UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E CONTABILIDADE
DEPARTAMENTO DE ADMINISTRAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO

**Investimentos em P&D e o desempenho de distribuidoras de energia elétrica
no Brasil**

Wiliam de Oliveira Ribeiro
Orientador: Prof. Dr. Alceu Salles Camargo Júnior

São Paulo
2018

Prof. Dr. Vahan Agopyan
Reitor da Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Fábio Frezatti
Diretor da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade

Prof. Dr. Moacir de Miranda Oliveira Junior
Chefe do Departamento de Administração

Prof. Dr. Moacir de Miranda Oliveira Júnior
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Administração

WILIAM DE OLIVEIRA RIBEIRO

**Investimentos em P&D e o desempenho de distribuidoras de energia elétrica
no Brasil**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração do Departamento de Administração da Universidade de São Paulo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Alceu Salles Camargo Júnior

Versão Original

São Paulo

2018

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada por Martha Ribeiro Neves de Vasconcellos – CRB-8/5998
Seção de Processamento Técnico do SBD/FEA/USP

Ribeiro, Wiliam de Oliveira

Investimentos em P&D e o desempenho de distribuidoras de energia elétrica no Brasil / Wiliam de Oliveira Ribeiro. – São Paulo, 2018.
106 p.

Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, 2018.
Orientador: Alceu Salles Camargo Júnior

1. Inovação 2. Pesquisa e desenvolvimento 3. Desempenho 4. Setor elétrico I. Universidade de São Paulo. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade. II. Título.

CDD – 658.4

Nome: Ribeiro, Wiliam de Oliveira

Título: Investimentos em P&D e o desempenho de distribuidoras de energia elétrica no Brasil

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração do Departamento de Administração da Universidade de São Paulo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr.

Instituição _____ Assinatura: _____

Prof. Dr.

Instituição _____ Assinatura: _____

Prof. Dr.

Instituição _____ Assinatura: _____

Aos brilhantes profissionais do setor elétrico, que dedicam a vida à manter e operar
esse sistema tão importante em nosso dia a dia.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Alceu Camargo Salles Junior, pela confiança e oportunidade, e também pela paciência e dedicação.

Aos professores da FEA/USP, que inspiram excelência e admiração.

Aos professores das bancas que participei, da seleção à qualificação, por sua atenção e contribuição não apenas à esta pesquisa, mas principalmente à formação de uma pessoa melhor.

Aos meus colegas de jornada, com quem aprendo e me inspiro, pelo trabalho em equipe e apoio contínuo diante dos desafios do dia a dia.

Aos grandes profissionais com quem tive a honra e privilégio de interagir nesse período desafiador, especialmente parceiros e clientes que acreditaram em mim e me estimularam a seguir em frente.

Aos funcionários da biblioteca e da secretaria de pós graduação da FEA/USP, pelo importante apoio em nosso desenvolvimento e produção.

À minha esposa amada, o melhor presente que já recebi.

A Deus, por tudo acima e tantas outras graças.

*Scientific knowledge has no economic impact unless some effort is made to spread
it.*

Claudio Michelacci

RESUMO

A energia elétrica vem se tornando cada vez mais relevante à medida que a tecnologia avança e se consolida em nossa sociedade. A crescente demanda por eletricidade e as gerações tecnológicas emergentes, como a indústria 4.0 e as cidades inteligentes, demandam das distribuidoras de energia maior capacidade de suprimento e melhores condições de fornecimento. Para se manterem viáveis a longo prazo e competitivas neste dinâmico setor, as distribuidoras de energia precisam perceber e se adaptar a essas transformações, promovendo iniciativas inovadoras que contribuam para a melhoria em seu desempenho. Esta é uma das propostas do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) do setor elétrico brasileiro que, em linha com outras iniciativas globais de inovação, pretende aperfeiçoar os serviços do setor. Enquanto alguns estudos sugerem que os investimentos em P&D contribuem para o desempenho das distribuidoras, outros discordam afirmando que não há qualquer relação, e que tais investimentos são realizados apenas por motivações regulatórias. Diante disso, a presente pesquisa analisa o modo como os investimentos em P&D afetam o desempenho das distribuidoras de energia elétrica, aqui visto sob três perspectivas: 1) econômico-financeiro; 2) qualidade do serviço; e 3) perdas técnicas. Esta pesquisa emprega a técnica de análise de regressão múltipla com dados em painel de 59 distribuidoras brasileiras, no período entre 2011 e 2016, coletados junto a ANEEL. Os resultados indicam que os investimentos em P&D contribuem positiva e significativamente para o desempenho econômico-financeiro das distribuidoras. Similarmente, os resultados sugerem que as perdas de energia sofrem redução à medida que as distribuidoras investem em P&D. Nossas análises, contudo, não apresentam evidências suficientes de que os investimentos em P&D contribuem para o desempenho em qualidade do serviço prestado pelas distribuidoras.

