francês segue as Diretivas do Conselho e do Parlamento Europeu (Diretiva 96/92/EC e Diretiva 2003/54/EC) que estabelecem as condições gerais para garantir a criação de um mercado interno único de eletricidade na Europa.

51 Segundo a RTE (2014), no final de 2014 na França, dos 129 GW de capacidade instalada, 48,9% correspondia à fonte nuclear, 18,9% à termoeleétrica, 19,7% à hídrica, 7,2% à eólica e 4,1% à solar.

Em 2012, a rede de transmissão da França contava 104.684 km de linhas, dos quais 48% em extra alta voltagem (225 e 400 kV), para longas distâncias e interconexões com os países vizinhos e 52% em alta voltagem para distribuição regional, todas pertencendo e operadas pela RTE (RTE, 2014). Em 2015, a ERDF, principal ator da distribuição na França com 95% do mercado, possui 1,3 milhão de km de rede para atender mais de 35 milhões de usuários, a maioria em baixa tensão (ERDF, 2015a). Existem 156 outras distribuidoras locais que atuam nos 5% restantes do mercado. As redes de distribuição são ligadas ao sistema principal de transmissão via RTE com 2.350 subestações espalhadas pelo país (RTE, 2015).

No que diz respeito à organização do setor elétrico, os dois maiores atores institucionais são o *Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie*, e o órgão regulador, a *Commission de Régulation de l'Énergie* (CRE). Os diferentes atores e seus papéis no sistema elétrico da França serão detalhados na seção 3.2.2.

O mercado de eletricidade francês oferece dois sistemas tarifários diferenciados (MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE, 2015d):

- i) tarifas livres: os clientes contratam energia de um fornecedor da sua escolha que fixa livremente a sua tarifa; e
- ii) tarifas reguladas de venda: os clientes tem um contrato com o operador (EDF ou empresa de distribuição local) com tarifas de venda definidas pelo governo com base nos custos reais arcados pelo fornecedor.

A tarifa regulada é composta por (MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE, 2015d):

- i) O custo da energia fixado pelo Estado a partir dos custos de produção da EDF. Inclui os custos de produção de eletricidade (investimentos, despesas operacionais) e custos de comercialização (serviços ao cliente, faturação e sistemas de informação);
- ii) O custo de transporte ou *Tarifs d'utilisation des réseaux publics d'électricité* (TURPE) fixado pela CRE, que inclui os custos de operação das redes de transmissão e distribuição; e
- iii) Os impostos e encargos, fixados pelo Estado ou zonas regionais (municípios ou regiões).

Dentro da tarifa regulada, existem três tipos de tarifas finais dependendo da base de potência utilizada pelo consumidor: tarifa azul, para consumidores residenciais e pequenas

empresas com potência instalada inferior a 36 kVA; tarifa amarela, para empresas com consumo médio, entre 36 e 250 kVA, e tarifa verde, para empresas com alto consumo, mais de 250 kVA. De acordo com a legislação europeia, as tarifas para consumidores acima de 36 kVA não serão mais aplicadas a partir de 31 de dezembro de 2015⁵² (MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE, 2015d).

É importante destacar que em função de a energia elétrica ser considerada como “produto de primeira necessidade” pelo decreto de 8 de abril de 2004, existem preços subsidiados especiais para consumidores de baixa renda familiar (MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE, 2015d).

Assim, a particularidade fundamental do setor elétrico francês é a situação de quase monopólio da EDF, cujo acionista principal é o Estado francês. Além disso, a estratégia baseada na fonte de geração nuclear também constitui uma característica importante que vem sendo questionada ao longo dos últimos anos. O acidente nuclear de Fukushima, de um lado, e as obrigações europeias sobre integração de fontes renováveis, de outro, levaram o governo a reformular a sua política energética (WILDT, 2013). É nesse contexto que o conceito de transição energética, estreitamente ligado às *smart grids*, foi desenvolvido. A seção seguinte propõe-se então apresentar os desafios enfrentados pelo setor elétrico francês como *drivers* à implementação de *smart grids*.

3.1.3 Transição energética e outros *drivers* de *smart grids* na França

Frente aos desafios nacionais e internacionais, principalmente relacionados ao clima, a política energética da França está sendo profundamente reformulada. O conceito de transição energética foi oficializado pela promulgação da lei sobre *transition énergétique pour la croissance verte* (transição energética pelo crescimento verde) no dia 17 de agosto de 2015⁵³. O texto fixa os grandes objetivos do novo modelo energético francês, em linhas com as diretrizes da União Europeia e, em alguns casos, com metas ainda mais ambiciosas. Mais

52 O final da tarifa verde, tarifa especial para as empresas cuja potência é superior a 36 kVA, acontece no contexto do avanço da abertura à concorrência dos mercados de energia. Assim, segundo o artigo L. 337-9 do código da energia (*code de l'énergie*), não se pode aplicar um tarifa regulada para tais consumidores a partir do primeiro de janeiro de 2016 (EDF, 2015).

53 No momento da conclusão desta dissertação, a metade dos textos estão prontos para consulta pública. O ministério anunciou que todos deveriam ser publicados até o final do ano 2015 (MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE, 2015).

particularmente, a lei estabelece as seguintes metas (MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE, 2015c):

- i) reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 40% entre 1990 e 2030;
- ii) reduzir o consumo energético final em 50% entre 2012 e 2050⁵⁴;
- iii) reduzir o consumo de energia fóssil em 30% entre 2012 e 2030;
- iv) levar a participação das fontes de energia renováveis para 23% do consumo final bruto de energia até 2020 e em 32% até 2030; e
- v) reduzir a participação da energia nuclear na produção de energia elétrica para 50% daqui a 2025.

Para alcançar tais objetivos, a lei definiu sete eixos de ação principais: desenvolver os transportes limpos; lutar contra o desperdício e promover a economia circular⁵⁵; favorecer as fontes de energia renováveis; reforçar a segurança e a informação dos cidadãos sobre energia nuclear; simplificar e esclarecer os procedimentos de implementação de usinas de geração por fontes renováveis e da sua conexão às redes de transmissão e distribuição; dar aos cidadãos, às empresas, aos territórios e ao Estado o poder de atuarem juntos; e financiar e acompanhar a transição energética (MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE, 2015c).

Conforme exposto no segundo capítulo, as *smart grids* tem grande relevância na maioria dos eixos de ação supracitados. Nesse contexto, as tecnologias de *smart grids* estão sendo desenvolvidas e implementadas na França em particular para atender às exigências do desenvolvimento das fontes de energia renováveis, dos novos usos da energia elétrica e das questões de controle da demanda por energia (CRE, 2013). Assim, elas constituem um dos princípios estruturantes da transição energética francesa (BOUCKAERT, 2013).

Ao mesmo tempo, existem motivações de ordem de desenvolvimento industrial para realização de investimentos em redes inteligentes. Em 2013, o governo francês lançou o programa “*La nouvelle France industrielle*” (A nova França industrial) que estabelece as bases do plano de reconquista industrial nacional, no intuito de fazer do país um ator determinante da terceira revolução industrial⁵⁶. O projeto, que se apoia em uma parceria entre

54 O ritmo anual de diminuição da intensidade energética final deve alcançar 2,5% até 2030.

55 A economia circular (*Économie circulaire*) constitui a concretização da transição entre um modelo de mitigação dos impactos gerados pelo modo de produção de consumo que prevalece desde a revolução industrial, a um modelo de criação de valor, positiva em termos sociais, econômicos e ambientais. Assim, inspirando-se dos ecossistemas naturais, a economia circular pretende provar que a eficiência no uso dos recursos cria valor econômico, social e ambiental ao mesmo tempo (INSTITUT DE L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE, 2015).

56 No programa “*La nouvelle France industrielle*”, o conceito de terceira revolução industrial é definido como o

o setor público e empresas privadas, principalmente pequenas e médias, está na sua fase de implementação operacional. Dentre as 34 “alavancas” de crescimento e de criação de emprego identificadas, encontra-se o desenvolvimento de redes elétricas inteligentes. Nesse tema, o objetivo é desenvolver um *know how* francês em *smart grids* baseado em pesquisa e desenvolvimento de um lado e na atuação de empresas pequenas e médias, e de *start-ups* inovadores que exportariam tecnologia de outro (GOUVERNEMENT FRANÇAIS, 2013).

O plano de ação para implementação de *smart grids* do programa a Nova França Industrial articula-se em três partes implementadas simultaneamente entre 2014 e 2015. A primeira foi a criação de um grupo de empresas para organizar o setor e definir uma oferta em nível internacional apoiada por consultoria e investimentos públicos. A segunda parte remete à implementação de redes inteligentes em áreas prioritárias, como é o caso de campi universitários, com fins de formação e pesquisa. A terceira parte consiste em criar uma vantagem comparativa na corrida internacional à inovação definindo uma estratégia de pesquisa e desenvolvimento, organizando concursos de ideias para favorecer a emergência de soluções inovadoras oriundas de *start-ups*, e implementando uma estrutura para acompanhá-las.

Em todas essas iniciativas, o Estado está presente tanto como investidor quanto como coordenador ou consultor. Assim, ele se compromete em: acompanhar a organização da implementação de grande escala das *smart grids* através da mobilização de mecanismos de apoio financeiro assim como da adaptação do quadro legislativo e regulatório para permitir experimentações mais avançadas do que as realizadas nos projetos pilotos atuais; acompanhar a promoção de um selo “*Smart Grid France*” na França e no mundo mobilizando a suas próprias redes ao nível internacional, incluindo os serviços econômicos regionais; mobilizar os seus serviços nos ministérios competentes (Ministério de Ensino Superior e da Pesquisa, Ministério do Trabalho, do Emprego, do Diálogo Social e da Formação Profissional) para realizar um mapeamento dos cursos disponíveis e acompanhar o funcionamento operacional de uma “Academia das *smart grids*”; mobilizar os seus serviços e agências públicas para participar da discussão metodológica sobre a maximização dos retornos em termos de emprego e de valor pela coletividade; envolver os atores públicos de pesquisa como pilotos de

encontro de um lado da transição ecológica e energética baseada entre outro no uso de fontes de energia renováveis, e de outro da transição digital permitida pelo desenvolvimento das tecnologias de informação e comunicação.

algumas ações do plano; e participar através de agências à coordenação da implantação do plano (GOUVERNEMENT FRANÇAIS, 2013).

A implementação efetiva desse plano e das suas ações será detalhada ao longo da segunda seção desse capítulo. Contudo, não foram publicados resultados oficiais sobre o plano industrial de *smart grids* especificamente, pois em maio de 2015, o governo lançou a segunda fase do programa da Nova França Industrial que vem modificar a sua estrutura. Assim, foi decidido que os 34 planos industriais seriam reunidos em nove soluções industriais estratégicas⁵⁷. O setor das *smart grids* foi incluído na solução “cidades sustentáveis”, que tem por objetivos principais: desenvolver uma gestão mais inteligente das redes de água e de energia; melhorar a performance energética das construções e a implicação dos consumidores finais; e aumentar a produtividade, a qualidade e a sustentabilidade do setor da construção (GOUVERNEMENT FRANÇAIS, 2015). No momento da elaboração e conclusão desta dissertação, ainda não foram publicados os planos de ações específicos associados a cada solução industrial.

Com a exposição do contexto nacional em termos de sistema de inovação, de estrutura do setor elétrico e de problemáticas atuais, a seção que segue tem por objetivo estudar o sistema tecnológico francês de *smart grids*, usando o quadro teórico e analítico específico definido no segundo capítulo.

3.2 O SISTEMA TECNOLÓGICO FRANCÊS DE *SMART GRIDS*

A implementação de *smart grids* na França é necessária para alcançar os objetivos fixados pelo governo. Contudo, pelas razões que foram expostas no segundo capítulo, as características das *smart grids* fazem que o seu desenvolvimento raramente aconteça de modo espontâneo nos mercados, e precisa assim de intervenção pública em vários níveis. Essa situação observa-se claramente na França, onde várias políticas públicas estão pondo as bases do sistema tecnológico nacional.

