

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

Cristóvão Alves de Souza Gonçalves

**Inovação no Setor Elétrico Brasileiro:
Uma Análise com Base em Redes Sociais**

RIO DE JANEIRO

2017

Cristóvão Alves de Souza Gonçalves

**Inovação no Setor Elétrico Brasileiro:
Uma Análise com Base em Redes Sociais**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Indústria e Tecnologia, Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Economia.

ORIENTADORA: Prof. Dr. José Eduardo Cassiolato
COORIENTADOR: Prof. Dr. Caetano Christophe Rosado Penna

RIO DE JANEIRO

2017

FICHA CATALOGRÁFICA

G635 Gonçalves, Cristóvão Alves de Souza.
Inovação no setor elétrico brasileiro: uma análise com base em redes sociais /
Cristóvão Alves de Souza Gonçalves.- 2017.
124 p. ; 31 cm.

Orientador: José Eduardo Cassiolato.

Coorientador: Caetano Christophe Rosado Penna.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de
Economia, Programa de Pós-Graduação em Economia da Indústria e Tecnologia,
2017.

Bibliografia: f. 118 – 124.

1. Sistemas de inovação. 2. Setor elétrico brasileiro. 3. Análise de redes sociais. I.
Cassiolato, José Eduardo, orient. II. Penna, Caetano Christophe Rosado, coorient.
III. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Instituto de Economia. IV. Título.

CDD 303.483

FOLHA DE APROVAÇÃO

Cristóvão Alves de Souza Gonçalves

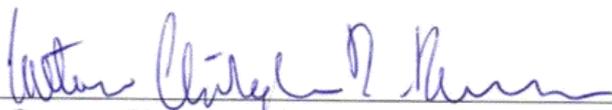
Inovação no Setor Elétrico Brasileiro: Uma Análise com Base em Redes Sociais

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Indústria e Tecnologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção de título de Mestre em Economia

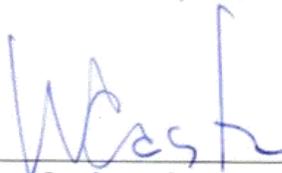
Rio de Janeiro, 31 de agosto de 2017



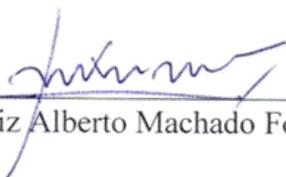
Prof. Dr José Eduardo Cassiolato, Instituto de Economia/UFRJ



Prof. Dr. Caetano Christophe Rosado Penna, Instituto de Economia/UFRJ



Prof. Dr. Nivalde José de Castro, Instituto de Economia/UFRJ



Prof. Dr. Luiz Alberto Machado Fortunato, CEFET-RJ/ONS

AGRADECIMENTOS

Este estudo está atrelado a um projeto de P&D do setor elétrico regulado pela Aneel, executado pelo Grupo de Estudos do Setor Elétrico (Gesel-UFRJ), intitulado Avaliação do Programa de P&D da Aneel 2008 e 2015. Gostaria de deixar registrado meu agradecimento aos pesquisadores do Gesel, que tanto me auxiliaram durante o desenvolvimento deste estudo, em especial ao Professor Nivalde de Castro, Professor Caetano Penna, Professor Rubens Rosenal, ao pesquisador Maurício Moskowicz e ao meu orientador, Professor José Cassiolato, por todo apoio durante a realização deste trabalho. Agradeço também à Aneel pela disponibilização da base de dados que foi fundamental para o seguimento deste estudo.

Aos colegas do mestrado e demais pesquisadores do Gesel, agradeço por todo compartilhamento de conhecimentos e pela amizade criada durante os últimos anos, notadamente: Pedro, Kesia, Felipe, Francesco, Guilherme, Kamaiaji, Marcus, Max, Patrícia, Pedrão, Renata, Vinícius, Victor, Fernando, Victoria, Carlão, Vanessa, Lorrane, Daniel e Gabriel.

Aos meus amigos que dividiram momentos de dificuldades e superação comigo ao longo dos últimos anos: Carlisson, Fred, Gabriel, Henrique e Tati, e que foram fundamentais para tornar essa jornada mais agradável.

Finalmente, à minha família, sempre presente, mesmo que distante, agradeço pela inspiração e amor incondicional: Joaquim, Solange, Elicardo e Leonio. Peço desculpas se esqueci de alguém.

RESUMO

ALVES, C. *Inovação no Setor Elétrico Brasileiro: Uma Análise com Base em Redes Sociais*. 2017. 124 páginas f. Dissertação (Mestrado em Economia da Indústria e Tecnologia) – Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

A iminência do surgimento de um novo paradigma tecnológico vem gerando profundas modificações no setor elétrico em todo o mundo. A inovação possui um papel central nesse processo de transição do setor elétrico, promovendo mudanças e gerando novas oportunidades para novas tecnologias, produtos, sistemas, regulação e modelos de negócio. No entanto, a introdução de inovação no setor é tipicamente conduzida por grandes fornecedores internacionais, e apresenta elevadas barreiras à entrada para as empresas brasileiras do setor. Esse cenário tem gerado a necessidade de desenvolver políticas públicas para promoção de inovação por parte das empresas brasileiras do setor. Desde julho de 2000, a lei 9.991 criou o programa de P&D do Setor Elétrico Brasileiro, obrigando as concessionárias a investirem um percentual mínimo de sua receita em programas de pesquisa e desenvolvimento, que configurou a principal política pública de promoção de inovação no setor elétrico brasileiro. O objetivo deste trabalho é realizar uma análise das redes de colaboração entre concessionárias do setor elétrico, fornecedores de bens e serviços e institutos de ciência e tecnologia dentro do âmbito do programa de P&D da Aneel, de forma a identificar quem são os principais agentes propulsores de inovações no setor elétrico brasileiro entre 2011 e 2015.

Palavras-chaves: Inovação, Programa de P&D da ANEEL, Análise de Redes Sociais, Sistemas de Inovação, Setor Elétrico Brasileiro

ABSTRACT

ALVES, C. *Inovação no Setor Elétrico Brasileiro: Uma análise com base em Redes Sociais*. 2017. 2017 f. Dissertação (Mestrado em Economia da Indústria e Tecnologia) – Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

The electric sector is on the eve of profound modifications throughout the world. Innovation will play a key role in the transition process of the electric sector, promoting changes and creating opportunities for new technology, product, system, regulation and business structures. However, innovations in the electric sector are usually led by large multinational suppliers that take advantage from elevated barriers to entry. This scenario made necessary the development of internal mechanisms to promote innovation. The law 9.991/2000 required that electric sector companies allocate part of their revenue to research and development programs. This regulatory apparatus created the main public policy to promote innovation in the Brazilian Electric Sector. The aim of this study is to assess the collaboration networks between electric sector companies, goods and services providers and institutes of science and technology created in R&D projects, under Aneel regulation, from 2011 to 2015. Based on this analysis we can identify who are the main players that promote innovation in the Brazilian Electric Sector

Keywords: Innovation, ANEEL R&D Program, Social Network Analysis, Innovation Systems, Brazilian Electric Sector

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Capacidade instalada por fonte geradora em 2006, 2010 e 2015	20
Tabela 2 – Número de projetos finalizados de P&D entre 2011 e 2015 por tema	30
Tabela 3 - Investimentos em projetos de P&D finalizados entre 2011 e 2015, por tema (R\$ Milhões)	30
Tabela 4 - Investimento compulsório em P&D e eficiência energética (% da ROL)	35
Tabela 5 - Quantidade e custo dos projetos entre o ano de acordo com seu estágio na cadeia de inovação	39
Tabela 6 - Campo de informações disponibilizadas pela Aneel para os projetos de P&D	67
Tabela 7 - Número de projetos de P&D finalizados entre 2011 e 2015 e valores investidos (deflacionado a valores de 2011 com base no IPCA)	72
Tabela 8 - Projetos de P&D finalizados entre 2011 e 2015 por fase na cadeia de inovação.....	72
Tabela 9 - Número de projetos de P&D entre 2011 e 2015 por tipo de produto.....	73
Tabela 10 - Valores dos projetos de P&D realizados entre 2011 e 2015 por tipo de produto	73
Tabela 11 - Número de projetos realizados entre 2011 e 2015 por tipo de parceria	74
Tabela 12 - Institutos de Ciência e Tecnologia que mais participaram de projetos de P&D entre 2011 e 2015	75
Tabela 13 - Fornecedores que mais participaram de projetos de P&D entre 2011 e 2015.....	75
Tabela 14 – Concessionárias do setor elétrico com mais investimentos e projetos de P&D finalizados entre 2011 e 2015.....	77
Tabela 15 - Número de projetos finalizados entre 2011 e 2015 por número de participantes e tipo de parceria.....	78
Tabela 16 - Mão de obra envolvida nos projetos de P&D finalizados entre 2011 e 2015 por titulação acadêmica e função – Pesquisadores das concessionárias do setor elétrico	79
Tabela 17 - Mão de obra envolvida nos projetos de P&D entre 2011 e 2015 por titulação acadêmica e função – Pesquisadores das empresas fornecedoras e ICTs	79
Tabela 18 - Número de capacitações acadêmicas geradas como resultado dos programas de P&D finalizados entre 2011 e 2015	80
Tabela 19 - Projetos que tiveram capacitação técnica x participação de ICTs (2011-2015).....	81
Tabela 20 - Projetos de P&D finalizados entre 2011 e 2015 que geraram pedido de patente.....	81
Tabela 21 - Valores investidos em projetos de P&D finalizados entre 2011 e 2015 por região	82

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Evolução da autonomia dos reservatórios entre 2000 e 2012.....	19
Figura 2 - Investimento em P&D realizado por empresas tipicamente relacionadas ao setor elétrico em 2015, no mundo	29
Figura 3 - Investimento em P&D realizado por empresas tipicamente relacionadas ao setor elétrico em 2015, como percentual da receita líquida	29
Figura 4 - Visão ampla e restrita de um sistema nacional de inovação.....	48
Figura 5 - Representação gráfica dos subsistemas de inovação no Setor Elétrico Brasileiro ...	54
Figura 6 - Descrição do estudo do IPEA (2011) e lacunas metodológicas	57
Figura 7 - Evolução no número de artigos científicos com "social networks" no título ou resumo (1965-2005).....	59
Figura 8 – Exemplo de rede de colaboração entra a concessionária CPFL e empresas fornecedoras e ICTs	84
Figura 9 – Exemplo de rede de colaboração entra a concessionária AES Eletropaulo e empresas fornecedoras e ICTs.....	86
Figura 10 - Rede de colaboração entra a concessionária Coelba (Neoenergia) e empresas fornecedoras e ICTs	88
Figura 11 - Redes de colaboração formadas pelos 15 principais fornecedores do setor elétrico e concessionárias do setor elétrico	90
Figura 12 - Redes de colaboração formadas pelos 15 principais fornecedores do setor elétrico e concessionárias do setor elétrico, no segmento de geração de energia	91
Figura 13 - Redes de colaboração formadas pelos 15 principais fornecedores do setor elétrico e concessionárias do setor elétrico, no segmento de transmissão de energia.....	92
Figura 14 - Redes de colaboração formadas pelos 15 principais fornecedores do setor elétrico e concessionárias do setor elétrico, no segmento de distribuição de energia.....	93
Figura 15 - Redes de colaboração formadas pelos 15 principais fornecedores do setor elétrico e concessionárias do setor elétrico, no tema supervisão e controle	95
Figura 16 - Redes de colaboração formadas pelos 15 principais fornecedores do setor elétrico e concessionárias do setor elétrico, no tema operação	95
Figura 17 - Redes de colaboração formadas pelos 15 principais fornecedores do setor elétrico e concessionárias do setor elétrico, no tema fontes alternativas	96
Figura 18 - Redes de colaboração formadas pelos 15 principais fornecedores do setor elétrico e concessionárias do setor elétrico, no tema meio ambiente.....	96
Figura 19 - Rede de colaboração formada por concessionárias do setor elétrico e fornecedores em 2012.....	99
Figura 20 - Rede de colaboração formada por concessionárias do setor elétrico e fornecedores em 2015	99
Figura 21 - Redes de colaboração formadas pelas 15 principais ICTs e concessionárias do setor elétrico.....	100
Figura 22 - Redes de colaboração formadas pelas 15 principais ICTs e concessionárias do setor elétrico, no segmento de geração de energia	102
Figura 23 - Redes de colaboração formadas pelas 15 principais ICTs e concessionárias do setor elétrico, no segmento de transmissão de energia	103
Figura 24 - Redes de colaboração formadas pelas 15 principais ICTs e concessionárias do setor elétrico, no segmento de distribuição de energia	103
Figura 25 - Redes de colaboração formadas pelas 15 principais ICTs e concessionárias do setor elétrico, no tema supervisão e controle	105

Figura 26 - Redes de colaboração formadas pelas 15 principais ICTs e concessionárias do setor elétrico, no tema operação.....	106
Figura 27 - Redes de colaboração formadas pelas 15 principais ICTs e concessionárias do setor elétrico, no tema fontes alternativas	106
Figura 28 - Redes de colaboração formadas pelas 15 principais ICTs e concessionárias do setor elétrico, no tema meio ambiente.....	107
Figura 29 - Rede de colaboração formada por concessionárias do setor elétrico e ICTs em 2012	109
Figura 30 - Rede de colaboração formada por concessionárias do setor elétrico e ICTs em 2015	109

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACL – Ambiente de Contratação Livre
ACR – Ambiente de Contratação Regulada
Aneel – Agência Nacional de Energia Elétrica
ARS – Análise de Redes Sociais
BNDES – Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social
CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CNPE – Conselho Nacional de Política Energética
COP – Conferência das Partes
EPE – Empresa de Pesquisa Energética
FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos
FMI – Fundo Monetário Internacional
FNDCT – Fundo Nacional para o Desenvolvimento da Ciência e Tecnologia
G,T,D – Geração, Transmissão e Distribuição de Energia
GESEL – Grupo de Estudos do Setor Elétrico
INPI – Instituto Brasileiro de Propriedade Intelectual
IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
MME – Ministério de Minas e Energia
MW – Megawatt
MWh – Megawatt-hora
OCDE – Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico
P&D – Pesquisa e Desenvolvimento
R&D – *Research and Development*
ROL – Receita Operacional Líquida
SEB - Setor Elétrico Brasileiro
SIN – Sistema Interligado Nacional
SNA - Social Network Analysis
TUSD – Tarifa pelo Uso do Sistema de Distribuição
UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro
UNCTAD – Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento
V2G – Vehicle to Grid

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	12
1. O PROCESSO DE INOVAÇÃO NO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO	15
1.1 Caracterização do Setor Elétrico Brasileiro	15
1.2 Tendências de Inovação no setor.....	20
1.2.1 Fontes renováveis	21
1.2.2 Geração distribuída e redes inteligentes	23
1.2.3 Mobilidade elétrica.....	26
1.2.4 Tendências de investimento em P&D no Brasil e no mundo	28
1.3 O Processo de Inovação no Setor Elétrico Brasileiro.....	31
1.4 O Programa de P&D da Aneel	34
2. A ABORDAGEM EVOLUCIONÁRIA DO PROCESSO INOVATIVO E OS SISTEMAS DE INOVAÇÃO	43
2.1 Sistemas de Inovação	43
2.1.1 Inovação na visão neoclássica e evolucionária	43
2.1.2 Abordagem de sistemas de inovação.....	45
2.2 Sistemas setoriais de inovação	48
2.3 Sistema de inovação no setor elétrico	50
3. ANÁLISE DE REDES SOCIAIS	55
3.1 Sistemas de inovação e redes sociais	55
3.2 Histórico da análise de redes sociais	58
4. METODOLOGIA	64
4.1 A análise de redes sociais.....	64
4.2 Base de dados.....	65
4.3 Procedimentos metodológicos.....	68
5. ANÁLISE DA REDE DE PESQUISA APLICADA AO PROGRAMA DE P&D DA ANEEL	71
5.1 Estatísticas descritivas.....	71
5.2 Resultados e discussão	83
5.2.1 Redes de colaboração formadas por concessionárias do setor elétrico, fornecedores e ICTs.....	83
5.2.2 Redes de colaboração formadas pelos 15 principais fornecedores do setor elétrico ..	89
5.2.3 Redes de colaboração formadas por fornecedores e concessionárias do setor elétrico, por segmento (geração, transmissão e distribuição).....	91

5.2.4 Redes de colaboração formadas por fornecedores e concessionárias do setor elétrico, por tema (supervisão e controle, operação, fontes alternativas, meio ambiente)	94
5.2.5 Evolução da rede de colaboração formadas por fornecedores e concessionárias do setor elétrico (2012 e 2015).....	98
5.2.6 Redes de colaboração formadas por ICTs e concessionárias do setor elétrico.....	100
5.2.7 Redes de colaboração formadas por ICTs e concessionárias do setor elétrico, por segmento (geração, transmissão e distribuição)	102
5.2.8 Redes de colaboração formadas por ICTs e concessionárias do setor elétrico, por tema (supervisão e controle, operação, fontes alternativas, meio ambiente)	105
5.2.9 Evolução da rede de colaboração formadas por ICTs e concessionárias do setor elétrico (2012 e 2015)	108
5. CONCLUSÃO E PRÓXIMOS PASSOS	111
REFERÊNCIAS	116

INTRODUÇÃO

A iminência do surgimento de um novo paradigma tecnológico no setor elétrico vem gerando profundas modificações no setor elétrico em todo o mundo. Alguns *drivers* desta transição são: a crescente pressão da sociedade para redução das emissões de gases efeito estufa, corroborada pelos compromissos dos países na COP 21¹ em Paris; o desenvolvimento e redução nos custos de fontes alternativas de energia renovável²; aperfeiçoamento dos dispositivos de armazenamento de energia; maior automação das redes; crescimento da capacidade computacional e de sensoriamento; e novas regulações relacionadas ao consumo de energia elétrica.

A inovação possui um papel central nesse processo de transição do setor elétrico, promovendo mudanças e gerando oportunidades para novas tecnologias, produtos, sistemas, regulação e modelos de negócio. No entanto, a introdução de inovação no setor é tipicamente conduzida por grandes fornecedores internacionais, que detêm tecnologia proprietária (patentes), que representam elevadas barreiras à entrada para as empresas brasileiras do setor.

Isto ocorre por se tratar de um setor com tendência monopolística, i.e., com poucos incentivos a inovar, e que exige elevados investimentos em infraestrutura, que se amortizam ao longo de décadas, do modo que a introdução de inovações pode canibalizar estes investimentos, ou torná-los obsoletos antes que estejam amortizados.

¹ A Conferência das Partes número 21 (COP-21) foi um encontro realizado em 2015 em Paris por lideranças globais que assumiram uma série de compromissos e metas para redução das emissões dos gases de efeito estufa e combate às mudanças climáticas.

² Por fontes alternativas de energia renovável entende-se: placas solares, turbinas eólicas, centrais térmicas a biomassa, geotérmicas entre outras. Exclui-se aqui as fontes renováveis tradicionais, como é o caso das hidrelétricas.

Esse cenário tem gerado a necessidade de desenvolver políticas públicas para promoção de inovação por parte das empresas brasileiras do setor.

Desde julho de 2000, a lei 9.991, que criou o programa de P&D do Setor Elétrico Brasileiro, obriga as empresas do setor a investirem um percentual mínimo de sua receita (1% da receita operacional líquido das empresas) em programas de pesquisa e desenvolvimento. Como resultado, aproximadamente R\$ 8,5 bilhões foram aplicados nestes programas no período entre 2000 e 2015, em mais de 4,3 mil projetos.

O chamado “Programa de P&D da Aneel” estabeleceu condições específicas para realização dos projetos de P&D pelas empresas do setor e contribuiu para formação de uma rede de pesquisa que abrange os diferentes atores envolvidos nos projetos de pesquisa e desenvolvimento, isto é: empresas do setor elétrico, fornecedores e prestadores de serviço, universidades e centros de pesquisa e outros indivíduos envolvidos nestas atividades.

O objetivo deste trabalho é realizar uma análise das redes de pesquisa formadas dentro do âmbito do Programa de P&D da Aneel, incluindo sua extensão e abrangência, e identificação dos principais fornecedores de tecnologia e inovação para o setor elétrico brasileiro, incluindo empresas fornecedoras de equipamentos e sistemas, consultorias, institutos de ciência e tecnologia e universidades.

O arcabouço teórico deste trabalho é a abordagem neo-schumpeteriana de sistemas de inovação. Esta visão compreende a inovação como um processo sistêmico e interativo, onde a interação entre os agentes envolvidos é fundamental para compreender o processo inovativo como um todo (Lundvall, 2002).

Para analisar o grau de colaboração e as redes de interação formadas pelos agentes

envolvidos no programa de P&D da Aneel, foi adotada a metodologia de análise de redes sociais (*Social Network Analysis*), que permite visualizar a cooperação entre os agentes em forma de rede, e derivar indicadores e análises visuais acerca do processo de interação entre as empresas no desenvolvimento de programas de P&D.

Além desta introdução, no capítulo 1 será realizada uma discussão sobre o processo de inovação no setor elétrico, seus desafios, e a necessidade de aprimorar políticas públicas de incentivo a inovação no setor.

O capítulo 2 trata do arcabouço teórico utilizado neste trabalho - a abordagem de sistemas de inovação -, e, além disso, discute a importância dada à visão de inovação como um processo sistêmico e reforçado pelas interações existentes entre os agentes.

A metodologia de análise de redes sociais utilizada neste trabalho é apresentada no capítulo 3, como uma ferramenta complementar à abordagem teórica de sistemas de inovação, com foco nas redes de cooperação formadas entre empresas do setor elétrico, fornecedores de bens e serviços e institutos de ciência e tecnologia, no contexto do programa de P&D da Aneel.

No capítulo 4 é feita uma análise das redes sociais formadas no programa de P&D da Aneel, de forma a analisar a extensão e a evolução destas redes ao longo do tempo.

Finalmente, no capítulo 5, são apresentadas as principais conclusões, limitações e possíveis continuidades deste trabalho.

1. O PROCESSO DE INOVAÇÃO NO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

1.1 Caracterização do Setor Elétrico Brasileiro

O setor elétrico possui diversas peculiaridades que o divergem dos demais setores econômicos: elevadas barreiras à entrada, estruturas de mercado imperfeitas (monopólio natural nos segmentos de transmissão e distribuição), importância estratégica e preços regulados pelo Estado. Estas peculiaridades também estão presentes no caso brasileiro. Algumas características e a evolução do setor elétrico brasileiro são descritas nos parágrafos seguintes.

Até os anos 30, o setor elétrico brasileiro era caracterizado por reduzida participação estatal e sua regulação era baseada em contratos e autorizações concedidas a nível municipal para empresas privadas. A partir da implantação do código das águas, em 1934, a união eleva sua participação no setor, centralizando o poder de concessão e autorização da exploração do potencial hidrelétrico. As principais grandes empresas estatais do setor foram criadas nos anos subsequentes: Companhia Hidrelétrica do São Francisco (1945), Companhia Energética de Minas Gerais (1952) e Furnas (1956).

Durante a década de 1960 foi criado o Ministério de Minas e Energia e a Eletrobras. Esta última, inicialmente como planejadora e financiadora do setor elétrico, além de holding de outras empresas federais. A aquisição de centrais elétricas do setor privado fez com que a União fosse proprietária da maior parte da capacidade instalada. Como a instalação de centrais hidrelétricas demandava elevados investimentos, formaram-se monopólios regionais de produção de energia. Este modelo centralizado foi possível em função do

elevado potencial hídrico e características topográficas (Losekann, 2003).

Durante a segunda metade dos anos 60 e nos anos 70, o potencial de geração elétrica cresceu massivamente, acompanhando o crescimento da economia, com elevado grau de investimento estatal e planejamento centralizado. No entanto, nos anos 80, o modelo centralizado começou a apresentar sinais de fragilidade em função de diversos fatores como: (i) falta de análise econômica para a tomada de decisões relativas a novos investimentos; (ii) choques do petróleo, principal item da pauta de importação brasileira na época; (iii) elevação das taxas de juros internacionais; (iv) redução da liquidez internacional e aumento das taxas de juros domésticas, encarecendo o serviço da dívida das empresas do setor elétrico.

De forma a corrigir esta ineficiência, durante os anos 90, o governo iniciou um processo de reestruturação do setor que tinha como objetivo desverticalizar os segmentos de geração, transmissão e distribuição e estimular maior participação privada no financiamento dos ativos. O Estado, por outro lado, teria o papel de regulação e planejamento. A ideia era que a maior concorrência entre as empresas do setor geraria eficiência e melhoria na qualidade dos serviços.

Como parte deste processo, foi criada em 1996 a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), como órgão regulador responsável por fiscalizar a produção, transmissão e comercialização de energia elétrica. Em 1998 foi criado o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), responsável pela administração e controle de despacho da eletricidade gerada.

Uma característica observada durante os anos 1990 foi a discrepância entre crescimento da demanda por eletricidade e aumento da capacidade instalada. Isso ocorreu em função de falhas no planejamento e operação do sistema, além de atrasos em obras e ausência de

investimentos públicos e privados em capacidade nova de geração. Essa discrepância se somou à condição hidrológica crítica em 2001, baixo nível de reservatórios e inadimplência crescente no mercado atacadista. Esses fatores acarretaram no racionamento de energia que ocorreu em junho de 2001 em todas as regiões do país, com exceção do Sul. O racionamento durou até fevereiro de 2002 (Brandão e Dorado, 2016).

Como resposta a esses problemas, em dezembro de 2003, foram introduzidas novas regras no modelo de comercialização de energia, dando origem ao Novo Modelo do Setor Elétrico:

- Criação de dois ambientes para contratação no mercado atacadista: Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e Ambiente de Contratação Livre (ACL);
- Criação da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica;
- Retomada do planejamento do setor através de leilões e da Empresa de Pesquisa Energética (EPE);
- Programas de universalização, segurança jurídica e estabilidade regulatória.

O novo modelo do setor elétrico visava atingir três objetivos principais:

- Garantir a segurança do suprimento de energia elétrica;
- Promover a modicidade tarifária;
- Promover a inserção social no Setor Elétrico Brasileiro, em particular pelos programas de universalização de atendimento.

O novo modelo do setor elétrico que passou a ser construído após 2001 passou a ter cada vez mais uma composição hidrotérmica, com entrada gradual de fontes alternativas, especialmente a partir de 2007, com os leilões de fontes alternativas e de energia de reserva específicos para as fontes eólica e solar (Leite, 2014).

O segmento de geração é competitivo, e os agentes podem escolher vender energia para o Ambiente de Contratação Livre (ACL) ou para o Ambiente de Contratação Regulado (ACR). O segmento de transmissão possui características de monopólio natural e os serviços são prestados a partir de concessões, que, por sua vez, são atribuídas através de leilões. A receita dos concessionários de linhas de transmissão é composta por encargos pelo uso do sistema e são pagos por todos os usuários do sistema elétrico.

Assim como o segmento de transmissão, a distribuição também é um monopólio natural, onde as empresas distribuidoras devem estabelecer contratos com a Aneel. Estas empresas estão subordinadas a diversas regras relacionadas a qualidade do serviço, continuidade, entre outras. As distribuidoras são remuneradas principalmente por tarifas pelo uso do sistema de distribuição (TUSD).

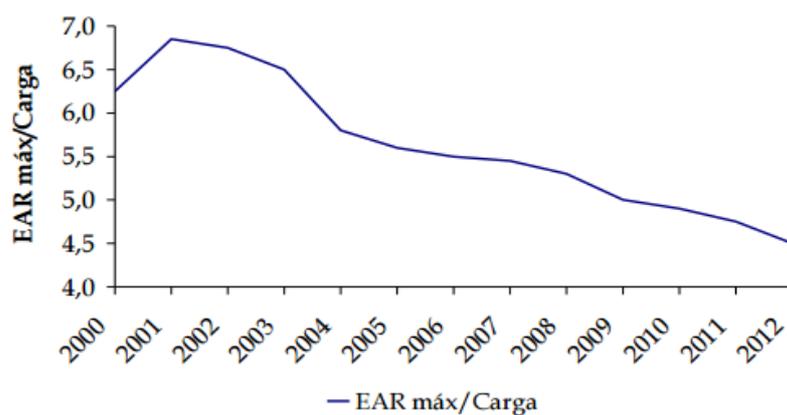
O setor elétrico é coordenado por diversos atores institucionais, responsáveis por planejar, monitorar, avaliar, acompanhar e sugerir as ações para o eficiente funcionamento do setor, dentre os quais destacam-se: Ministério de Minas e Energia (MME) e Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), responsáveis por formular políticas setoriais; Aneel, como entidade reguladora e fiscalizadora; Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), como câmara de liquidação de contratos de energia; Empresa de Pesquisa Energética (EPE), empresa pública responsável pelo planejamento setorial e Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), encarregado da operação centralizada do Sistema Interligado (SIN).

Em 2016, o Brasil possuía aproximadamente 140 GW de capacidade instalada de geração elétrica, com geração média de 62 GW no ano de 2015. Cerca de 99% da capacidade instalada está no Sistema Integrado Nacional (SIN), e o restante distribuído em sistemas isolados, especialmente na região norte.

Aproximadamente 65% da capacidade instalada de geração elétrica no Brasil é proveniente de fontes hidrelétricas, enquanto 28% provem de fontes térmicas. Esta dualidade entre as fontes caracteriza nossa matriz elétrica como hidrotérmica, com participação crescente das renováveis alternativas (Gesel, 2014).

A autonomia dos reservatórios das centrais hidrelétricas conectadas ao SIN vem caindo drasticamente nos últimos anos. Isso pode ser em parte explicado pela dificuldade de construção de reservatórios de grande porte por questões ambientais e de licenciamento. Em 2001, a capacidade de armazenamento dos reservatórios era suficiente para atender a demanda de eletricidade por 7,5 meses. Em 2015, essa capacidade era suficiente somente para 4,5 meses. Essa mudança chama atenção para a importância crescente das fontes térmicas e renováveis alternativas (principalmente eólica) na matriz geradora brasileira. A figura 1 abaixo mostra a evolução da energia armazenada sobre a carga (meses de autonomia do reservatório) entre 2000 e 2012:

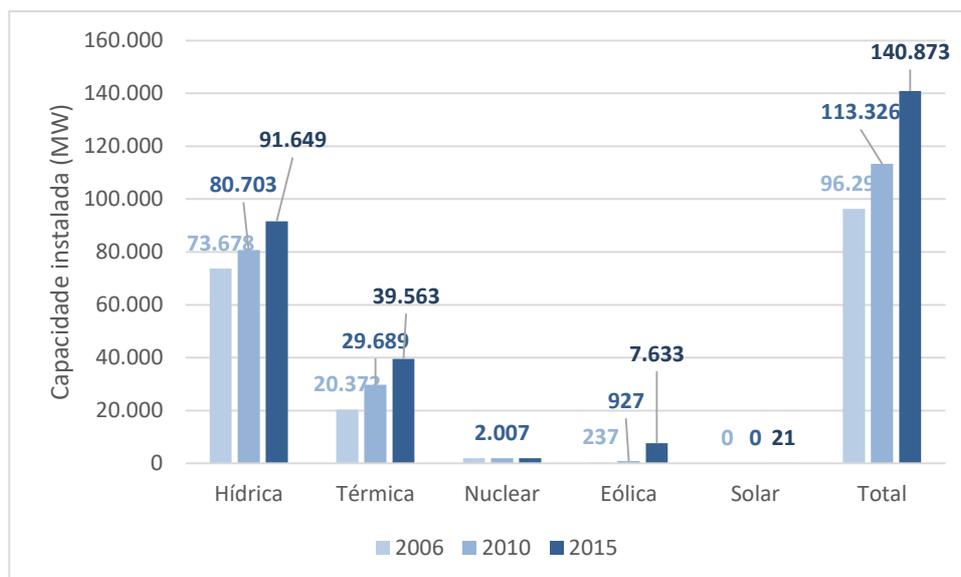
Figura 1- Evolução da autonomia dos reservatórios entre 2000 e 2012



Fonte: Gesel (2014)

Na tabela 1 podemos ver o aumento da participação relativa de fontes térmicas e eólicas na matriz elétrica:

Tabela 1 - Capacidade instalada por fonte geradora em 2006, 2010 e 2015



Fonte: Elaboração própria com base em dados da Aneel.