Palavras-chave: Inovação. Pesquisa e desenvolvimento. Desempenho. Setor elétrico.

ABSTRACT

Electrical energy is becoming more relevant as technology advances and consolidates in our society. Growing demand for electricity and emerging technology generations, such as the 4.0 industry and smart cities, demand from energy distributors greater supply capacity and better supply conditions. To remain viable in the long-term and competitive in this dynamic sector, energy distributors need to perceive and adapt to these transformations, promoting innovative initiatives that contribute to the improvement of their performance. That is one of the Research and Development Program (R&D) of the Brazilian power sector proposals, which in line with other global innovation initiatives, intends to improve services in the sector. While some studies suggest that R&D investments contribute to the performance of distributors, others argue that there is no relationship and that such investments are made only for regulatory reasons. Therefore, this study examines how R&D investment affects the performance of electric power distributors, viewed here from three perspectives: 1) economic and financial, 2) quality of service, and 3) technical losses. This research uses the multiple regression analysis techniques with panel data from 59 Brazilian distributors, between 2011 and 2016, collected from ANEEL. Results indicate that investment in R&D contributes positively and significantly to the economic-financial performance of the distributors. Similarly, the results reveal that investment in R&D reduces energy losses. This research, however, does not provide sufficient evidence that R&D investment contributes to a better quality of services.

Keywords: Innovation. Research & Development. Performance. Power Sector.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação das hipóteses de pesquisa.....	47
Figura 2. Investimentos em P&D por ano.....	64
Figura 3. Investimentos em P&D por ano e região.....	64
Figura 4. Participação das regiões brasileiras nos investimentos em P&D.....	65
Figura 5. Investimento em P&D por região.....	66
Figura 6. Média EBITDA por região	67
Figura 7. Média DEC por região.....	68
Figura 8. Média IASC por região	69
Figura 9. Perdas de energia por região.....	70
Figura 10. Consumo e perda de energia por distribuidora	70
Figura 11. Receita de fornecimento	71
Figura 12. Receita x Investimentos em P&D.....	72
Figura 13. Empresas com maior volume investido em P&D.....	73
Figura 14. Empresas com maiores % de investimentos em P&D s/ Capital.....	74
Figura 15. Consumo e perda de energia na região Sudeste.....	75
Figura 16. EBITDA médio por região e empresa.....	76
Figura 17. Receita média no período, por distribuidora.....	77
Figura 18. As 10 empresas com maior volume financeiro investido em P&D	79
Figura 19. As 10 empresas com maior % de ROL investido em P&D.....	81
Figura 20. As 10 empresas com maior % de Capital investido em P&D	82
Figura 21. Descrição estatística das variáveis analisadas	83
Figura 22. Correlação entre as variáveis e sua significância	84
Figura 23. Resultados do Modelo de Regressão do EBITDA.....	86
Figura 24. Resultados dos Modelos de Regressão da DEC	88
Figura 25. Resultados dos Modelos de Regressão do IASC.....	89
Figura 26. Resultados dos Modelos de Regressão de PERDAS	91
Figura 27. Relação entre perdas e investimentos em P&D.....	92
Figura 28. Relação entre perdas e taxa de investimento em P&D sobre Capital.....	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Procedimentos iniciais de pesquisa.....	49
Tabela 2 – Variáveis sob análise.....	51
Tabela 3 – Consumo e perda de energia por região	71
Tabela 4 – Comparação entre CPFL PAULISTA, CEMIG e ELETROPAULO	77
Tabela 5 – As 10 empresas com maior volume financeiro investido em P&D*	78
Tabela 6 – As 10 empresas com maior % de ROL investido em P&D*	80
Tabela 7 – As 10 empresas com maior % de Capital investido em P&D*	82