As bases do sistema tecnológico de *smart grids* na França estão claramente sendo postas, com vários projetos de pesquisa e desenvolvimento, projetos de demonstração, e até projetos de *roll-out* em curso no território, e com a existência de grande diversidade de atores

⁵⁷ As nove soluções industriais estratégicas são: novos recursos; cidades sustentáveis; mobilidade ecológica; transportes do futuro; medicina do futuro; economia dos dados; objetos inteligentes; confiança digital; e alimentação inteligente.

envolvidos. Contudo, o sistema é muito recente e ainda existem numerosas incertezas sobre a sua capacidade em fortalecer as suas funções para desenvolver-se e tornar-se autossustentável. Nesse sentido, a identificação das barreiras será necessária à continuação das políticas públicas existentes e à elaboração de novas.

Essa seção propõe-se apresentar as políticas públicas desenvolvidas na França, com um foco na dimensão regulatória, à luz do estudo do sistema tecnológico de *smart grids*. Por isso, seguindo o quadro estabelecido nos dois primeiros capítulos, serão apresentados os componentes do sistema. Em seguida, será descrita a fase atual do desenvolvimento de *smart grids* para concluir no seu caráter ainda formativo. Finalmente serão apresentadas as barreiras e as políticas públicas implementadas para superá-las.

3.2.1 Componentes do sistema tecnológico francês de *smart grids*

Como já foi exposto neste trabalho, um sistema tecnológico é composto de atores, redes e instituições (JACOBSSON e BERGEK, 2004). Essa seção propõe-se então em caracterizar o sistema tecnológico francês de *smart grids* especificando cada categoria com dados nacionais.

Existe uma pluralidade de atores agindo de maneira significativa em um sistema tecnológico de *smart grids*. Como foi explicado no segundo capítulo, pode distinguir-se os atores tradicionais do setor elétrico, como as geradoras, transmissoras e distribuidoras por exemplo, e os atores específicos, que atuam em outros setores em paralelo, como por exemplo, as empresas de tecnologias de comunicação e informação, ou os fornecedores de tecnologia. Existe grande concentração dos atores tradicionais do setor elétrico no sistema tecnológico francês de *smart grids* devido à dominância da EDF. O Quadro 7 apresenta os principais atores do sistema tecnológico francês de *smart grids* por categoria. Serão em seguida detalhados os mais importantes.

Quadro 7: Principais atores do sistema tecnológico francês de *smart grids* por categoria.

| Tipos de atores | Atores |
|---|---|
| Geradoras | - EDF - <i>Prosumers</i> |
| Transmissoras e distribuidoras | - RTE - ERDF - Outras distribuidoras |
| Comercializadoras | - EDF - Outras comercializadoras ⁵⁸ |
| Consumidores finais | - Clientes particulares - Organizações |
| Universidades, centros de pesquisa e consultoras | - Universidades: Mines Paris Tech etc. - Le CEA (<i>Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives</i>) |
| Empresas de tecnologia de comunicação e informação e de telecomunicações | - IBM - Orange - Bouygues Telecom - Alcatel - Outras empresas |
| Fornecedores de tecnologias (tecnologia de informação e comunicação, gênio elétrico, fabricantes de dispositivos, etc.) | - Alstom - Shneider Electric - Gimélec - Cofely Ineo - Siemens - Cap Gemini - Atos - Pequenas e médias empresas como Cahors, Itron, Michaud, etc. |
| Associações representando diversos interesses | - <i>Réseaux Électriques Intelligents, Smartgrids France</i> - UFC Que Choisir ⁵⁹ e outras associações de consumidores - Sindicatos de energia locais ⁶⁰ |
| Autoridades públicas e governo do país | - CRE - <i>Ministère de L'écologie, du développement durable et de l'énergie</i> - <i>Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie</i> - <i>Agence Nationale de la Recherche</i> - <i>Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie</i> (ADEME) |

Fonte: Elaboração própria.

58 Lista das outras comercializadoras: Alpiq Energie France, Alterna, Axpo Trading, Compagnie Nationale Du Rhone (CNR), Direct Energie, Direct Energie – Ebm Entreprises (D3E), Enalp, Enel France, Enercoop, Energem, Enovos Luxembourg, E.On France Energy Solutions, Es Énergies Strasbourg, Gdf Suez, Gedia Énergies & Services, Geg Source D'énergies, Hydronext, Iberdrola Clientes, Iberdrola Generacion, Lampiris France, Lucia, Planète Oui, Proxelia, Synelva (EX Rseipc 1), Selia, Vattenfall Energies, Vattenfall Europe Sales.

59 A UFC Que Choisir é uma das maiores associações de consumidores francesas e realizou várias ações contra o medidor inteligente Linky, criticando em particular o seu custo pelos consumidores finais.

60 Os sindicatos de energia locais são organismos públicos regionais ou intermunicipais. Eles são proprietários das redes elétricas de baixa e média tensão dos seus respectivos territórios, e fiscalizam assim a atuação da ERDF, agindo como concessionária.

Como foi colocado por Muench *et al.* (2014), os atores mais significativos no caso das *smart grids* são os *policy makers* (incluindo as autoridades de regulação), seguidos pelos fornecedores de tecnologia e as distribuidoras.

Assim, um ator fundamental no sistema tecnológico de *smart grids* na França é a CRE, o órgão regulador. Segundo a lei L. 131-1 do código da energia (*Code de l'Énergie*), a CRE contribui ao bom funcionamento dos mercados da energia elétrica e do gás natural, para o benefício dos consumidores finais, e em coerência com os objetivos da política energética. Segundo a lei L. 134-1 do mesmo código, a CRE especifica as regras sobre as missões das transmissoras e distribuidoras em termos de exploração e desenvolvimento das redes (CRE, 2013). É ela também que fixa, entre outros, as tarifas de uso das redes públicas. Assim, a CRE desenvolve um papel fundamental no que tange às *smart grids*. Em particular desde 2010, ela acompanha a evolução das redes na sua transformação em rede inteligente, adotando uma posição transversal da cadeia de valor e dialogando com todos os atores. Ela acompanha todos os projetos de demonstração de *smart grids* no território francês e atua ativamente na difusão de conhecimento e *feedback* gerados. Seguindo uma série de entrevistas com os atores do setor de *smart grids*, a CRE publicou em janeiro de 2013 um programa de trabalho para reforçar a sua atuação, destacando três objetivos principais: contribuir à reflexão sobre a evolução do quadro institucional e da governança; integrar o tema das *smart grids* nas atividades de regulação, particularmente trabalhando nas condições de financiamento, nas funcionalidades, e no seguimento e acompanhamento dos projetos de experimentação; e continuar o trabalho de comunicação da comunidade *smart grids* (CRE, 2013).

O Ministério da Ecologia, do Desenvolvimento Sustentável e da Energia (*Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie*), por sua vez, prepara e implementa a política do governo em termos de desenvolvimento sustentável, de meio ambiente e tecnologias verdes, de transição energética e de energia, notadamente no que remete a condições tarifárias, clima, prevenção dos riscos nacionais e tecnológicos, segurança industrial, transportes e as suas infraestruturas, equipamentos, mar, pesca marítima e aquicultura (MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE, 2015a). Em relação às *smart grids*, é a instituição que fixa os grandes objetivos de implementação, principalmente através da lei sobre a transição energética e das emissões de decretos especiais para os projetos de demonstração.

O Ministério da Economia também constitui um ator importante no desenvolvimento

de *smart grids*, principalmente através do programa da Nova França Industrial, apresentado anteriormente.

A Agência Nacional da Pesquisa (*Agence Nationale de la Recherche*) também tem um papel muito importante a desenvolver, especialmente em termos de administração de financiamento público. Ela foi designada pelo governo como o principal operador do *Programme d'investissement d'avenir*, cuja atuação em *smart grids* será detalhada no decorrer desse capítulo.

A *Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie* (ADEME) é uma agência governamental que participa da implementação de políticas públicas nas áreas de meio ambiente, de energia e de desenvolvimento sustentável. Ela atua colocando à disposição das empresas, das coletividades locais, das autoridades públicas e do público as suas capacidades de *expertise* e conselho. Além disso, ela ajuda no financiamento de projetos, de pesquisa até de implementação. Assim, na área de *smart grids*, ela contribui tanto publicando estudos consultivos, quanto administrando os financiamentos disponibilizados pelos *investissements d'avenir* (ADEME, 2013).

Outro ator fundamental no sistema tecnológico de *smart grids* na França é o grupo EDF, que inclui 100% das filiais RTE, ERDF e Dalkia⁶¹. É a maior empresa elétrica na França e no mundo⁶², atuando em todas as atividades da cadeia de valor do setor elétrico. Como já foi mencionado, o Estado francês detém 85% da mesma, o que é determinante nas políticas de inovação no setor elétrico em geral, e na área de *smart grids* em particular. Com uma receita de 72,9 bilhões de euros em 2014, a empresa dispõe de uma verba de 650 milhões de euros de pesquisa e desenvolvimento (EDF, 2015). Essas características especiais da EDF fazem dela um potencial *prime mover*, o que, como foi mostrado, é determinante para a emergência de novos sistemas tecnológicos. No que remete as *smart grids*, a EDF, principalmente através da RTE e da ERDF é o principal e quase exclusivo implementador efetivo de tecnologias nas redes e nos consumidores.

Em relação aos fornecedores de tecnologia, distingam-se as grandes empresas tradicionais como Alstom, Siemens ou Schneider Electric, por exemplo, e as pequenas e médias empresas inovadoras. A lista dos fornecedores de tecnologia do Quadro 7 foi

61 Dalkia é uma empresa especializada nos serviços energéticos.

62 Em particular, a EDF é o maior produtor de energia elétrica no mundo; é o maior produtor de energia elétrica oriunda de fontes renováveis na Europa, com uma capacidade instalada de 28,3 GW; possui a maior rede de transmissão da Europa com 105.000 km de linhas e 47 ligações inter-fronteiriças; e é o maior produtor de energia nuclear no mundo com 73 reatores na França e no Reino Unido (EDF, 2015).

elaborada graças à lista de membros da associação profissional “*Réseaux Électriques Intelligents, Smartgrids France*”, criada em abril de 2015 conforme o plano de ação da nova França industrial para fornecer aos atores do setor o acompanhamento necessário à sua implementação no mercado mundial e criar um “time da França” de *smart grids*.

Adicionalmente, precisa-se estudar como esses atores se relacionam para constituir um sistema, ou seja, precisa-se estudar as redes do sistema. Levando em conta a importância do tema, a CRE esforça-se para associar de maneira mais estreita todos os atores supracitados. Assim ela organiza seções de trabalho coletivo sobre diferentes temáticas centrais como a inserção de veículos elétricos nas redes elétricas, a integração das fontes de energia renováveis, a gestão ativa da demanda e as especificidades das zonas insulares. Paralelamente, a CRE segue o avanço dos numerosos projetos de *smart grids* que serão detalhados na seção seguinte. Nesse quadro, ela organiza encontros com os diferentes atores e administradores de projetos para manter-se informada do avanço das experimentações. Esses *workshops*, tanto quanto os encontros da CRE com os diferentes atores, permitem aos demonstradores de apresentar os seus projetos, os primeiros resultados das suas experiências e as diferentes questões que eles querem submeter às autoridades públicas para facilitar a implementação de *smart grids* (CRE, 2013).

Cada projeto de *smart grids* constitui uma rede em si, pois leva vários atores complementares a trabalharem juntos e a compartilharem conhecimento e experiência. Grandes empresas como a Alstom ou a ERDF são envolvidas em numerosos projetos e podem assim servir de pontes para a circulação do conhecimento e a transferência de tecnologia.

Além disso, a associação profissional recentemente criada no quadro do programa da Nova França Industrial “*Réseaux Électriques Intelligents, Smartgrids France*” destina-se a ter um papel importante na cooperação entre empresas, autoridades públicas e centros de pesquisa.