As mudanças recentes, somadas a uma crescente preocupação em relação aos impactos socioambientais do setor, e questões relacionadas à segurança energética, sugerem que o setor elétrico está no limiar de profundas transformações tecnológicas, que devem se manifestar durante os próximos anos.

1.2 Tendências de Inovação no setor

Os embates promovidos pelos cientistas Thomas Edison e Nikola Tesla no início do século XX condicionaram o desenvolvimento dos sistemas elétricos como conhecemos hoje. No entanto, desde sua consolidação, no início do século XX, o modelo de geração de energia de forma centralizada, transmissão através de linhas de alta voltagem e distribuição para o consumidor final, sofreu poucas alterações. Há indícios de que um novo paradigma tecnológico que vem emergindo no setor elétrico, puxado pela crescente pressão ambiental - para redução do uso de recursos fósseis e de hidrelétricas com grandes barragens -, disseminação de novas tecnologias e mudança do papel do consumidor

devem acarretar transformações sem precedentes na configuração deste setor. Essas transformações devem ter um papel mais transformador nos segmentos de geração e distribuição. Na geração, em função da crescente necessidade de substituir fontes tradicionais de geração (térmicas e hídricas) por fontes renováveis alternativas. E na distribuição, em função da disseminação de auto geração distribuída de energia, medidores inteligentes e internet das coisas, que deve estimular as distribuidoras a migrar para novos modelos de negócio (Castro e Dantas, 2016).

1.2.1 Fontes renováveis

O Brasil possui uma conjuntura favorável para parte destas mudanças, se levado em consideração o elevado potencial do país para fontes renováveis alternativas, especialmente a energia eólica e solar. A eólica, em função dos ventos fortes, regulares e unidirecionais, especialmente na região nordeste. Além disso, há uma elevada complementariedade entre a geração eólica e hídrica no país, dado que em meses de menor pluviosidade, a intensidade dos ventos tende a ser maior, e vice-versa. Já a energia solar possui uma vantagem comparativa no Brasil dado que a maior parte do território se localiza na região intertropical, o que gera um grande potencial para aproveitamento desta fonte durante o ano inteiro.

Além da energia eólica e solar, a geração de energia a partir da biomassa de cana-de-açúcar também possui características e sazonalidade complementar à geração hídrica. Isso ocorre porque a época da safra canavieira coincide com o período seco do ano, entre abril e novembro. Como o cultivo de cana é feito em áreas relativamente próximas aos principais centros de carga do país, sua expansão também torna menos necessário o aumento do sistema de transmissão, assim como seus custos associados. Apesar de ser uma fonte térmica, a produção de energia via biomassa é considerada neutra em emissões

de gases efeito estufa, pois as emissões liberadas durante sua queima são captadas durante a fase de crescimento da cana. No entanto, a expansão sustentável desse tipo de geração deve levar também em consideração os mais variados impactos ambientais provenientes da agricultura, como, por exemplo, o desmatamento para aumentar as áreas de cultivo ou os resíduos líquidos e sólidos da produção de cana de açúcar e sua transformação em derivados (açúcar, etanol e biomassa).

Cerca de dois terços do potencial hidrelétrico remanescente no Brasil localiza-se na região amazônica, área de elevada sensibilidade socioambiental. Este fator inibiria o desenvolvimento de empreendimentos de geração hídrica de grande porte. Adicionalmente, a exploração de recursos hídricos para geração de energia em locais isolados e distantes dos grandes centros de consumo tende a elevar significativamente os custos de transmissão de energia, o que gera incentivo econômico para a geração de energia de forma mais descentralizada. Levando em consideração os compromissos assumidos pelos países para redução das emissões de gases efeito estufa, corroborados na COP-21 em Paris³, a ampliação da oferta de energia através de centrais termelétricas não se apresenta como uma solução coerente no longo prazo. Dessa forma, uma solução alternativa é a expansão do potencial de geração através de fontes renováveis alternativas e descentralizadas.

Esses obstáculos e oportunidades que emergem tendem a mudar de forma disruptiva a configuração do setor elétrico. Dentre as principais tendências esperadas para as próximas décadas, destacam-se o uso de redes inteligentes no segmento de distribuição, descentralização da geração de energia, eletrificação do setor energético (especialmente

³ O Brasil se comprometeu com a redução, até 2025, de 37% das emissões de gases efeito estufa tendo como ano base 2005. Para 2030, a meta é de 43% de redução.

nos transportes), introdução massiva de fontes de energias renováveis alternativas e maior participação dos consumidores, que passarão de um papel passivo para um mais ativo (*prosumers* – isto é, consumidores-produtores). Nos próximos parágrafos será feita uma descrição de algumas dessas novas tendências tecnológicas (Castro e Dantas, 2016).

1.2.2 Geração distribuída e redes inteligentes

Os sistemas de energia elétrica são tradicionalmente construídos a partir de uma estrutura centralizada em grandes unidades produtoras com perfil de carga previsíveis. Recentemente, uma série de avanços tecnológicos vem permitindo a disseminação de geração de energia de forma descentralizada, chamada de geração distribuída. Esta forma de geração está geralmente atrelada a fontes renováveis de natureza intermitente, particularmente a geração solar através de painéis fotovoltaicos. Nesse cenário, o consumidor passa a assumir uma posição mais ativa dentro do sistema elétrico, formando a figura do *prosumer*, ou seja, um consumidor que também produz energia para o sistema (Castro et al., 2016).

Uma tecnologia que deve também se disseminar nos próximos anos são as redes e os medidores de consumo inteligentes (*smart grids* e *smart meters*). Essas são redes elétricas que utilizam avançadas tecnologias de informação e comunicação, de forma a monitorar o transporte de eletricidade para atender as diferentes demandas de energia elétrica dos consumidores finais, integrando recursos de geração, armazenamento e demanda. Medidores inteligentes, por sua vez, são dispositivos que possibilitam o monitoramento real do consumo de energia das unidades consumidoras, fornecendo dados detalhados e possibilitando melhores estratégias de preços.

A difusão das redes inteligentes está ligada ao avanço da geração distribuída, com o intuito de melhorar a eficiência e confiabilidade do sistema. As redes inteligentes

permitem melhorar a coordenação entre geradores de energia, operadores de rede de transporte e distribuição, sistemas de armazenagem e consumidores finais da forma mais eficiente possível. Paralelamente, esta tecnologia possibilita a redução de custos e impactos ambientais do sistema elétrico, maior nível de confiabilidade e qualidade do serviço (Dantas, Rosental e Brandão, 2015).

Um avanço importante das redes inteligentes é que estas, em combinação ao uso dos medidores inteligentes, dotarão os consumidores finais de informação detalhada e capacidade de escolher de qual gerador desejarão adquirir energia, ampliando seu papel na operação do sistema. Permitirão, ainda, um aumento da eficiência do consumo de energia elétrica por parte dos consumidores, potencialmente contribuindo para limitar as emissões de gases que contribuem para o efeito estufa.

Com base na experiência internacional, as redes inteligentes tendem a ser implementadas de forma gradativa, e sua disseminação depende do estabelecimento de políticas e mecanismos de regulação de incentivo, bem como normas e padrões técnicos. Logo, entes governamentais e autoridades regulatórias possuem papel chave na promoção ou indução de investimentos e na articulação dos agentes interessados nesta transição.

A difusão de fontes renováveis intermitentes, apesar dos impactos ambientais positivos e alinhamento com interesses de longo prazo da sociedade, tende a elevar significativamente a complexidade e sofisticação do sistema elétrico. Esta maior complexidade, por sua vez, irá demandar tecnologias que promovam a eficiência do sistema e mitiguem o risco de falhas, aumento da capacidade instalada de mecanismos de armazenagem de energia. Apesar dos desafios regulatórios, tecnológicos e de mercado que se colocam a frente da disseminação da geração distribuída e das redes inteligentes, estas tecnologias são importantes vetores na transição para um setor elétrico e economia

de baixo carbono e com reduzidos impactos ambientais, sem abrir mão de confiabilidade e eficiência.

A disseminação de redes inteligentes irá também afetar profundamente o segmento de distribuição de energia, propiciando uma gestão mais dinâmica dos componentes das redes e gerando novos modelos de negócio que trarão oportunidades para as empresas distribuidoras e para os atuais consumidores. Pelo lado das distribuidoras, estas poderão obter um enorme volume de dados, a partir do uso de medidores inteligentes (*smart meters*), que serão importantes para desenvolvimento de instrumentos de otimização de sua estrutura operacional. Isto envolve aumento ou redução do consumo energético, de acordo com horários favoráveis, gestão da demanda em horários de ponta e provimento de novos produtos e serviços. A disseminação de medidores inteligentes possibilitaria a geração de novos serviços, como fornecer aos consumidores informação em tempo real sobre consumo e custos, sugerir a adoção de tarifas dinâmicas, com impactos diretos sobre a gestão da demanda. A comercialização de novos serviços por parte das distribuidoras poderia compensar a queda na receita decorrente da difusão da auto geração, especialmente a geração distribuída.

Pelo lado da demanda, pode se esperar que consumidores melhor informados gerenciem o consumo de eletricidade, num papel mais ativo sobre o sistema, de forma a reduzir a fatura de energia. Pelo lado da oferta, os consumidores poderão produzir a própria eletricidade de forma centralizada, especialmente através de fontes renováveis alternativas como eólica e solar (Dantas, Rosental e Brandão, 2015).

Com base na experiência internacional, as seguintes alterações são esperadas no setor elétrico em função de uma maior capacidade de processamento inteligente:

- a. Papel mais ativo e informado do consumidor, com possibilidade de

monitoramento do consumo em tempo real

- b. Mercados de energia mais integrados e multidirecionais
- c. Sistema cada vez mais centrado na análise de dados disponibilizados pela rede
- d. A carga será capaz de seguir a geração via sinais de preço (Dantas, Rosental e Brandão, 2015).

1.2.3 Mobilidade elétrica

A mobilidade de pessoas e mercadorias é um importante pilar da promoção de bem-estar social, produtividade econômica, competitividade e possui alta dependência do setor energético, consumindo aproximadamente 20% dos recursos primários de energia. Adicionalmente, o setor de transportes é responsável por 27% das emissões de gases efeito estufa do setor energético mundial (International Energy Agency, 2017).

Uma nova tecnologia que deve ganhar escala nas próximas décadas são os veículos elétricos e híbridos⁴. A principal vantagem competitiva deste tipo de veículo é a perspectiva de não emitirem gases efeito de estufa de forma direta, ou emitirem valores mínimos, no caso de veículos híbridos. A disseminação dos veículos elétricos depende do desenvolvimento, a custo competitivo, de baterias com grande capacidade de armazenamento de energia. Levando em consideração o número de automóveis particulares em circulação, a introdução em massa de veículos elétricos e híbridos deve representar uma significativa carga adicional na rede. Nesse sentido, a proliferação de tecnologias de integração entre a carga armazenada em veículos particulares (*vehicle to grid*), pode oferecer uma solução para o aumento da capacidade de armazenamento de energia da própria rede, gerando maior confiabilidade no sistema e melhorando a

⁴ Veículos híbridos possuem um motor de combustão interna, normalmente a gasolina ou a óleo diesel, e um motor elétrico que permite reduzir o esforço do motor de combustão e assim reduzir os consumos e emissões de poluentes e de gases de efeito estufa

qualidade do serviço.

Historicamente, a energia elétrica tem uma participação modesta no consumo de energia por automóveis. A inserção em massa de veículos elétricos e híbridos projetada para as próximas décadas deve alterar significativamente este padrão. No caso brasileiro, que possui uma elevada participação de fontes renováveis em sua matriz elétrica e grande parte dos veículos leves são abastecidos parcialmente por etanol (*flex-fuel*), a disseminação de automóveis elétricos e híbridos permitirá que o país possua uma das frotas com menor fator de emissões no planeta (CPFL, 2013; Borba, 2012)⁵.

Os incentivos tarifários e marco regulatório vigente serão fatores cruciais para determinar como a inserção dos carros elétricos e híbridos irá afetar a demanda de carga do sistema elétrico. A adoção de estímulos para que estes veículos sejam abastecidos de energia elétrica durante a noite pode contribuir para diminuição da capacidade ociosa do parque gerador e atenuar a curva de carga. O aumento da participação de automóveis elétricos e híbridos deve ocorrer em paralelo com uma maior integração com veículos de tecnologia da informação. Este casamento permitiria uma otimização da mobilidade de pessoas e mercadorias através do monitoramento do fluxo de tráfego. Mais que isso, a integração de dispositivos de sensoriamento com meios de transporte permitiria acompanhar o comportamento de recarga dos consumidores, de forma a aprimorar a integração entre estruturas de recarga de veículos e suas conexões com a rede elétrica em geral.

Finalmente, a inserção de automóveis elétricos e híbridos com capacidade mais arrojada

⁵ Segundo Baran (2012), até o ano de 2030, a demanda por energia elétrica no Brasil pode crescer até 42%. Esse cenário leva em consideração uma participação de até 37% de carros híbridos na frota de veículos leves. Borba (2012) projeta que, até 2030, o volume de energia elétrica utilizada para abastecer veículos híbridos e elétricos será equivalente a 2% do consumo de energia elétrica no Brasil em 2011.

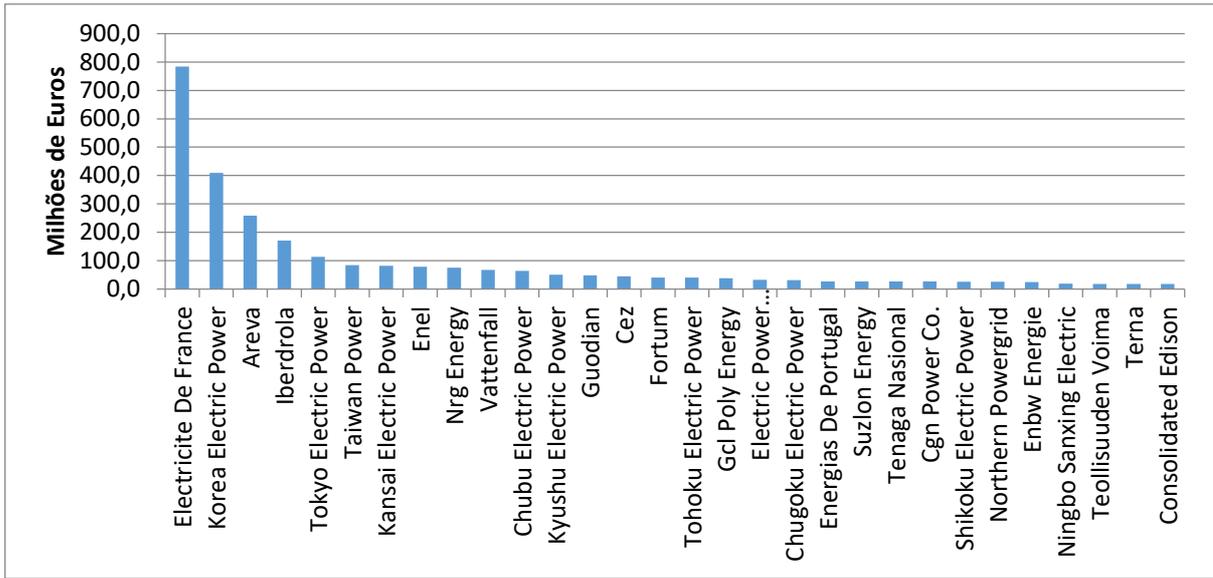
de armazenamento de energia permitiria que estes veículos funcionassem não somente como consumidores de energia elétrica e passassem a ser pontos de geração distribuída. Este sistema, chamado de *vehicle to grid* (V2G) pode utilizar as baterias dos veículos para armazenamento de energia de fontes intermitentes, que posteriormente seriam retornadas ao sistema elétrico. No entanto, a possibilidade de trocas bidirecionais de energia entre a rede elétrica e veículos só seria possível num cenário de longo prazo de introdução e disseminação de redes inteligentes e automóveis com elevado potencial de armazenamento, além de mudanças regulatórias que favorecessem a disseminação destas tecnologias.

O desenvolvimento da geração distribuída deve abrir espaço para novos modelos de negócio como montagem e manutenção de equipamentos de geração. A distribuidora passa a poder atuar também como compradora dos excedentes de energia ou até como provedora de confiabilidade (Dantas, Rosental e Brandão, 2015).

1.2.4 Tendências de investimento em P&D no Brasil e no mundo

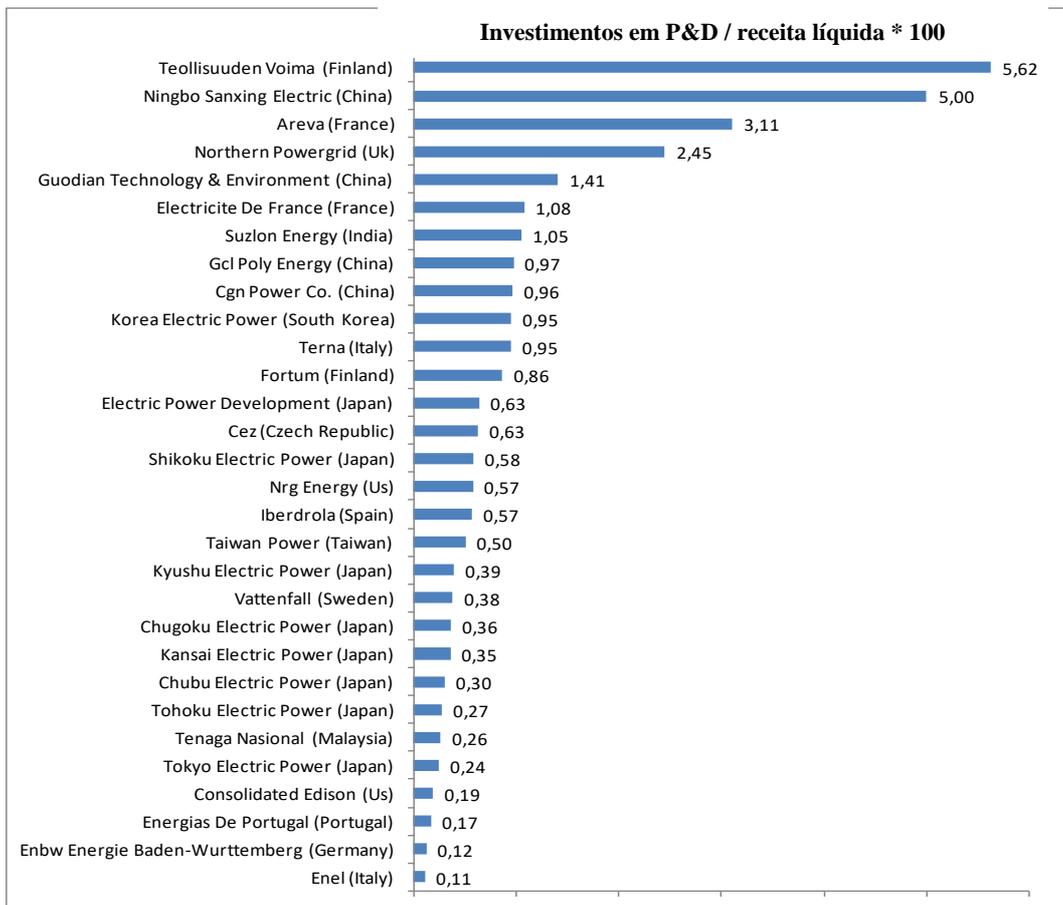
Uma análise do nível de investimento realizado pelas empresas do setor elétrico em Pesquisa e Desenvolvimento é apresentada no *Industrial R&D Scoreboard*, pela *Economics of Industrial Research and Development*. A partir do quadro abaixo (figuras 2 e 3) é possível ver o volume de investimentos realizados pelas empresas que mais investem em P&D ao redor do mundo, em valores brutos (milhões de Euros) e em percentual sobre a receita líquida.

Figura 2 - Investimento em P&D realizado por empresas tipicamente relacionadas ao setor elétrico em 2015, no mundo



Fonte: Elaboração própria com base em OCDE (2016)

Figura 3 - Investimento em P&D realizado por empresas tipicamente relacionadas ao setor elétrico em 2015, como percentual da receita líquida



Fonte: Elaboração própria com base em OCDE (2016)

Com base no quadro acima, podemos notar que, se consideramos que a Lei 9991/2000 impõe que o valor total a ser investido em P&D é de 1% da ROL, todas as empresas do setor elétrico brasileiro estariam situadas na 8ª posição da lista (BRASIL, 2000).

Observando os principais temas de investimento em P&D no setor elétrico brasileiro e regulados pela Aneel nos últimos anos, podem-se levantar algumas hipóteses sobre as temáticas tecnológicas que são prioridades no setor (tabela 2 e 3):

Tabela 2 – Número de projetos finalizados de P&D entre 2011 e 2015 por tema

Projetos finalizados por tema / ano	2011	2012	2013	2014	2015	Total Geral	% do total
Eficiência energética	0	8	13	4	7	32	5%
Fontes alternativas	3	7	19	13	13	55	9%
Gestão de bacias	0	3	5	5	4	17	3%
Geração térmica	5	2	5	5	3	20	3%
Meio ambiente	1	6	11	10	10	38	6%
Medição e fatur.	13	10	15	7	8	53	9%
Operação	4	15	23	14	15	71	12%
Outras	5	10	16	13	13	57	10%
Planejamento	5	12	14	10	8	49	8%
Qualidade de energia	3	11	12	8	10	44	7%
Superv. e controle	8	29	35	24	28	124	21%
Segurança	4	4	6	13	7	34	6%
Total Geral	51	117	174	126	126	594	
% do total	9%	20%	29%	21%	21%		

Fonte: Elaboração própria com base em dados da Aneel

Tabela 3 - Investimentos em projetos de P&D finalizados entre 2011 e 2015, por tema (R\$ Milhões)

Projetos finalizados por tema / ano (R\$ milhões)	2011	2012	2013	2014	2015	Total Geral	% do total
Eficiência energética	0,00	5,21	13,74	3,59	7,04	29,58	4%
Fontes alternativas	2,70	6,62	16,94	52,34	25,30	103,88	14%
Gestão de bacias	0,00	2,71	5,49	6,70	7,87	22,77	3%
Geração térmica	2,14	0,78	4,77	4,53	1,27	13,48	2%

Meio ambiente	0,24	9,58	9,31	15,24	13,44	47,79	6%
Medição e fat.	12,82	10,31	12,43	10,01	9,52	55,10	7%
Operação	3,69	18,91	32,33	18,83	25,29	99,05	13%
Outras	4,87	8,52	24,15	16,66	23,05	77,25	10%
Planejamento	2,88	9,29	21,04	13,67	12,10	58,98	8%
Qualidade de energia	2,05	7,71	18,67	9,12	15,06	52,62	7%
Supervisão e controle	5,75	23,82	36,00	30,05	64,15	159,76	21%
Segurança	3,81	1,59	7,13	17,41	11,78	41,73	5%
Total Geral	40,95	105,06	201,98	198,14	215,86	761,99	
% do total	5%	14%	27%	26%	28%		

Fonte: Elaboração própria com base em dados da Aneel

Com base na Tabela 2 e 3, podemos levantar algumas hipóteses:

- i) A concentração de investimentos em projetos de áreas como fontes alternativas (14% do total) está alinhada à tendência internacional de pesquisa em novas fontes de energia (Castro, 2016). Paralelamente, esse tema é incentivado a partir de chamadas públicas da Aneel, com foco em geração solar, biomassa e energia eólica;
- ii) A necessidade eminente de melhorar a gestão e rentabilidade dos seus ativos justifica o foco em projetos associados à operação, supervisão e controle (34% dos investimentos totais);
- iii) A pequena participação de projetos associados à eficiência energética e geração térmica sugere uma falta de compreensão do papel estratégico destes temas (6% dos investimentos totais);

1.3 O Processo de Inovação no Setor Elétrico Brasileiro

Até os anos 1970, os esforços de inovação no setor elétrico eram capitaneados por empresas estatais federais e estaduais, sob a liderança da Eletrobras. Mas na prática, a inovação ocorria através da aquisição de equipamentos e sistemas de fornecedores

internacionais. Com o objetivo de reduzir esta dependência, a Eletrobras criou em 1974 o Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), de forma a fazer frente às necessidades tecnológicas do setor.

Apesar de ter sido importante para a capacitação tecnológica para o setor elétrico, a ausência de políticas de ciência e tecnologia voltadas ao setor eram evidentes, especialmente diante de um quadro de reformas institucionais importantes nos anos 90.

A implantação de um modelo com maior apelo concorrencial aumentou a necessidade de melhoria na infraestrutura voltada a pesquisa, desenvolvimento e capacitação técnica no setor elétrico (Massaguer, 2013).

De acordo com Castro et al. (2016), o setor elétrico apresenta uma estrutura de mercado de monopólio natural, com foco em melhorias marginais em produtos e processos e não em inovações que gerassem ruptura dos padrões adotados. Neste contexto, os agentes do setor elétrico estão inseridos em uma cultura de padronização de diversos processos, que, por sua vez, configura uma cultura de aversão a riscos.

O processo de inovação no setor elétrico possui duas características principais: (i) a proeminência dos fornecedores de equipamentos e sistemas de energia nesse processo e (ii) O perfil destes atores, geralmente grandes *players* globais e internacionalizados do setor. Algumas das principais empresas são: GE, Siemens, ABB, Alstom, entre outras.

Após a implantação da infraestrutura de geração, transmissão e distribuição, as inovações surgem, na maioria das vezes, na atualização de equipamentos e sistemas. O mercado de produção destes equipamentos e sistemas é oligopolizado e dominado por grandes multinacionais. Esses investimentos normalmente são intensivos em capital e têm um elevado horizonte de retorno. De forma a minimizar os riscos, as empresas do setor

buscam soluções tecnológicas de ponta, porém testadas em diferentes mercados (Castro et al., 2016).

Estas características impõem elevadas barreiras à entrada para que geradoras, transmissoras e distribuidoras de energia participem do processo de inovação, seja por não terem acesso às tecnologias de ponta (normalmente protegidas por patentes), seja por não terem interesse em canibalizar seus investimentos em tecnologias mais antigas ou em investir em novas rotas tecnológicas de elevados custos, riscos e com longo horizonte temporal. Nesse sentido, pode-se dizer que a dinâmica de inovação do setor é ditada pelos fornecedores (Pavitt, 1984).

Além das barreiras externas ao desenvolvimento de projetos de P&D mais ambiciosos no setor elétrico, ainda existem obstáculos internos às empresas de geração, transmissão e distribuição de energia. Ziviani (2013) analisa que, com base em informações fornecidas pelos gerentes de P&D das empresas do setor elétrico, as principais dificuldades encontradas durante o desenvolvimento de projetos de P&D são: (i) falta de mão de obra qualificada; e (ii) resistência organizacional à mudança, o que pode denotar uma falta de cultura de inovação nas empresas. Com base nessa análise, a falta de uma cultura interna favorável a inovação também constitui uma barreira importante.

Segundo Bin, et al (2015), a falta de esforços de P&D por parte das empresas de Geração, Transmissão e Distribuição de energia também pode ser atribuída à política de modicidade tarifária no Brasil, que tende a eliminar os ganhos do inovador. Assim, os ganhos da inovação acabam sendo apropriados ou pelos fornecedores (grandes multinacionais que cobram valores mais altos pelas novas tecnologias) ou pelos consumidores, na forma de tarifas mais baixas em virtude do ganho de eficiência. Como

consequência, as inovações possuem, via de regra, caráter incremental e são poucos percebidas pelo setor como um todo.

As idiossincrasias do processo de inovação no setor elétrico, aliadas a uma necessidade crescente de aprofundar os esforços de pesquisa e desenvolvimento no setor, acarretaram na lei 9.991/2000, que criou o programa de P&D da Aneel, que será discutido na subseção 1.4 a seguir.

1.4 O Programa de P&D da Aneel

A partir da década de 1990, as políticas de ciência, tecnologia e inovação passaram cada vez mais a ser dirigidas ao setor produtivo, gerando diversos marcos institucionais como:

(i) fundos setoriais de ciência e tecnologia em 1999; (ii) Lei da inovação em 2004; (iii) Lei do Bem em 2005; e (iv) chamadas públicas da Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP (Morais, 2008).

No setor elétrico, foi criada a Aneel em 1996, como órgão regulador, que tinha, dentre outras funções, o objetivo de estimular o processo de inovação no setor elétrico, para superar o quadro de dependência externa do setor em relação a introdução de inovações (Pompermayer, 2011).

Em 2000 foi criado o programa de P&D da Aneel, através de lei 9.991/2000. Nela, estabeleceu-se que as concessionárias de serviço de geração, transmissão e distribuição de energia (GT e D), assim como as autorizadas de energia independente deveriam aplicar 1% de sua Receita Operacional Líquida (ROL) em projetos de pesquisa e desenvolvimento e eficiência energética. Esse valor ficaria submetido às normas e resoluções da Agência Nacional de Energia Elétrica. A aplicação desses recursos de acordo com o segmento (GT e D), conforme em vigor a partir de 01/01/2016 está

especificada na tabela 4 abaixo:

Tabela 4 - Investimento compulsório em P&D e eficiência energética (% da ROL)

Segmento	Investimento compulsório em P&D (% da ROL)	Investimento em eficiência energética (% da ROL)
Geração	1	-
Transmissão	1	-
Distribuição	0,75	0,25

Dados atualizados em Janeiro/2016, podendo sofrer alterações nos percentuais devido a modificações na Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000.

De acordo com a normativa da Aneel, o valor arrecadado dos investimentos obrigatórios em P&D é distribuído da seguinte forma:

- a) 40% dos recursos são destinados ao Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FNDCT (FINEP);
- b) 20% dos recursos são direcionados ao Ministério de Minas e Energia – MME, como orçamento da Empresa de Pesquisa Energética (EPE);
- c) 40% são destinados efetivamente à execução de projetos de P&D e são administrados pelas empresas do setor elétrico.