Outro elemento a considerar são as instituições, um componente crucial do sistema tecnológico de *smart grids* na França. A maioria delas já tendo sido apresentada de alguma forma ao longo deste trabalho, o Quadro 8 propõe-se sintetizá-las usando as categorias propostas por Brunekreeft *et al.* (2015) no segundo capítulo:

Quadro 8: Instituições francesas envolvidas na implementação de *smart grids* por categorias.

| Categoria de instituição | Instituições francesas |
|---|--|
| Instituições europeias | - Diretiva Europeia 2009/72/CE |
| Políticas governamentais, leis e regulação | - Lei sobre a transição energética. - Tarifa TURPE 4 ⁶³ |
| Estrutura de mercado | - Mercados altamente concentrados ao longo da cadeia de valor do setor elétrico - Presença forte do Estado - Ligeira tendência a liberalização |
| Desenho tarifário do mercado | - Dois tipos de tarifas: livre e regulada - Tarifa regulada definida pelo governo em função dos custos de produção - Três categorias de tarifa final regulada em função potência utilizada |
| Regulação sobre desenvolvimento da infraestrutura e da rede | - Numerosas deliberações e consultas da CRE |
| Coordenação da geração e do consumo | - Responsabilidade da RTE |

Fontes: Elaboração própria.

Cabe chamar a atenção sobre a diretiva 2009/72/CE apresentada no segundo capítulo e a sua aplicação no direito francês através da lei sobre a transição energética, pois elas são responsáveis pela criação do mercado de medidores inteligentes, antes inexistente⁶⁴.

A CRE desenvolve um papel importante na automação da rede com a publicação de numerosas deliberações, que se aplicam em particular à rede de distribuição, pois a rede de transmissão já é totalmente automatizada.

Além disso, é primordial destacar mais uma vez a concentração do setor elétrico francês com a predominância da EDF na geração, da RTE na transmissão e da ERDF na distribuição. Esse reduzido número de atores é um fator determinante nas modalidades de implementação das tecnologias de *smart grids* decididas pelos órgãos governamentais, com uma tendência a facilitá-la. Contudo, cabe mencionar que, na linha das políticas europeias, existe uma tendência à abertura dos mercados da energia na França, com a abertura do mercado da comercialização para os clientes residenciais em 2007, e com a supressão da tarifa verde para grandes consumidores empresariais prevista para 2016.

Assim, observa-se que existe na França um quadro institucional que permitiu ao sistema tecnológico de *smart grids* emergir e ingressar na sua fase formativa.

⁶³ A tarifa TURPE 4 será apresentada na seção sobre as políticas públicas.

⁶⁴ Este ponto será detalhado na próxima seção.

3.2.2 Fase formativa

Apesar de um avanço relativo, na França como no mundo, as *smart grids* como um todo ainda estão na sua fase inicial de implementação (ADEME, 2013). A CRE coloca que a evolução das redes atuais até redes inteligentes será progressiva e passará pelo equipamento em tecnologia de informação e comunicação da rede de distribuição, pois neste estágio de desenvolvimento, este elo constitui a parte “menos inteligente” da cadeia (CRE, 2013). A implementação efetiva de *smart grids* segue o padrão comum em três etapas: Pesquisa e desenvolvimento, projetos de demonstração e *roll-out*. Assim, enquanto algumas tecnologias são maduras e implementadas, como a automação da rede de transmissão, outras estão sendo implementadas ou ainda em fase de pesquisa e desenvolvimento. Destaca-se o caso particular do *smart metering*, para qual já há sinalização de *roll-out* para todo o país.

Essa seção tem por objetivo caracterizar o estado atual de desenvolvimento das *smart grids* na França como fase formativa do sistema tecnológico em questão, o que permitirá em seguida estudar nessa perspectiva as barreiras e as políticas públicas implementadas. Como foi colocado no primeiro capítulo, a fase formativa é constituída por quatro elementos principais, ou seja, a formação de mercados, a entrada nos mercados de novos atores, a mudança institucional e a formação de coalizões, cujo papel é reforçar as funções do sistema. Essa seção propõe-se então mostrar a presença dessas características da fase formativa no atual estado de desenvolvimento de *smart grids* na França, dando primeiro uma visão geral dos investimentos realizados, descrevendo em seguida os projetos de pesquisa e desenvolvimento e de demonstração e, enfim, apresentando os primeiros passos do *roll-out* de certas tecnologias específicas.

3.2.2.1 Os investimentos gerais em *smart grids*

A CRE avaliou em 15 bilhões de euros os investimentos totais em *smart grids* necessários até 2030 (MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE, 2015). Os investimentos em projetos de *smart grids* já vêm crescendo de forma consistente desde 2002 com um pico em 2009-2010 seguindo a tendência europeia. Entre 2002 e 2014, os investimentos da França em *smart grids* totalizaram aproximadamente 500 milhões de euros, ou seja, 16,1% dos investimentos totais na União Europeia, colocando

o país no lugar de maior investidor, junto com o Reino Unido⁶⁵. Destes 500 milhões, 80% foram gastos em projetos de demonstração e implementação, e 20% em projetos de pesquisa. Paris, em particular, é uma das cidades europeias que concentram os maiores investimentos em termos de número de empresas e de verba na Europa com investimentos acima de 100 milhões de euros (EC, 2014b).

Os investimentos privados em *smart grids* desenvolvem um papel importante na França, pois representam aproximadamente 60% dos investimentos totais, o que representa a maior verba em valor oriunda de fundos privados na Europa. Esses fundos privados são oriundos de recursos próprios das empresas privadas envolvidas nos projetos de *smart grids*⁶⁶. Outros 20% provêm de recursos públicos nacionais e 12% da Comissão Europeia. Dentre esses investimentos privados, existe certa equidade de participação entre as diferentes organizações, o que não é comum quando a verba total é tão importante. É importante também destacar o esforço nacional da França, pois a sua participação de 20% é uma das maiores na Europa (EC, 2014).

No que diz respeito à distribuição dos investimentos por tipo de agente, os investimentos da categoria “Fabricantes, serviços de engenharia, empreiteiros, operadores e companhias de administração” são os maiores na Europa em valor assim como em participação. O valor dos investimentos da categoria “Tecnologias da informação e empresas de telecomunicação” aparece em terceiro na Europa com mais de 50 milhões de euros. Esse fato vem confirmar a vontade da França de colocar-se no papel de *workshop* das *smart grids* na Europa, conforme as suas ambições industriais anteriormente expostas (EC, 2014b).

A França tem uma política audaciosa em termos de “*smart customers*” e “*smart home*” que é traduzida em números, uma vez que acumula junto com o Reino Unido 50% dos investimentos da União Europeia nessas categorias. Entre todas as aplicações das *smart grids*, as que recebem maiores investimentos são “*smart network management*”, “*smart consumers*” e “*smart home*” e “integração de fontes renováveis” principalmente solar (EC, 2014b).

65 O estudo da Comissão Europeia (2014) aqui citado leva em conta todos os projetos de *smart grids*, ao nível da transmissão e da distribuição que tenha por objetivo tornar a rede mais integrada e inteligente através de novas tecnologias (armazenamento de energia, veículos elétricos ou geração distribuída oriunda de fontes renováveis por exemplo) e novas capacidades relacionadas a tecnologias de comunicação e informação. É importante mencionar que os valores dos investimentos desses projetos não incluem os custos de desenvolvimento massivo de medidores inteligentes que são tratados à parte por constituir um caso mais avançado.

66 Na medida em que, segundo o relatório (EC, 2014b), as outras fontes de financiamento são a comissão europeia, os órgãos públicos (agências e ministérios), e o órgão regulador, foi assumido que a categoria “investimentos privados” inclui os investimentos da EDF. Explica-se assim parcialmente a importância dessa categoria em comparação aos outros países.

Existem aproximadamente 100 projetos de *smart grids* na França (EC, 2014b; CRE, 2015f), 56% sendo projetos de demonstração e *roll-out* e 44% projetos de pesquisa e desenvolvimento, seguindo o padrão médio europeu, sendo oito desses projetos desenvolvidos em nível nacional, e o restante em nível local⁶⁷. O orçamento médio desses projetos é de aproximadamente 5 milhões de euros, o que é, junto com o Reino Unido, o maior da Europa.

A estrutura dos investimentos, e em particular a forte participação do setor privado assim como a diversidade dos investidores dentro deles mostra claramente mercados em formação e a entrada de novos atores, dois aspectos característicos da fase formativa.

3.2.2.2 Os projetos de pesquisa e desenvolvimento e os projetos de demonstração

O desenvolvimento das tecnologias associadas às *smart grids*, em função de ser muito recente, tem como característica o fato de as atividades serem concentradas em pesquisa e desenvolvimento e projetos de demonstração (CRE, 2015g). Existem assim vários projetos que pesquisam e testam a viabilidade técnica e econômica de tecnologias específicas. Nesse contexto destaca-se o papel crucial dos “*Investissements d’Avenir*” mencionados anteriormente. Dos 2,2 bilhões de euros mobilizados por este programa em 2013, 300 milhões serviram a financiar chamadas de projetos administradas pela ADEME, na área da transição energética. Em particular, financiaram a criação de institutos de excelência para a transição energética (ITE) e as chamadas a manifestação de interesses (*appels à manifestation d’intérêt*), ou seja, tipo de leilões para projetos de pesquisa específicos.

A criação dos institutos de excelência é uma responsabilidade da *Agence Nationale de la Recherche* e visa a constituição de campi de inovação de nível mundial nas áreas das fontes de energia renováveis, das novas tecnologias aplicadas ao setor da energia, e da eficiência energética. Assim, resultando de duas chamadas a manifestação de interesse, foram criados nove centros de pesquisa e inovação de excelência⁶⁸, cada um reunindo vários atores especialistas da área em questão, e apoiando-se em uma estratégia econômica e tecnológica de médio prazo (programa de trabalho de pelo menos dez anos), projetos colaborativos, ações de

⁶⁷ Lembra-se que os projetos de *roll-out* de medidores inteligentes não são incluídos nesses números (EC, 2014b).

⁶⁸ Após a primeira chamada a manifestação de interesse, foram selecionados dois projetos: o instituto nacional para o desenvolvimento de tecnologias ecológicas e de energia descarbonizada (INDEED) em Lyon no Rhône; e o projeto de ensino e pesquisas tecnológicas chamado “Picardie Innovations” em Venette, na Oise. Após a segunda chamada a manifestação de interesse, foram selecionados sete projetos: “France Energie Marine”; Greenstars; “L’institut français des matériaux agro-sourcés”; “L’institut photovoltaïque d’Ile-de-France”; “Supergrid”; “Geodenergies”; e “L’institut véhicule décarboné et communicant et de sa mobilité”.

treinamento comuns e investimentos compartilhados notadamente para a elaboração de protótipos, teste e demonstração (MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE, 2015b).

No caso das *smart grids*, foi criado o instituto “SuperGrid”. Administrado por Jean-François Ballet, da Alstom, e implantado perto do campus de la Doua no Rhône, SuperGrid associa grandes grupos tais como Alstom, Nexans a EDF, empresas pequenas e médias como Vettiner ou Novasic, laboratórios públicos e o polo de competitividade Tenerrdis⁶⁹. A sua verba de 210 milhões de euros em dez anos será financiada no montante de 58% por parceiros privados (GOUVERNEMENT FRANÇAIS, 2015c). Em termos de sistema tecnológico de *smart grids*, o SuperGrid constitui uma importante coalizão.

Em paralelo, no quadro do *Fond Démonstrateur de Recherche*, a ADEME administra o financiamento de demonstradores e plataformas tecnológicas, selecionados graças a leilões especializados (*Appels à Manifestion d'Intérêt*). Em uma verba total de 3 bilhões de euros cujo montante de 940 milhões de euros é financiamento público, 165 milhões foram atribuídos ao financiamento de projetos de pesquisa e de demonstração na área de *smart grids*. Nesse quadro, quatro leilões foram lançados entre 2009 e 2015 (MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE, 2015b).

As atividades de pesquisa e desenvolvimento da ERDF e da RTE também desenvolvem um papel importante nessa área e são apoiadas pela CRE. Esse ponto será detalhado posteriormente neste trabalho.

Ao todo, são mais de 100 projetos de pesquisa e desenvolvimento e demonstração contados pela CRE⁷⁰. Tratam-se de projetos muito diversos, que podem remeter a *smart grids* como um todo (exemplo: o projeto Sogrid em Haute Garonne et Toulouse com um verba de 26 milhões de Euros), a uma tecnologia associada às *smart grids* específica como medidores inteligentes (Exemplo: *Watt et moi* em Rhône-Alpes) ou veículos elétricos (exemplo: *Infinidrive* em 4 cidades com uma verba de 9 milhões de euros), ou a grupos de tecnologias (*Issygrid*) (CRE, 2015f). A Figura 5 apresenta o dinamismo regional na França segundo o número de projetos de *smart grids*.