A Aneel é a avaliadora e fiscalizadora da execução dos projetos, podendo glosar parte dos gastos realizados que não forem considerados atividades de pesquisa e desenvolvimento. Esta avaliação é direcionada para: (i) adequação dos investimentos às regras do programa e (ii) alcance do resultado esperado (inovação).

O objetivo principal dos projetos de P&D é desenvolver inovações para fazer frente aos desafios tecnológicos e de mercado das empresas de energia elétrica, com um viés em iniciativas que possuam aplicações práticas. O produto final de cada projeto poderá ser caracterizado como: (i) conceito ou metodologia; (ii) software; (iii) sistema; (iv) material ou substância; (v) componente ou dispositivo; e (vi) máquina ou equipamento.

Os direcionamentos que as empresas do setor elétrico devem seguir na elaboração dos programas de P&D são descritos no Manual do Programa de P&D da ANEEL. Segundo este manual, todo projeto deverá estar associado a algum dos seguintes estados na cadeia de inovação:

- a) Pesquisa básica: Fase teórica ou experimental voltada à busca de conhecimento sobre novos fenômenos. Pode ser uma estrutura, um modelo ou um algoritmo;
- b) Pesquisa aplicada: Destina à aplicação de conhecimento adquirido, podendo ser uma metodologia ou técnica, protótipo ou projeto demonstrativo;
- c) Desenvolvimento experimental: Visa à comprovação ou destinação da viabilidade técnica ou funcional de novos produtos e processos, além do aperfeiçoamento de produtos já estabelecidos.
- d) Cabeça de série: Etapa de aperfeiçoamento do protótipo com foco na produção em larga escala.
- e) Lote pioneiro: Fabricação em escala piloto para análise de custos. Produção é designada para amostra representativa limitada a 1% da base de clientes ou ativos da empresa.
- f) Inserção no mercado: Estudos de mercado, material de divulgação e registro de patentes, encerrando a cadeia de inovação (Aneel, 2012).

Com base nestas etapas, fica evidente que o atual formato do Programa de P&D da Aneel privilegia uma visão linear do processo de inovação. Esta noção deriva do entendimento da inovação como resultado de etapas conectadas de forma sequencial (*input-output*). Essa visão foi dominante até os anos 90, quando então foi superada pela abordagem sistêmica do processo de inovação, adotada neste trabalho. A crítica à abordagem linear e uma explanação mais detalhada da abordagem sistêmica será feita no próximo capítulo.

Além disso, os projetos de P&D propostos pelas concessionárias do setor elétrico podem ser segregados de acordo com os seguintes temas:

- a) Fontes alternativas de geração de energia elétrica: Projetos destinados ao desenvolvimento ou aprimoramento de tecnologias ou sistemas de geração de energia elétrica de fontes renováveis ou alternativas, especialmente eólica, solar, maremotriz, hidráulica, biomassa e resíduos sólidos.
- b) Geração termelétrica: Projetos voltados a redução dos custos e melhoria de eficiência de fontes de geração termelétrica, além de mitigação de seus impactos ambientais.
- c) Gestão de bacias e reservatórios: Projetos voltados para o controle dos impactos a partir de bacias hidrográficas e pelos empreendimentos nela existentes, envolvendo temas como assoreamento, perda de capacidade de reserva de água, deterioração da qualidade da água, entre outros.
- d) Meio ambiente: Projetos relacionados aos impactos da produção, transporte e consumo de energia elétrica sobre o meio ambiente, como qualidade do ar, qualidade e disponibilidade de água, populações e o habitat da fauna e flora aquática e terrestre, materiais perigosos e tóxicos, efeitos eletromagnéticos, entre outros.
- e) Segurança: Projetos envolvendo técnicas de mitigação de campos eletromagnéticos em linhas energizadas, materiais e equipamentos de proteção individual, e automação de sistemas elétricos que reduzam riscos à saúde e segurança.
- f) Eficiência energética: Projetos voltados a novas tecnologias e métodos para redução do consumo de recursos para geração de energia e o consumo de energia

em sistemas e equipamentos de uso final. Também se incluem aqui indicadores de mensuração de eficiência energética.

- g) Planejamento de sistemas de energia elétrica: Projetos destinados ao desenvolvimento de metodologias, técnicas e ferramentas de auxílio ao planejamento de sistemas elétricos, incluindo subtemas como planejamento integrado de expansão de sistemas elétricos, integração de eólicas e geração distribuída ao SIN, metodologias de previsão de mercado, entre outros
- h) Operação de sistemas de energia elétrica: Projetos destinados ao desenvolvimento de metodologias, técnicas e ferramentas de auxílio à operação de sistemas elétricos, no âmbito do SIN ou dos sistemas isolados. Inclui temas como otimização do despacho hidrotérmico, redução de indisponibilidade de centrais térmicas, risco de falhas em sistemas de transmissão, vida útil das instalações existentes, e melhoria da qualidade dos serviços de distribuição.
- i) Supervisão, controle e proteção de sistemas de energia elétrica: Projetos voltados ao aprimoramento de sistemas de monitoramento, controle e proteção de sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia. Inclui subtemas como implementação de sistemas de controle, técnicas eficientes de restauração rápida, desenvolvimento de técnicas para recomposição de sistemas elétricos, inteligência artificial para proteção de sistemas, entre outros.
- j) Qualidade e confiabilidade dos serviços de energia elétrica: Projetos voltados a aprimorar a qualidade e confiabilidade dos sistemas elétricos, incluindo sistemas e térmicas de monitoramento da qualidade da energia elétrica, modelagem de distúrbios associados à qualidade da energia elétrica, impactos econômicos e aspectos contratuais da qualidade da energia elétrica, entre outros.

- k) Medição, faturamento e combate a perdas comerciais: Projetos voltados a minimizar as perdas técnicas e comerciais das distribuidoras, incluindo desenvolvimento de tecnologias de combate a fraudes, redução da vulnerabilidade de sistemas elétricos à fraude de energia, gerenciamento de equipamentos de medição, entre outros.
- l) Outros: Projetos não enquadrados em nenhum dos temas acima (Aneel, 2012)

Na base de dados pública disponibilizada pela Aneel, podemos obter informações de cada projeto na cadeia de inovação. A tabela 5 abaixo sumariza as informações relativas aos projetos executados entre 2011 e 2015.

Tabela 5 - Quantidade e custo dos projetos entre o ano de acordo com seu estágio na cadeia de inovação

Ano/Etapa na cadeia de inovação	Pesquisa básica	Pesquisa aplicada	Desenvolvimento experimental	Cabeça de série	Lote pioneiro	Disseminação no mercado	TOTAL	(%)
2011	2,71	22,56	12,24	3,91	0,00	0,00	41,42	5,4%
2012	7,66	54,39	37,53	8,62	0,00	0,00	108,19	14,1%
2013	9,66	120,27	55,18	9,34	9,53	0,00	203,98	26,5%
2014	6,06	84,06	76,37	27,43	6,62	0,00	200,54	26,0%
2015	9,36	97,60	89,85	11,30	7,75	0,00	215,86	28,0%
Total	35,45	378,87	271,16	60,59	23,90	0,00	769,98	100,0%
(%)	4,6%	49,2%	35,2%	7,9%	3,1%	0,0%	100,0%	

Fonte: Elaboração própria com base em dados da Aneel

Ano/Etapa na cadeia de inovação	Pesquisa básica	Pesquisa aplicada	Desenvolvimento experimental	Cabeça de série	Lote pioneiro	Disseminação no mercado	TOTAL	(%)
2011	5	30	12	6	0	0	53	8,8%
2012	10	59	39	12	0	0	120	19,9%
2013	11	103	47	10	4	0	175	29,1%
2014	4	61	41	17	5	0	128	21,3%
2015	5	58	49	11	3	0	126	20,9%
Total	35	311	188	56	12	0	602	100,0%

(%)	5,8%	51,7%	31,2%	9,3%	2,0%	0,0%	100,0%
-----	------	-------	-------	------	------	------	--------

Fonte: Elaboração própria com base em dados da Aneel

Com base na tabela 5, podemos ver que 92,3% dos investimentos em P&D no período estão localizados em alguma fase intermediária da cadeia de inovação. Assim, podemos levantar as seguintes hipóteses:

- a) A concentração de projetos em estágios intermediários minimiza o risco de perdas, caso a Aneel não reconheça parte dos investimentos;
- b) Empresas optam por manter alguns projetos em estágios intermediários da cadeia, por serem mais aplicáveis a soluções de problemas internos dessas empresas;
- c) As empresas do setor não possuem estrutura para gerenciar e desenvolver os projetos até a etapa de inserção no mercado, o que faz com que estas sejam altamente dependentes de fornecedores e outros agentes;
- d) Incertezas de mercado acerca se haverá demanda efetiva para inovações no setor;
- e) A falta de padrões técnicos e normas pode também desestimular a evolução desses projetos na cadeia de inovação.

Além disso o quadro explicita uma lacuna no ciclo de inovação, dado que a grande maioria dos projetos não foi bem-sucedido em gerar inovações que transcendessem as empresas e o projeto, de forma a beneficiar todo o setor.

A ideia da regulação da P&D é justamente promover a inovação no setor, resultando em sua melhoria operacional e tendo como consequência fundamental a sua contribuição para a modicidade tarifária, elemento importante do novo modelo do setor. No entanto, na prática, isto não tem acontecido. Dado o risco associado ao não cumprimento da legislação (por conta das multas), a falta de estímulo para a inovação pela perda dos

ganhos do inovador na revisão tarifária, as restrições competitivas do setor e as limitações para se apropriar de resultados da comercialização de tecnologias, o Programa de P&D passou a ser encarada como um “fardo” para muitas empresas (Bin et al., 2012).

Em 2011, o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) realizou um estudo tentando avaliar a extensão da rede de pesquisa formada pelo programa de P&D regulado pela Aneel. Algumas conclusões podem ser salientadas deste estudo:

- 1) O programa permitiu um razoável grau de integração das concessionárias do setor elétrico com instituições de pesquisa;
- 2) O programa não obteve êxito na formação de uma rede de pesquisa com empresas tipicamente relacionadas ao setor elétrico, incluindo fornecedores e cooperação entre empresas do setor.

Esta análise foi feita com base em estatísticas descritivas para o período entre 2000 e 2007 (Pompermayer, 2011).

O principal objetivo deste trabalho é apontar como evoluiu a rede de pesquisa e colaboração entre os participantes do programa de P&D Aneel entre 2011 e 2015, com foco na identificação dos principais agentes externos ao programa de P&D, isto é, as empresas fornecedoras de equipamentos, sistemas e serviços e ICTs, não reguladas pela Aneel, que são mais relevantes para execução do programa e para o desenvolvimento de inovação no setor. Em outras palavras, quem são as empresas, universidades e centros de pesquisa que atuam como principais fornecedores de tecnologia e inovação no setor elétrico, dentro do programa de P&D da Aneel?

A ausência de uma análise para os anos entre 2008 e 2010 se dá a dois fatores: (i) após a avaliação do IPEA em 2011, foram feitas alterações na regulação do programa de P&D

da Aneel para gerar uma maior integração das empresas ao realizar os projetos de pesquisa e desenvolvimento, cujos resultados só podem ser capturados no período pós 2011; (ii) uma lacuna de dados consistente e organizada para esse período, como será melhor explicado à frente.

Segundo a abordagem de sistemas de inovação, a interação entre os agentes é importante para entender o processo inovativo como um todo. Tendo isto em vista, o próximo capítulo faz uma descrição do arcabouço teórico de sistemas de inovação adotado neste trabalho, assim como uma crítica à visão linear do processo de inovação adotado pela Aneel em seu Manual de P&D.

2. A ABORDAGEM EVOLUCIONÁRIA DO PROCESSO INOVATIVO E OS SISTEMAS DE INOVAÇÃO

Neste capítulo será feita uma revisão da teoria de sistemas de inovação, com foco em sua importância no setor elétrico. Além disso, no capítulo 3, será explicada a metodologia de análise de redes sociais que será utilizada neste trabalho, e sua conexão com a teoria de sistemas de inovação.

2.1 Sistemas de Inovação

O arcabouço teórico deste trabalho é a abordagem neo-schumpeteriana de sistemas de inovação. Esta visão compreende a inovação como um processo sistêmico e interativo, onde a interação entre os agentes envolvidos é fundamental para compreender o processo inovativo como um todo (Lundvall, 2002).

2.1.1 Inovação na visão neoclássica e evolucionária

Os primeiros modelos de crescimento econômico neoclássicos surgiram nos anos 1940 e 1950 com autores como Roy Harrod e Robert Solow. Na abordagem destes autores, o crescimento econômico não considerava, explicitamente, fatores como desenvolvimento tecnológico e inovação.

Na abordagem neoclássica, a análise do processo de crescimento parte da hipótese de uma firma representativa, ou seja, um tipo particular de empresa média que negligencia particularidades entre diferentes firmas.

A lógica por trás da abordagem neoclássica dos anos 1950 era que o conhecimento é um bem não rival e não excludente, e que qualquer pessoa poderia se apropriar daquele

conhecimento sem custos. Ou seja, toda inovação tecnológica, derivada de novos conhecimentos, seria prontamente incorporada à função de produção de todas as firmas do mercado.

Nos anos 1980, a partir da contribuição de Paul Romer e Robert Lucas, a tecnologia e o conhecimento passaram a ser compreendidos como fatores inerentes ao processo de crescimento econômico, sendo abordados de maneira endógena nos modelos, uma vez que requerem esforços e investimentos específicos para serem criadas e adotadas (Varella, 2012).

Foi também a partir dos anos 1980 que a abordagem evolucionária começou a ganhar força, tendo como marco o trabalho pioneiro de Nelson e Winter (1982). Os autores chamados evolucionários ou neo-schumpeterianos passaram a buscar entender o processo de inovação dentro da firma e suas consequências sobre o nível de competição e crescimento econômico (Mazucatto e Penna, 2014).

A teoria evolucionária utiliza conceitos Darwinianos como elementos centrais na lógica de transformação das empresas, e considera as rotinas organizacionais como unidades de seleção no contexto econômico. Desse modo, rotinas que não logram resultados satisfatórios perdem espaço para as que alcançam maiores lucros e resultado. Complementarmente, empresas com melhores estratégias tendem a crescer enquanto as demais tendem a perder mercado.

De acordo com Fischer (2001), a corrente evolucionária tem como cerne de sua teoria a dinâmica constante e a natureza sistêmica do processo de inovação.

A maior diferença entre a abordagem neoclássica e evolucionária é a heterogeneidade dos agentes, incerteza acerca dos resultados e dependência da trajetória seguida (*path*

dependence). Na abordagem evolucionária, estes elementos são tratados de forma mais sofisticada.

Ao passo que nos modelos neoclássicos, o fator incerteza acerca dos investimentos realizados em pesquisa e desenvolvimento é baixo e geralmente atrelado a alguma probabilidade, na corrente evolucionária não há forma de se precisar os resultados dos esforços de pesquisa (Varella, 2012).

Segundo Dosi e Nelson (1994), a teoria neoclássica deve ser utilizada em situações onde os atores são todos conhecidos e racionais, enquanto a linha evolucionária é aplicável em situações onde o grau de previsibilidade é baixo e a incerteza, alta. Este ambiente de baixa previsibilidade e incerteza se mostra como o mais adequado para análise do setor elétrico brasileiro diante do cenário de mudanças supracitado.

Os resultados da perspectiva evolucionária contribuíram para a abordagem de sistemas de inovação, que será tratado a seguir.

2.1.2 Abordagem de sistemas de inovação

A abordagem sistêmica enfatiza conceitos como aprendizagem, conhecimento e competências. Além disso, é na literatura de sistemas de inovação que relações e redes (*networks*) formam elementos chaves para o processo de inovação e produção. Nesta visão, a inovação é um processo coletivo, onde firmas devem interagir com outras firmas e organizações como universidades, centros de pesquisa, agências governamentais e instituições financeiras. A abordagem de sistemas de inovação coloca ênfase na interdisciplinariedade, perspectiva histórica e aprendizado como um determinante da inovação (Edquist, 1997).

A estrutura de um sistema nacional de inovação está ligada à agenda política dos países, uma vez que este sistema abrange instituições que contribuem para o desenvolvimento da capacidade de aprendizagem, conhecimento e inovação. O fundamento dos sistemas nacionais de inovação é que a inovação não ocorre como um fenômeno isolado em uma empresa ou órgão pesquisa, mas ocorre em um ambiente interativo entre esses e outros agentes (Cassiolato e Lastres, 2008).

Neste sentido, é importante que haja interação entre os atores envolvidos no processo de inovação para que as políticas e ações de promoção de P&D sejam eficazes. O Estado também é um agente fundamental na promoção de um ambiente inovativo, e esse suporte transcende os recursos financeiros, pois, dado que as empresas geram inovação em ambiente de rede, a inovação fica condicionada à influência mútua de todos os atores, sejam eles institucionais, econômicos e de gestão. Em última instância, a capacidade de inovação depende de como esses atores se relacionam (Silveira, 2011).

A ideia de Sistemas de Inovação nasceu com Friedrich List, em seu trabalho “*The National System of Political Economy*”, de 1841. Em seu livro, List analisa a importância de políticas voltadas ao aprendizado de novas tecnologias para que a Alemanha alcançasse a Inglaterra em industrialização e crescimento econômico (Freeman, 1995). Segundo Freeman, List teria antecipado diversas teorias de autores contemporâneos neste livro.

O trabalho de Freeman também ressalta a importância de redes de relacionamento intra-firma e externamente, para o processo de inovação nas empresas.

De acordo com Lundvall (2002), o conceito de sistemas de inovação começou a ser discutido nos anos 1980 e teve grande repercussão, sendo incorporado à perspectiva analítica de órgãos como a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico

(OCDE), Fundo Monetário Internacional (FMI), Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento (UNCTAD) e Banco Mundial. Foi o próprio Lundvall quem introduziu o termo “*innovation system*” em 1985, seguido por Freeman, em 1987.

Ao longo dos anos 1980, a perspectiva da inovação foi ganhando espaço. Nesta perspectiva, a inovação é considerada como um processo que incorpora uma rede de agentes e interações dentro e fora das empresas. A literatura passa a atribuir uma maior importância às redes formadas com instituições de pesquisa, universidade, fornecedores e outros parceiros empresariais.

A partir dos anos 90, foram desenvolvidos novos conceitos, como os sistemas regionais de inovação e os sistemas setoriais de inovação, que também colocavam ênfase nas características sistêmicas do processo inovativo, mas com diferentes escopos analíticos. Tais abordagens são, mais do que uma alternativa, um complemento a abordagem de sistemas nacionais de inovação (Lundvall, 2002).

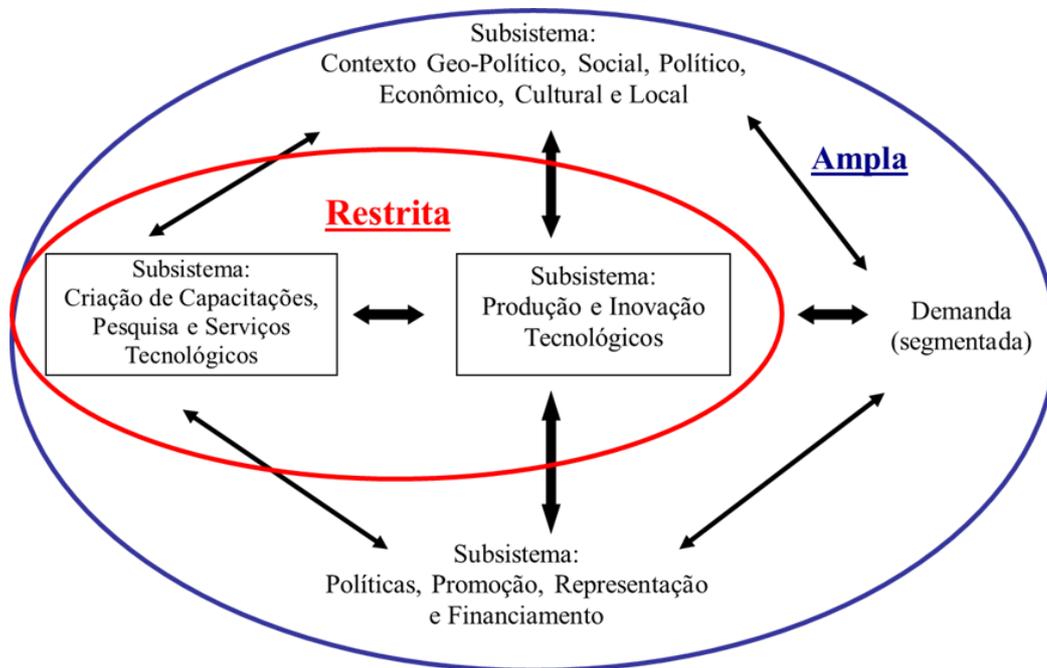
De acordo com Lastres e Cassiolato (2005), um sistema nacional de inovação pode ser dividido em subsistemas, gerando uma visão restrita e uma visão ampla. A visão restrita compreende relações inseridas na esfera de produção e de pesquisa técnico-científica. Já a visão ampla transcende este escopo, e abarca também as instituições e políticas de inovação, o contexto geopolítico, social político, econômico e cultural.

Penna e Mazzucato (2015) analisam que uma abordagem ampla de um sistema nacional de inovação deve levar em consideração ao menos quatro subsistemas: (i) políticas públicas e financiamento público; (ii) pesquisa e educação; (iii) produção e inovação; e (iv) de fundos privados e financiamento privado.

A figura 4 a seguir apresenta uma esquematização de um sistema nacional de inovação

contrastando as visões ampla e restrita:

Figura 4 - Visão ampla e restrita de um sistema nacional de inovação



Fonte: Lastres e Cassiolato (2005)

Por fim, a abordagem sistêmica de inovação compreende promover, estimular e articular a comunicação entre todos os atores envolvidos no processo.

2.2 Sistemas setoriais de inovação

De acordo com Malerba (2002), um sistema setorial de inovação é formado por um conjunto de produtos e agentes gerando interações via mercado e não mercado para criação e distribuição destes produtos. Sistemas setoriais possuem base tecnológica, tecnologias, insumos e demanda própria, assim como instituições (regulatórias ou não). Os agentes são indivíduos e organizações em vários níveis de agregação. Tais agentes interagem através de processos de cooperação, competição e comando, onde essas interações são moldadas pelas instituições.

A vantagem da abordagem específica de sistemas setoriais de inovação ocorre em função das idiossincrasias setoriais relacionadas à estrutura, interação entre agentes, e desempenhos de firmas em diferentes setores.

Os agentes podem ser empresas e organizações não-empresas (universidades, instituições financeiras, agências governamentais, departamentos de P&D, entre outros). Tais agentes são caracterizados por processos específicos de aprendizado, crenças, objetivos, estruturas organizacionais e comportamentos (Malerba, 2002).

Os elementos básicos de um sistema setorial de inovação são:

- a) Produtos
- b) Agentes (empresas e organizações não empresas)
- c) Conhecimento e processo de aprendizagem
- d) Tecnologias básicas, insumo, demanda e complementariedades
- e) Mecanismos de interação internos e externos às firmas
- f) Processos de competição e seleção
- g) Instituições, como padrões, regulações, mercado de trabalho e etc.

Em sistemas setoriais, os agentes estão conectados através de diferentes tipos de relação, sejam elas via mercado (compra e venda de produtos, insumos e etc) seja via não mercado (interação intra-firma, cooperação para desenvolvimento de produtos, etc). A análise tradicional de relacionamento entre agentes aponta que estes estão conectados através de processos de troca, competição e verticalização. Além disso, análises mais recentes enfatizam processos de interação e cooperação intra e entre firmas e organizações não

empresas, através de colusão explícita ou tácita, formas híbridas de governança e cooperação para atividades de pesquisa e desenvolvimento (Malerba, 2002; Malerba et. al, 2009).

A abordagem de sistemas de inovação valoriza a cooperação e interação formal e informal entre firmas. Nesta visão, em ambientes de incerteza e mudanças, as redes emergem em função da heterogeneidade dos agentes participantes do sistema (Edquist, 1997). Esta relação entre empresas e organizações não empresas são fontes de inovação e mudança em diversos setores.

“Sectoral system is composed by webs of relationships among heterogeneous agents with different beliefs, competencies and behavior, and that these relationships affect agent’s actions.” (Malerba, 2002)

2.3 Sistema de inovação no setor elétrico

No setor elétrico, pode-se constatar que, após a implantação da infraestrutura, as inovações surgem durante atualização de equipamentos e sistemas. Conforme supracitado, os riscos associados a investimentos intensivos em capital e elevado horizonte de retorno impõem um quadro de dependência de grandes fornecedores, geralmente multinacionais no processo inovativo.

Políticas públicas de incentivo a inovação visam superar esse quadro de dependência externa e sua importância pode ser melhor compreendida dentro de uma visão de sistema setorial de inovação. Nos próximos parágrafos será feita uma tentativa de mapear os agentes envolvidos no sistema setorial de inovação do setor elétrico, com base na terminologia criada por Malerba (2002).

a) Atores

O grupo de atores que fazem parte de uma rede de inovação no setor é formado por:

- Estado: responsável por estabelecer mecanismos de incentivos ao desenvolvimento de inovação, assim como políticas para introdução e uso de inovações no setor (Ex. Ministério de Minas e Energia, EPE, Aneel e ONS);
- Empresas de energia elétrica: responsáveis pelo desenvolvimento de projetos de P&D, definição de áreas estratégicas e gerarem demanda por novas tecnologias que visam introduzir inovação no mercado (Ex. CEMIG, Neoenergia, EDP, CPFL);
- Setor acadêmico e centros de pesquisa: Responsáveis pelo desenvolvimento de novas tecnologias alinhadas com as necessidades de médio e longo prazo do setor, formação de conhecimento e recursos humanos para o setor e formulação de propostas economicamente atrativas para as empresas do setor, minimizando o risco de perdas financeiras e operacionais (Ex. Universidades);
- Empresas e empreendedores: Devem participar no desenvolvimento do projeto como executores ou patrocinadores, responsabilizando-se por fazer os projetos de P&D avançarem na cadeia de inovação até serem inseridos no mercado (Ex. empresas fornecedoras de bens e serviços e executoras de projetos de P&D);
- Agentes de fomento: Criação de mecanismos de financiamento para inovação no setor, reduzindo os riscos inerentes ao projeto e criando condições financeiramente favoráveis para o desenvolvimento de um ambiente voltado a geração de inovações no setor (Ex. BNDES, FINEP, agências de fomento estaduais).

b) Conhecimentos, aprendizado e tecnologia:

- Fontes de tecnologia: Pesquisa e desenvolvimento e os departamentos de engenharia de produção das firmas do setor (geralmente grandes players globais);
- Mecanismos de apropriação: *know-how* de P&D, patentes, segredo e *know-how* de processo, economias dinâmicas de aprendizado;
- Inovação predominantemente mista: envolve inovação tanto de processos, visando redução de custos, quanto de produtos;
- Intensidade e direção da diversificação: baixa vertical (pequeno número de inovações produzidas fora do setor de atividade principal e neste utilizadas) e alta concêntrica (grande número de inovações produzidas e usadas fora do setor principal) (Cunha, 2008).

c) Instituições:

As instituições que pactuam as “regras do jogo” no processo de inovação do setor elétrico são, sumariamente:

- Lei 8.987/95 – Estabelece o regime de concessão e permissão da prestação de serviços públicos;
- Lei 9.074/95 – Estabelece normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos;
- Lei 9.427/96 – Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica – Aneel -, que disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica;
- Decreto 2.335/97 – Delega a Aneel, como uma de suas competências, o estímulo às atividades de pesquisa e desenvolvimento tecnológico do setor elétrico;

- Lei 9.991/2000 – Cria o Programa de P&D da Aneel, como um programa de financiamento público a inovação no setor, como principal mecanismo de estímulo ao investimento em inovação no setor elétrico, onde as empresas são obrigadas a destinar 1% de sua receita para projetos de P&D, que posteriormente será compensada pela tarifa (Cunha 2008).

Além disso há normas e instituições informais que também definem as “regras do jogo”.

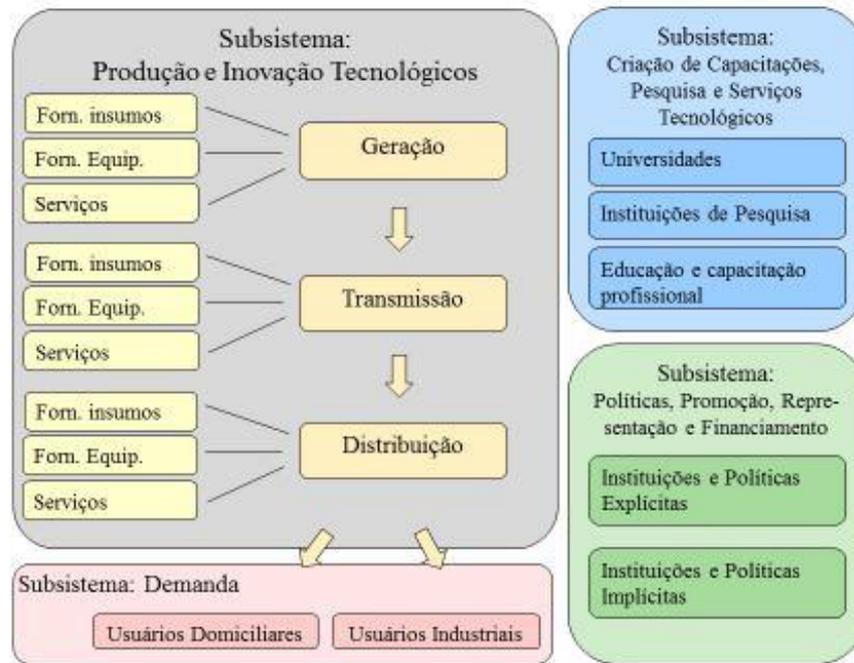
Uma forma alternativa de se enxergar a inter-relação dos diferentes agentes envolvidos no sistema de inovação do setor elétrico é através dos subsistemas, que podem ser divididos em:

- a) Subsistema de produção: que contém as empresas de geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia, assim como seus respectivos fornecedores de insumos, equipamentos e serviços.
- b) Subsistema de capacitação e pesquisa: formado pelas universidades, instituições de pesquisa e órgãos de educação e capacitação profissional.
- c) Subsistema voltado a promoção de políticas e financiamento: formado pelas instituições supracitadas, instituições financeiras e políticas implícitas e explícitas.
- d) Subsistema de demanda: formado pelos usuários domiciliares e industriais, ou seja, quem consome energia elétrica.

A representação gráfica destes subsistemas está na imagem seguinte (figura 5):

Figura 5 - Representação gráfica dos subsistemas de inovação no Setor Elétrico

Brasileiro



Fonte: Podcameni e Matos (2016)

Neste capítulo, foi detalhada a abordagem teórica adotada neste trabalho e a importância de se olhar para o processo de inovação no setor elétrico com uma ótica sistêmica, em contraposição à visão linear que é proposta pelo atual desenho do Programa de P&D da Aneel. No próximo capítulo, será discutida como a metodologia de análise de redes sociais pode ser útil para entender aspectos fundamentais da abordagem de sistemas de inovação, e avaliar o processo de interação entre os diversos atores envolvidos do processo de inovação do setor.

3. ANÁLISE DE REDES SOCIAIS

3.1 Sistemas de inovação e redes sociais

A abordagem de sistemas de inovação reforça que o fluxo de tecnologia e informação entre pessoas, empresas e instituições é importante no processo de inovação. Isto ocorre porque firmas inovadoras operam dentro de uma rede complexa que envolve interação com outras empresas e organizações (Freeman, 1995).

Dessa forma, a abordagem de sistemas de inovação gera uma sustentação adequada para a análise de interações complexas e em rede entre os agentes. No entanto, esta abordagem também deixa algumas lacunas sobre a lógica por trás da interação e cooperação entre os agentes envolvidos no processo de inovação.

Além disso, é importante investigar quais arranjos cooperativos são mais adequados para o processo de inovação e como esses arranjos evoluem ao longo do tempo.

Nesse sentido, a análise de redes sociais (*social network analysis*, como é mais conhecida na literatura) oferece uma metodologia adequada para avaliar o processo de interação entre os diversos agentes envolvidos em um processo inovativo (Keskin, 2011).

Trazer a ferramenta de análise de redes sociais para a abordagem de sistemas de inovação é essencial para um melhor entendimento dos mecanismos que levam ao desenvolvimento de uma indústria.

Segundo Agapitova (2011), o conceito de redes sociais constitui uma ferramenta importante a ser incorporada à análise de sistemas de inovação. Isto porque a abordagem de sistema nacional de inovação e suas variantes conhecidas não possuem mecanismos para responder uma das questões principais nos estudos de sistemas de inovação: “qual a lógica subjacente ao desenvolvimento de interações dentro de um sistema de inovação?”.

Nas palavras de Agapitova (2011, p. 7):

“Social networks are essential not only for explaining the logic of political and institutional arrangements between firms and their environment, but also for understanding the patterns of development of new productive structures and innovative activities.”

A ideia por trás do uso desta metodologia é que o comportamento de um agente só pode ser entendido em um contexto de interação com diversos outros agentes, que estão mutuamente conectados através de laços diretos e indiretos.

Em um sistema de inovação, as organizações se articulam em forma de rede, com o objetivo principal de disseminar conhecimento e gerar inovações. Neste contexto, a interação em rede facilita a geração compartilhada de informações e conhecimento, gerando maior aproximação entre os agentes e enriquecimento recíproco (Sugahara; Vergueiro, 2011).

Tomael (2005) aponta que as conexões em rede fortalecem a capacidade de inovação de cada agente, se refletindo no sistema de inovação como um todo e favorecendo o desenvolvimento local. Neste sentido, uma ferramenta adequada para analisar a articulação dos atores em um sistema de inovação é a análise de redes sociais (ARS).

De acordo com Hanneman (2001) uma das razões para utilização de análise de redes sociais é que ela permite representar uma rede de maneira concisa e sistemática. Utilizando-se de programas de computador, esta análise permite o armazenamento e avaliação de dados de forma precisa, gerando indicadores que permitem entender a inserção dos atores nesta rede.

Em 2011, o Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas realizou uma análise da interação e da rede de pesquisa formada pelos agentes inseridos no processo de inovação do setor elétrico, que será detalhada abaixo (figura 6):

Figura 6 - Descrição do estudo do IPEA (2011) e lacunas metodológicas

Em 2011, foi lançado um estudo da Aneel em parceria com o IPEA, para analisar os seguintes aspectos do programa de P&D da Aneel:

- a) A rede de pesquisa formada no programa;
- b) As tendências de inovação no setor elétrico;
- c) Impactos econômicos e tecnológicos do programa sobre as empresas e os recursos humanos participantes;
- d) Impactos qualitativos dos projetos sobre as empresas e instituições de pesquisa envolvidas;



No item “a)”, o principal objetivo foi avaliar a abrangência e as características da rede de pesquisa formada pelo programa.

A metodologia adotada foi a análise de conjunto de estatísticas descritivas sobre as empresas, instituições de pesquisas e outros agentes envolvidos nos projetos de P&D, assim como sobre a interação entre elas no desenvolvimento do projeto.

A conclusão principal do estudo foi que, entre 2000 e 2007, o programa de P&D da Aneel conseguiu promover a criação de milhares de projetos de P&D e altos investimentos, mas não foi bem-sucedido em gerar uma rede de pesquisa integrada entre os atores do setor elétrico (incluindo fornecedores).

Neste sentido, observa-se duas lacunas que este trabalho visa superar:

- 1) Temporal: este estudo se propõe a analisar a rede formada por empresas do setor elétrico na execução de projetos de P&D entre 2011 e 2015
- 2) Analítica: a análise propugnada adota a metodologia de redes sociais (*social network analysis*) para entender a lógica subjacente à interação entre as empresas e centros de pesquisa na execução dos programas de P&D
- 3) Escopo: Este trabalho visa identificar empresas campeãs e centros de pesquisa de excelência para colaboração em projetos de P&D regulados pela Aneel, nos diferentes temas de pesquisa

A limitação de tempo e estudo impediram uma análise do programa com base nas citações realizadas na elaboração dos projetos de P&D. Esta lacuna poderá ser endereçada em pesquisas futuras.

3.2 Histórico da análise de redes sociais

O conceito de redes sociais vem sendo abordado por diversas disciplinas sob diferentes nomenclaturas e teorias: na sociologia, utilizou-se o termo sociometria, e depois análise de redes sociais; na matemática e ciência da computação, teoria dos grafos; na física estatística, o termo mais comum é rede complexa, ao passo que na economia e bioinformática, são normalmente chamadas só de redes. O conceito também é utilizado em biblioteconomia (bibliometria) e análise de patentes.

Os precursores da análise de redes sociais são sociólogos do final do século XIX, como Émile Durkheim e Ferdinand Tönnies. Este último defendia que grupos sociais eram formados através de conexões que ligavam indivíduos que compartilhassem valores e crenças. Durkheim, por sua vez, argumentava que interação de indivíduos gerava fenômenos sociais que não poderiam ser explicados sob a lógica da ação individual.

Georg Simmels foi o primeiro autor a considerar explicitamente redes sociais em suas análises. Seus estudos destacavam características da rede como seu tamanho e probabilidade de interação (Freeman, 2014).

No século XX surgiram as três principais correntes de análise de redes sociais. Em 1930, J.L Moreno foi pioneiro ao sistematizar a análise de interações entre pequenos grupos em salas de aula, dando origem ao que hoje é chamado de sociometria.

Na mesma época, acadêmicos de Harvard passaram a estudar relações interpessoais em ambientes corporativos. Nos anos 1940 e 1950, a antropologia passou a estudar sistematicamente redes sociais (Brown, 1940).

Nos anos 1960 e 1970, um número crescente de acadêmicos ampliaram o escopo disciplinar da análise de redes sociais, sendo esta metodologia aplicada ao estudo de

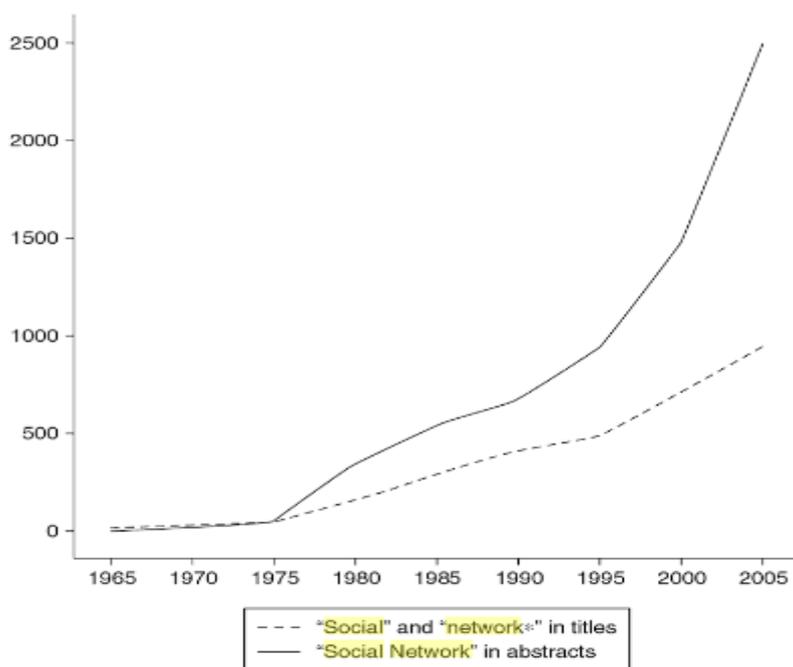
sociologia política e movimentos sociais. Foi também nesta época que Stanley Milgran desenvolveu a tese de “seis degraus de separação”.

No final dos anos 1990, as redes sociais passaram a ser exploradas pela biologia e pela física. Esta última, por sua vez, representou uma verdadeira revolução no tema, uma vez que o número de trabalhos científicos produzidos superou rapidamente todas as outras disciplinas até o momento.

Finalmente, no final dos anos 1990 e início dos anos 2000, as análises de redes sociais passaram a ter uma importância crescente para a economia, especialmente na literatura sobre inovação, que será o foco de nossa análise (Freeman, 2014).

Para ilustrar este movimento, pode-se observar, na figura 7, como o número de referências a redes sociais (*social networks*) se elevou a partir dos anos 1990.

Figura 7 - Evolução no número de artigos científicos com "social networks" no título ou resumo (1965-2005)



Fonte: Knoke (2008)

A revisão de literatura feita neste trabalho analisou alguns dos principais artigos que utilizaram redes sociais para análise do processo de inovação entre 2004 e 2016, dentre as quais destacam-se:

Autor	Teoria	Contribuição teórica / pergunta de pesquisa	Unidade de análise	Tipo de rede
Cantner & Graf (2004)	Sistemas locais de Inovação (Allen, 1983)	Descreve a evolução da rede de inovação de Jena. Inovadores da periferia saem e novos entrantes se posicionam próximo ao núcleo da rede	Acordos cooperativos de P&D e patentes	Laços indiretos
Muller e Penin (2004)	Open knowledge disclosure (Hicks, 1995)	Elabora um quadro teórico descrevendo a emergência e dinâmica de redes de inovação. Disponibilidade de conhecimento aberto de uma firma afeta sua propensão a P&D colaborativo	Firmas	Laços indiretos
Ouimet et al (2004)	Buracos estruturais (Burt, 1992) e força de laços fracos (Granovetter, 1973)	Explora a relação entre o posicionamento das firmas na rede dentro de um cluster industrial e inovações radicais	Organizações: firmas, institutos de pesquisa, universidade, organizações governamentais e instituições financeiras	Laços não direcionados
Allen (2007)	Redes informais	Comparar redes formais com informais na disseminação de conhecimento em projetos de P&D	Indivíduos, pesquisadores.	Laços direcionados
Vonortas (2009)	Buracos estruturas (Burt, 1992) e posição das empresas da rede (Poldony, 1996; (Breschi, 2004)	Análise das diferenças nas redes formadas em cinco setores econômicos que aplicaram pedido de patente entre 1996-1999 na Europa	Firmas e patentes	Laços não direcionados

Devaud, (2011)	Redes de mundo pequeno (Watts e Strogatz, 1998)	Analisar se a difusão de inovação possui concentração espacial. Para o caso estudado, difusão de inovação está intrinsecamente ligada à concentração espacial	Firmas	Laços não direcionados e laços direcionados
Hung (2016)	Buracos estruturais (Burt, 2004) e funcionalidade do <i>gatekeeper</i> (Hung, 2013)	Testar se redes de colaboração mais densas e <i>gatekeepers</i> contribuem para uma melhor performance em projetos de P&D	Equipes de P&D	Laços direcionados
Magalhães (2016)	Análise de indicadores de centralidade e coesão	Principais características de rede do sistema local de inovação no município de Lavras (MG)	Organizações: empresas, institutos de pesquisa, agências públicas	Laços não direcionados

Com base nesta pesquisa, verificou-se que ainda há pouco uso da metodologia de redes sociais para análise dos programas de P&D no contexto brasileiro.

Na economia e na literatura de inovação, a formação de redes sociais deriva dos benefícios que os agentes podem obter através da conexão com outros agentes. Essas redes formam um emaranhado de nós e conexões que influenciam e são influenciados por decisões estratégicas dos agentes (Devaud, 2011).

De acordo com Silva (2009), a estratégia mais comum para incentivar o desenvolvimento de conhecimento e tecnologia é a formação de uma rede de interação entre universidades, instituições de pesquisa e empresas.

Uma rede social pode ser entendida como um arranjo de diferentes elementos conectados entre si por laços, que indicam relações entre estes pontos.

De acordo com a literatura de redes sociais, existem alguns padrões de organização da rede que são mais eficientes como canal de comunicação e podem favorecer a disseminação de inovações.

Uma forma de se avaliar a efetividade das redes é avaliando sua eficiência como canal de comunicação. Redes com características de mundo pequeno (*small world*) são relativamente eficientes da transmissão e compartilhamento de informação. Estas redes possuem alto nível de agrupamento local (*clustering coefficient*) e distância curta entre seus nós (Watts e Strogatz, 1998).

Além disso, avaliar a existência de *small worlds* em uma rede nos permite unir duas distintas perspectivas de topologia de rede: capital social (*social capital*), onde altos valores representam elevado agrupamento (Coleman, 1990) e buracos estruturais, se referindo às oportunidades de conectar aglomerações locais ou *local clusters* (Burt e Holes, 1995). De uma forma geral, redes são eficientes na transferência de informação se possuem aglomerações locais próximas, combinadas com ligações relativamente esparsas entre os *clusters* (Vonortas, 2009).

Uma rede apresenta características de agrupamento se a probabilidade de um laço entre dois vértices é maior do que esses dois vértices terem um ou mais vértices em comum. Dessa forma, o agrupamento pode ser considerado como a quantidade de capital social em um local da rede.

Além disso, de acordo com Keskin (2011), as redes sociais podem possuir quatro tipologias diferentes, classificadas a seguir:

- 1) Grupos de negócios: É um fenômeno comum no capitalismo moderno que assumiu diversos nomes, dependendo do lugar. *Keiretsu* no Japão, *Chaebol* na

Korea, entre outros. Sua origem está ligada a uma solidariedade social entre as empresas componentes, que possuem herança cultural em comum.

- 2) Redes sociais regionais: Geralmente formada por empresas com proximidade geográfica e altamente especializadas que interagem entre si. Este tipo de rede tende a surgir em um ambiente de elevada incerteza técnica e de mercado. O exemplo mais proeminente desse tipo de sistema são as redes de empresas de tecnologia da informação no Vale do Silício. Se enquadrariam este grupo os arranjos produtivos locais e *clusters*.
- 3) Redes tradicionais ou capital social: Empresas altamente conectadas a outros agentes, especialmente em regiões industriais dependem da vontade e capacidade de funcionários e firmas cooperarem efetivamente. Este tipo de cooperação vem tendo uma importância crescente depois do colapso do modelo fordista de produção industrial, onde se busca uma maior flexibilidade na produção em países industrializados e com alto custo de mão de obra;
- 4) Redes de P&D: Formada em processos cooperativos de empresas atuando em projetos de pesquisa e desenvolvimento, estas redes tendem a adquirir um formato mais formal e contratual, uma vez que estas redes levam à criação de produtos e serviços tangíveis.

A análise que será feita neste trabalho se refere a este tipo de rede, que surge num contexto mais formal, através de uma política pública de incentivo a inovação no setor elétrico.

No próximo capítulo será feita uma descrição detalhada da metodologia adotada análise da rede formada no âmbito do programa de P&D da Aneel.

4. METODOLOGIA

4.1 A análise de redes sociais

De acordo com Wasserman e Robins (2006), uma rede social é composta por um conjunto de atores e das relações sociais que especificam como estes atores interagem entre si. Os laços, ou sejam, interação entre os agentes formados por esta rede, formam um padrão que possui relevância e consequências.

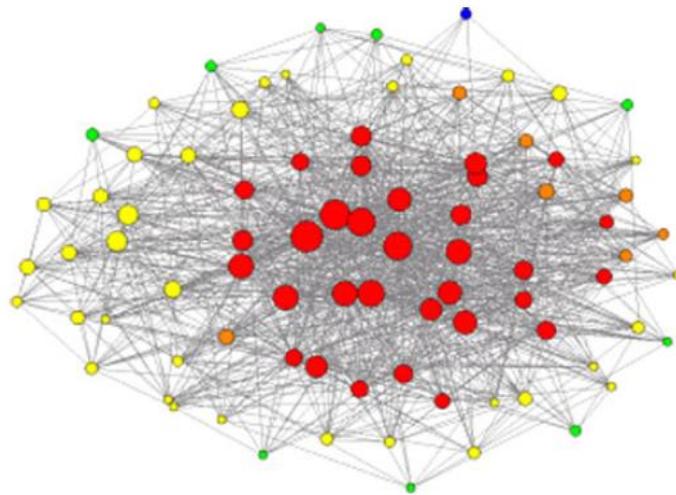
A análise de redes sociais é utilizada para medir as relações e vínculos entre agentes formados em diferentes contextos sociais, e busca entender as implicações destes relacionamentos. Estes agentes podem ser pessoas, empresas, organizações entre outros.

A representação gráfica destas redes se dá a partir de uma série de vértices (nós) que representam os agentes, conectados por arestas, que representam a relação estabelecida entre eles. Esta relação pode ter diferentes naturezas. No estudo de inovação, estas relações são, geralmente: (i) patentes: agente A citou agente B, formando um vínculo entre eles; (ii) colaboração: agente C e D trabalharam juntos em um projeto de P&D. É sobre este último tipo de relação que este trabalho se baseia.

Estes fluxos podem ser orientados, quando há transmissão de informação, serviços, bens entre um ator e outro, ou não orientados, quando a relação não assume caráter unilateral ou direcional.

Segundo Wasserman e Faust (1994), os indicadores de análise de rede podem ser classificados da seguinte forma: (i) medidas estruturais, como centralidade, densidade, transitividade e coesão da rede; (ii) papéis e posições, como análise de equivalência estrutural, análise de clusters; e (iii) análise estatística dos relacionamentos, utilizadas com o objetivo de testar proposições teóricas das propriedades relacionais.

Esses indicadores podem ser calculados através de uma série de softwares disponíveis para análise de redes sociais. Entre os mais famosos estão o UCINET, NetDraw, Pajek, R e o NodeXL. Esses softwares também são úteis para gerar diagramas representativos destas redes, que podem ser ponderados e customizados de acordo com diferentes critérios. Um exemplo de representação gráfica de uma rede é mostrado a seguir, onde os círculos representam os nós (agentes da rede) e as arestas os laços entre eles.



Fonte: Vonortas (2009)

4.2 Base de dados

A base de dados utilizada para a análise propugnada consiste nos registros de execução dos projetos de pesquisa e desenvolvimento realizados pelas empresas do setor elétrico brasileiro no âmbito do programa de P&D da Aneel. Dentre estes registros, encontram-se:

- Relatório de Auditoria dos Projetos de P&D: Relatório contendo a auditoria de todos os gastos realizados do projeto executado. Este relatório é encaminhado à Aneel ao término do projeto, juntamente com o relatório final, pelas empresas do setor elétrico.

- Relatório Final de Projeto de P&D: Relatório de finalização do projeto, descrevendo o desenvolvimento, os resultados, o cronograma e o orçamento executado. Neste relatório também constam todas as empresas participantes do projeto, seja como proponente, cooperadas, executoras, ou parceiras de financiamento.

A gestão do programa de P&D da Aneel é feita por um sistema de autenticação e carregamento de formulários e relatórios, acessado exclusivamente pela Aneel e pelas empresas do Setor Elétrico obrigadas a investir em projetos de P&D, conforme a Lei nº 9.991 de 2000.

Estes relatórios foram cedidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica ao Grupo de Estudos do Setor Elétrico da UFRJ no formato XML, somando 1.919 documentos referentes a projetos finalizados entre 2010 e 2017. O acesso a estes dados foi possível, uma vez que esta dissertação faz parte de um projeto de pesquisa mais amplo, executado pelo Grupo de Estudos do Setor Elétrico, que pretende analisar a eficiência e eficácia do programa de P&D da Aneel para gerar inovações para o setor, assim como sugerir alterações em seu regimento.

Para garantir a consistência dos dados oficiais obtidos, as informações em XML foram consolidadas em uma planilha do formato Excel (extensão .xlsx), consolidadas e cruzadas com a lista de projetos de P&D disponível no sítio eletrônico da Aneel⁶, com acesso em 03 de junho de 2017.

Foi verificado que as informações em ambas as bases de dados eram consistentes para projetos finalizados entre os anos de 2011 e 2015, o que permitiu o avanço deste estudo.

⁶ A lista destes projetos entre 2008 e 2016 está disponível publicamente através do endereço eletrônico <<http://www.aneel.gov.br/documents/656831/15189212/Atualiza%C3%A7%C3%A3o+21-02-17/f89493eb-cc29-bef4-3996-96dee41fb022>>

Para o período entre 2008 e 2010, assim como para 2016, a consistência entre as duas bases de dados não era clara. Dessa forma, optou-se por restringir a análise para o período entre 2011 e 2015.

Dentre as dezenas de campos de informações disponíveis para cada um dos projetos de P&D, foram utilizadas as seguintes para construção das análises deste projeto (tabela 6):

Tabela 6 - Campo de informações disponibilizadas pela Aneel para os projetos de P&D

Código do campo	Descrição do campo
CodigoEmpresa	Código da empresa do setor elétrico proponente do projeto de P&D
CodProjeto	Código do projeto de P&D
DataIniODS	Data de início do projeto
DataFimODS	Data de finalização do projeto
CodEmpresa	Código da empresa do setor elétrico parceira na execução do projeto
TipoEmpresa	Tipo de empresa (cooperada ou proponente)
NomeMbEqEmp	Nome dos membros da equipe e pesquisadores do projeto
CpfMbEqEmp	CPF dos membros integrantes do projeto
TitulaçãoMbEqEmp	Titulação acadêmica dos membros da equipe integrante do projeto
FuncaoMbEqEmp	Função dos membros da equipe proponente e cooperada
RazaoSocialExec	Razão social da empresa executora do projeto
NomeMbEqExec	Nome dos membros da equipe da empresa executora do projeto
DocMbEqExec	Documento oficial dos membros da equipe da empresa executora do projeto
FuncaoMbEqExec	Função dos membros da equipe executora do projeto (gerente, coordenador, pesquisador, auxiliar, etc.)
TipoCT_PI	Tipo de registro de patente gerado no projeto
NumeroCT_PI	Número do registro de patente gerado no projeto

Tepco	Tipo de capacitação acadêmica gerada no projeto (mestrado, doutorado, especialização, pós-doutorado)
DocMnbEqCP	Documento oficial das pessoas que receberam capacitação acadêmica do projeto
CustoTotal	Custo de execução do projeto finalizado

Os projetos foram classificados de acordo com o código do projeto e dinamizados em tabelas dinâmicas no Microsoft Excel para evitar dupla contagem.

4.3 Procedimentos metodológicos

Uma vez tendo consolidado todos os projetos de P&D realizados no âmbito do programa de P&D da Aneel finalizados entre 2011 e 2015 em uma única planilha, foi criada uma relação entre as empresas proponentes de projetos de P&D e empresas fornecedoras e centros de pesquisa.

Como o objetivo da pesquisa é analisar a interação entre as empresas do setor elétrico, fornecedores e centros de pesquisa, estes foram considerados as unidades de análise, ou seja, os nós (*nodes*) ou vértices.

A espessura do laço que liga uma concessionária do setor elétrico a um fornecedor ou ICT está relacionado aos valores dos projetos de P&D entre estas duas empresas no período. Dessa forma, se a concessionária A realizou um projeto de P&D com um fornecedor B, no valor de R\$ 10 milhões no período, ao passo que a concessionária C realizou cinco projetos de R\$ 1 milhão com o fornecedor D, totalizando R\$ 5 milhões, o laço entre A e B deverá ser mais espesso do que o laço entre C e D.

O tamanho do nó que liga duas instituições está, por sua vez, associado aos valores de investimento em P&D no período. Neste sentido, caso a concessionária A tenha investido

R\$ 10 milhões em P&D no período, ao passo que a concessionária B tenha investido R\$ 1 milhão, então o tamanho do nó que representa A será maior que o nó que representa B. Caso o fornecedor C esteja envolvido em 5 projetos de R\$ 1 milhão, ao passo que o fornecedor D esteja envolvido em 1 projeto de R\$ 3 milhões, logo a área do nó que corresponde ao fornecedor C será maior do que a área do nó correspondente ao fornecedor D.

A cor dos vértices diferencia o tipo de entidade, sendo que os ICTs estão representados por vértices amarelos, as empresas fornecedoras são os vértices vermelhos e as concessionárias do setor elétrico são os vértices azuis.

Para facilitar a visualização das redes, as concessionárias do setor elétrico aparecem na periferia, ao passo que as ICTs e empresas fornecedoras aparecem no centro.

As redes obtidas nesta relação foram analisadas durante o período de 2011 a 2015 de forma a investigar como evoluiu o padrão de interação entre empresas do setor elétrico e quais são os principais agentes e empresas responsáveis pela disseminação de novas tecnologias e inovação no setor elétrico, em diferentes temas e segmentos.

A interpretação destes indicadores, assim como a visualização e análise das redes formadas no âmbito do programa de P&D da Aneel será feita na próxima seção a partir das seguintes etapas:

- a) Análise da rede de colaboração entre concessionárias do setor elétrico e institutos de ciência e tecnologia (universidades e centros de pesquisa), e identificação dos centros de excelência no desenvolvimento de inovação e fornecimento de tecnologia para o setor elétrico brasileiro;

- b) Análise da rede de colaboração entre concessionárias do setor elétrico e empresas fornecedoras de bens e serviços no âmbito do programa de P&D da Aneel, e diagnóstico de quais agentes mais contribuem para o processo de inovação no setor elétrico Brasileiro;
- c) Análise da rede de colaboração formada por concessionárias do setor elétrico, empresas fornecedoras e institutos de ciência e tecnologia, no âmbito do Programa de P&D da Aneel, para cada segmento do setor elétrico: (i) geração; (ii) transmissão e (iii) distribuição de energia;
- d) Análise da rede de colaboração entre empresas concessionárias do setor elétrico, empresas fornecedoras e ICTs, com foco nos seguintes temas: (i) supervisão e controle; (ii) operação; (iii) fontes alternativas e (iv) meio ambiente.
- e) Análise da rede de colaboração formada por empresas do Setor Elétrico Brasileiro e ICTs e empresas fornecedoras entre 2011 e 2015, de forma a verificar a evolução dos agentes responsáveis pela inovação no setor.

5. ANÁLISE DA REDE DE PESQUISA APLICADA AO PROGRAMA DE P&D DA ANEEL

Um importante indicador da efetividade do programa de P&D da Aneel é a formação de parcerias entre empresas do setor elétrico e empresas fornecedoras de equipamentos, bens e serviços - sejam elas fornecedoras de equipamentos e sistemas, empresas de consultoria - e universidades, laboratórios e centros de pesquisa.

Para análise da efetividade do programa, foi realizada uma análise das redes formada por empresas envolvidas nos projetos de P&D. Em seguida serão apresentados os resultados da análise realizada de redes sociais (*social network analysis*) para responder às seguintes perguntas:

- a. Qual a extensão da rede de pesquisa formada entre as empresas envolvidas no programa de P&D da Aneel e como ela vem evoluindo ao longo do tempo?
- b. Quais são as empresas fornecedoras de tecnologia, bens e serviços mais relevantes no fornecimento de novas tecnologias e inovação para o setor elétrico brasileiro?
- c. Quais são os ICTs de referência na execução de projetos de P&D e realização de pesquisa no setor elétrico brasileiro?
- d. As concessionárias do setor elétrico de controle público (federal e estadual) são mais ou menos eficientes na elaboração de projetos de P&D?

5.1 Estatísticas descritivas

Tanto o valor investido e especialmente o valor médio investido por projeto se elevaram ao longo do tempo, o que dá a entender que as empresas vêm apostando em projetos mais sofisticados e elaborados, conforme a tabela 7 abaixo:

Tabela 7 - Número de projetos de P&D finalizados entre 2011 e 2015 e valores investidos (deflacionado a valores de 2011 com base no IPCA)

Ano / projetos	Número de projetos	Valor investido (Milhões R\$)	Valor investido por projeto (R\$ Milhões)
2011	54	46,75	0,87
2012	124	108,79	0,88
2013	175	181,97	1,04
2014	131	170,53	1,30
2015	126	163,52	1,30
Total	610	785,14	1,29

Por outro lado, observa-se na tabela 8 que a maioria dos projetos ainda estão concentrados nas etapas iniciais da cadeia de inovação, especialmente em pesquisa básica (51,7% do total de projetos do período) e aplicada, (31,2% do total de projetos do período).

Tabela 8 - Projetos de P&D finalizados entre 2011 e 2015 por fase na cadeia de inovação

Ano/Fase	Pesquisa básica	Pesquisa aplicada	Desenvolvimento experimental	Cabeça de série	Lote pioneiro	Disseminação no mercado	Total	(%)
2011	5	30	12	6	0	0	53	8,8%
2012	10	59	39	12	0	0	120	19,9%
2013	11	103	47	10	4	0	175	29,1%
2014	4	61	41	17	5	0	128	21,3%
2015	5	58	49	11	3	0	126	20,9%
Total	35	311	188	56	12	0	602	100,0%
(%)	5,8%	51,7%	31,2%	9,3%	2,0%	0,0%	100,0%	

Conforme apontado no capítulo 1, os projetos realizados no âmbito do P&D da Aneel podem ser divididos em seis tipos, dependendo de sua aplicação. São eles: (i) Componente ou dispositivo; (ii) Conceito ou metodologia; (iii) Máquina ou equipamento; (iv) Material ou substância; (v) Sistema; ou (vi) Software. A distribuição do número e valor investido de acordo com o tipo de produto gerado são apresentadas nas tabelas 9 e 10 abaixo:

Tabela 9 - Número de projetos de P&D entre 2011 e 2015 por tipo de produto

Ano/Fase	Componente ou dispositivo	Conceito ou metodologia	Máquina ou equipamento	Material ou substância	Sistema	Software	Total	(%)
2011	6	13	7	3	6	18	53	8,8%
2012	11	37	10	7	23	32	120	19,9%
2013	19	55	22	8	42	29	175	29,1%
2014	15	27	29	13	25	19	128	21,3%
2015	13	36	34	3	22	18	126	20,9%
Total	64	168	102	34	118	116	602	100,0%
(%)	10,6%	27,9%	16,9%	5,6%	19,6%	19,3%	100,0%	

Tabela 10 - Valores dos projetos de P&D realizados entre 2011 e 2015 por tipo de produto

Ano/Fase	Componente ou dispositivo	Conceito ou metodologia	Máquina ou equipamento	Material ou substância	Sistema	Software	Total	(%)
2011	3,33	7,28	6,59	1,39	5,71	17,12	41,42	5,4%
2012	8,97	42,54	8,22	4,09	23,68	20,68	108,19	14,1%
2013	19,76	73,72	24,68	4,73	56,70	24,38	203,98	26,5%
2014	25,41	35,60	60,64	16,45	37,88	24,56	200,54	26,0%
2015	17,74	48,54	62,71	2,42	44,80	39,64	215,86	28,0%
Total	75,21	207,68	162,84	29,09	168,78	126,39	769,98	100,0%
(%)	9,8%	27,0%	21,1%	3,8%	21,9%	16,4%	100,0%	

Em termos de participação nos projetos, podemos classificar a participação das empresas em quatro níveis:

- a) Empresa proponente: É aquela que realiza o projeto de P&D por força da regulação da lei 9.991/2000, sendo a principal responsável e gestora do projeto, e que possivelmente vai se apropriar da maior parte dos resultados.