69 Tenerrdis é o polo de competitividade da região Rhône-Alpes dedicado à novas tecnologias na área de energia.

70 A lista completa dos projetos e das suas principais características é disponível no site da CRE dedicado às *smart grids*: <http://www.smartgrids-cre.fr/>

dispositivos de medição nas redes públicas de energia elétrica. O objetivo francês consiste em substituir a totalidade dos 35 milhões de medidores por medidores inteligentes até 2021. A diretiva europeia 2009/72/CE sobre o assunto foi adaptada no direito francês. Assim, o artigo L. 341-4 do código da energia (CRE, 2014) estipula que as distribuidoras devem implantar dispositivos permitindo às comercializadoras “proporem aos seus clientes preços diferenciados conforme o período do ano ou do dia e incentivando os usuários de redes limitarem o seu consumo durante os períodos de pico de consumo”. Além disso, o artigo 18 da Lei de 3 de agosto 2009 sobre, entre outros assuntos ligados ao meio ambiente, o cumprimento dos objetivos de eficiência e sobriedade energética⁷¹, apresenta a implantação e a generalização dos medidores inteligentes para os clientes residenciais como objeto fundamental.

A CRE pediu à ERDF o desenvolvimento e teste econômico e técnico de um medidor inteligente e de um sistema de gerenciamento da demanda. Assim, um medidor inteligente chamado “Linky”, vem sendo testado com sucesso em 225.000 lares desde março de 2010. Em 2011, a CRE e a ERDF concluíram que a oferta desses medidores a todos os consumidores residenciais era tecnicamente e economicamente viável, planejando um investimento inicial de 4.3 bilhões de euros durante a fase de desenvolvimento massivo. A ERDF já encomendou 3 milhões de medidores a seis empresas para que sejam instalados até o fim de 2015, e uma licitação está em curso para selecionar as empresas que vão instalar esses medidores por lote de 10.000 a 20.000, região por região (ERDF 2015b).

Outra importante dimensão da implementação das *smart grids* na França é a automação da rede que chega a representar quase 30% do total dos investimentos em projetos já mencionados (EC, 2014b). A empresa francesa Alstom, especialista em infraestruturas de produção e operação das redes elétricas está envolvida em 33 dos projetos monitorados pela CRE, como, por exemplo, Nice Grid, Smart Grid Vendée e Issy Grid, para desenvolver e testar tecnologias digitais como *softwares* para monitorar e gerenciar a rede de distribuição. Graças a essa experiência, a ERDF e a Alstom estabeleceram em 2013 uma parceria de cinco anos para desenvolver e comercializar *softwares* de operação técnica de recursos energéticos distribuídos. Outra parte do acordo remete ao desenvolvimento em conjunto de produtos incluindo *softwares* no quadro de contratos de pesquisa (ERDF, 2013). Desta maneira, a

⁷¹ A sobriedade energética (*sobriété énergétique* em francês) é, junto com a eficiência energética, um pilar do programa de transição energética do governo. Remete a novos modos de consumo, baseados no uso racional da energia e a luta contra o desperdício, que permitem diminuir o consumo de energia elétrica em termos absolutos no país.

ERDF e a ALSTOM confirmam serem atores importantes para a formação e consolidação do mercado de *smart grids* na França.

Em relação à rede de transmissão, ela vem sendo automatizada há alguns anos segundo recomendações da CRE. A RTE em conjunto com as geradoras, as autoridades locais, os consumidores e os industriais do setor de *smart grids* está integrando várias tecnologias de ponta à rede de transmissão francesa para permitir maior interação entre os atores do sistema elétrico francês e europeu assim como para melhorar a flexibilidade, a reatividade e a eficácia do sistema (RTE, 2014).

Observa-se, principalmente no que diz respeito à implementação de medidores inteligentes, algum início de mudança institucional, notadamente com o artigo L. 341-4 do código de energia que estabelece a implementação de um sistema de medição inteligente na França. Além disso, a CRE está trabalhando sobre uma série de reformas tarifárias que permitiram colocá-lo em prática. Assim, constata-se nesta seção que, apesar das *smart grids* serem um tema novo e da maior parte das atividades serem concentradas em pesquisa e demonstração, existem claramente mercados em formação, atores entrando neles, formação de coalizão e mudança institucional. Contudo, nesse período formativo, o desenvolvimento de *smart grids* ainda é altamente incerto e frágil, e enfrenta numerosas barreiras, o que explica a forte presença do estado em todos os projetos em desenvolvimento. Assim, as seções seguintes apresentam as barreiras à superação da fase formativa do sistema tecnológico de *smart grids* na França, assim como as políticas implementadas para superá-las.

3.2.3 Barreiras ao desenvolvimento do sistema tecnológico de *smart grids* na França

No seu plano estratégico para a implementação de *smart grids* na França, a ADEME (2013) identificou, graças a uma análise do ambiente do setor dos sistemas elétricos inteligentes, três tipos de barreiras, quais sejam, as tecnológicas, as econômicas e regulatórias e as sociais.

As barreiras tecnológicas são as mais numerosas e podem ser divididas em quatro categorias⁷²:

- i) Arquitetura e planejamento de redes: falta de ferramentas de arquitetura e de planejamento adaptados à evolução do ambiente das redes, falta de metodologia de

⁷² As barreiras tecnológicas não serão estudadas com grande detalhamento neste trabalho, pois ele procura a focar nos aspectos econômicos e regulatórios.

- avaliação dos custos e benefícios da implementação das funções de análise, de monitoramento e de controle em diferentes níveis do sistema, etc.;
- ii) Integração de novas tecnologias da energia: falta de adaptação dos equipamentos atuais das redes de distribuição à uma rede em evolução constante, falta de interoperabilidade e compatibilidade entre os equipamentos, etc.;
- iii) Exploração dos sistemas: dificuldade de análise e tratamento de um grande número de informações em um tempo reduzido, etc.; e
- iv) Atividades transversais: falta de transmissão dos dados entre os diferentes atores e níveis geográficos, etc.

As barreiras econômicas e regulatórias remetem principalmente à tarifação, modelos de negócios e regulação, e são apresentadas no Quadro 9.

Quadro 9: Barreiras econômicas e regulatórias à implementação de *smart grids* na França.

| | |
|--------------------|--|
| Tarifação | <ul style="list-style-type: none"> - Complexidade do vínculo entre tarifação e controle da demanda por energia elétrica, necessidade de definir um modelo de tarifação para incentivar a <i>demand response</i> - Necessidade de definir um nível de remuneração da flexibilidade da demanda para promover a oferta de serviços favorecendo a flexibilidade da demanda e as soluções de armazenamento - Falta de estudo sobre a competitividade comparada (incluindo todos os custos e para o mesmo nível de serviço) das diferentes tecnologias de produção e sistemas energéticos - Falta de visão sobre os custos globais para a coletividade |
| Modelo de negócios | <ul style="list-style-type: none"> - Modelos de negócios pouco ou não adaptados aos: Equipamentos adicionando valor à cadeia inteira e não somente ao investidor Serviços propostos para os diferentes <i>stakeholders</i> (particularmente por causa da dificuldade de avaliação do seu valor) |
| Regulação | <ul style="list-style-type: none"> - Inexistência de padronização permitindo a troca de dados entre <i>stakeholders</i> sem colocar em risco a confidencialidade dos dados e segurança das redes, e permitindo oferecer um melhor serviço para o menor custo - Inadequação entre as regras atuais de divisão dos custos e dos benefícios (tarifação dos serviços) entre atores integrando as externalidades, e as evoluções do ambiente dos sistemas elétricos (incluindo os novos usos) |

Fonte: Adaptação de ADEME (2013).

Observa-se que as barreiras econômicas e regulatórias no sistema tecnológico de *smart grids* da França são similares às barreiras expostas no segundo capítulo. O tema da tarifação é primordial, pois será determinante no envolvimento dos consumidores, ou seja, a *demand response*, necessária para que a medição inteligente alcance o seus objetivos, em particular em termos de redução do consumo final e de redução do consumo de pico. Assim, precisa-se

desenvolver ofertas tarifárias que incentivem os usuários a consumir menos e a flexibilizar a sua demanda no tempo. Contudo, a determinação de tais ofertas tarifárias adaptadas e diversificadas necessita um série de informações, em particular sobre custos de produção das novas fontes de geração e sobre comportamentos do usuários, que ainda não estão disponíveis.

Nesse contexto, a ADEME definiu como prioridades de pesquisa⁷³ os seguintes itens: definir mecanismos incitativos para motivar os usuários em participar às operações de *demand response*; definir mecanismos de apoio de incentivo à flexibilidade da demanda; elaborar e desenvolver ferramentas e mecanismos de mercado ou de tarifação dos serviços que acompanham a implementação eficaz e ótima dos sistemas elétricos com forte penetração de fontes de energia renováveis; definir sistemas tarifários para o fornecimento e o transporte de energia; criar ferramentas de mercado inovativas para os serviços do sistema e a gestão do equilíbrio, incluindo notadamente a gestão ativa da demanda (ADEME, 2013).

No que remete à inadaptação dos modelos de negócios, o mecanismo de bloqueio também é similar ao exposto no segundo capítulo. Não existe na França modelos de negócio adaptados aos equipamentos adicionando valor à cadeia inteira e não somente ao investidor, e aos serviços propostos para os diferentes *stakeholders*, particularmente por causa da dificuldade de avaliação do seu valor. Para superar essa barreira, a ADEME recomenda (ADEME, 2013):

- i) Criar modelos de negócios e dispositivos de mercado inovativos para permitir uma implantação massiva de operações de *demand response* e de dispositivos de acompanhamento associados;
- ii) Desenvolver modelos organizacionais e de negócios permitindo acompanhar as autoridades locais na gestão de seu “território energético”;
- iii) Criar modelos de negócios e de mercado para os agregadores e as empresas de serviços energéticos em nível da região e até do bairro;
- iv) Desenvolver modelos de negócios inovativos para acompanhar a integração de sistemas de armazenamento; e
- v) Desenvolver modelos de negócios adaptados à mobilidade elétrica, criar ofertas tarifárias incentivando uma otimização da carga (veículos elétricos e derivados) e

⁷³ As prioridades de pesquisa foram determinadas por especialistas segundo as barreiras previamente identificadas e foram classificadas em três categorias: as prioridades de pesquisas em termos tecnológicos; em termos econômicos e regulatórios; e em termos de ciências humanas e sociais.

favorecer o envolvimento do usuário.

Do seu lado, a CRE (2015a) observa que, dada a integração de novos meios de produção como as fontes de energia renováveis em todos os níveis da cadeia de valor, o *business-as-usual* torna-se obsoleto. Uma vez que a integração das novas tecnologias da informação e comunicação é considerada indispensável, as empresas tradicionais do setor elétrico devem estabelecer parcerias, em particular com os provedores de tecnologia e as empresas de tecnologia de informação e comunicação, para dividir os riscos, os custos e o *know how*. Assim, como já foi mencionado, a maioria dos grandes projetos de *smart grids* na França são desenvolvidos por consórcios.

Contudo, os atores não têm costume de trabalhar da maneira supracitada e existe uma diferença de dimensão temporal entre eles. As empresas tradicionais do setor elétrico funcionam no longo prazo, devido à duração de vida das instalações (usinas, linhas, medidores, etc.), enquanto os atores do setor das tecnologias de informação e comunicação costumam focar no curto prazo, devido a curta duração de vida destas tecnologias, incessantemente substituídas por novas mais performantes (CRE, 2015a).