- b) Empresa cooperada: Um projeto de P&D pode ser realizado em parceria com outra empresa do setor elétrico, também sujeita à regulação da 9.991/2000. Essas empresas participam na execução do projeto e acabam gerando interações e troca de informações significativa com a empresa proponente.
- c) Empresas fornecedoras de equipamentos, sistemas e serviços: São empresas que geralmente não estão sob a regulação da Aneel, mas participam do programa por possuírem conhecimento técnico e recursos humanos capacitados para execução dos programas de P&D. Esta classificação inclui consultorias, fornecedores de bens e serviços e prestadoras de serviço em geral
- d) Institutos de Ciência e Tecnologia: incluem centros de pesquisa, universidades e órgãos públicos que possuem pesquisadores dedicados.
- e) Empresas financiadoras: São as empresas do setor elétrico que não necessariamente estão envolvidas na execução e no dia a dia dos projetos de P&D, mas dedicam recursos para seu desenvolvimento.

O número de projetos realizados entre cada tipo de instituição participante é representado na tabela 11 abaixo:

Tabela 11 - Número de projetos realizados entre 2011 e 2015 por tipo de parceria

Ano/Parceira	Empresas cooperadas do SEB	Empresas fornecedoras	Institutos de Ciência e Tecnologia	Total	(%)
2011	62	38	39	139	9,6%
2012	180	79	124	383	26,6%
2013	115	89	139	343	23,8%
2014	105	93	119	317	22,0%
2015	74	79	106	259	18,0%
Total	536	378	527	1441	100%

(%)	37,2%	26,2%	36,6%	100%
-----	-------	-------	-------	------

Olhando caso a caso, pode-se observar uma concentração de projetos de P&D em um número relativamente pequeno de institutos de ciência e tecnologia, sendo os 9 principais responsáveis por 38% dos projetos de P&D regulados pela Aneel (tabela 12). São eles:

Tabela 12 - Institutos de Ciência e Tecnologia que mais participaram de projetos de P&D entre 2011 e 2015

Institutos de Ciência e Tecnologia	Número de projetos	% do total de projetos
Instituto de Tecnologia para Desenvolvimento - LACTEC	55	9%
Coppetec - Fundação Coordenação de Projetos, Pesquisa e Estudos Tecnológicos	30	5%
Centro de Pesquisa e Desenvolvimento e Telecomunicações	22	4%
FDTE - Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia	21	3%
Universidade Estadual de Campinas	19	3%
Faculdades Católicas	18	3%
Fundação de Apoio à Universidade de São Paulo	17	3%
Fundação Para o Desenvolvimento de Bauru	17	3%
Universidade Federal de Santa Maria	17	3%
Total 9 principais ICTs	216	38%

Quando se olha pelo lado das empresas fornecedoras, isto é, as consultorias, fornecedoras de equipamentos e serviços, entre outras, esta concentração é menor (tabela 13):

Tabela 13 - Fornecedoras que mais participaram de projetos de P&D entre 2011 e 2015

Empresas fornecedoras	Número de projetos	% do total de projetos
Centro de Gestão de Tecnologia e Inovação	22	4%

Fabio Romano Lofrano Dotto - ME	18	3%
Daimon	15	2%
Sinapsis Inovação Em Energia S/S Ltda	15	2%
Matrix Engenharia em Energia	11	2%
Jordão Consultoria e Projetos Ltda	10	2%
EFLUPE - Empresa Fluminense de Pesquisa Energética	9	1%
Axxiom Soluções Tecnológicas S.A.	7	1%
Reason Tecnologia	7	1%
Top 10 principais fornecedores	116	17%

Com base na tabela 13 acima, pode-se observar que, apesar dos grandes fornecedores globais, como ABB, Siemens e General Electric serem tradicionalmente responsáveis por trazer novas inovações para o setor elétrico, elas possuem pouca participação em projetos de P&D local. Isto ocorre porque estes *players* normalmente internalizam atividades de P&D em suas matrizes, de forma a se apropriarem das patentes e resultados gerados.

A maior parte dos projetos de P&D são desenvolvidos em parcerias com instituições de ciência e tecnologia (tabela 14). Um risco iminente desta relação é o desconhecimento destes centros de pesquisa das necessidades tecnológicas das empresas proponentes, o que faz com que, uma vez encerrado o ciclo do projeto, não haja sua efetiva continuidade. Como consequência, muitos projetos de pesquisa e desenvolvimento possuem como resultado final, não a geração de novos produtos e serviços, mas a capacitação técnica de pesquisadores destes centros.

Entre as concessionárias do setor elétrico, as principais em termos de número de projetos e valores investidos são apresentadas abaixo:

Tabela 14 – Concessionárias do setor elétrico com mais investimentos e projetos de P&D finalizados entre 2011 e 2015

Concessionárias do setor elétrico	Valor investido em projetos de P&D (R\$ MM)	Quantidade de projetos	Valor por projeto (R\$ MM por projeto)
CPFL-Paulista	87,37	29	3,01
ELETROPAULO	57,04	37	1,54
COELBA	40,06	29	1,38
TRACTEBEL	36,00	18	2,00
AES TIETÊ	34,68	21	1,65
CEMIG-D	32,10	17	1,89
UTNF	27,81	18	1,54
CTEEP	26,85	17	1,58
LIGHT	24,85	32	0,78
EMG	24,46	20	1,22
ELEKTRO	24,25	22	1,10
AMPLA	22,37	21	1,07
COELCE	18,65	20	0,93
DUKE	18,32	10	1,83
BANDEIRANTE	16,57	8	2,07
CELPE	16,37	14	1,17
AES-SUL	14,96	14	1,07
PETROBRAS	14,74	10	1,47
CGTF	14,54	5	2,91
TERMOPE	13,71	17	0,81

Observando a tabela acima, pode-se perceber a participação predominante de empresas do setor elétrico de capital privado, dentre as quais se destacam: CPFL Paulista, agora controlada pela chinesa State Grid, Eletropaulo e AES Tietê, controladas atualmente pelo conglomerado estadunidense AES. A distribuidora de energia do Estado da Bahia, Coelba, pertencente ao grupo Neoenergia aparece em terceiro lugar e a Tractebel, controlada pelo grupo francês Engie, em quarto lugar. Na sexta posição aparece a Cemig

Distribuição, cujo principal acionista é o Estado de Minas Gerais. Em seguida aparecem, Usina Térmica do Norte Fluminense (UTNF) e Transmissão Paulista (CTEEP), controladas, respectivamente pela empresa francesa GDF Suez e pela empresa portuguesa ISA.

Vale reforçar aqui, que estes dados foram coletados através de relatórios finais dos projetos que chegaram ao fim. Com base nessa análise, levantamos a hipótese de que o programa de P&D da Aneel não vem sendo bem-sucedido para estimular as grandes concessionárias estatais, como as empresas da holding Eletrobras ou Copel, a finalizarem seus projetos de P&D e enviarem o relatório final ao término do projeto.

Tabela 15 - Número de projetos finalizados entre 2011 e 2015 por número de participantes e tipo de parceria

Segundo número de participantes	Número de projetos	Valor total (R\$ milhões)	Valor médio (R\$ milhões)
Apenas a empresa proponente	22	21,20	0,96
Duas ou três entidades (incluindo a empresa proponente)	282	308,26	1,09
De três a cinco entidades (incluindo a empresa proponente)	210	253,90	1,21
Mais de cinco entidades (incluindo a empresa proponente)	89	194,10	2,18
Total	603	777,46	1,29

Segundo categoria da entidade participante	Número de projetos	Valor total (R\$ milhões)	Valor médio (R\$ milhões)
Apenas a empresa proponente	22	21,20	0,96
Empresa proponente + cooperadas	3	4,47	1,49
Empresa proponente e ICTs	290	343,68	1,19
Empresa proponente e empresas fornecedoras	152	192,88	1,27
Empresa proponente + ICTs + empresas fornecedoras	136	215,23	1,58
Total	603	777,46	1,29

Os recursos humanos que trabalharam nos projetos de P&D entre 2011 e 2015 somam 2.608 pessoas, se levarmos em consideração somente os funcionários das empresas do setor elétrico, e 10.167 se somarmos também as empresas executoras dos projetos de P&D. Este corpo técnico é formado principalmente por pessoas com formação superior (sem pós-graduação), atuando como pesquisadores.

Vale destacar que, o corpo técnico de funcionários das empresas executoras dos projetos de P&D (ICTs e Empresas fornecedoras) possui uma maior capacitação técnica, contando com 26% de funcionários com doutorado, ao passo que somente 2,3% dos funcionários das empresas do setor elétrico possuem doutorado (tabelas 15 e 16).

Tabela 16 - Mão de obra envolvida nos projetos de P&D finalizados entre 2011 e 2015 por titulação acadêmica e função – Pesquisadores das concessionárias do setor elétrico

Função / Titulação	Doutor	Mestre	Especialista	Superior	Técnico	Total geral	(%)
Gerente	20	126	175	330	6	657	25,2%
Coordenador	1	2	5	8	0	16	0,6%
Pesquisador	39	204	310	1084	75	1712	65,6%
Auxiliar técnico	0	1	0	24	76	101	3,9%
Auxiliar técnico bolsista	0	0	0	4	12	16	0,6%
Auxiliar administrativo	0	1	2	46	57	106	4,1%
Total	60	334	492	1496	226	2608	100%
% do total	2,3%	12,8%	18,9%	57,4%	8,7%	100,0%	

Tabela 17 - Mão de obra envolvida nos projetos de P&D entre 2011 e 2015 por titulação acadêmica e função – Pesquisadores das empresas fornecedoras e ICTs

Função / Titulação	Doutor	Mestre	Especialista	Superior	Técnico	Total geral	(%)
Gerente	5	10	2	5	0	22	0,3%
Coordenador	454	101	44	38	2	639	8,5%

Pesquisador	1530	1394	577	1545	165	5211	68,9%
Auxiliar técnico	5	14	5	128	384	536	7,1%
Auxiliar técnico bolsista	7	47	2	341	437	834	11,0%
Auxiliar administrativo	1	8	14	133	161	317	4,2%
Total	2002	1574	644	2190	1149	7559	100,0%
% do total	26,5%	20,8%	8,5%	29,0%	15,2%	100,0%	

Três indicadores importantes sobre a efetividade dos projetos de P&D realizados no âmbito do programa de P&D da Aneel são: (i) número de projetos que culminaram em pedidos de patente no INPI; (ii) número de capacitações técnicas geradas nos projetos, como especialização, mestrado, doutorado e pós-doutorado; (iii) número de publicações acadêmicas e científicas.

Tabela 18 - Número de capacitações acadêmicas geradas como resultado dos programas de P&D finalizados entre 2011 e 2015

Tipo de capacitação / Ano	2011	2012	2013	2014	2015	Total geral
Doutoramento	8	26	36	38	44	152
Especialização	2	6	17	17	9	51
Mestrado	16	35	74	85	102	312
Pós-doutorado	0	10	3	2	6	21
Total geral	26	77	130	142	161	536

Um dos objetivos do programa de P&D da Aneel é de gerar produção acadêmica e formar pesquisadores para atuarem com inovação no setor elétrico brasileiro. Neste sentido, pode-se observar um número crescente de pós-graduações dentro do âmbito do programa de P&D da Aneel, especialmente para capacitações como mestrado e doutorado (tabela 17).

Além disso, podemos verificar que projetos com participação de Institutos de Ciência e Tecnologia tendem a formar um número maior de pesquisadores, quando comparado a projetos que não possuem participação. Isso pode ser observado na tabela 18 abaixo:

Tabela 19 - Projetos que tiveram capacitação técnica x participação de ICTs (2011-2015)

	Projetos que geraram capacitação técnica	Projetos que não geraram capacitação técnica
Total de projetos	271	331
% com participação de ICTs	87%	60%
% sem participação de ICTs	13%	40%

Da mesma forma, com exceção do ano de 2015, o programa gerou um número crescente ao longo dos anos de pedidos de patente, especialmente de propriedade intelectual registrada no Instituto Brasileiro de Propriedade Industrial (INPI). Isto pode indicar uma maior efetividade dos programas realizados. Vale dizer que em função no longo período de espera para registro de patentes no INPI, foi utilizado como indicador o pedido de patente, ordenado pelo ano do pedido.

Tabela 20 - Projetos de P&D finalizados entre 2011 e 2015 que geraram pedido de patente

Tipo de patente / Ano	2011	2012	2013	2014	2015	Total geral	% do total
Patente de invenção	1	11	26	36	20	94	83%
Patente de modelo de utilidade	0	1	1	1	3	6	5%
Registro de desenho industrial	0	0	0	1	2	3	7%
Registro de software	0	0	0	1	1	2	3%
Total geral	1	14	28	39	26	108	100%
% do total	1%	11%	21%	30%	20%	100%	

Ademais, foi realizada uma análise para checar se projetos que eram executados por grandes fornecedores de equipamentos e sistemas com atuação internacional eram mais bem-sucedidos para gerar pedidos de patente no INPI. Foi verificado que dos poucos projetos realizados por estas empresas, nenhum chegou a gerar um pedido de patente.

Um importante aspecto do programa de P&D da Aneel, é a obrigatoriedade de que parte dos recursos aplicados em P&D (30%) sejam destinados a instituições de pesquisa localizadas nas regiões Norte, Nordeste e Centro-oeste.

A respeito desta obrigatoriedade, diversas empresas já alegaram dificuldades em cumprir estes requisitos, especialmente por dois fatores: (i) os projetos de P&D são muitas vezes dotados de especificidades locais e nem todas as empresas possuem atuação no Nordeste, Norte ou Centro-oeste do Brasil, o que dificulta a articulação inter-regional e (ii) escassez relativa de ICTs e capacitações adequadas nestas regiões.

A tabela 22 abaixo mostra o total de investimentos em P&D com entidades executoras nas cinco regiões do Brasil;

Tabela 21 - Valores investidos em projetos de P&D finalizados entre 2011 e 2015 por região

Região	Valor total (R\$ MM)	% do total
Centro-oeste	14,25	1,8%
Nordeste	80,84	10,4%
Norte	26,46	3,4%
Sudeste	505,78	65,1%
Sul	150,12	19,3%
Total	777,46	100,0%

Com isso, podemos ver que os investimentos executados por entidades localizadas nas regiões Nordeste, Norte e Centro-oeste correspondem a somente 15,6% dos investimentos em projetos de P&D finalizados entre 2011 e 2015.

Em seguida será apresentado o resultado das análises propostas na seção de procedimentos metodológicos, ou seja, quais as características da rede de colaboração entre concessionárias do setor elétrico, empresas fornecedoras e institutos de ciência e tecnologia no âmbito do Programa de P&D da Aneel.

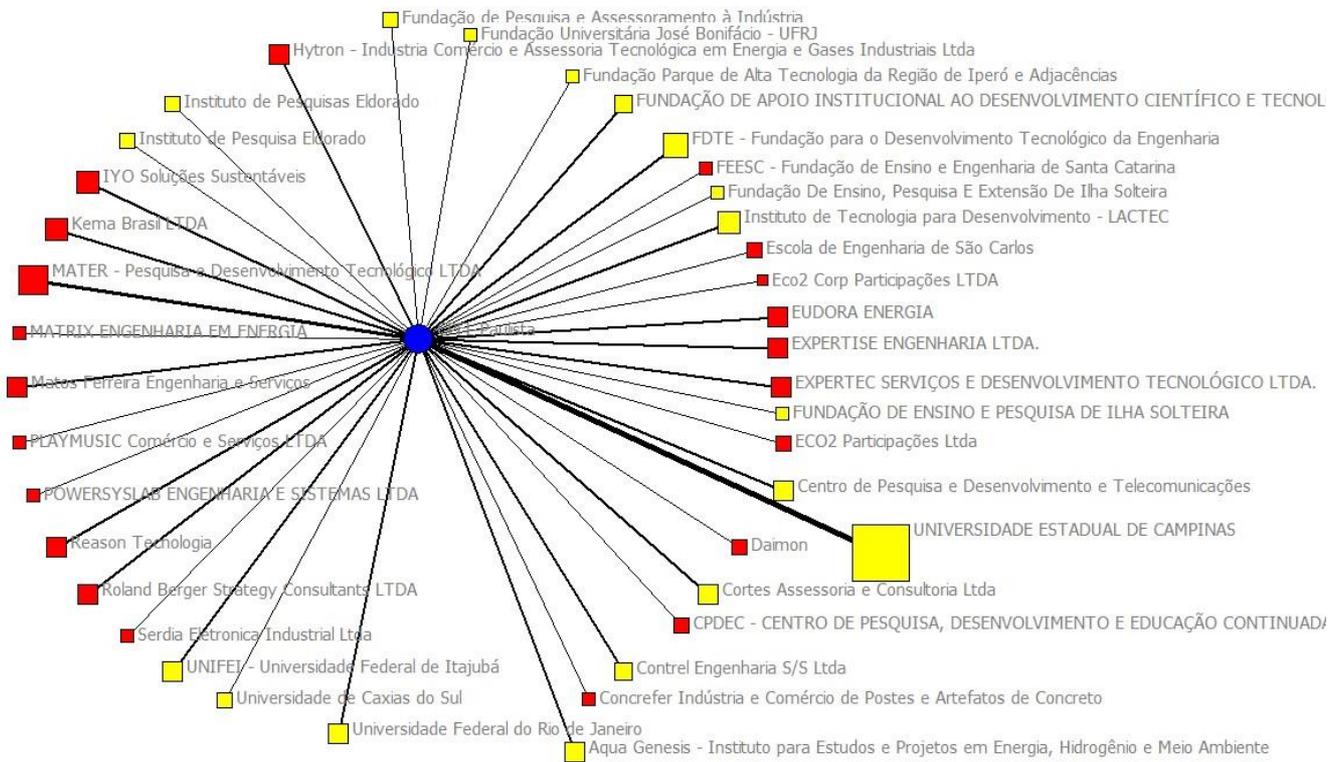
As concessionárias do setor elétrico serão representadas como círculos azuis, ao passo que os fornecedores são os quadrados vermelhos e os institutos de ciência e tecnologia são os quadrados amarelos. Conforme explicado anteriormente, a espessura dos laços e o tamanho dos vértices está relacionado ao montante investido pelas empresas em projetos de P&D, finalizados no período.

5.2 Resultados e discussão

5.2.1 Redes de colaboração formadas por concessionárias do setor elétrico, fornecedores e ICTs

Nesta etapa, serão apresentados exemplos de redes formadas na interação entre as três principais concessionárias do setor elétrico, em termos de investimentos em projetos de P&D finalizados entre 2011 e 2015. As empresas são: CPFL Paulista, com R\$ 87 milhões investidos, Eletropaulo, com R\$ 57 milhões e Coelba, com R\$ 40 milhões.

Figura 8 – Exemplo de rede de colaboração entra a concessionária CPFL e empresas fornecedoras e ICTs



O círculo azul no centro da rede representa a CPFL, ao passo que os quadrados amarelos são os institutos de ciência e tecnologia e os quadrados vermelhos são as fornecedoras de equipamentos, sistemas e serviços para projetos de P&D. Os laços ligando às ICTs e fornecedores à CPFL significa que ambas trabalharam juntas em pelo menos um projeto no período. A espessura do laço é diretamente proporcional ao somatório dos valores dos projetos de P&D entre a concessionária, as ICTs e os fornecedores.

O tamanho dos vértices das ICTs e fornecedores representa, assim como a espessura dos laços, o somatório valor dos projetos em que estas entidades estiveram envolvidas em projetos de P&D propostos pela CPFL. Este padrão será adotado para todas as redes daqui em diante.

Entre 2011 e 2015 a Companhia Paulista de Força e Luz finalizou projetos de P&D que somaram R\$87 milhões, no âmbito do programa de P&D da Aneel, classificando-a como

a principal concessionária do setor elétrico em termos de investimentos em P&D no período. Dentre as ICTs, a principal parceira da CPFL no período foi a Universidade Estadual de Campinas, com projetos que somaram R\$ 27,5 milhões de reais, seguida da Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico de Engenharia (FDTE) da Universidade de São Paulo, com R\$ 8,3 milhões de investimentos realizados. A terceira principal parceira da CPFL no período entre as ICTs foi o Instituto Lactec, com R\$ 6,2 milhões investidos em projetos de P&D. No total, a CPFL trabalhou junto de 17 Institutos de Ciência e Tecnologia entre 2011 e 2015.⁷

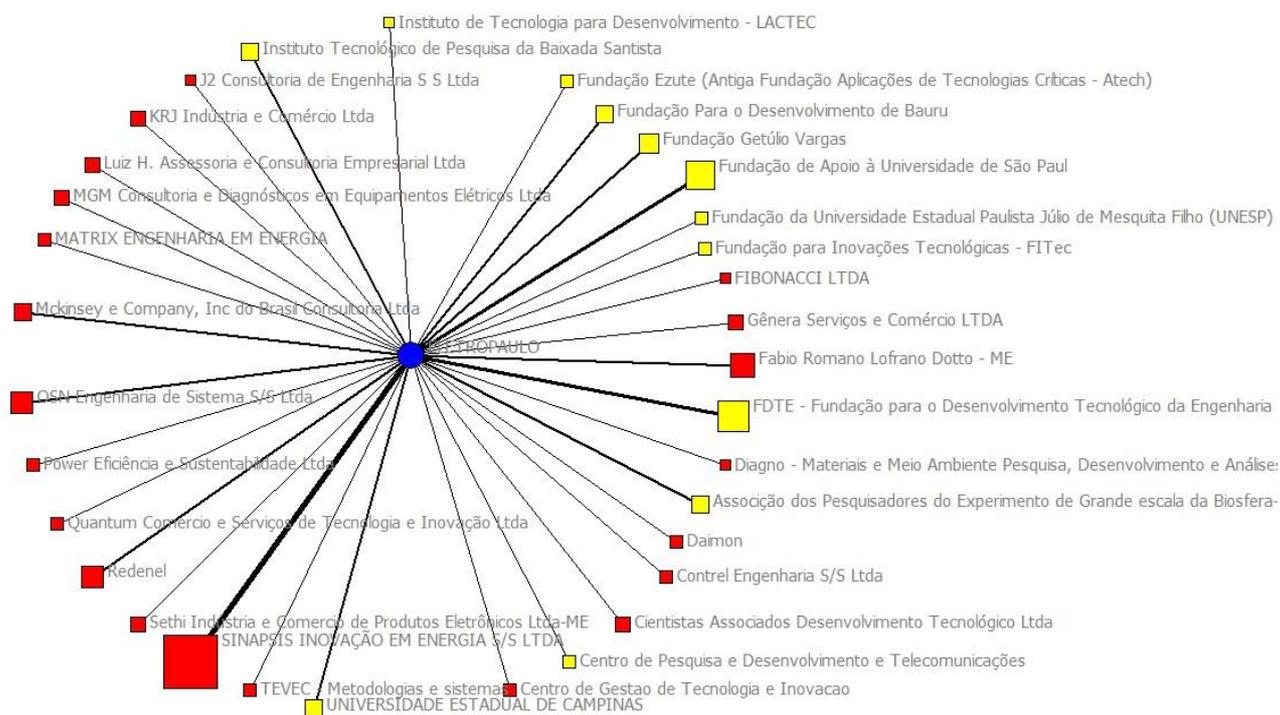
No total, foram 29 projetos finalizados pela CPFL e 6 deles geraram pedidos de patente, incluindo projetos realizados com o Lactec e com a Universidade Estadual de Campinas. Dentre estes 29 projetos, 16 geraram capacitação para os pesquisadores, isto é, pós-graduação, mestrado, doutorado e pós-doutorados.

No mesmo período a CPFL realizou projetos de P&D com 21 fornecedores diferentes, dentre os quais se destacam: (i) Mater Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico, com R\$ 11,6 milhões investidos em programa de P&D, (ii) Iyo Soluções Sustentáveis e Kema Brasil, com pouco mais de R\$ 6 milhões investidos em cada.

Os principais temas dos investimentos em P&D pela CPFL no período foram, respectivamente, fontes alternativas, com 30% dos investimentos totais, qualidade da energia, com 11%, e meio ambiente, com 10% dos gastos em P&D no período.

⁷ Vale ressaltar que grandes projetos de P&D muitas vezes envolvem mais de uma ICT ou empresa fornecedora. Nestes casos, foi considerado que a empresa investiu o custo total do projeto de P&D em cada uma das empresas, dado que não é possível realizar a segregação de qual montante foi alocada em cada uma.

Figura 9 – Exemplo de rede de colaboração entra a concessionária AES Eletropaulo e empresas fornecedoras e ICTs



A AES Eletropaulo foi a segunda concessionária do setor elétrico que mais investiu em projetos de P&D no período, em termos de projetos finalizados, com um total de R\$ 57 milhões gastos em 37 projetos entre 2011 e 2015.

Entre os institutos de ciência e tecnologia, os principais parceiros da Eletropaulo na elaboração destes projetos foram: (i) a Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia (FDTE), da Universidade de São Paulo, com R\$ 8,3 milhões em investimentos em projetos de P&D finalizados, (ii) Fundação de Apoio à Universidade de São Paulo, com R\$ 7,6 milhões em investimentos e a Fundação Getúlio Vargas, com R\$ 3,9 milhões investidos em P&D entre 2011 e 2015. No total, foram 12 ICTs que participaram dos projetos de P&D propostos pela Eletropaulo no período.

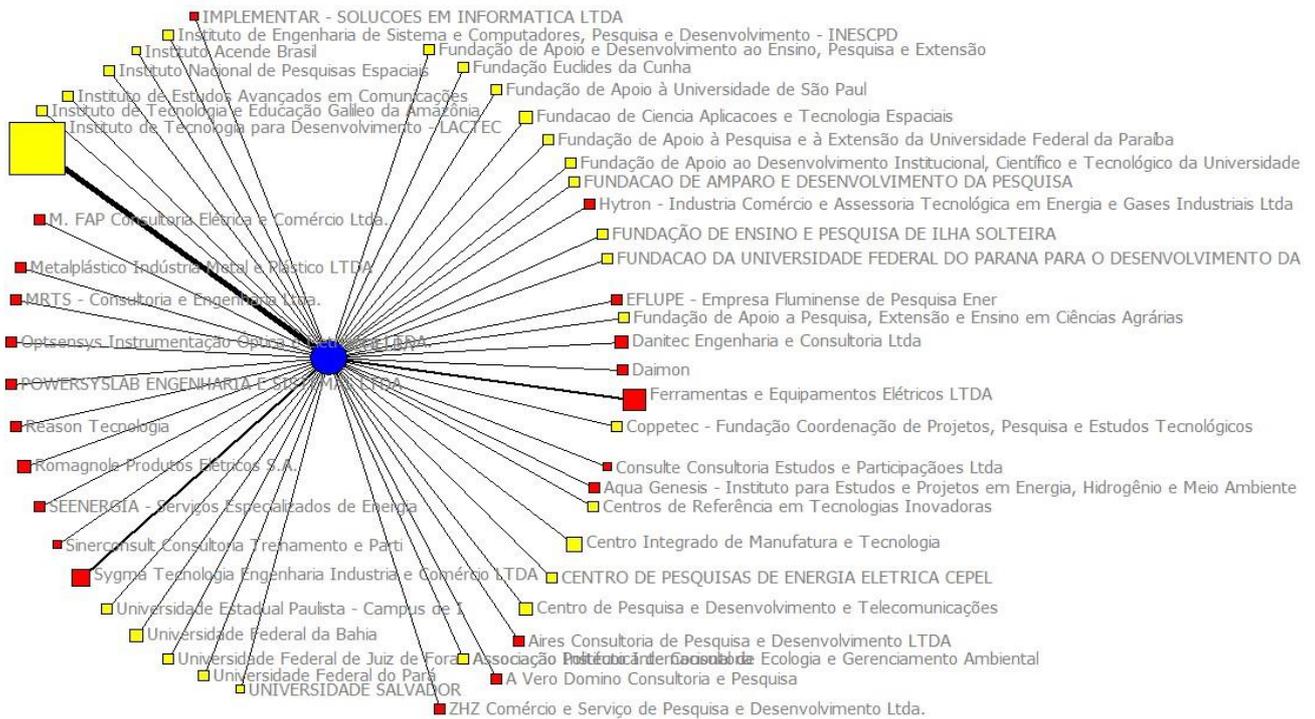
Entre as empresas fornecedoras, a principal parceira da Eletropaulo foi a Sinapsis Energia, empresa de base tecnológica criada por pesquisadores da politécnica da Universidade de

São Paulo, com R\$ 16 milhões em projetos de P&D. Em seguida foi a Fabio Romano Lofrano Dotto – ME, pequena empresa de um único sócio com sede em Bauru (SP) e grande relevância para os projetos de P&D no setor elétrico em geral, com R\$ 5,6 milhões investidos. Em terceiro lugar aparece a OSN Engenharia de Sistemas, pequena empresa de serviços de engenharia com sede em São Paulo, que participou em projetos de P&D com a Eletropaulo que somaram R\$ 5,2 milhões entre 2011 e 2015. No total, a Eletropaulo trabalhou colaborativamente com 21 empresas fornecedoras no período.

Dos 37 projetos finalizados pela Eletropaulo no período, apenas 3 geraram pedidos de patente e 8 projetos geraram capacitação dos pesquisadores envolvidos.

Os principais temas dos projetos de P&D finalizados pela Eletropaulo no período foram, respectivamente operação, com 38% dos investimentos realizados, seguido por planejamento, com 20% dos recursos e medição e faturamento, com 15% dos investimentos alocados neste tema.

Figura 10 - Rede de colaboração entra a concessionária Coelba (Neoenergia) e empresas fornecedoras e ICTs



A Coelba, concessionária de distribuição de energia na Bahia e parte do grupo Neoenergia, foi a terceira empresa do setor elétrico que mais investiu em projetos de P&D que foram finalizados entre 2011 e 2015, com um total de 29 projetos e R\$ 40 milhões.

No período, a Coelba executou projetos de P&D em parceria com 27 institutos de ciência e tecnologia, com destaque para um projeto para desenvolvimento de transformadores ópticos de tensão (0047-0034/2010) que contou com a participação de 20 ICTs diferentes. O objetivo deste projeto era reduzir o erro de faturamento de grandes blocos de energia elétrica.

Entre os principais ICTs que atuaram como executores dos projetos da Coelba estão o Instituto Lactec, que executou projetos que somaram R\$ 27 milhões, seguido do Centro Integrado de Manufatura e Tecnologia (CEMATEC), centro de pesquisa ligado ao SENAI, que executou projetos que somaram R\$ 3,7 milhões no período. Em terceiro lugar

aparece a Universidade Federal da Bahia, com projetos que somaram R\$ 3,4 milhões entre 2011 e 2015.