No que diz respeito à regulação, apesar da mudança estar em curso, ainda permanecem barreiras importantes. Em particular, não existe padronização permitindo a troca de dados entre *stakeholders*, sem colocar em riscos a sua confidencialidade e as regras de segurança das redes, e permitindo oferecer um melhor serviço para o menor custo. Além disso, existe uma inadequação das regras de repartição dos custos e dos benefícios (tarifação dos serviços) entre atores, pois não integram as externalidades e as evoluções do ambiente dos sistemas elétricos (incluindo os novos usos). Assim, a ADEME (2013) preconiza a realização de estudos de modelos de organização de mercado incluindo a articulação em tempo real entre os modelos de negócios selecionados pelos atores e as escolhas regulatórias. Além disso, a CRE está trabalhando continuamente sobre a evolução e a adaptação do quadro regulatório com a chegada das *smart grids* no sistema. Este ponto será desenvolvido na próxima seção.

Finalmente, as barreiras sociais dizem respeito à adesão e adoção de tecnologias, à sua utilização e à sua difusão. Elas são apresentadas no Quadro 10.

Quadro 10: Barreiras sociais à implementação de *smart grids* na França.

| | |
|-----------------|---|
| Adesão e adoção | <ul style="list-style-type: none"> - Compreensão das questões energéticas globais e individuais - Adesão aos novos equipamentos e serviços - Nível de apropriação pelos domicílios de equipamentos potencialmente controlados por terceiras partes; adoção de equipamentos complexos - Pedagogia antes, durante e depois da implementação de novos equipamentos e sistemas |
| Utilização | <ul style="list-style-type: none"> - Problemas de ergonomia: Interfaces homem-máquina pouco desenvolvidas; desenhos dos equipamentos e serviços Complexidade do dispositivo de informação à destinação dos usuários - Capacidade de fazer perdurar as mudanças de comportamentos |
| Difusão | <ul style="list-style-type: none"> - Receio de numerosos domicílios em assinar contratos os comprometendo em longo prazo - Inercia de uso variável entre domicílios que pode provocar vantagens diferenciadas, em particular nos casos de moradia coletiva - Dificuldade em coordenar um modelo industrial de desenvolvimento com concepções territoriais, comunitárias ou locais de mutualização energética |

Fonte: Adaptação de ADEME (2013).

Como foi destacado por Jacobsson e Bergek (2004), a aceitação social é fundamental para legitimidade da nova tecnologia e conseqüentemente para o desenvolvimento do seu sistema tecnológico. O Quadro 10 mostra que existem numerosas incertezas referentes a esse tema na França, em particular no que remete a medição inteligente e *demand response*. Primeiro, a adesão e a adoção destas tecnologias vão depender do entendimento da sociedade tanto sobre as questões energéticas e ambientais globais, quanto sobre a utilidade das *smart grids* para resolvê-las. Assim, um trabalho de pedagogia é indispensável à sua implementação. Segundo, precisa-se desenvolver produtos fáceis de utilização que se integram naturalmente na vida dos usuários. Outro ponto importante é ancorar as potenciais mudanças de comportamento no tempo, o que se revelou problemático em alguns casos estudados (MUENCH *et al.*, 2014). Finalmente, no que diz respeito à difusão das tecnologias, observa-se certo receio dos domicílios em assinar contratos os comprometendo em longo prazo, e uma dificuldade em coordenar um modelo industrial de desenvolvimento com concepções territoriais, comunitárias ou locais de mutualização energética.

Assim, existem numerosas barreiras e incertezas bloqueando as funções do sistema tecnológico de *smart grids* na França e assim prejudicando o seu desenvolvimento. No momento da elaboração deste trabalho, o sistema está na sua fase formativa, e ainda precisa de forte intervenção pública para ele alcançar o ponto de *change-in-gear* e tornar-se assim autossustentável. A seção seguinte propõe-se apresentar as políticas públicas implementadas e

previstas nessa perspectiva.

3.2.4 Políticas públicas com foco no aspecto regulatório

Como pode-se constatar, a emergência do sistema tecnológico de *smart grids* na França foi altamente condicionado pelas iniciativas públicas. Ainda assim, permanecem barreiras que bloqueiam as funções do sistema e o impedem de superar da sua fase formativa, caracterizada pela literatura como longa e altamente incerta (JACOBSSON e BERGEK, 2004). Portanto, a continuidade da ação das políticas públicas é necessária para alcançar o ponto de *change-in-gear*. Essas políticas públicas precisam ser cada vez específicas e adaptadas às barreiras supracitadas que surgiram ao longo do desenvolvimento do sistema.

Essa seção propõe-se apresentar as políticas públicas que foram e estão sendo implementadas para permitir o reforço das funções do sistema tecnológico de *smart grids* e, como consequência, o seu desenvolvimento. Por isso, será utilizada a classificação das políticas propostas por Brunekreeft *et al.* (2015) e exposta no segundo capítulo, especificando a suas aplicações na França. À guisa de conclusão, será realizada um quadro de síntese que, para cada função do sistema tecnológico, apresenta as políticas públicas usadas para reforçá-las na França.

3.2.4.1 Definição de uma estratégia governamental de longo prazo de desenvolvimento do sistema elétrico do futuro

Na França, a estratégia de implementação de *smart grids* é definida pelo governo, principalmente através do projeto da Nova França Industrial. Neste quadro, o plano de ação específico para o desenvolvimento de *smart grids* foi apresentado por um grupo composto por vários atores do setor e apresenta as justificativas e as motivações do país em desenvolver *smart grids*, assim como os objetivos e as ações do plano para 2014 e 2015. Essas últimas são divididas em três categorias: domínio das tecnologias críticas, estruturação do ecossistema e apoio às ações de pesquisa e desenvolvimento.

Em termos legislativos, o governo adaptou o parágrafo 2 do anexo 1 da diretiva europeia 2009/72/CE do 13 de julho 2009 sobre medição inteligente ao direito nacional. Assim, o artigo L. 341-4 foi adicionado ao código da energia em 9 de maio de 2011. Ele

estabelece que as distribuidoras devam implementar dispositivos permitindo às comercializadoras oferecerem aos seus clientes preços diferenciados segundo os períodos do ano ou do dia e incitando os utilizadores de redes a limitar o seu consumo durante os períodos em quais o consumo total é mais alto.

3.2.4.2 Implementação de medidas regulatórias para incentivar as transmissoras e as distribuidoras a investir em tecnologias de *smart grids*

O ponto crucial desta categoria é o financiamento da instalação de medidores inteligentes obrigada por lei. Na França, é esperado que esse investimento seja compensado pela redução de custos operacionais das distribuidoras. Contudo, dado o caráter excepcional do projeto devido às suas dimensões técnicas, industriais e financeiras (investimento de 5 bilhões de euros entre 2014 e 2021), a CRE aceitou em maio de 2014 o pedido da ERDF de montar um quadro regulatório tarifário particular que permita repartir sobre 20 anos o rateamento dos custos para fazê-lo combinar com o período de realização de lucros esperados do projeto (CRE, 2015c).

No que tange ao financiamento dos investimentos em pesquisa, a ferramenta crucial da CRE é a tarifa de uso das redes públicas de eletricidade (*Tarifs d'utilisation des réseaux publics d'électricité* ou TURPE). As TURPE são calculadas pela CRE (e validadas pelo governo em seguida) para que as receitas das transmissoras e distribuidoras cubram os custos de exploração, desenvolvimento e manutenção das redes (CRE, 2015c). As TURPE 4, aplicáveis desde 2013, incluem um quadro para apoiar a transmissora e as distribuidoras nas suas atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação. Assim, a CRE aceitou um aumento significativo das verbas de pesquisa e desenvolvimento da ERDF e da RTE que pretendem alocar a elas respectivamente 56 milhões e 27 milhões de euros em média por ano entre 2014 e 2017. No final do período, a verba alocada e não usada será restituída aos usuários. Esse mecanismo permite garantir que ela será efetivamente usada para inovação e não para ganho de eficiência. Cabe mencionar que esse dispositivo de financiamento remete a quaisquer projetos de inovação, porém, a grande maioria deles é incluída na temática das *smart grids* (CRE, 2015c). A Tabela 1 apresenta as grandes trajetórias de despesas de pesquisa e desenvolvimento da ERDF entre 2014 e 2017.

Tabela 1: Trajetórias de despesas de pesquisa e desenvolvimento da ERDF entre 2014 e 2017.

| Em milhões de euros correntes | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | Total |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| Melhoria da eficiência na distribuição | 16 | 16 | 17 | 17 | 66 |
| Preparação da evolução na distribuição | 15 | 16 | 19 | 19 | 69 |
| Programa de demonstradores de <i>smart grids</i> | 19 | 23 | 24 | 24 | 90 |
| Despesas de exploração em pesquisa e desenvolvimento | 50 | 55 | 60 | 60 | 225 |

Fonte: RTE (2015c).

Além disso, numerosas deliberações específicas da CRE foram publicadas para acompanhar o esforço de inovação das transmissoras e distribuidoras, notadamente em termos de administração dos projetos de demonstração. É importante chamar atenção no papel ativo da CRE em termos de experimentações para avaliar as problemáticas técnicas, econômicas e jurídicas. Como foi explicado, a CRE está seguindo todos os projetos de demonstração na França e envolve-se na difusão dos *feedbacks* dessas experiências, graças a organização de numerosas reuniões e encontros de um lado entre ela mesma e os diferentes atores, e de outro entre os diferentes atores entre si (CRE, 2013).

3.2.4.3 Promoção de um sistema de gerenciamento e de acesso aos dados do sistema que seja não-discriminatório, para permitir a todas as empresas de desenvolver modelos de negócios (*business models*) inovativos

Na França, não existe quadro jurídico específico para tratar a questão dos dados gerados pelas tecnologias de *smart grids*. Por enquanto, o quadro aplicável aos dados a caráter pessoais, e então aos dados gerados pelos medidores inteligentes, é a lei n° 78-17 de 5 de janeiro de 1978 sobre informática, arquivos e liberdade modificada. A comissão nacional de informática e das liberdades (CNIL) adotou em 15 de novembro de 2012 a deliberação n° 2012-404 sobre o tratamento dos dados de consumo detalhado coletados pelos medidores. Na medida em que as informações coletadas pelos medidores inteligentes permitem estabelecer padrões de consumo, elas são consideradas dados pessoais e são então objeto de uma atenção especial segundo a lei supracitada. Assim, a CNIL especifica que o tratamento das curvas de carga, por exemplo, é autorizado apenas em três casos: a manutenção e o desenvolvimento da rede pelas distribuidoras; a implementação de tarifas adaptadas ao consumo dos usuários pelas comercializadoras; e o suprimento de serviços complementares por empresas terceiras

(CRE, 2015b).

Sobre a questão da segurança dos dados, a CNIL preconiza diferentes medidas, como o pedido de aceite dos usuários para o tratamento dos seus dados, a implementação de dispositivos técnicos para impedir a coleta de informação sobre a curva de carga em intervalo menor do que dez minutos (e que assim traria um conhecimento detalhado do consumo de energia elétrica do usuário), a fixação de uma duração máxima de conservação dos dados segundo a finalidade, e uma gestão rigorosa das habilitações de acesso aos dados (CRE, 2015b).

Na mesma linha, a CNIL em cooperação com a Federação das indústrias elétricas, eletrônicas e de comunicação (FIEEC), publicaram um “pacote de conformidade” para definir as boas práticas em termos de coleta de dados oriundas de aparelhos domésticos, antecipando assim o desenvolvimento do “internet das coisas”⁷⁴ (CRE, 2015b).

É importante destacar que os dados coletados antes de passar pelos medidores inteligentes dos clientes não devem, a princípio, ser considerados dados pessoais, pois não são relacionados especificamente a uma pessoa física, e não se encaixam então na lei sobre dados pessoais (CRE, 2015b).

Assim, a questão do tratamento dos dados gerados pelas *smart grids* ainda é basicamente objeto de recomendações ou de lei genéricas. Contudo, um quadro jurídico específico está em curso de elaboração e traz consigo uma série de questões que deverão ser tratadas para permitir o desenvolvimento de *smart grids*. Remetem à proteção das bases de dados de *smart grids*, à propriedade dos dados⁷⁵, às notificações de violações de dados (*data breack*), e às questões concorrenciais relacionadas aos dados oriundos de *smart grids* (CRE, 2015b).