Neste período, a Coelba executou projetos de P&D com 21 fornecedores diferentes, dentre os quais destacam-se: (i) Feergs Ferramentas e Equipamentos, empresas de soluções do setor elétrico baseada no Rio Grande do Sul, que executou projetos que somaram R\$ 8,1 milhões, (ii) Sygma Tecnologia e Engenharia, consultoria baseada em São José dos Campos (SP), que executou projetos que somaram R\$ 5 milhões e (iii) Danitec Engenharia e Consultoria, empresa com sede em Salvador (BA), especializada em pesquisa e desenvolvimento de equipamentos eletrônicos e sistemas.

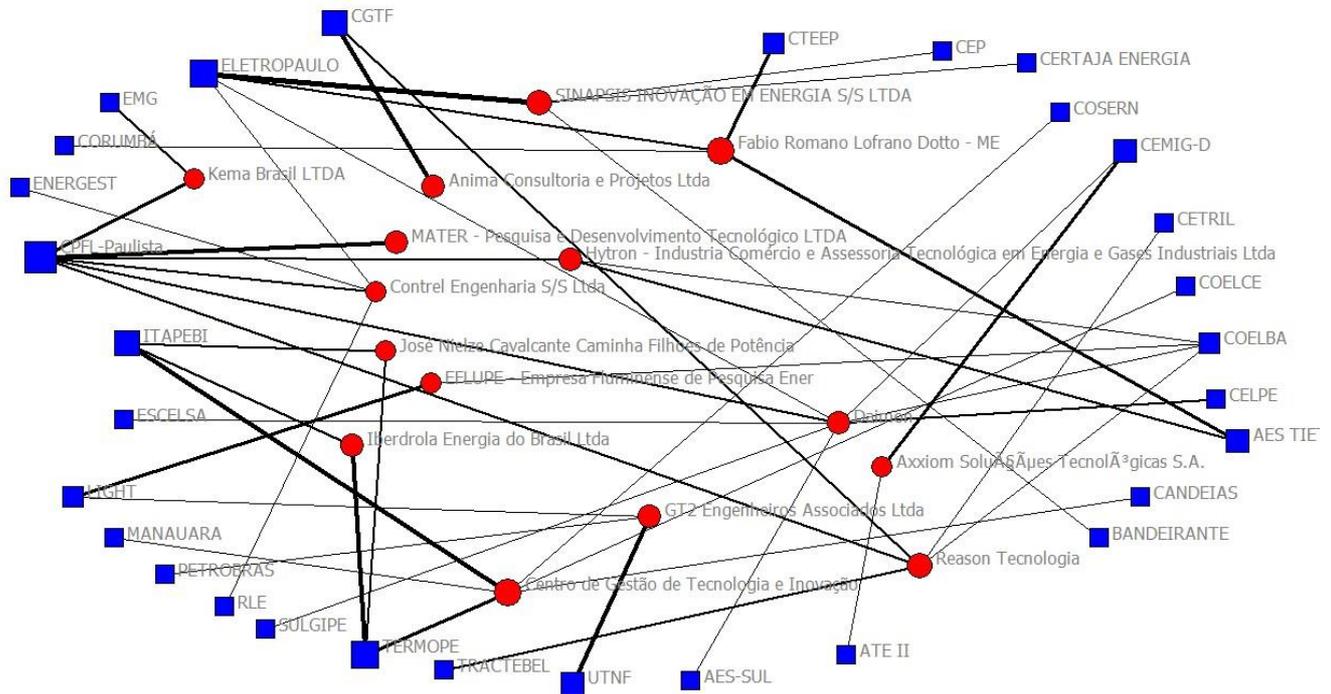
Dentre os 29 projetos finalizados pela Coelba entre 2011 e 2015, 11 geraram pedidos de patente no INPI, ao passo que 9 resultaram em qualificação técnica dos pesquisadores envolvidos.

Os principais temas dos projetos de P&D finalizados pela Coelba no período foram, respectivamente, segurança, com 22% do total de projetos, supervisão e controle, com 21,7% dos projetos e medição e faturamento, com 7,5% dos projetos totais.

A seguir será feita uma análise com foco nos 15 principais fornecedores do setor elétrico, em termo dos valores dos projetos executados.

5.2.2 Redes de colaboração formadas pelos 15 principais fornecedores do setor elétrico

Figura 11 - Redes de colaboração formadas pelos 15 principais fornecedores do setor elétrico e concessionárias do setor elétrico



Destaca-se neste gráfico a presença de pequenas e médias empresas que atuam como principais fornecedoras de tecnologias para o setor elétrico, como Fabio Romano Lofrano Dotto, Mater Inovação, Jose Nielze Cavalcanti Caminha Filho, Anima Consultoria e Projetos, Control engenharia, Empresa Fluminense de Pesquisa Energética (Eflupe), entre outras.

A Daimon Energia, fornecedora de serviços de engenharia e desenvolvimento de software para o setor energético, destaca-se como a empresa que apresenta maior centralidade nesta rede, ou seja, a fornecedora que atuou com o maior número de concessionárias do setor elétrico, sendo oito no total e todas elas com atuação no segmento de distribuição de energia. Além dela, o Centro de Gestão de Tecnologia e Inovação (CGTI), uma cooperativa de pesquisadores que atua em todo Brasil e a Reason Tecnologia, sociedade anônima que presta serviços de engenharia, executaram projetos originados por cinco

concessionárias diferentes do setor elétrico. Outras empresas fornecedoras como a Mater Inovação, Axxiom, Eflupe e Jose Nielze Cavalcanti Caminha Filho executaram projetos em colaboração somente com uma ou duas concessionárias do setor elétrico no período.

Assim como assinalado na subseção anterior, CPFL, Eletropaulo e Coelba tiveram um papel importante na rede acima, ao executarem projetos em colaboração com diversas fornecedoras entre 2011 e 2015.

5.2.3 Redes de colaboração formadas por fornecedores e concessionárias do setor elétrico, por segmento (geração, transmissão e distribuição)

Figura 12 - Redes de colaboração formadas pelos 15 principais fornecedores do setor elétrico e concessionárias do setor elétrico, no segmento de geração de energia

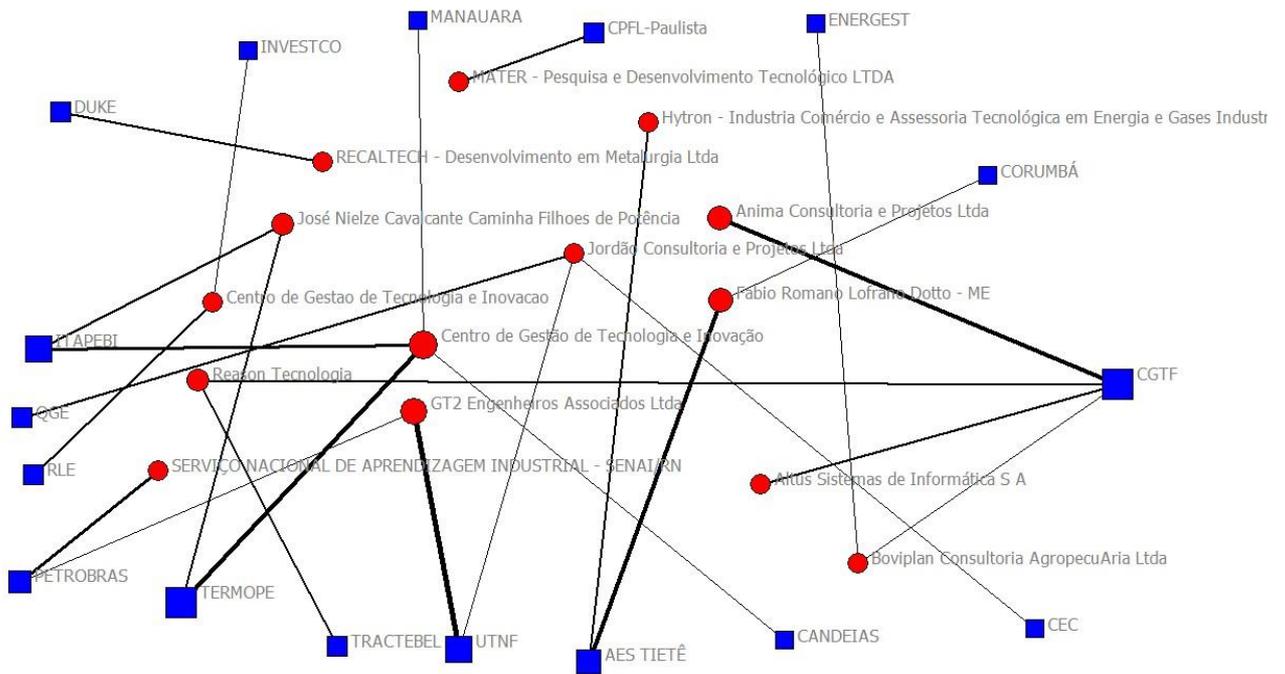


Figura 13 - Redes de colaboração formadas pelos 15 principais fornecedores do setor elétrico e concessionárias do setor elétrico, no segmento de transmissão de energia

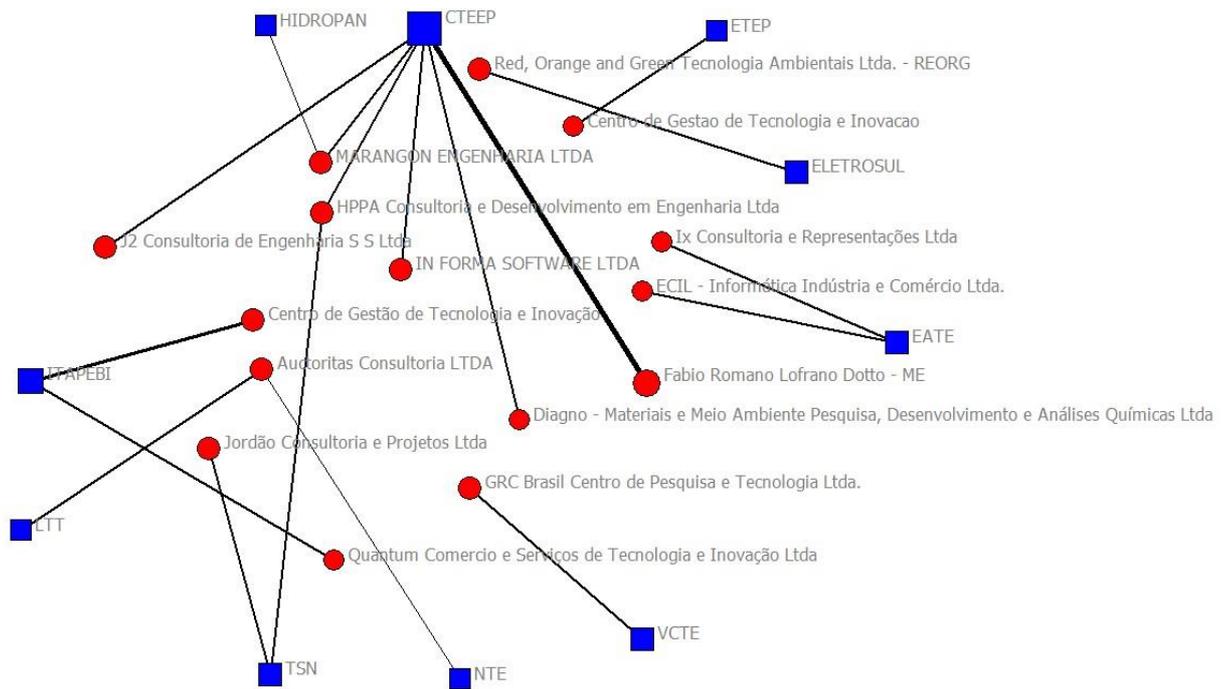
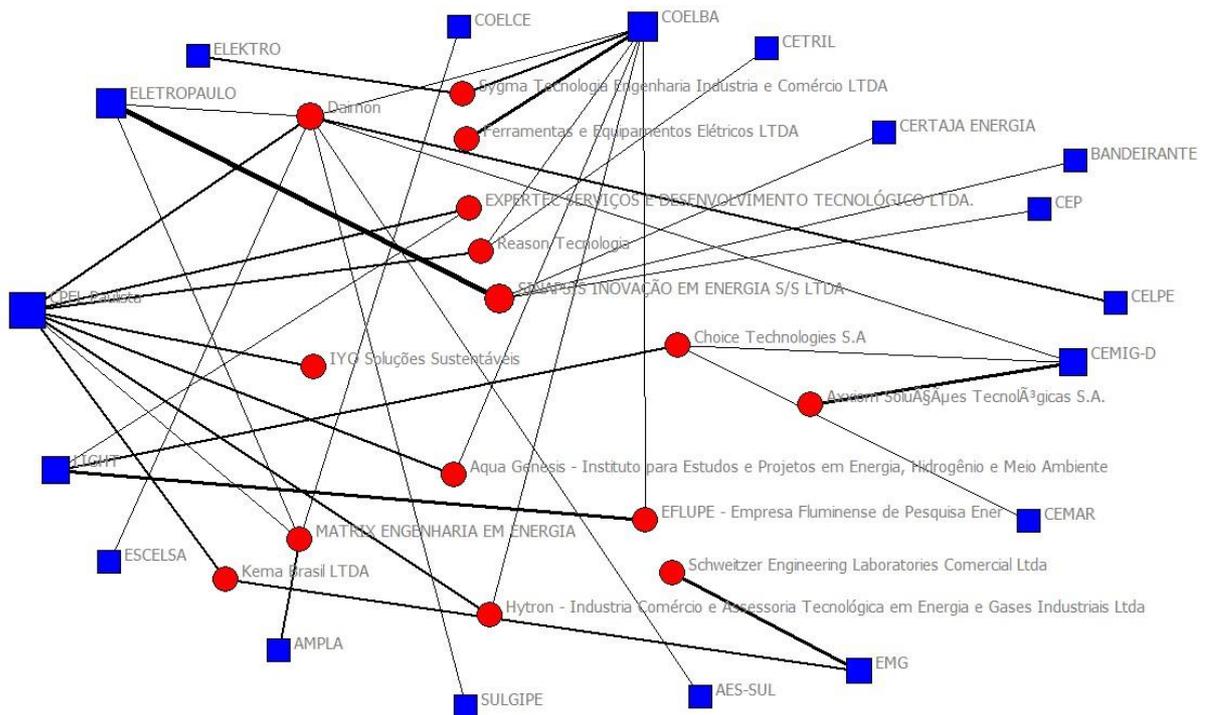


Figura 14 - Redes de colaboração formadas pelos 15 principais fornecedores do setor elétrico e concessionárias do setor elétrico, no segmento de distribuição de energia



No segmento de geração de energia, a principal empresa fornecedora em termos de valor dos projetos de P&D executados é o Centro de Gestão de Tecnologia e Inovação, que participou de projetos que somaram R\$ 18,7 milhões entre 2011 e 2015. Em seguida, aparece a GT2 Engenheiros Associados, que executou projetos que somaram R\$ 14 milhões e a Anima Consultoria e Projetos, que participou na execução de projetos que somaram R\$ 11,8 milhões.

No segmento de transmissão, a principal empresa fornecedora foi a Fabio Romano Lofrano Dotto, que participou na execução de R\$ 8,3 milhões, seguida do Centro de Gestão de Tecnologia e Inovação, que participou de projetos que somaram R\$ 4,2 milhões. Em terceiro lugar aparece a HPPA Consultoria e Desenvolvimento em Engenharia, uma empresa de serviços de engenharia e desenvolvimento de softwares que

se notabilizou pelo desenvolvimento de um sistema chamado Organon (utilizado hoje pela ONS).

Ainda no segmento de transmissão, 9 dos 15 principais fornecedores executaram projetos somente com a concessionária Transmissão Paulista (CTEEP) e com as transmissoras do grupo Transmissora Aliança de Energia Elétrica – Taesa, ou seja, EATE, ETEP, NTE e TSN. Esta constatação denota uma elevada dependência de duas concessionárias de transmissão na execução e finalização de projetos de P&D e geração de inovação para o segmento de transmissão de energia.

Já no segmento de distribuição, as duas principais empresas fornecedoras foram a Sinapsis Inovação, que executou projetos que somaram R\$ 20,7 milhões e a Daimon, que executou projetos que somaram R\$ 14 milhões no período. Pode-se observar na rede, o laço mais espesso entre a Sinapsis e a Eletropaulo. Isso ocorre porque em função dos 10 projetos que a empresa e a concessionária executaram juntas entre 2011 e 2015, e que somaram R\$ 16,1 milhões.

Em seguida, será discutida a rede de colaboração entre as 15 empresas fornecedoras em projetos de P&D da Aneel, nos três temas que mais receberam investimentos de projetos de P&D entre 2011 e 2015. São eles: Supervisão e Controle, Operação, Fontes Alternativas, além do tema meio ambiente.

5.2.4 Redes de colaboração formadas por fornecedores e concessionárias do setor elétrico, por tema (supervisão e controle, operação, fontes alternativas, meio ambiente)

Figura 15 - Redes de colaboração formadas pelos 15 principais fornecedores do setor elétrico e concessionárias do setor elétrico, no tema supervisão e controle

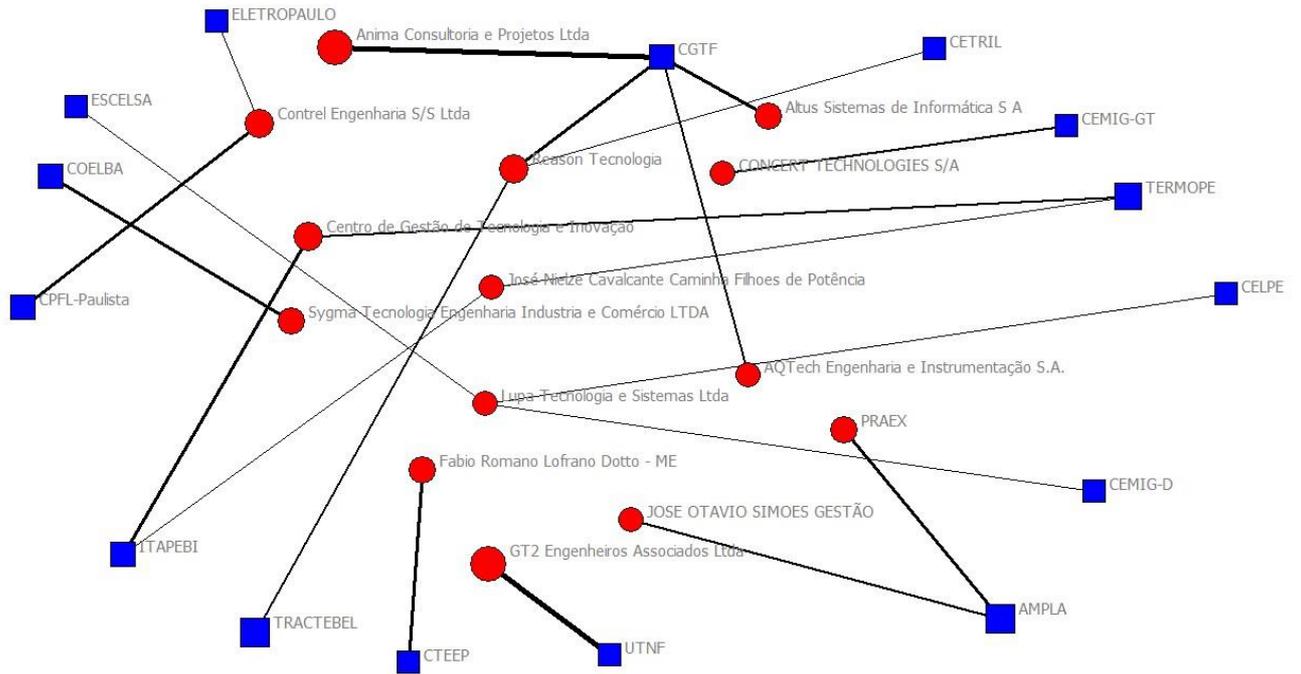


Figura 16 - Redes de colaboração formadas pelos 15 principais fornecedores do setor elétrico e concessionárias do setor elétrico, no tema operação

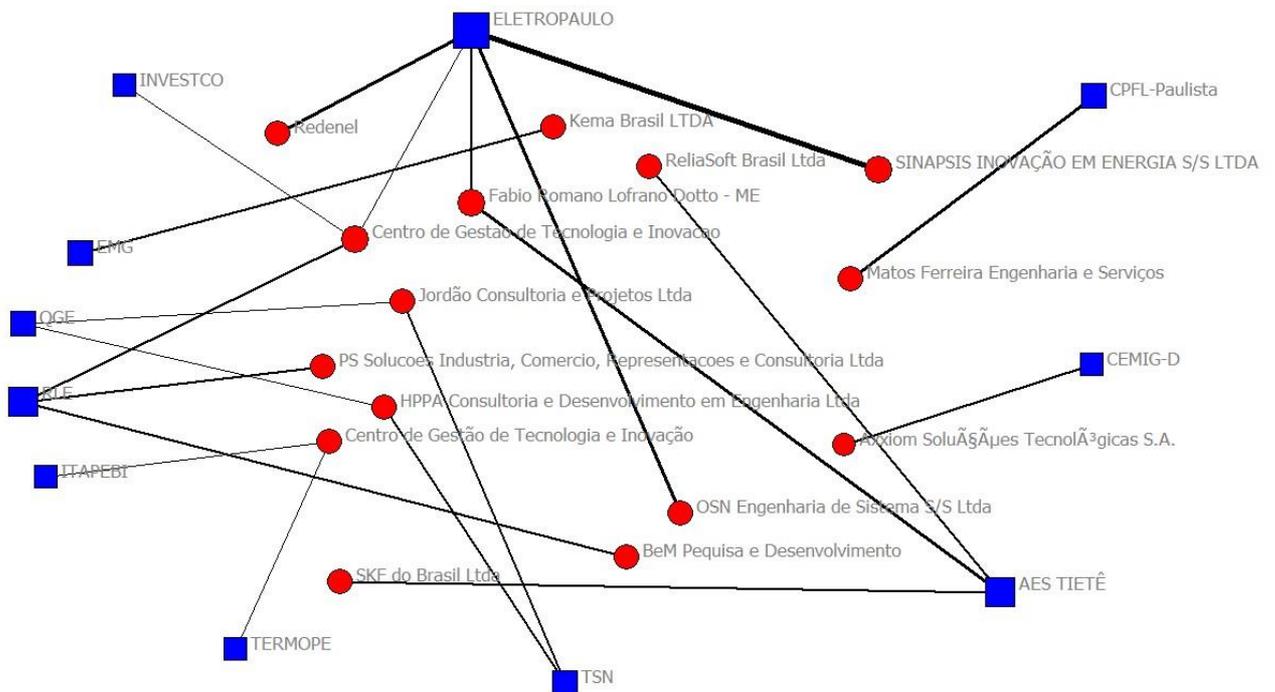


Figura 17 - Redes de colaboração formadas pelos 15 principais fornecedores do setor elétrico e concessionárias do setor elétrico, no tema fontes alternativas

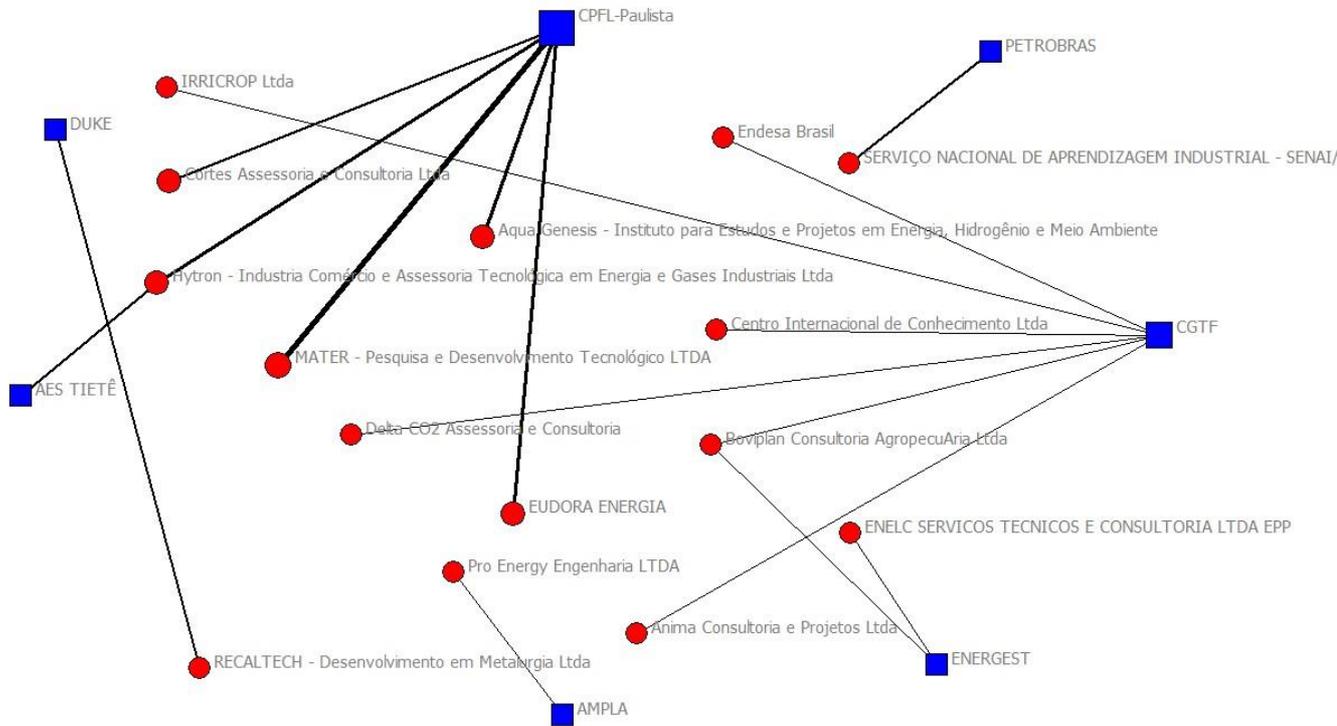
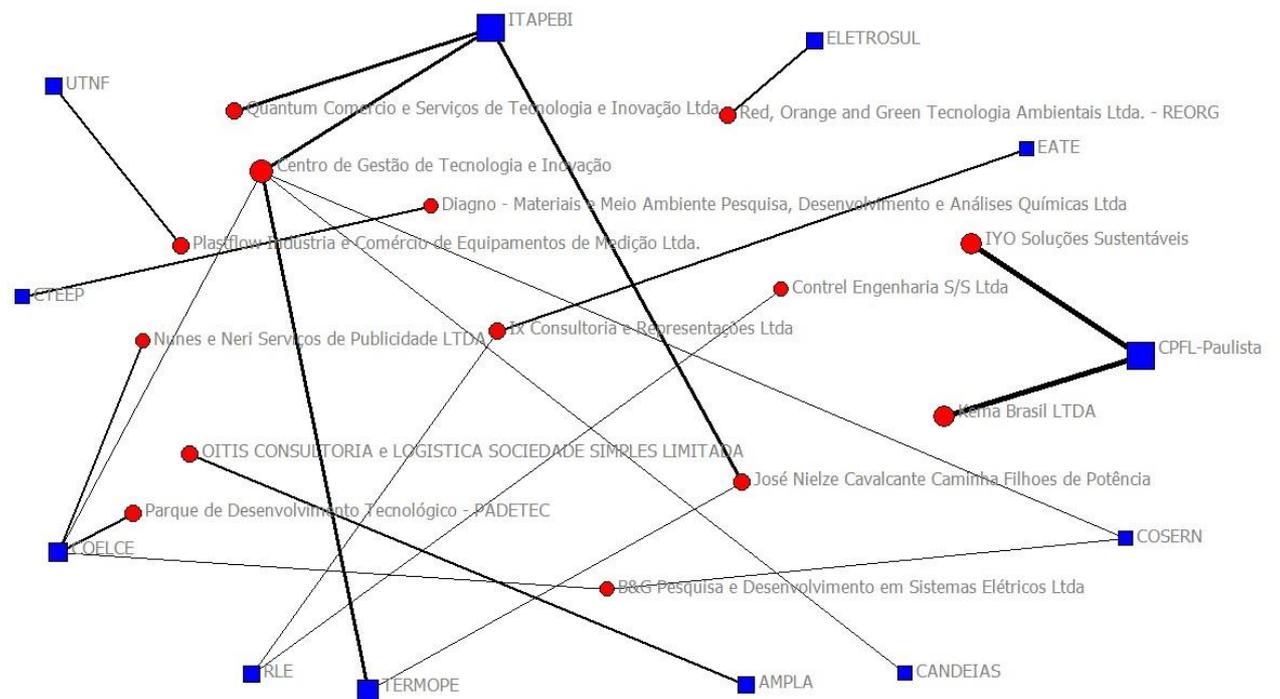


Figura 18 - Redes de colaboração formadas pelos 15 principais fornecedores do setor elétrico e concessionárias do setor elétrico, no tema meio ambiente



As quatro principais empresas fornecedoras no tema supervisão e controle, em termos de valor dos projetos de P&D executados são, respectivamente, GT2 engenheiros associados, Anima Consultoria e Projetos, Reason Tecnologia e CGTI, cada uma tendo executado projetos que somaram um pouco mais de R\$ 9 milhões de investimento.

Entre as concessionárias do setor elétrico, a que mais investiu em projetos de P&D no tema supervisão e controle foi a Central Geradora Térmica de Fortaleza, controlada hoje pelo grupo Enel Brasil. Foram R\$ 12,5 milhões aplicados em 4 projetos, que envolveram 4 fornecedores diferentes.

Já no tema operação, as principais empresas fornecedoras foram Sinapsis Inovação, com projetos que somaram R\$ 8 milhões, Fabio Romano Lofrano Dotto, cujos projetos executados somaram R\$ 7,3 milhões e CGTI, com projetos que somaram R\$ 5,5 milhões entre 2011 e 2015. A Eletropaulo foi a concessionária do setor elétrico que mais investiu em projetos no tema operação no período, com investimentos de R\$ 13,7 milhões em 8 projetos de P&D que envolveram quatro fornecedores diferentes.

No tema fontes alternativas, as fornecedoras campeãs são, respectivamente, Mater Pesquisa e Desenvolvimento, com R\$ 11,6 milhões em projetos executados; Hytron, empresa com sede em Sumaré (SP) pioneira em sistemas fotovoltaico e uso energético de hidrogênio do Brasil, e especializada em soluções voltadas ao uso de gases industriais – com R\$ 9 milhões em projetos de P&D executados; além da Aqua Genesis e Eudora Energia, especializadas em soluções para geração de energia através de fontes alternativas, que executaram projetos de P&D que somaram R\$ 6,2 milhões, cada.

Vale ressaltar que a CPFL foi a principal proponente de projetos de P&D no tema fontes alternativas entre 2011 e 2015, com investimentos que chegaram a R\$ 23 milhões em quatro projetos, envolvendo 5 fornecedores diferentes.