3.2.4.4 Financiamento governamental parcial da pesquisa e desenvolvimento para aumentar o nível de maturidade das tecnologias de *smart grids*

Além dos incentivos ao investimento em pesquisa e desenvolvimento através da TURPE, financiamentos complementares provêm de programa de incentivos como o fundo de

74 O internet das coisas, tradução do termo inglês *internet of things*, refere-se à extensão do internet a objetos e lugares do mundo real. Ele concretiza-se através de objetos comunicantes que se inserem no cotidiano, como cartão de transporte sem contato, medidores inteligentes, televisões conetadas, pagamentos à distância, etc. (CNIL, 2015a).

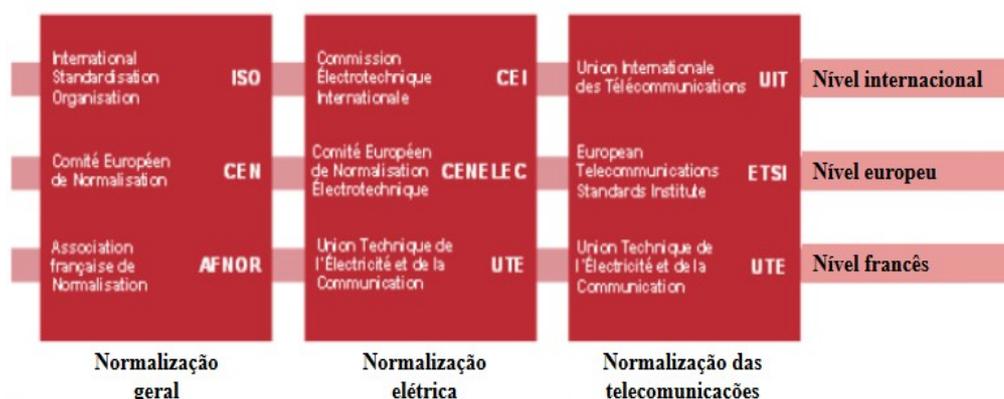
75 A questão da propriedade dos dados é ainda mais urgente de ser tratadas, pois atualmente não existe nenhum regime jurídico que possa enquadrá-la, que seja para os dados pessoais ou pelos outros (CRE, 2015b).

demonstradores de pesquisa ou os *investissements d'avenir* administrados pela ADEME desde 2010, ou de programas quadro para a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico da União Europeia. Os leilões realizados no quadro desses programas facilitam o lançamento de projetos inovadores e a aproximação de atores diversos com especialidades complementares, como, por exemplo, atores tradicionais do setor elétrico e fornecedores de tecnologias.

3.2.4.5 Apoio à padronização relativa à rede, definição de diretrizes técnicas e de regulação para reduzir os custos de *roll-out* e integração de diferentes componentes de *smart grids* garantindo a interoperabilidade do sistema

No caso das *smart grids*, a padronização deve incluir o setor elétrico e o setor da telecomunicações. Geograficamente, existem três diferentes níveis relevantes, ou seja, o nível internacional, o nível europeu e o nível francês. A CRE (2015d) insiste na necessidade de uma padronização nacional, para permitir a interoperabilidade do sistema, mas considera o nível internacional como prevaLENcente, entre outros para que as tecnologias francesas sejam facilmente exportáveis. A Figura 6 apresenta os organismos envolvidos na padronização das normas de tecnologias de *smart grids* por nível e por setor.

Figura 6: Organismos de normalização.



Fonte: CRE (2015d).

Em nível internacional, a Comissão Eletrotécnica Internacional (CEI) criou um grupo

estratégico tendo por objetivo fazer recomendações sobre a padronização na área de redes inteligentes, identificar normas existentes, garantir a coordenação da sua atualização e formular conselhos sobre potenciais novas normas internacionais na área. Graças a esse trabalho, a CEI já publicou numerosas normas internacionais únicas que permitem a implementação de *smart grids* no mundo. Contudo, o assunto é muito recente e ainda existe de um lado muita incerteza sobre o futuro das normas internacionais, e de outro muitas diferenças entre as normas regionais, principalmente entre a Europa e os Estados Unidos (CRE, 2015d).

Na Europa, a Comissão Europeia emitiu em 2010 o mandato chamado M/490 para elaborar um plano de ação sobre normalização, e em particular ao criar uma modelo de uma arquitetura de referência, identificar e formalizar os casos de uso e selecionar um primeiro conjunto de normas e necessidades prioritárias no curto prazo (CRE, 2015d). As suas atividades cessaram em 2014.

Os atores franceses são significativamente envolvidos nos processos de padronização no seio da UE e do resto do mundo. Seis dos treze membros do grupo de pilotagem das operações na Europa eram franceses, e três dos quatro grupos de trabalho eram administrados por representantes de empresas francesas (Alcatel, Alstom e Shneider Electric). No nível internacional, os atores franceses e em particular a EDF são fortemente envolvidos nas atividades de pilotagem das comissões técnicas e nos temas de proteção dos dados (CRE, 2015d).

3.2.4.6 Promoção dos intercâmbios e da colaboração entre as diferentes organizações governamentais, as empresas do setor elétrico e outros atores relevantes para criar um entendimento comum das *smart grids*

Como foi explicado na seção 3.2.1, a CRE reserva grande esforço nessa área. Esse trabalho começou em outubro de 2012, com um seminário que reuniu atores do setor elétrico e autoridades públicas locais para fazê-los dialogar sobre as suas preocupações e expectativas em termos de regulação em um contexto de grande mudança. Em 2013, foram organizadas entrevistas regulares entre a CRE e autoridades públicas locais (municípios, departamentos e regiões) para entender as evoluções do setor da energia em nível local e as expectativas *vis-à-vis* o órgão regulador. Na mesma linha, a CRE reúne atores locais ao redor de mesas de

discussão sobre a regulação e participa de vários eventos sobre a transição energética. Essas múltiplas trocas permitem a CRE familiarizar-se com as questões técnicas, econômicas e jurídicas das autoridades públicas locais e assim acelerar o desenvolvimento das *smart grids* (CRE, 2013).

Paralelamente, no contexto do seguimento dos projetos de demonstração de *smart grids*, a CRE organiza regularmente reuniões com os diferentes atores e administradores de projetos, assim como com a ADEME sobre as chamadas a manifestação de interesse financiadas pelo *investissements d'avenir*. Nessas reuniões, os diferentes *stakeholders* podem apresentar o seus projetos e compartilhar as suas conclusões (CRE, 2013).

Finalmente, a CRE mantém um site internet⁷⁶ dedicado às *smart grids*, que serve de ferramenta de difusão e de promoção dos trabalhos e experimentações realizadas na França e no mundo. Desde 2010, ela publicou vários estudos sobre temáticas relacionadas à *smart grids* como os veículos elétricos, a integração de fontes renováveis de energia ou o armazenamento por exemplo. Existem mais de 100 atores do setor das *smart grids* participando regularmente nos diferentes conteúdos do site.

3.2.5 Uma síntese

À guisa de conclusão sobre as políticas públicas implementadas na França para desenvolver o sistema tecnológico de *smart grids*, o Quadro 11 apresenta uma síntese graças a sua classificação por funções do sistema.

76 www.smartgrids-cre.fr

Quadro 11: Políticas públicas de incentivo à implementação de *smart grids* por função do sistema tecnológico e as suas aplicações na França.

| Políticas públicas | Aplicação na França |
|--|--|
| Criação e difusão de novos conhecimentos | |
| Financiamento governamental parcial da pesquisa e desenvolvimento | - Fundo de demonstradores de pesquisa - <i>Investissements d'avenir</i> - Fundos europeus para pesquisa |
| Promoção de intercâmbios e colaboração entre as diferentes organizações governamentais, as empresas do setor elétrico e outros atores relevantes | - Parceria entre atores complementares nos diversos projetos de <i>smart grids</i> - Reuniões entre a CRE e os outros autores - Seminários locais com todos os atores organizados pela CRE - Site internet de smart grids administrado pela CRE |
| Orientação da direção da pesquisa entre utilizadores e fornecedores de tecnologia | |
| Definição uma estratégia governamental de longo prazo de desenvolvimento do sistema elétrico do futuro | - Programa <i>Nouvelle France Industrielle</i> |
| Implementação de medidas regulatórias para incentivar as transmissoras e as distribuidoras a investir em tecnologias de <i>smart grids</i> . | - TURPE 4 |
| Financiamento governamental parcial da pesquisa e desenvolvimento | - Leilões específicos no quadro dos grandes programas de financiamento. |
| Apoio à padronização relativa à rede, definição de diretrizes técnicas e de regulação | - Tratado principalmente em nível internacional e europeu - Atuação da AF NOR e da UTE em nível nacional |
| Fornecimento de recursos como o capital ou competências | |
| Definição uma estratégia governamental de longo prazo de desenvolvimento do sistema elétrico do futuro | - Programa <i>Nouvelle France Industrielle</i> |
| Criação de externalidades positivas | |
| Promoção de um sistema de gerenciamento de acesso aos dados do sistema que seja não-discriminatório e neutro em termos de tecnologia | - Formulação de recomendações - Quadro jurídico em curso de elaboração (fase inicial) |
| Apoio à padronização relativa à rede, definição de diretrizes técnicas e de regulação | - Tratado principalmente em nível internacional e europeu - Atuação da AF NOR e da UTE em nível nacional |
| Formação de mercado | |
| Definição uma estratégia governamental de longo prazo de desenvolvimento do sistema elétrico do futuro | - Programa <i>Nouvelle France Industrielle</i> - L. 341-4 do código da energia sobre medição inteligente |
| Implementação de medidas regulatórias para incentivar as transmissoras e as distribuidoras a investir em tecnologias de <i>smart grids</i> . | - TURPE 4 - Quadro tarifário especial para medidores inteligentes |

| | |
|--|---|
| Promoção de um sistema de gerenciamento de acesso aos dados do sistema que seja não-discriminatório e neutro em termos de tecnologia | - Formulação de recomendações - Quadro jurídico em curso de elaboração (fase inicial) |
| Políticas sobre proteção dos dados | - Formulação de recomendações - Quadro jurídico em curso de elaboração (fase inicial) - Deliberação n° 2012-404 da CNIL sobre o tratamento dos dados de consumo detalhado coletados pelos medidores |

Fontes: Adaptação de JACOBSSON e BERGEK (2004), MUENCH *et al.* (2014) e BRUNEKREEFT *et al.* (2015).

Observa-se na França uma presença muito marcante do Estado em todos os níveis do sistema tecnológico de *smart grids*, ou seja, nos seus componentes, nas suas redes e nas suas instituições. Apesar de ainda estar em fase inicial, existe um real esforço em termos de políticas públicas para fazer emergir o sistema. Os numerosos projetos de pesquisa e demonstração, o *roll-out* de medidores inteligentes em curso e o montante total dos investimentos mostram um relativo sucesso na implementação de *smart grids* na França. Assim, o sistema encontra-se na sua fase formativa, reforçando as suas funções.

Contudo, à medida que o sistema emerge, apresentam-se novas barreiras, notadamente barreiras institucionais que reforçam suas fragilidades e incertezas. Para superá-las, ainda serão necessários esforços suplementares. Em particular, são necessárias políticas consistentes em relação aos dados, que sejam em termos de propriedade, difusão ou segurança, para, entre outros, garantir a legitimidade da tecnologia. Além disso, ainda não emergiu um modelo tarifário que provou influenciar eficientemente os comportamentos dos usuários equipados de medidores inteligentes, o que é um aspecto fundamental do sucesso das *smart grids*. Conscientes desses desafios urgentes, as autoridades públicas, e a CRE em particular estão engajados na busca de soluções a agenda posta.

CONCLUSÃO

Esta dissertação teve por objetivo principal identificar as políticas públicas para o desenvolvimento de tecnologias *smart grids* na França, com destaque aos aspectos regulatórios. Para tanto, partiu-se da construção de uma base conceitual derivada da teoria evolucionária e com foco no conceito de sistemas tecnológicos, destacando os seus componentes, suas funções e as questões metodológicas relacionadas à sua aplicação, através de uma revisão da literatura desde sua aparição no trabalho de Carlsson e Stankeiwicz (1991). A partir do trabalho de Jacobsson e Bergek (2004), foi estudado um quadro teórico e analítico pertinente para estudar as inovações tecnológicas na área de energia elétrica, cuja emergência enfrenta diversas barreiras, incluindo a concorrência das tecnologias incumbentes, e para qual então a intervenção pública mostra-se necessária, segundo os autores e a própria experiência internacional.

Este quadro teórico foi aplicado no segundo capítulo ao caso das *smart grids*, que são constituídas de diversas inovações tecnológicas, cuja maioria ainda está na sua fase inicial de desenvolvimento, o seja no período formativo. Uma vez os componentes de um sistema tecnológico de *smart grids* tendo sido identificados, o segundo capítulo ressaltou as numerosas barreiras que ele tem de enfrentar para reforçar as suas funções e assim tornar-se autossustentável. Na decorrência dessa constatação, foram apresentadas as diversas políticas públicas implementadas no mundo para superá-las. Neste sentido, buscou-se identificar as funções de um sistema tecnológico, e associar a cada uma delas as barreiras, ou mecanismos de bloqueio, e as políticas implementadas para superá-las e assim reforçar a função em questão, conforme se pode constatar no Quadro 11.

O terceiro e último capítulo propôs-se estudar o caso particular do sistema tecnológico de *smart grids* na França. Para tanto, primeiro foi apresentado brevemente o sistema de inovação nacional francês, o que permitiu concluir no papel dominante do Estado em termos de pesquisa e de inovação no país. Em seguida, foram destacadas as características principais do setor elétrico francês e em particular a predominância ao longo da cadeia de valor da EDF, empresa pública hegemônica e de porte mundial. Na França, as *smart grids* são vistas como uma ferramenta crucial na implementação do processo de transição energética, assim como uma alavanca importante para o projeto nacional reindustrialização do país graças à novas

tecnologias.

A aplicação da abordagem de sistemas tecnológicos, pela identificação dos atores, das redes e das instituições, permitiu compreender a complexidade da dinâmica do processo da emergência e do desenvolvimento das *smart grids*, e assim fornecer elementos úteis e estratégicos para a elaboração de políticas públicas. Primeiro, esta complexidade deve-se à pluralidade de atores, atuando tradicionalmente em mercados diferentes, envolvidos no desenvolvimento do sistema. Do lado das empresas, observa-se a presença das empresas do setor elétrico, mas também, por exemplo, de fornecedores de tecnologias e empresas de tecnologia de informação e comunicação. Estas empresas tem diferentes modos de funcionamento e temporalidade, evoluem em quadros institucionais diferentes, e não tem o costume de trabalhar junto.

Da mesma maneira, do lado das autoridades públicas, existem vários atores diferentes. Podem assim atuarem no sistema as autoridades relacionadas tradicionalmente ao setor elétrico como o ministério responsável pela energia ou o órgão regulador, mas necessita-se também a intervenção das autoridades responsáveis pela inovação, pelas telecomunicações, ou pela proteção dos dados entre outros.

Assim, a constatação da pluralidade de atores destaca a necessidade de fortalecer as redes entre eles para permitir a formação de um verdadeiro sistema e estimular o desenvolvimento das *smart grids*. A importância das rede na abordagem de sistemas tecnológicos permitiu então estudar este aspecto fundamental para a avaliação do sistema e deste modo identificar as barreiras ao seu desenvolvimento. Nesse contexto, as instituições desenvolvem um papel crucial, pois elas podem criar as redes eficientes.

Além disso, a complexidade do sistema tecnológico de *smart grids* diz respeito ao tamanho dos investimentos iniciais e a dificuldade de identificação de retornos pelos potenciais investidores. Por essas razões entre outras, a lógica do mercado não pode dar conta do primeiro impulso necessário ao nascimento do sistema. Nesta fase, a intervenção das autoridades públicas é necessária. A abordagem de sistema tecnológico, através do conceito de período formativo embutido nela, permitiu entender que é nessa fase que as *smart grids* se encontram. Assim pôde-se, para cada função necessitando ser reforçada, identificar certas barreiras a serem superadas.

De modo geral, a abordagem de sistemas tecnológicos possibilitou apresentar as

políticas públicas desenvolvidas e em desenvolvimento em um quadro que permita entender a complexidade do seu contexto, as suas razões, a sua articulação e os seus objetivos.

De modo específico, a aplicação da abordagem dinâmica de sistemas tecnológicos ao caso francês revelou a importância do papel do Estado nas suas redes, elemento fundamental no funcionamento do sistema. Observa-se uma presença significativa do Estado na criação do sistema, através da atuação dos ministérios, agências nacionais e órgão regulador. Essa atuação permitiu colocar as bases do sistemas criando e organizando as redes entre os diferentes atores graças à formação de numerosas coalizões. As coalizões reúnem diferentes atores complementares e atuam nas atividades de pesquisa, de demonstração e, no caso dos medidores inteligentes, de *roll-out*.

Constata-se que na França, o diálogo entre as autoridades públicas e o setor elétrico é facilitado pela posição da EDF, em situação de quase monopólio e de controle do Estado. Por exemplo, a decisão por lei de responsabilizar a ERDF para a administração do *roll-out* de medidores inteligente no território cria uma demanda por tecnologia que resulta na criação de mercado e na entrada de novas firmas. Assim, o contexto institucional influencia grandemente a implementação de *smart grids* na França.

Para resumir, no caso da França também, a abordagem de sistemas tecnológicos permitiu apresentar e analisar as políticas públicas em seu contexto nacional particular a fim de melhor entendê-las.

Além disso, esta dissertação pode constituir um ponto de partida para futuras pesquisas relacionadas a este tema crucial para o futuro do setor elétrico. Os quadros de síntese fazendo corresponder as barreiras e as políticas públicas implementadas para cada função do sistema ressaltam as lacunas que ainda existem.

No curto prazo, parece fundamental estudar os resultados dos projetos-piloto sobre *demand response*, pois existe um importante incerteza ao redor desse tema, apesar dele ser fundamental para a legitimidade da tecnologia, e então o desenvolvimento do sistema. Tais resultados são indispensáveis à definição de uma nova regulação tarifária que tem por objetivo deslocar os horários de picos e reduzir o consumo como um todo.

Além disso, o tema da segurança e da administração dos dados precisa ser tratado pelos órgãos reguladores urgentemente, pois, a medida que as tecnologias vão sendo implementadas, a quantidade de dados geradas está aumentando rapidamente. Uma regulação

adaptada tem de permitir a circulação desses dados entre os diferentes atores para eles desenvolverem novos serviços performantes. Contudo, a sua segurança também deve ser estudada cuidadosamente para proteger a privacidade dos usuários assim como o sistema como um todo de eventuais ataques.

A abordagem teórico-analítica escolhida nesse trabalho permite definir uma agenda aberta e geral, estabelecendo conexões entre trabalhos de políticas públicas e de inovação, exercício fundamental no que diz respeito aos próximos passos da implementação de *smart grids* na França e no mundo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADEME, Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie, *Système électriques intelligents: Feuille de route stratégique*, 2013. Disponível em: <
<http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/systemes-electriques-intelligents-7651.pdf>>.
- ARCHIBUGI D., HOWELLS J., MICHIE J., *Innovation system in a global economy*, Center for Research on Innovation and Competition, The University of Manchester, Manchester, 1998.
- AMIN S. M., WOLLEMBERG F. W., *Toward a Smart Grid*, IEEE Power & Energy Magazine, setembro/outubro, pp. 34-41, 2005.
- BALIJEPAI V. S. K. M., *Review of demand response under smart grid paradigm*, IEEE, p. 236-243, 2011.
- BANQUE MONDIALE (2015a), *Industrie, valeur ajoutée*. Disponível em: <
<http://donnees.banquemondiale.org/indicateur/NV.IND.TOTL.ZS>>. Acesso em: 6 de novembro de 2015.
- BANQUE MONDIALE (2015b), *Pays et territoires*. Disponível em: <
<http://donnees.banquemondiale.org/pays>>. Acesso em 20 de novembro de 2015.
- BOUCKAERT S., *Contribution des Smart Grids à la transition énergétique : évaluation dans des scénarios long terme*, Tese de D.Sc, École nationale supérieure des mines de Paris, Paris, França, Dezembro de 2013.
- BRUNEKREEFT G., LUHMANN T., MENZ T., MÜLLER S.U. e RECKNAGEL P., *Regulatory Pathways For Smart Grid Development in China*. In: BRUNEKREEFT G., LUHMANN T., MENZ T., MÜLLER S.U. e RECKNAGEL P., *Conceptual framework and background*, Springer Vieweg, 2015.
- CARLSSON B., STANKIEWICZ R., *On the nature, function, and composition of technological systems*, Journal of Evolutionary Economics (1), pp, 93-118, 1991.
- CARLSSON B., STANKIEWICZ R., *Technological systems and economic performance: the case of factory automation*, Dordrecht, Kluwer, 1995.
- CARLSSON B., JACOBSSON S., *In search of a useful technology policy – general lessons and key issues for policy makers*, In: Carlsson, B. (Ed.), *Technological Systems and Industrial Dynamics*, Kluwer Press, Boston, pp. 299–315, 1997.
- CARLSSON B., JACOBSSON S., HOLMÉN M., RICKNE A., *Innovation systems: analytical and methodological issues*, Research Policy (31), pp. 233-245, 2002.
- CHANG H., EVANS P., *The Role of Institutions in Economic Change*, in Dymski, G. and De Paula, S., *Reimagining Growth*, Zed Books, London, 2005.

CLASTRES C., *Les réseaux intelligents: régulation investissement et gestion de la demande électrique*, Cahier de recherche LEPII (39), PP. 28, 2010.

CNIL (2015a), Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés, *Internet des objets*. Disponível em: < <http://www.cnil.fr/les-themes/technologies/internet-des-objets-et-rfid/> >. Acesso em: 15 de novembro de 2015.

CNIL (2015b), Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés, *Pack de conformité, les compteurs communicants*, 2014. Disponível em: < http://www.cnil.fr/fileadmin/documents/Vos_responsabilites/Packs/Compteurs/Pack_de_Conformite_COMPTEURS_COMMUNICANTS.pdf >. Acesso em: 16 de novembro de 2015.

COCCIA M., *Classifications of Innovations Survey and Future Directions*, Ceris-Cnr, W.P., 2006.

COUNCIL OF EUROPEAN ENERGY REGULATORS, CEER, CEER Status review on european regulatory approaches enabling smart grid solutions ("smart regulation"), Council of European Energy Regulators asbl, Brussels, 2014.

CRE, Commission de Régulation de l'Énergie, *Consultation publique de la Commission de régulation de l'énergie sur le développement des réseaux électriques intelligents en basse tension*, 4 de novembro de 2013.

CRE (2015a), Commission de Régulation de l'Énergie, *Comment construire un modèle d'affaire?*. Disponível em: < <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=modeles-modele-affaires> >. Acesso em: 11 de outubro de 2015.

CRE (2015b), Commission de Régulation de l'Énergie, *La gestion des données*. Disponível em: < <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=gestion-donnees> >. Acesso em: 29 de outubro de 2015.

CRE (2015c), Commission de Régulation de l'Énergie, *Le cadre tarifaire mis en place par la CRE pour favoriser les investissements de R&D dans les réseaux électriques*. Disponível em: < <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=cadre-tarifaire-cre> >. Acesso em: 29 de outubro de 2015.

CRE (2015d), Commission de Régulation de l'Énergie, *Normalisation*. Disponível em: < <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=normalisation-essentiel> >. Acesso em: 29 de outubro de 2015.

CRE (2015e), Commission de Régulation de l'Énergie, *Tarifs d'accès au réseau et prestations annexes*. Disponível em: < <http://www.cre.fr/reseaux/reseaux-publics-d-electricite/tarifs-d-acces-et-prestations-annexes> >. Acesso em: 30 de outubro de 2015.

CRE (2015f), Commission de Régulation de l'Énergie, *L'annuaire des projets de smart grids em France*. Disponível em: < <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=france> >. Acesso em: 20 de novembro de 2015.