No tema meio ambiente, a principal empresa fornecedora no período foi o Centro de Gestão de Tecnologia e Inovação, que executou projetos que somaram R\$ 8,8 milhões em investimentos.

A CPFL também foi a concessionária do setor elétrico que mais investiu em projetos no tema meio ambiente do período, com um único projeto que teve custo total de R\$ 6,4 milhões, envolvendo as fornecedoras Kema Brasil e IYO Soluções Sustentáveis. Este projeto teve como objetivo o desenvolvimento de sistemas construtivos mais sustentáveis para o mercado (*Green Building*).

Na próxima seção será discutida feita uma comparação entre as empresas fornecedoras que atuaram em projetos de P&D entre 2012 e 2015.

5.2.5 Evolução da rede de colaboração formadas por fornecedores e concessionárias do setor elétrico (2012 e 2015)

Figura 19 - Rede de colaboração formada por concessionárias do setor elétrico e fornecedores em 2012

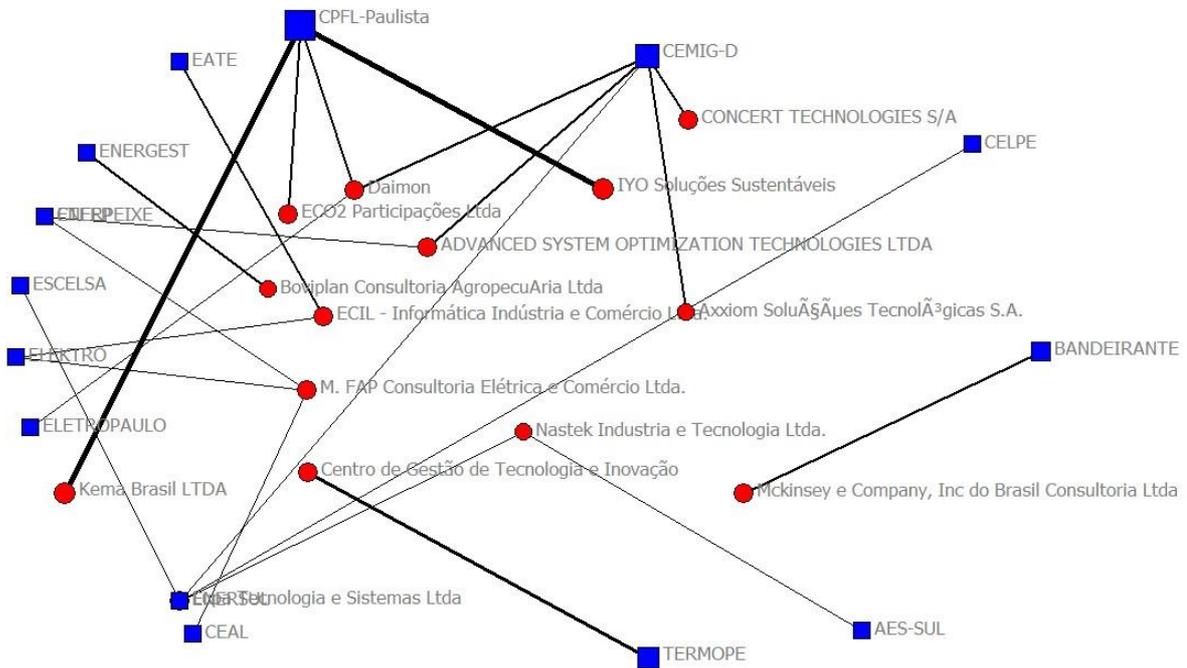
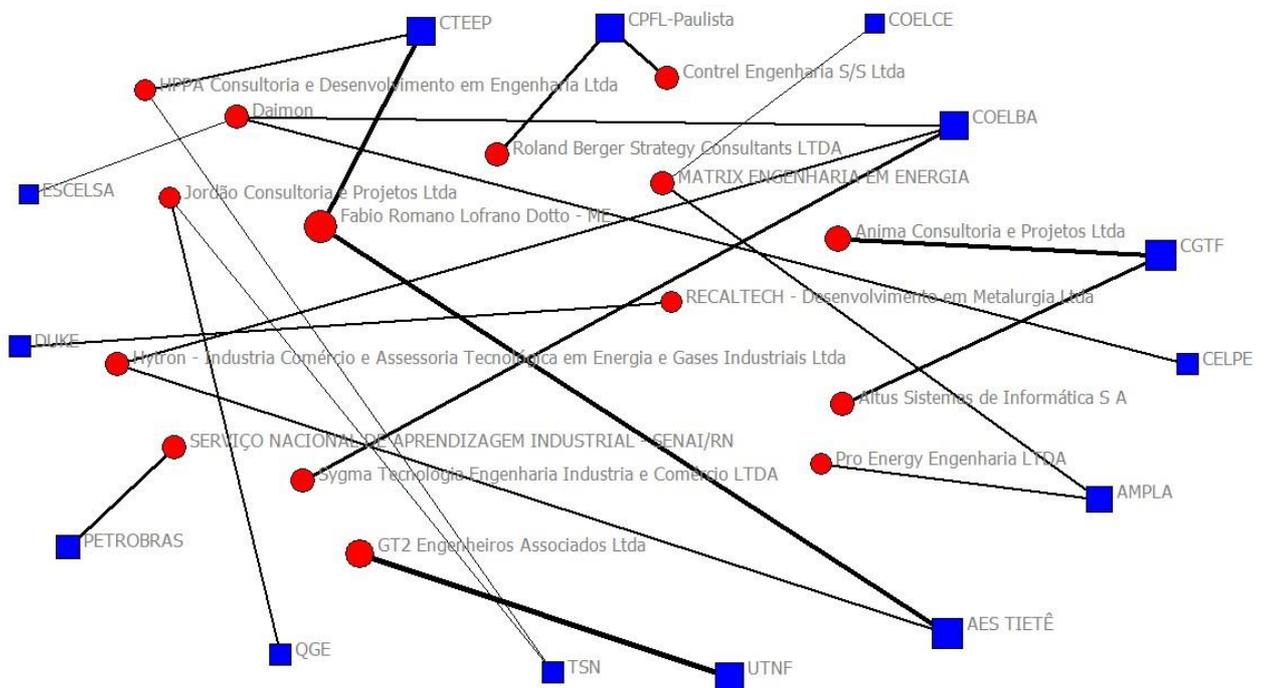


Figura 20 - Rede de colaboração formada por concessionárias do setor elétrico e fornecedores em 2015



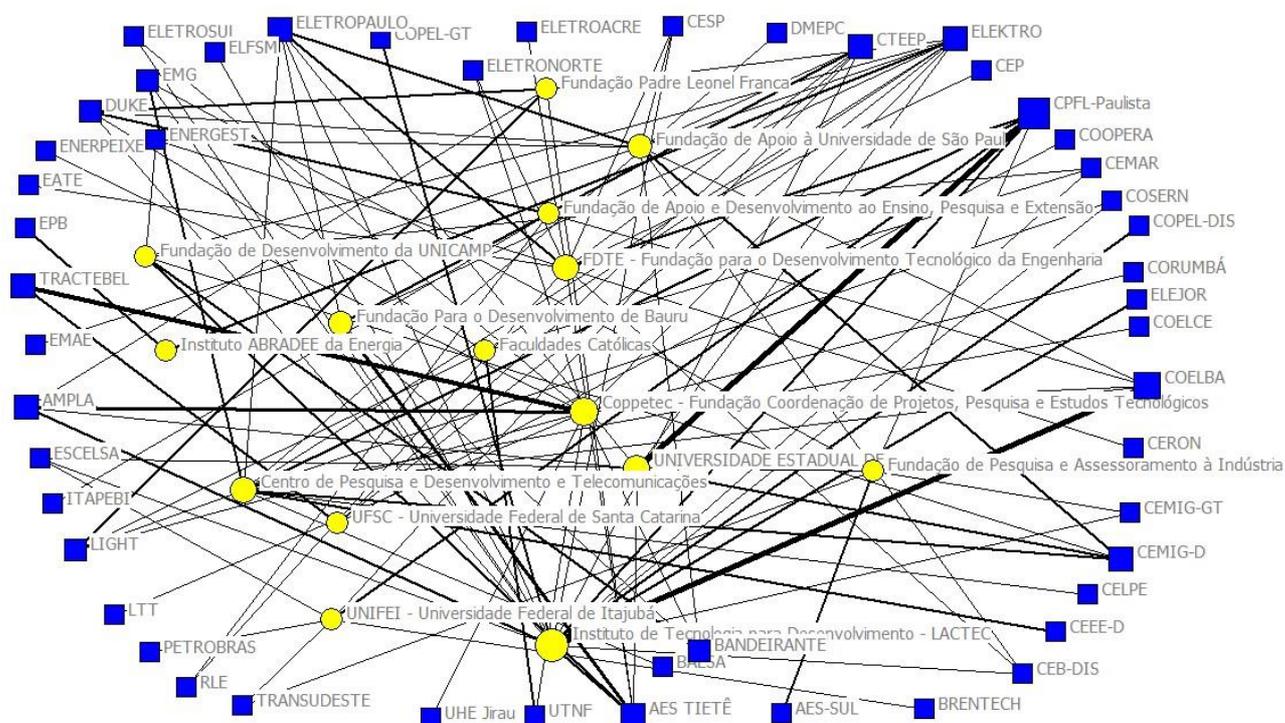
Com base nas duas redes acima podemos observar que há uma tendência de mudanças nas empresas fornecedoras como executora dos projetos ao longo dos anos.

Das 207 empresas fornecedoras que participaram do programa de P&D da Aneel entre 2011 e 2015, somente a Daimon atuou em projetos que terminaram em todos os anos (2011, 2012, 2013, 2014, 2015). Outras 6 empresas fornecedoras atuaram em projetos que terminaram em pelo menos 4 dos 5 anos de nossa amostra, são elas: (i) Axxiom Soluções Tecnológicas; Centro de Gestão de Tecnologia e Inovação; (ii) Daimon; (iii) Fabio Romano Lofrano Dotto; (iv) GT2 Engenheiros Associados; (v) Sinapsis Inovação e (vi) M.FAP Consultoria Elétrica e Comércio LTDA.

A seguir serão analisadas as redes de pesquisa formadas por Institutos de Ciência e Tecnologia e concessionárias do setor elétrico, nos projetos de P&D regulados pela Aneel finalizados entre 2011 e 2015.

5.2.6 Redes de colaboração formadas por ICTs e concessionárias do setor elétrico

Figura 21 - Redes de colaboração formadas pelas 15 principais ICTs e concessionárias do setor elétrico



Com base na rede acima, é possível perceber que o grau de centralização da rede é maior quando consideramos os projetos executados pelos 15 principais ICTs. Isto é, cada ICT executou, em média, um número maior de projetos em colaboração com diferentes concessionárias do setor elétrico.

O Instituto Lactec foi o ICT que executou projetos de P&D em colaboração com 19 concessionárias do setor elétrico entre 2011 e 2015. Em segundo lugar aparecem a Fundação Coordenação de Projetos, Pesquisa e Estudos Tecnológicos – Coppetec, ligada à Universidade Federal do Rio de Janeiro, o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento e Telecomunicações – CPqD, e a Fundação Para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia – FDTE, que executaram projetos em colaboração com 13 concessionárias do setor elétrico no período. O CPqD é um dos maiores centros de pesquisa e desenvolvimento em telecomunicações e tecnologia da informação da América Latina, e está localizado em Campinas (SP). A FDTE é uma fundação sem fins lucrativos ligada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. A Fundação de Apoio à Universidade de São Paulo – FUSP, aparece em quinto lugar, tendo participado de 11 projetos de P&D no período.

Dois laços se destacam nesta rede, o primeiro ligando a Coelba à Lactec e o segundo ligando a CPFL à Universidade Estadual de Campinas – Unicamp. Este último é decorrente dos vários projetos de P&D que a CPFL e Unicamp realizaram em parceria no período, especialmente no tema fontes alternativas e meio ambiente, totalizando R\$ 27,5 milhões em investimento. O primeiro se deve aos 15 projetos executados em parceria entre Coelba e Institutos Lactec, que somaram R\$ 27,4 milhões de investimento em P&D, voltados ao segmento de distribuição de energia.

5.2.7 Redes de colaboração formadas por ICTs e concessionárias do setor elétrico, por segmento (geração, transmissão e distribuição)

Figura 22 - Redes de colaboração formadas pelas 15 principais ICTs e concessionárias do setor elétrico, no segmento de geração de energia

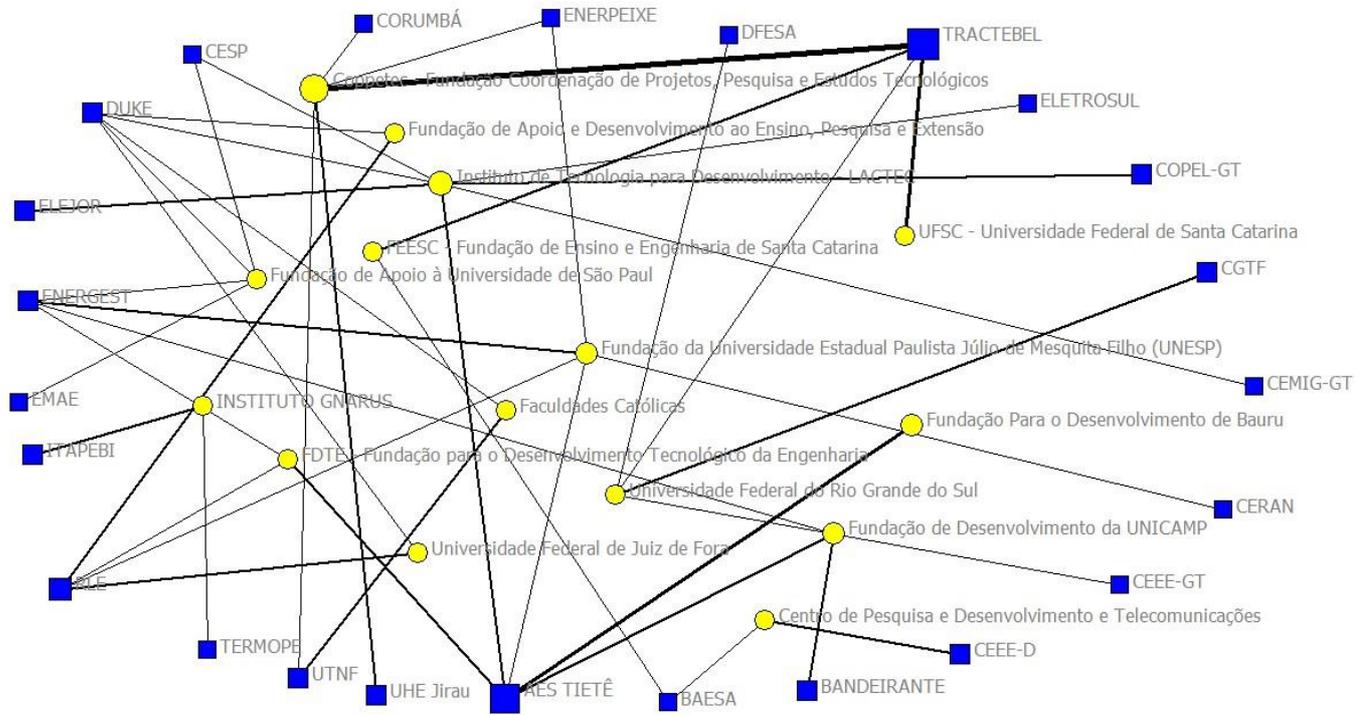


Figura 23 - Redes de colaboração formadas pelas 15 principais ICTs e concessionárias do setor elétrico, no segmento de transmissão de energia

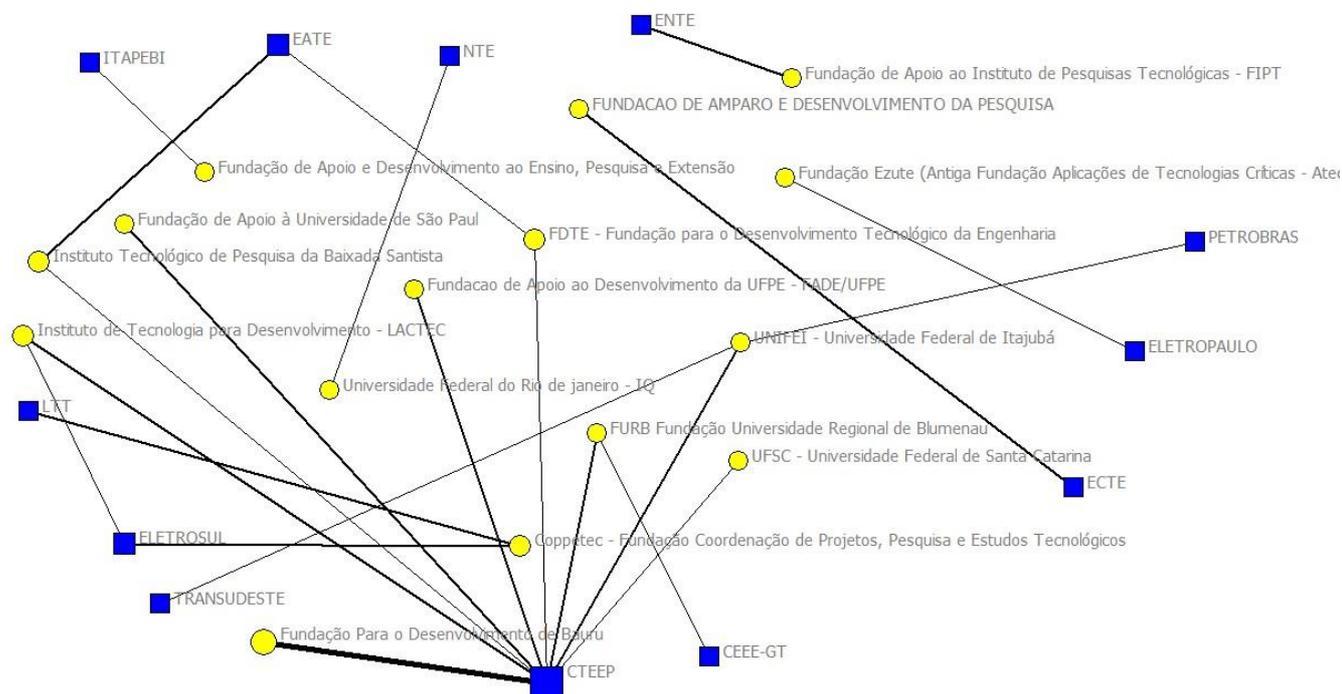
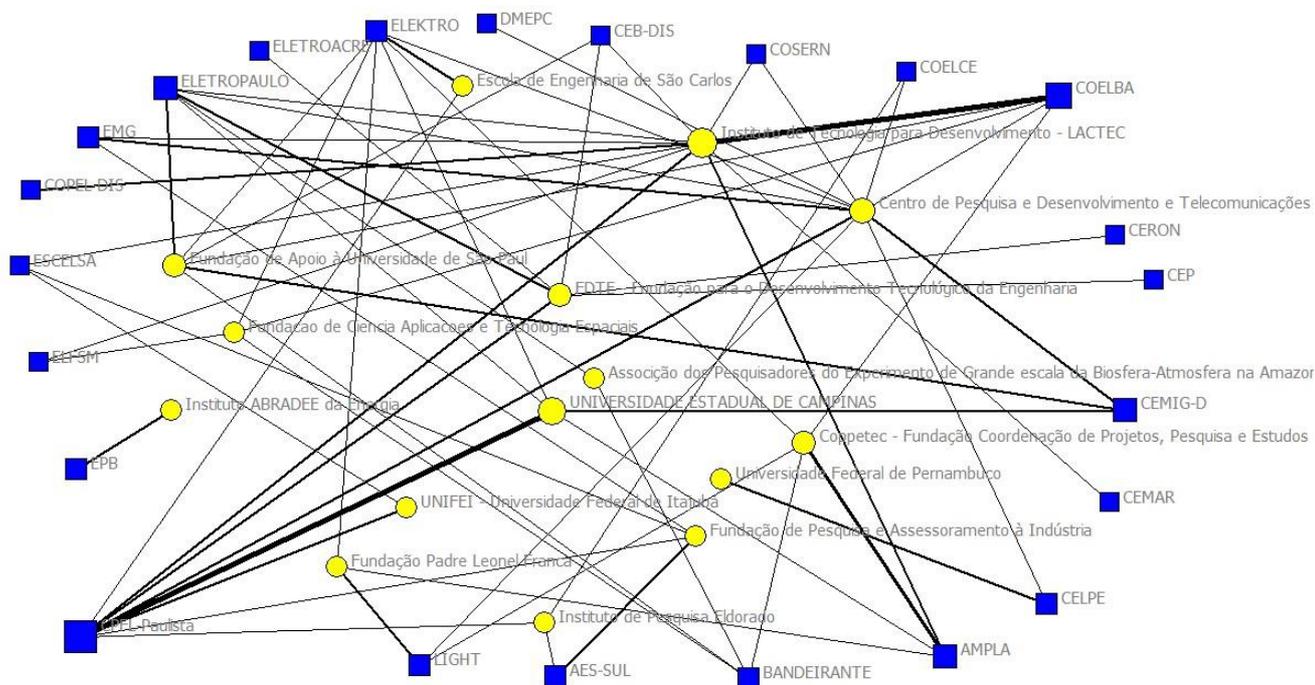


Figura 24 - Redes de colaboração formadas pelas 15 principais ICTs e concessionárias do setor elétrico, no segmento de distribuição de energia



No segmento de geração de energia, o principal ICT foi a Copepec, que participou de projetos que somaram R\$ 23 milhões, em cinco projetos com cinco concessionárias do

setor elétrico. Destaca-se um projeto em parceria com a Tractebel, no valor de R\$ 17,3 milhões, com o objetivo de implantar um protótipo de geração de energia a partir de ondas na região Nordeste do Brasil. Em seguida aparece o Instituto Lactec, que participou em 15 projetos, que somaram R\$ 16,5 milhões, propostos por 7 concessionárias diferentes do setor elétrico. O terceiro ICT de excelência na execução de projetos de P&D da Aneel foi a Fundação para o desenvolvimento de Bauru - FunDeB, que participou da execução de 6 projetos com a concessionária AES Tietê, que somaram R\$ 10,8 milhões em investimento.

No segmento de transmissão de energia, são as mesmas 3 ICTs supracitadas que aparecem como principais executoras de projetos de P&D. A FunDeB, fundação do município de Bauru ligada à Faculdade de Engenharia e Tecnologia da Unesp, executou 4 projetos de P&D entre 2011 e 2015, todos propostos pela CTEEP, cujos investimentos somaram R\$ 10 milhões. O Instituto Lactec atuou na execução de 3 projetos de P&D entre 2011 e 2015, em parceria com a CTEEP e Eletrosul, que somaram R\$ 4,5 milhões. A Coppetec, por sua vez, atuou na execução de 3 projetos de P&D, propostos pela Taesa e Eletrosul, que somaram R\$ 4,2 milhões no período.

Vale destacar que, dos R\$ 62,9 milhões que foram investidos em projetos de P&D entre 2011 e 2015 pelas concessionárias do setor elétrico, 43% foram propostos pela CTEEP, 22,6% pela Taesa (através das transmissoras TSN, NTE, ETEP, ENTE, EATE e ATE II) e 10,3% pela Eletrosul, o que configura elevado grau de concentração no segmento de transmissão de energia.

No segmento de distribuição de energia, o Instituto Lactec participou como executora de 29 projetos de P&D com 11 concessionárias diferentes, totalizando R\$ 50 milhões. Mais destes projetos foram realizados em parceria com a Coelba.

Em seguida aparece a Unicamp, como executora de 15 projetos de P&D com 5 concessionárias diferentes do setor elétrico, que somaram R\$ 38,3 milhões em projetos de P&D entre 2011 e 2015. Destacam-se os 7 projetos realizados com a CPFL, nos temas fontes alternativas e meio ambiente, que resultaram num investimento de R\$ 27,5 milhões.

O terceiro ICT de excelência no segmento de distribuição de energia é o CPqD, que participou de 17 projetos de P&D com 11 concessionárias diferentes, somando R\$ 31,8 milhões de investimento no período.

5.2.8 Redes de colaboração formadas por ICTs e concessionárias do setor elétrico, por tema (supervisão e controle, operação, fontes alternativas, meio ambiente)

Figura 25 - Redes de colaboração formadas pelas 15 principais ICTs e concessionárias do setor elétrico, no tema supervisão e controle

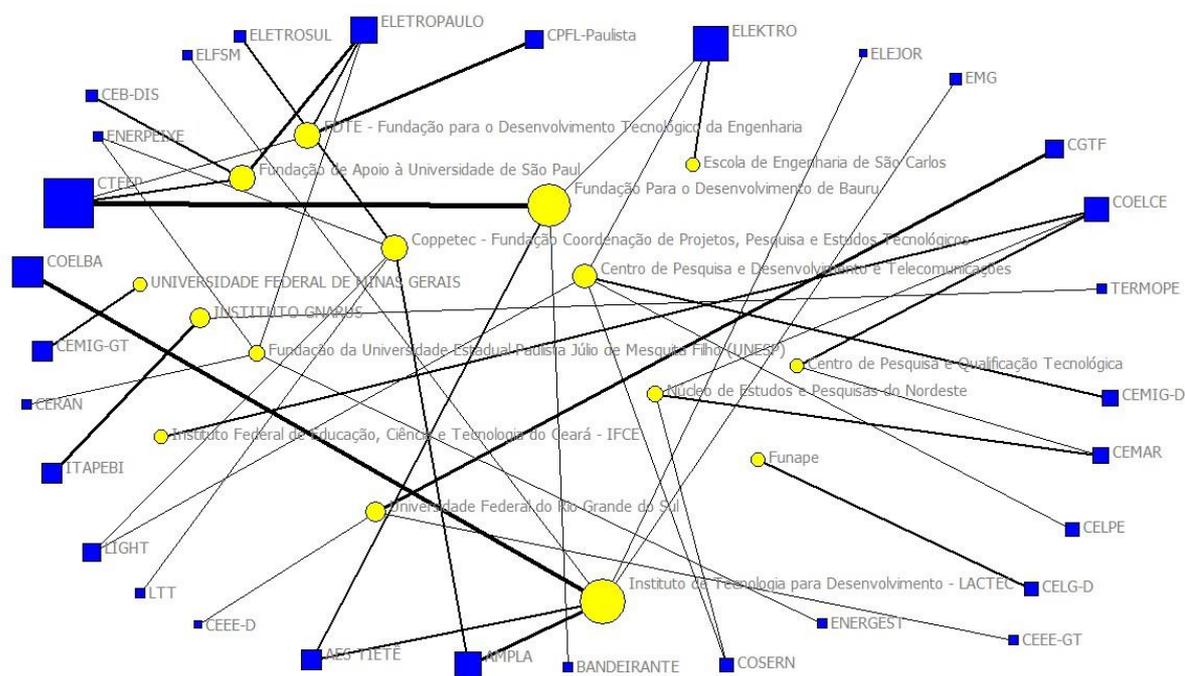


Figura 26 - Redes de colaboração formadas pelas 15 principais ICTs e concessionárias do setor elétrico, no tema operação

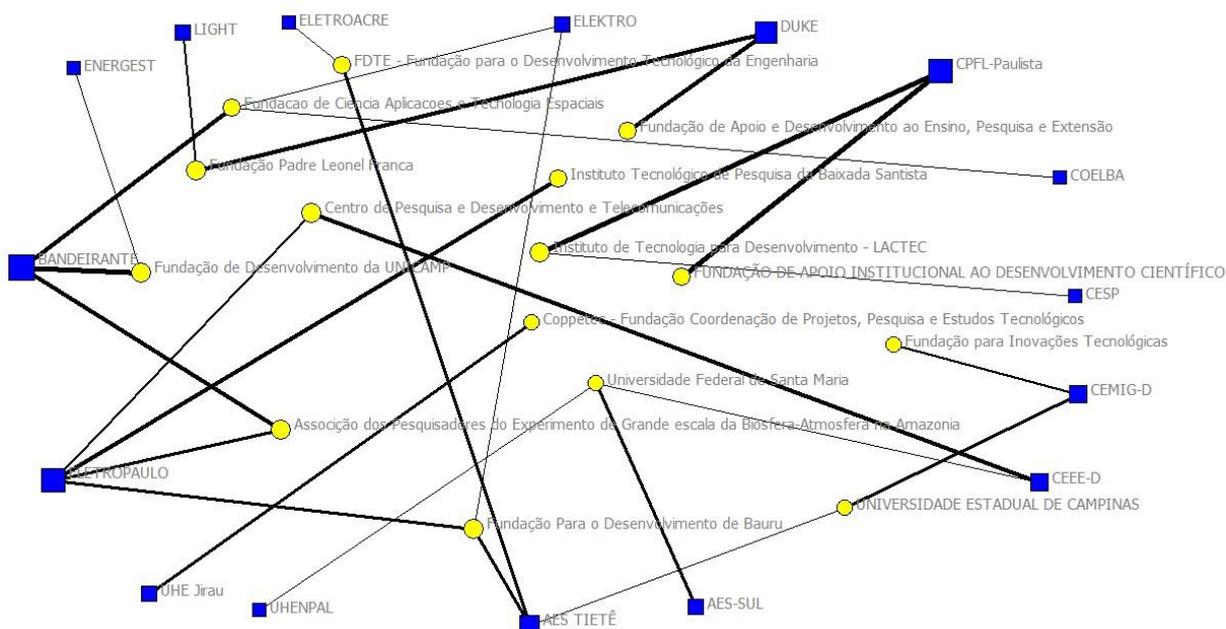


Figura 27 - Redes de colaboração formadas pelas 15 principais ICTs e concessionárias do setor elétrico, no tema fontes alternativas

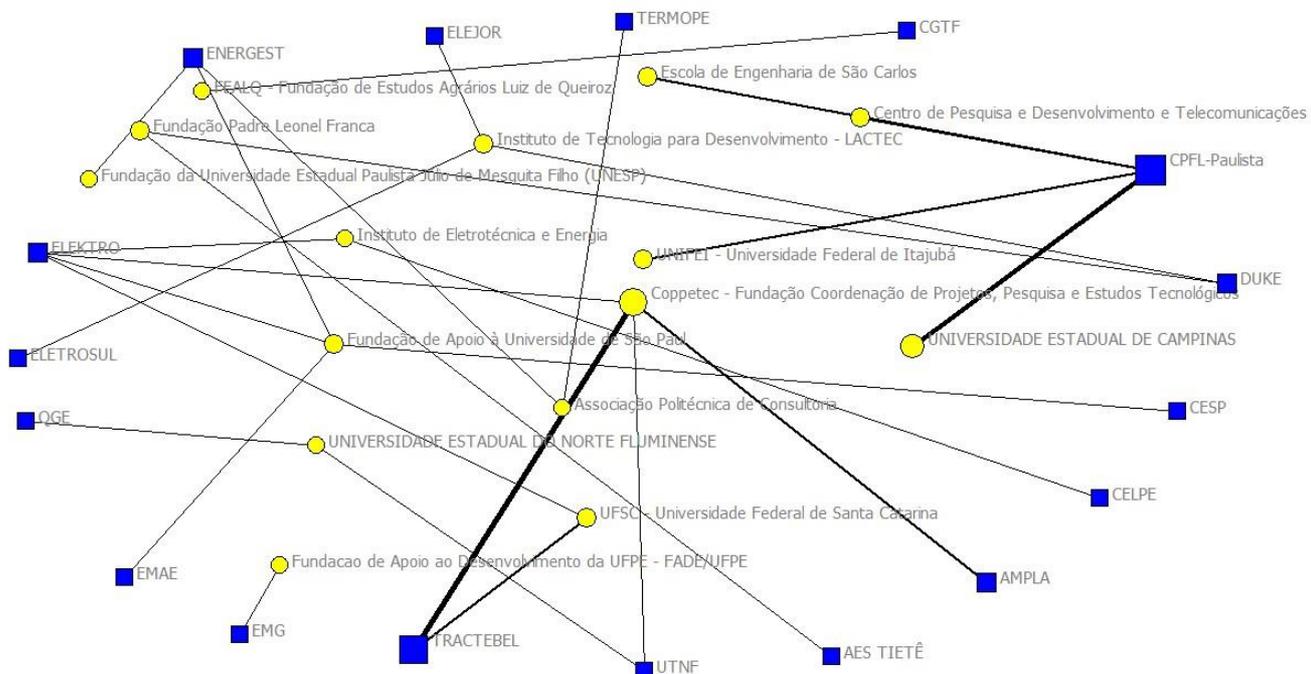
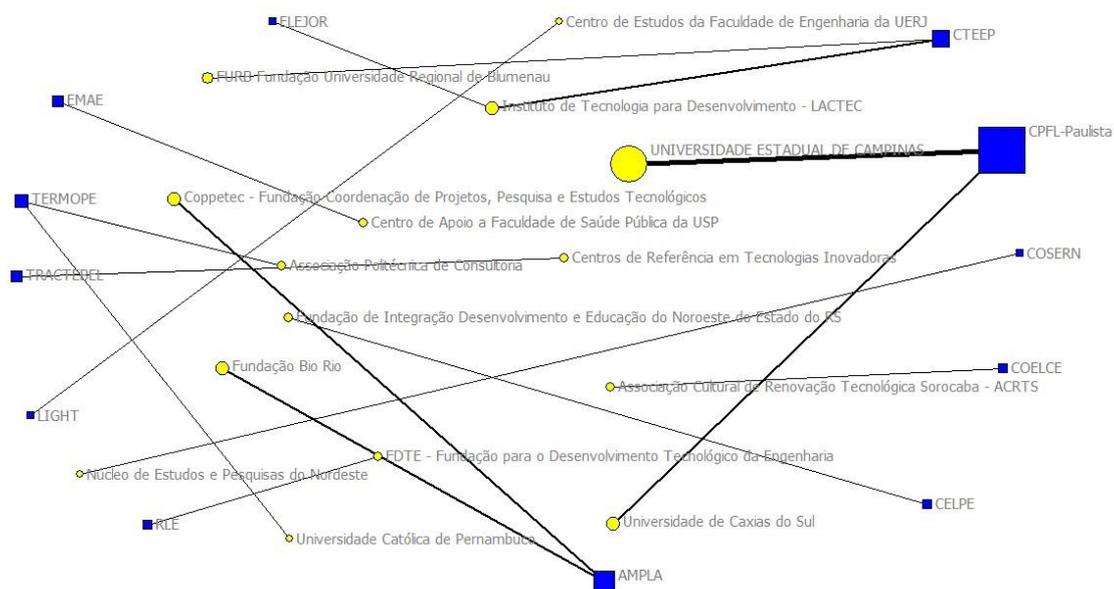


Figura 28 - Redes de colaboração formadas pelas 15 principais ICTs e concessionárias do setor elétrico, no tema meio ambiente



O instituto Lactec participou de 10 projetos de P&D entre 2011 e 2015, com 6 concessionárias diferentes do setor elétrico, somando R\$ 16 milhões em investimentos em P&D. Em seguida aparece a FunDeB, que executou 7 projetos que somaram R\$ 14,4 milhões em investimentos em P&D no período. Desse total, R\$ 10 milhões foram somente em projetos propostos pela Coelba.