- CRE (2015g), Commission de Régulation de l'Énergie, *Acteurs et initiatives*. Disponível em: < <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=acteurs-energie> >. Acesso em: 21 de novembro de 2015.
- CRISPIM J., BRAZ J., CASTRO R., ESTEVES J., *Smart Grids in the EU with smart regulation: Experiences from UK, Italy and Portugal*, Utilities Policy (31), pp. 85-93, 2014.
- DOSI G., *Technological paradigms and technological trajectories*, Research Policy (11), pp. 147-162, 1982.
- DOSI G., *Technical change and industrial transformation*, Macmillan, London, 1984.
- DNC KEMA. *Market scan smart meters and smart grids in Russia*. KEMA Netherland B.V. Arnhem, 2013.
- EC, European Commission, *Cost-benefit analyses & state of play of smart metering deployment in the EU-27*, Brussels, 2014a.
- EC, EUROPEAN COMMISSION, *Smart grid project outlook 2014*, Publications office of the European Union, Luxembourg, 2014b.
- EC, EUROPEAN COMMISSION, *Les objectifs d'Europe 2020*. Disponível em: < http://ec.europa.eu/europe2020/europe-2020-in-a-nutshell/targets/index_fr.htm >. Acesso em: 21 de novembro de 2015.
- EDF, Électricité de France, *EDF en bref*. Disponível em: < <https://www.edf.fr/groupe-edf/premier-electricien-mondial/edf-en-bref> >. Acesso em: 16 de outubro de 2015.
- EDQUIST C., *Innovation Policy: A Systemic Approach*, TEMA-T Working Paper. Linköping University, Linköping, 1999.
- EDQUIST C., *The system of Innovation approach and innovation policy: An account of the state of art*, Lead paper presented at the DRUID Conference, Alborg, June 12-15, 2001 under the theme F: 'National Systems of Innovation, Institutions and Public Policies'.
- EDQUIST C., JOHNSON B., *Institutions and organisations in systems of innovation*, in C. EDQUIST C., *Systems of Innovation: Technologies, Institutions and Organizations*, London and Washington, Pinter/Cassell Academic, 1997.
- ENERGY AND CLIMATE CHANGE COMMITTEE, *Smart meters, progress or delay*, House of Commons, 2015. Disponível em: < <http://www.publications.parliament.uk/pa/cm201415/cmselect/cmenergy/665/665.pdf> >.
- ERDF, *Alstom et ERDF s'allient pour le développement et la commercialisation de logiciels de gestion des réseaux*, 2013.
- ERDF (2015a), Profil. Disponível em: < <http://www.erdf.fr/profil> >. Acesso em: 20 de novembro de 2015.

ERDF (2015b), Linky, le compteur communicant d'ERDF. Disponível em: <<http://www.erdf.fr/linky-le-compteur-communicant-derdf#onglet-linky-cest-quoi>>. Acesso em: 25 de novembro de 2015.

ERICSSON W., MAITLAND I., *Healthy industries and public policy*, In DUTTIN M. E., *Industry vitalization*. Pergamon Press, New York, 1989.

ETP SMARTGRIDS, *The SmartGrids European Technology Platform*. Disponível em: <<http://www.smartgrids.eu/>>. Acesso em: 21 de novembro de 2015.

EU, European Union, *Directive 2009/72/CE*, anexo 1, paragrafo 2, 2009, disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:211:0055:0093:EN:PDF>>.

EUROSTAT, Data, 2013. Disponível em: <<http://ec.europa.eu/eurostat>>.

Acesso em: julho de 2015.

FREEMAN C., CLARK J. e SOETE L., *Unemployment and technical innovation: a study of long waves and economic development*, Frances Printer, London, 1982.

FREEMAN C., *Technology and Economic Performance: Lessons from Japan*, Pinter, London, 1987.

FUTURE GRID, *Cluster Project 1, Power and Energy System Modelling and Security*. Disponível em: <<http://www.futuregrid.org.au/index.php/milestones/15-milestone-summaries/39-cluster-project-1-milestone-summaries>>. Acesso em 02/08/2015.

GLACHANT J.M., PIGNON V., *Nordic congestion's arrangement as a model for Europe? Physical constraints vs. economic incentives*, Utilities Policy (13), pp. 153-162, 2005.

GOSENS J., LU Y. e COENEN L., *The role of transnational dimensions in emerging economy 'Technological Innovation Systems' for clean-tech*, Journal of Cleaner Production (86), pp. 378-388. 2015.

GOUVERNEMENT FRANÇAIS, *La Nouvelle France Industrielle*, 2013. Disponível em: <<http://proxy-pubminefi.diffusion.finances.gouv.fr/pub/document/18/17721.pdf#page=49>>.

GOUVERNEMENT FRANÇAIS, *Industrie du futur, réunir la Nouvelle France Industrielle*, 2015a. Disponível em: <http://www.economie.gouv.fr/files/files/PDF/industrie-du-futur_dp.pdf#page=25>.

GOUVERNEMENT FRANÇAIS (2015b), *Investissements d'avenir*. Disponível em: <<http://www.gouvernement.fr/les-investissements-d-avenir>>. Acesso em: 15 de outubro de 2015.

GOUVERNEMENT FRANÇAIS (2015c), *Les instituts pour la transition énergétique*. Disponível em: <<http://competitivite.gouv.fr/les-investissements-d-avenir-une-opportunite>>.

pour-les-poles-de-competitivite/les-instituts-pour-la-transition-energetique-ite-660.html >. Acesso em: 28 de outubro de 2015.

GOUVERNEMENT FRANÇAIS (2015d), *Politique des pôles*. Disponível em: < <http://competitivite.gouv.fr/politique-des-poles-471.html> >. Acesso em: 28 de outubro de 2015.

HEFFNER G., *Smart grid - Smart customers Policy needs*, OCDE-IEA, Paris, 2011.

IEA, International Energy Agency, *Technology Roadmap: Smart Grids*, IEA, Paris, 2011.

IEA, International Energy Agency, *World Outlook 2013*, IEA, Paris, 2013.

INSTITUTS CARNOT, *Qui sommes-nous?*. Disponível em: < <http://www.instituts-carnot.eu/fr/qui-sommes-nous> >. Acesso em: 25 de novembro de 2015.

INSTITUT DE L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE, *Qu'est-ce que l'économie circulaire*. Disponível em: < http://www.institut-economie-circulaire.fr/Qu-est-ce-que-l-economie-circulaire_a361.html >. Acesso em: 2 de novembro de 2015.

INTELLIGENT ENERGY EUROPE, *European smart metering landscape report*, Vienna, 2011. Disponível em: < http://www.piio.pl/dok/European_Smart_Metering_Landscape_Report.pdf >.

ISGAN, International Smart Grid Action Network. *Smart Grid Drivers And Technologies By Country, Economies, And Continent*. ISGAN Framework of Assessment Report, 2014. Disponível em: < www.iea-isgan.org >.

JACOBSSON S., BERGEK A., *Transforming the energy sector: the evolution of technological system in renewable energy technology*, *Corporate and Industrial Change* (13), pp. 815-849, 2004.

JACOBSSON S., BERGEK A., *Innovation analyses and sustainability transitions: Contributions and suggestions for research*, *Environmental Innovation and Societal Transitions* (1), pp. 41-57, 2011.

JOHNSON A., *Functions in innovation system approaches*, 1998.

KLEIN WOOLTHUIS R., LANKHUIZEN M., GILSING V., *A system failure framework for innovation policy design*, *Technovation* (25), pp. 609–619, 2005.

LIU X., WHITE S., *Comparing Innovation Systems: A Framework and Application to China's Transitional Context*, Mimeo, Beijing and Hong Kong, 2000.

LUNDEVALL B., *Innovation as an interactive process: from user-supplier interaction to the national system of innovation*, in: DOSI *et al.*, *Technical change and economic theory*, Theory Francis Pinter, London, pp. 349-369, 1988.

LUNDVALL B., *National systems of innovation and interactive learning*, Pinter Publishers, London, 1992.

LUNDVALL B., JOHNSON B., ANDERSEN E. S., DALUM B., *National systems of production, innovation and competence building*, *Research Policy* (31), pp. 213-231, 2002.

MALERBA F., *Public policy and industrial dynamics: an evolutionary perspective*, manuscript submitted to the Commission, dezembro de 1996.

MARQUES et al., *The smart Paradox: Simulate the deployment of smart grids with effective regulatory instruments*, *Energy* (69), pp. 96-103, 2014.

MASSOUD AMIN S., WOLLENBERG B., *Toward a Smart Grid*, IEEE power and energy magazine (3), pp. 34-41, 2005.

METCALFE S., *Evolution and economic change*, In: Silberston A., *Technology and economic progress*, Macmillan, London, 1989.

MEEUS L., SAGUAN M., GLACHANT J.M., BELMANS R., *Smart regulation for smart grids*, EUI Working Papers, 2010.

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE (2015a), *Décret d'attribution de la ministre de l'écologie, du développement durable et de l'énergie*. Disponível em: < <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Decret-d-attribution-de-la.html> >. Acesso em: 18 de outubro de 2015.

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE (2015b), *Investissements d'Avenir*. Disponível em: < <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Principaux-programmes-sur-1,40555.html> >. Acesso em: 22 de outubro de 2015.

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE (2015c), *La transition énergétique pour la croissance verte*. Disponível em: < <http://www.developpement-durable.gouv.fr/-La-transition-energetique-pour-la-.html> >. Acesso em: 22 de outubro de 2015.

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE (2015d), *Tarifs réglementés de vente d'électricité*. Disponível em: < <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Quelles-sont-les-differentes,33511.html> >. Acesso em 24 de outubro de 2015.

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE, DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE, *Les mesures en faveur de l'innovation*. Disponível em: < <http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/cid56619/les-mesures-en-faveur-de-l-innovation.html#cir> >. Acesso em 2 de novembro de 2015.

MOISAN F., *Du fonds démonstrateur aux investissements d'avenir : promouvoir une offre française dans le domaine des technologies vertes*, Annales des Mines - Responsabilité et

environnement (61), p. 109-115, 2011.

MUENCH S., THUSS S., GUENTHER E., *What hampers energy system transformation? The case of smar grids*, Energy Policy (73), pp. 80-92, 2014.

NELSON R. R., *National Innovation Systems: A Comparative Study*, Oxford University Press, Oxford, 1993.

NELSON, R. R., WINTER S. G., *Uma Teoria Evolucionária da Mudança Econômica*, Campinas, SP: Editora da Unicamp, 1982, 2005.

OECD, Organisation for economic cooperation and development, *National Innovation Systems*, OECD Publications, Paris, 1997.

OCDE, Organisation pour la coopération et le developpement économique, *Examen de l'OCDE des politiques d'innovation*, France, Éditions OCDE, 2014.

PELIKAN P., *Can the imperfect innovation systems of capitalism be outperformed ?*, In: DOSI G. et al., *Technical change and economic theory*. Pinter Publishers, London, 1988.

RTE, *Bilan électrique 2014*, 2014. Disponível em: < http://www.rte-france.com/sites/default/files/bilan_electrique_2014.pdf >.

SCHUMPETER J. A., *Capitalismo Socialismo e Democracia*, Editora Fundo de Cultura, Rio de Janeiro, 1961.

SMART GRID EUROPE TECHNOLOGY PLATFORM, *ETP SmartGrids*. Disponível em: < <http://www.smartgrids.eu/ETPSmartGrids> >. Acesso em 20 de setembro de 2015.

THINK, *From distribution networks to smart distribution system: Rethinking regulation of European electricity DSOs*, European University Institute, Florence, 2013.

TIGRE P., Inovação e teorias da forma em três paradigmas, *Revista de economia contemporânea* (3), pp. 67-111, 1998.

UTTERBACK J. M., ABERNATHY W. J., *A Dynamic Model of Process and Product Innovation*, Omega (3), pp. 639-656, 1975.

WILDT T., *The challenges of the French electricity generation sector: an analysis using ESDMA*, 2013. Disponível em: < <http://www.systemdynamics.org/conferences/2013/proceed/papers/P1366.pdf> >.

XU D., WANG M., WU C. e CHAN, K., *Evolution of the Smart Grid in China*, McKinsey on Smart Grid, 2010. Disponível em: <http://www.mckinsey.com/client_service/electric_power_and_natural_gas/latest_thinking/mckinsey_on_smart_grid>.