No tema operação, o principal ICT executor de projetos de P&D foi a Associação dos Pesquisadores do Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera da Amazônia (APLBA), que atuou em 2 projetos de P&D, cujos investimentos somaram R\$ 6,4 milhões. Estes foram os únicos projetos finalizados entre 2011 e 2015 em que este ICT atuou. A APLBA nasceu de uma cooperação científica internacional com o objetivo de estudar interações entre a Floresta Amazônica e as condições da atmosfera e do clima em nível global e regional. Ainda no tema operação, o segundo ICT mais relevante no período foi a Fundação Padre Leonel França, ligada à PUC-Rio, que atuou em 3 projetos com a Light e Duke Energia, cujos investimentos somaram R\$ 5,8 milhões.

No tema fontes alternativas, o ICT em destaque é o Instituto Lactec, que atuou em 6 projetos de P&D, com 4 concessionárias do setor elétrico, cujos investimentos totalizaram R\$ 23 milhões. O principal projeto da Lactec no tema foi realizado em parceria com a Tractebel, para implementação de um protótipo de geração de energia através do aproveitamento de ondas oceânicas, no valor de R\$ 17,3 milhões. Em seguida aparece a Unicamp, que atuou em 3 projetos de P&D em parceria com a CPFL, cujos montantes de investimento foram de R\$ 14,4 milhões.

No tema meio ambiente, o ICT de referência foi a Unicamp, em função de 2 projetos de P&D realizados em parceria com a CPFL, que somaram R\$ 8,8 milhões em investimentos.

Em seguida, será apresentado como evoluiu a rede de colaboração formada pelas concessionárias do setor elétrico e as ICTs ao longo do tempo.

5.2.9 Evolução da rede de colaboração formadas por ICTs e concessionárias do setor elétrico (2012 e 2015)

Figura 29 - Rede de colaboração formada por concessionárias do setor elétrico e ICTs em 2012

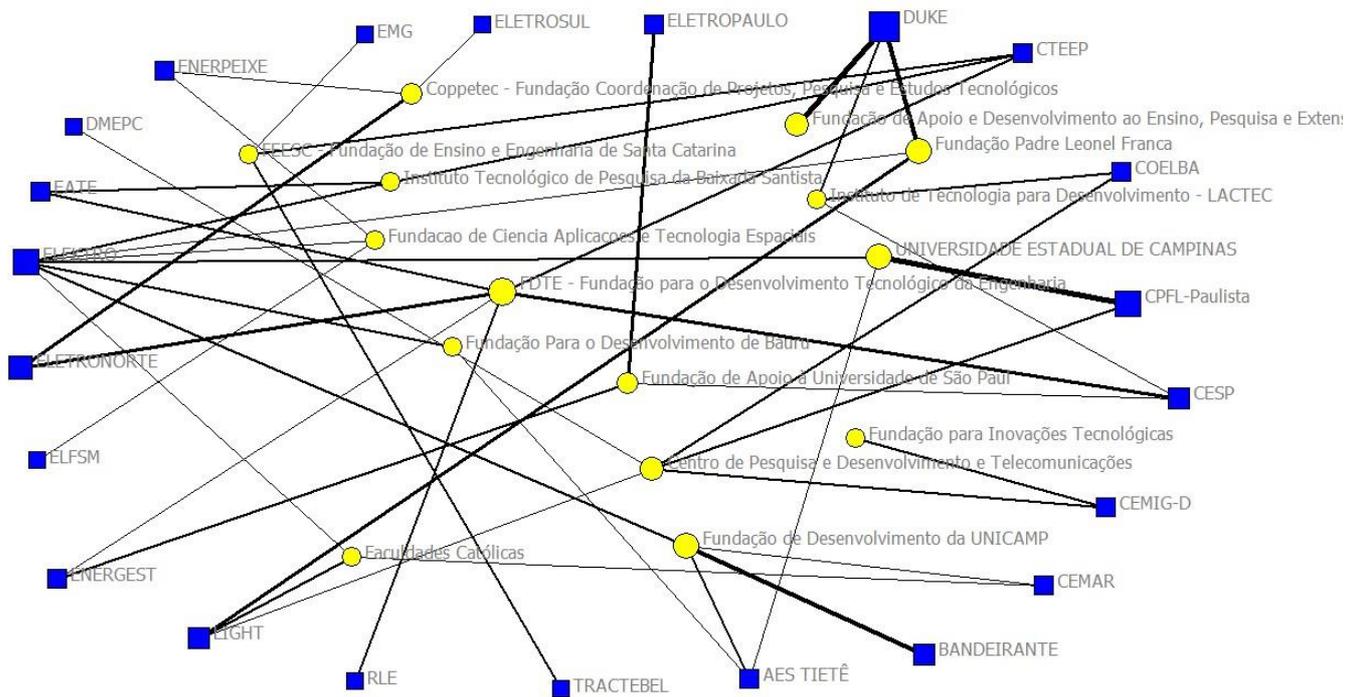
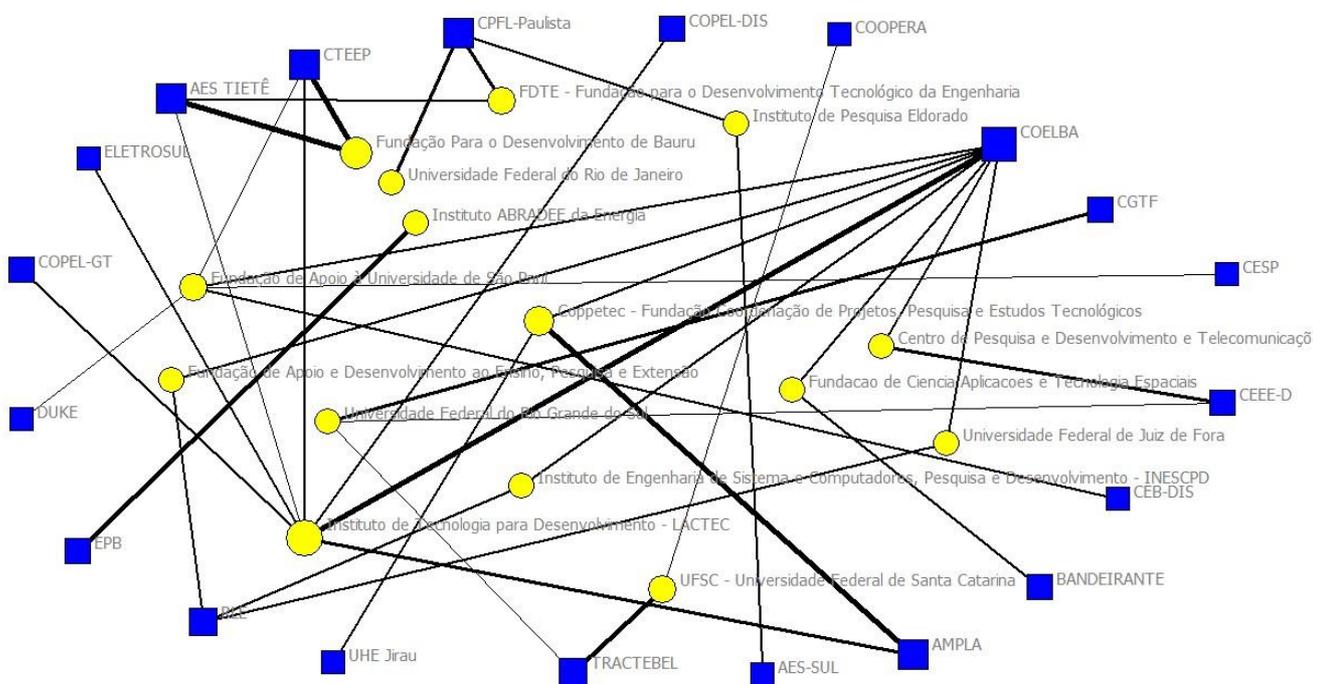


Figura 30 - Rede de colaboração formada por concessionárias do setor elétrico e ICTs em 2015



Dos 154 Institutos de Ciência e Tecnologia que participaram do programa de P&D da Aneel entre 2011 e 2015, 6 atuaram em projetos de P&D finalizados em todos os anos de

nossa amostra (2011 até 2015), são eles: CPqD, Coppetec, FDTE (USP), Instituto Lactec, Unicamp e Fundação de Pesquisa e Assessoramento à Indústria. Além disso, 19 ICTs participaram em pelo menos 4 dos 5 anos da nossa amostra temporal. Isto indica que a participação dos mesmos ICTs é mais recorrente e a rede de pesquisa formada com as concessionárias do setor elétrico é menos dinâmica, o que pode ser benéfico para a formação de um sistema de inovação no setor.

As conclusões deste estudo e propostas de continuidade são apresentadas no capítulo a seguir.

5. CONCLUSÃO E PRÓXIMOS PASSOS

O programa de P&D da Aneel vem conseguindo alocar um elevado volume de recursos para projetos de pesquisa e desenvolvimento no setor elétrico. Entre 2011 e 2015, 610 projetos foram finalizados e geraram relatório final após seu término. Isso significa um volume de recursos da ordem de R\$ 785 milhões, com uma média de R\$ 1,3 milhão aplicado por projeto.

Destes 610 projetos de P&D finalizados entre 2011 e 2015, 108 geraram pedidos de patente no INPI, ou seja 17% do total de projetos. Além disso, 271 projetos, 44%, tiveram capacitação técnica de pesquisadores (especialização, mestrado, doutorado e pós-doutorado).

Em termos de recursos humanos, o programa foi capaz de mobilizar o trabalho de mais de 2.600 pesquisadores das empresas do setor elétrico, além de mais 7.500 pesquisadores das empresas fornecedoras de equipamentos e serviços e institutos de ciência e tecnologia.

Foram mais de 200 empresas fornecedoras que participaram como executoras dos projetos de P&D e mais de 150 institutos de ciência e tecnologia, incluindo universidades, centros de pesquisa e agências públicas que abrigam pesquisadores.

Mais de 90% dos investimentos em P&D no período estão localizados em alguma fase intermediária da cadeia de inovação. Isso pode significar uma tentativa das empresas de minimizar o risco de perdas, caso a Aneel não reconheça parte dos investimentos.

Algumas hipóteses podem ser levantadas acerca desta lacuna:

- a) Empresas optam por manter alguns projetos em estágios intermediários da cadeia, por serem mais aplicáveis a soluções de problemas internos dessas empresas;
- b) As empresas do setor não possuem estrutura para gerenciar e desenvolver os

projetos até a etapa de inserção no mercado, o que faz com que estas sejam altamente dependentes de fornecedores e outros agentes;

c) Incertezas de mercado acerca se haverá demanda efetiva para inovações no setor;

d) Além disso, a falta de padrões técnicos e normas pode desestimular o avanço destes projetos na cadeia de inovação;

Foi possível também identificar a predominância de investimentos em projetos de P&D nos seguintes temas: Fontes alternativas (14% do total), Supervisão e Controle (21%) e Operação (13%). A concentração de investimentos em projetos de fontes alternativas está alinhada à tendência internacional de pesquisa em novas fontes de energia, e é reforçada pelas chamadas públicas da Aneel. A necessidade eminente de melhorar a qualidade da gestão e rentabilidade dos ativos parece justificar o foco em projetos associados à operação, supervisão e controle. Além disso, a pequena participação de projetos voltados a eficiência energética e geração térmica sugere uma falta de compreensão por parte das concessionárias do setor elétrico acerca do papel estratégico destes temas.

Outro ponto que merece destaque é a concentração de projetos de P&D executados por centros de pesquisa localizados nas regiões Sul e Sudeste. Tendo em vista que a regulação do programa determina que pelo menos 30% dos do programa de P&D da Aneel sejam aplicados em centros de pesquisa localizados nas regiões Norte, Nordeste e Centro-oeste, verificou-se que, no período entre 2011 e 2015, somente 15,6% dos investimentos em P&D foram destinados a ICTs e empresas fornecedoras destas regiões.

Este estudo também permitiu verificar que existe uma grande concentração de projetos de P&D sendo executados por um número pequeno de entidades executoras. Das centenas de entidades executoras que participam do programa, as 9 ICTs mais relevantes

participaram de 38% dos projetos de P&D do período, ao passo que os 9 principais fornecedores participaram da execução de 17% dos projetos de P&D entre 2011 e 2015.

Das 207 empresas fornecedoras que participaram dos projetos de P&D finalizados entre 2011 e 2015, apenas uma atuou em todos os anos, e outras seis atuaram em pelo menos quatro dos cinco anos cobertos em nossa amostra. Já entre os ICTs, observamos que 6 dos 154 institutos de ciência e tecnologia atuaram em todos os anos de nossa amostra.

Um dos objetivos deste trabalho foi identificar quem são os principais agentes responsáveis por gerar inovação no setor elétrico, no âmbito do programa de P&D da Aneel. Entre as concessionárias do setor elétrico, é possível afirmar, com base no volume de recursos alocados para projetos de P&D, que a CPFL-Paulista, AES Eletropaulo, Coelba, Tractebel e AES Tietê são, respectivamente, as concessionárias mais bem-sucedidas dentro do programa de P&D da Aneel.

Entre as empresas fornecedoras de bens, serviços e tecnologias, destacaram-se, pela participação em projetos que envolveram maiores volumes de recurso, o Centro de Gestão de Tecnologia e Inovação, Fabio Romano Lofrano Dotto, Daimon, Sinapsis Inovação em Energia e Matrix Engenharia em Energia.

Dois pontos chamam a atenção na lista das principais empresas fornecedoras do programa (tabela 13): (i) forte participação de micro e pequenas empresas como executoras de projetos de P&D, como a Fabio Romano, Matrix, Jordão Consultoria e EFLUPE; (ii) ausência de grandes fornecedores globais de tecnologia no setor elétrico, como GE, Alstom, ABB e Siemens. Dado que estas empresas são proprietárias de um grande número de patentes e possuem atuação em diversos países, uma sugestão para melhoria do programa seria sua maior participação.

Os principais Institutos de Ciência e Tecnologia, em termos de participação em projetos que envolveram maior volume de recursos foram, respectivamente, os Institutos Lactec, a Coppetec (UFRJ), Centro de Pesquisa e Desenvolvimento e Telecomunicações - CPqD, a Fundação Para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia – FDTE e a Universidade Estadual de Campinas – Unicamp.

Observando as redes formadas entre concessionárias do setor elétrico e ICTs, chama atenção o forte caráter regional na formação destas redes. Isto é, projetos executados pela Coppetec geralmente são propostos por empresas que têm atuação no Rio de Janeiro, como a Light e Ampla. Projetos de P&D executados pela FDTE ou pela Fundação de Apoio à Universidade de São Paulo – FUJB, são geralmente propostos por empresas com atuação em São Paulo, como Eletropaulo e Elektro.

A metodologia de análise das redes sociais aplicada à base de projetos de P&D do setor elétrico nos permitiu identificar padrões de interação entre as concessionárias do setor elétrico, ICTs e fornecedores de bens e serviços para os projetos de P&D finalizados. A base de dados analisada mostra que dos mais de 2.000 projetos em andamento entre 2011 e 2015, apenas 610 foram finalizados e geraram relatório final. A aplicação desta metodologia para a base de dados de projetos de P&D em andamento permitiria gerar *insights* adicionais sobre a eficiência do programa e as razões que levam as empresas a interromper projetos antes de sua finalização.

A identificação dos atores chave para promoção de inovações no setor elétrico é um primeiro passo para avaliação da efetividade do programa de P&D da Aneel e para propostas futuras de aperfeiçoamento. Uma possível continuidade deste trabalho seria um acompanhamento mais próximo destas empresas mais bem-sucedidas na execução de projetos de P&D, de forma a entender o motivo pelo qual algumas empresas conseguem

finalizar projetos e gerar patentes ao passo que outras não.

Além disso, um caminho futuro seria uma avaliação do grau de maturidade das empresas fornecedoras e do setor elétrico para assimilar inovações depois de encerrados os projetos de P&D, e se o programa está contribuindo para criar uma cultura de inovação no setor elétrico brasileiro.

Todos estes elementos são chave para entender o grau de maturidade do sistema setorial de inovação no setor elétrico, e gerar propostas de aperfeiçoamento.

Importante ressaltar que o objetivo deste estudo foi realizar uma análise das redes de pesquisa formadas dentro do âmbito do Programa de P&D da Aneel, incluindo sua extensão e abrangência, e identificação dos principais fornecedores de tecnologia e inovação para o setor elétrico brasileiro, incluindo empresas fornecedoras de equipamentos e sistemas, consultorias, institutos de ciência e tecnologia e universidades.

O arcabouço teórico de sistemas de inovação adotado infere que um maior nível de colaboração e troca de informação e conhecimento entre os participantes do programa de P&D é benéfico para o processo inovativo, dentro de uma visão ampla. A análise que o Grupo de Estudos do Setor Elétrico (GESEL UFRJ) vem fazendo do programa de P&D da Aneel deve endereçar, em parte, ou totalmente, as lacunas supracitadas.

REFERÊNCIAS

AGAPITOVA, Natalia. **The impact of social networks on innovation and industrial development: Social dimensions of industrial dynamics in Russia**. 2003.

Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). **Manual do programa de pesquisa e desenvolvimento tecnológico do setor de energia elétrica**, Brasília : ANEEL, 2012.

ALLEN, James; JAMES, Andrew D.; GAMLEN, Phil. **Formal versus informal knowledge networks in R&D: a case study using social network analysis**. *R&D Management*, v. 37, n. 3, p. 179-196, 2007.

BARAN, R. A Introdução de Veículos Elétricos no Brasil: **Avaliação do Impacto no Consumo de Gasolina e Eletricidade**. Tese de doutorado da UFRJ/COPPE/Programa de Planejamento Energético. 2012. Disponível em <http://www.ppe.ufrj.br/pppe/production/tesis/baran.pdf>

BIN, Adriana et al . **Da P&D à inovação: desafios para o setor elétrico brasileiro**. *Gest. Prod.*, São Carlos, v.22, n.3, p.552-564, set. 2015. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104530X2015000300552&lng=pt&nrm=iso>. acessos em 28 jul. 2017. Epub 04-Set- 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/0104-530X1294-14>.

BONACICH, Phillip. **Power and centrality: A family of measures**. *American journal of sociology*, v. 92, n. 5, p. 1170-1182, 1987.

BORGATTI, Stephen P.; EVERETT, Martin G.; FREEMAN, Linton C. **Ucinet for Windows: Software for social network analysis**. 2002.

BRANDÃO, Roberto; DORADO, Paola; VIEGAS, Thales; VARDIERO, Pedro; ALVES, Cristóvão; OLIVEIRA, Carlos; HIDD, Gabriel; ALVES, André. **Relatório com Experiências Internacionais de Contratação**. Rio de Janeiro: GESEL/UFRJ, 2016.
Relatório Técnico

BRASIL. Lei 9.991, de 24 de julho de 2000. **Dispõe sobre a criação do Programa de P&D da Aneel**. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9991.htm. Acesso em 30 de **Março de 2017**

BROWN, A.R. **On Social Structure**. Journal of the Royal Anthropological Institute: 70 (1940): 1–12.

BURT, Ronald S. **Social capital, structural holes and the entrepreneur**. Revue française de Sociologie, v. 36, n. 4, p. 599-&, 1995.

CANTNER, Uwe; GRAF, Holger. **Cooperation and specialization in German technology regions**. Journal of Evolutionary Economics, v. 14, n. 5, p. 543-562, 2004.

CARRINGTON, Peter J.; SCOTT, John; WASSERMAN, Stanley (Ed.). **Models and methods in social network analysis**. Cambridge university Press, 2005.

CASSIOLATO, José Eduardo; LASTRES, Helena Maria Martins. **Sistemas de inovação e desenvolvimento: as implicações de política**. São Paulo em perspectiva, v. 19, n. 1, p. 34-45, 2005.

CASSIOLATO, Jose Eduardo; LASTRES, Helena MM. **Discussing innovation and development: Converging points between the Latin American school and the Innovation Systems perspective?**, Georgia Institute of Technology, 2008

COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ – CPFL. **A Energia na Cidade do Futuro**. Workshop realizado em 04 de outubro de 2013. Apresentação disponível em <http://www.provedor.nuca.ie.ufrj.br/estudos/docap4.pdf>

CUNHA, J. C. et al. **Sistema setorial de inovação de energia elétrica no brasil: estrutura e trajetórias**. Anais do XXV Simpósio de Gestão da Inovação Tecnológica, p. 1-16, 2008.

DANTAS, Guilherme; BRANDÃO, Roberto; ROSENTAL, Rubens. **A energia na cidade do futuro : Uma abordagem didática sobre o setor elétrico**. Rio de Janeiro : Babilonia Cultura Editorial, 2015

DEVAUD, Laurence. **Influence of social networks on spatial diffusion of innovation**. 2008.

DOSI, Giovanni. **Technological paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change**. Research policy, v. 11, n. 3, p. 147-162, 1982.

EDQUIST, C. (Ed.) 1997. Systems of Innovation. Frances Pinter, London

FISCHER, Manfred M. **Innovation, knowledge creation and systems of innovation**. **The annals of regional science**, v. 35, n. 2, p. 199-216, 2001.

FREEMAN, Chris. **The National System of Innovation in historical perspective**. Cambridge Journal of economics, v. 19, n. 1, p. 5-24, 1995.

FREEMAN, Linton C. **The development of social network analysis-With an emphasis on recent events**. The sage handbook of social network analysis, v. 21, n. 3, p. 26-39, 2011.

GRUPO DE ESTUDOS DO SETOR ELÉTRICO – GESEL. **Características dos sistemas elétricos e do setor de países e/ou estados selecionados.** Outubro/2014.

Disponível

em:<<https://www.cpf.com.br/energiassustentaveis/inovacao/projetos/Documents/PB302/caracteristicas-de-sistemaseletricos-de-paises-selecionados.pdf>>. Acesso em 21 de março de 2017.

HAMDOUCH, Abdelillah. Innovation clusters and networks: **A critical review of the recent literature.** Em: 19º conferência EAEPE. 2007. p. 1-3.

HANNEMAN, Robert A.; RIDDLE, Mark. **Introduction to social network methods.** 2005.

HUNG, Chia-Liang. **Social networks, technology ties, and gatekeeper functionality: Implications for the performance management of R&D projects.** Research Policy, v. 46, n. 1, p. 305-315, 2017.

JAMES, Coleman. **Foundations of social theory.** Cambridge, MA: Belknap, 1990.

KESKIN, Sadettin. Social Networks, innovations and nations. International Journal of Business and Management Studies, v. 3, n. 1, 2011.

KNOKE, David; YANG, Song. **Social network analysis.** Sage, 2008.

LEITE, Antônio Dias, **A Energia do Brasil.** 3. Ed – Rio de Janeiro. Lexikon, 2014.

LOSEKANN, Luciano Dias. **Reestruturação do setor elétrico brasileiro: coordenação e concorrência.** Rio de Janeiro: Instituto de Economia da UFRJ (Tese de Doutorado), 2003.

LUNDEVALL, B. et al. **National systems of production, innovation and competence**

building. Research policy 31.2, (2002): 213-231, 2002.

MALERBA, Franco. **Sectoral systems of innovation and production.** Research policy, v. 31, n. 2, p. 247-264, 2002.

MALERBA, Franco; MANI, Sunil (Ed.). **Sectoral systems of innovation and production in developing countries: actors, structure and evolution.** Edward Elgar Publishing, 2009.

MASSAGUER, PEDRO XAVIER RODRIGUEZ et al. **Avaliação de projetos de Pesquisa e Desenvolvimento: influências e desafios do contexto do setor elétrico brasileiro.** 2013. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas.

MAZZUCATO, Mariana; PENNA, Caetano. **The Brazilian innovation system: a mission-oriented policy proposal.** 2016.

MORAIS, José Mauro de. **Uma avaliação de programas de apoio financeiro à inovação tecnológica com base nos Fundos Setoriais e na Lei de Inovação.** Políticas de incentivo à inovação tecnológica no Brasil. Brasília: Ipea, p. 68-105, 2008.

MULLER, Paul; PÉNIN, Julien. **Why do firms disclose knowledge and how does it matter?.** Journal of Evolutionary Economics, v. 16, n. 1-2, p. 85-108, 2006.

NELSON, Richard R. (Ed.). **National innovation systems: a comparative analysis.** Oxford university press, 1993.

NELSON, Richard R.; WINTER, Sidney G. **An evolutionary theory of economic change.** Harvard University Press, 2009.

ORGANIZAÇÃO PARA COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OCDE). **Science, Technology and Industry Scoreboard.** Paris, 2016.

OUIMET, Mathieu; LANDRY, Réjean; AMARA, Nabil. **Network positions and radical innovation: a social network analysis of the Quebec optics and photonics cluster.** In: DRUID Summer conference. 2004. p. 14-16.

PAVITT K., **Sectorial patterns of technical change: towards a taxonomy and a theory.** Research Policy, 1984.

PODOLNY, Joel M.; STUART, Toby E.; HANNAN, Michael T. **Networks, knowledge, and niches: Competition in the worldwide semiconductor industry, 1984-1991.** American journal of sociology, v. 102, n. 3, p. 659-689, 1996.

POMPERMAYER, Fabiano Mezadre; DE NEGRI, Fernanda; CAVALCANTE, Luiz Ricardo. **Inovação tecnológica no setor elétrico brasileiro: uma avaliação do programa de P&D regulado pela Aneel.** 2011.

RADCLIFFE-BROWN, Alfred Reginald. **On social structure.** The Journal of the Royal Anthropological Institute of Great Britain and Ireland, v. 70, n. 1, p. 1-12, 1940.

SILVEIRA, Aline Dario et al. **Análise do Sistema Nacional de Inovação no setor de energia na perspectiva das políticas públicas brasileiras.** Cadernos EBAPE. BR, v. 14, p. 506, 2016.

SUGAHARA, Cibele Roberta. **Redes sociais: um olhar sobre a dinâmica da informação na rede (APL) Arranjo Produtivo Local Têxtil, de Americana-São Paulo.** Revista Interamericana de Bibliotecología 34.2 (2011).

TOMAÉL, Maria Inês. **Redes de conhecimento: o compartilhamento da informação e do conhecimento em consórcio de exportação do setor moveleiro.** 2005.

VARELLA, Sergio, et al. **O Desenvolvimento da Teoria da Inovação Schumpeteriana.**

Bento Gonçalves, RS: XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2012.

VONORTAS, Nicholas S. **Social networks in R&D program evaluation**. The Journal of Technology Transfer, v. 38, n. 5, p. 577-606, 2013.

WASSERMAN, Stanley; FAUST, Katherine. **Social network analysis: Methods and applications**. Cambridge university press, 1994.

WATTS, Duncan J.; STROGATZ, Steven H. **Collective dynamics of 'small-world' networks**. Nature, v. 393, n. 6684, p. 440, 1998.

ZIVIANI, Fabricio; FERREIRA, Marta Araújo Tavares; NEVES, Jorge Tadeu Ramos. **Fontes de informação para inovação no setor elétrico brasileiro. Informação & Informação**, v. 20, n. 1, p. 162-182, 2015.