LISTA DE SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BOVESPA	Bolsa de Valores de São Paulo
CAPEX	Capital expenditure
CD	Centro de distribuição
DEA	Data Envelopment Analysis
DEC	Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora
DIC	Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora
EBITDA	Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization
EDC	Energy Distribution Centers
EDD	Electricity Distribution Division
EDZ	Electricity Distribution Zones
EU	European Union
FAHP	Fuzzy Analytic Hierarchy Process
FNDCT	Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
IASC	Índice ANEEL de Satisfação do Consumidor
MQO	Mínimos Quadrados Ordinários
MWh	Megawatt-hora
OCR	Oil Circuit Recloser
OPEX	Operational Expenditure
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
P&D&I	Pesquisa e Desenvolvimento e Inovação
PIB	Produto Interno Bruto
POLS	Pooled ordinary least squares
QS	Qualidade do Serviço
R&D	Research & Development
RAC	Revista de Administração Contemporânea
RAE	Revista de Administração de Empresas
RAI	Revista de Administração e Inovação
RAM	Revista de Administração Mackenzie
RAUSP	Revista de Administração da Universidade de São Paulo
READ	Revista Eletrônica de Administração

REGE	Revista de Gestão
ROL	Receita Operacional Líquida
SET-Plan	Strategic Energy Technology Plan
SSI	Sistema Setorial de Inovação
TOPSIS	Technique for order performance by similarity to ideal solution
UN	Unit Networks
UPCL	Uttarakhand Power Corporation Limited
VC	Variável de controle
VIF	Variance Inflation Factor

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	19
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	25
2.1. Desempenho econômico-financeiro.....	25
2.2. Desempenho em qualidade do serviço	35
2.3. Desempenho considerando as perdas de energia.....	41
2.4. Síntese do referencial teórico	46
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	47
3.1. Modelo de pesquisa	47
3.2. Abordagem e método de pesquisa.....	48
3.3. Hipóteses, variáveis e operacionalização	49
3.3.1. Variáveis dependentes.....	51
3.3.2. Variável independente.....	54
3.3.3. Variáveis de controle	55
3.4. Amostragem, coleta e tratamento dos dados.....	56
3.5. Estrutura de dados em painel	57
3.6. Aspectos éticos da pesquisa	61
4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	63
4.1. Análise descritiva dos dados	63
4.1.1. Evolução dos investimentos em P&D.....	63
4.1.2. Evolução das variáveis dependentes da pesquisa (EBITDA, DEC, IASC e Perdas).....	66
4.1.3. Análises cruzadas entre as variáveis com ênfase nos investimentos em P&D	71
4.2. Modelos de regressão em painel.....	84
4.2.1. Modelos de Regressão em Painel para Desempenho Econômico.....	85
4.2.2. Modelos de Regressão em Painel para Desempenho em Qualidade	87
4.2.3. Modelos de Regressão em Painel para Desempenho em Perdas	90
5. CONCLUSÃO	95
5.1. Limitações de pesquisa.....	96
REFERÊNCIAS.....	97
APÊNDICE A – Temas para investimento em de P&D	105
APÊNDICE B – Benefícios esperados dos projetos de P&D	106

1. INTRODUÇÃO

Os avanços tecnológicos recentes e aqueles por vir vêm tornando a sociedade moderna cada vez mais dependente da energia elétrica. Cidades, organizações e residências não apenas aumentaram o consumo de energia nos últimos anos, mas também a sua demanda pela eletricidade. Essa demanda e valorização da energia elétrica vem pressionando ainda mais suas distribuidoras por um serviço com qualidade, segurança, eficiência, e a um custo que seja acessível a todos (modicidade tarifária), elementos rigorosamente controlados pelo regulador do setor. O emergir de novas tecnologias, como cidades, indústria e redes inteligentes (*smart cities, smart manufacturing & smart grid*), também demandam um sistema elétrico cada vez mais eficiente e inovador, condição para que essas tecnologias se desenvolvam e se estabeleçam na sociedade moderna.

Identificar e se adaptar a esses avanços e transformações torna-se fundamental para a viabilidade e sustentabilidade das distribuidoras, considerando que a sua sobrevivência está associada ao atendimento das expectativas impostas pelo regulador, em favor da sociedade. Essas expectativas, que integram o contrato de concessão de toda distribuidora de energia elétrica e condicionam a sua continuidade às regras de tarifa, segurança, atualidade e qualidade, dentre outras, incluem o investimento em pesquisa e desenvolvimento tecnológico, reconhecendo o regulador ser este o caminho para a eficiência do setor elétrico.

Perceber as transformações tecnológicas e sociais, e compreender as suas implicações para as organizações, é essencial para se projetar as novas rotas de desenvolvimento e orientar os esforços em melhoria no desempenho e competitividade. Os esforços em pesquisa e desenvolvimento (P&D) criam nas empresas essa capacidade de identificar, assimilar e se beneficiar do conhecimento externo existente, formar bases para desenvolvimento de novas pesquisas aplicadas (desenvolvimento) e criar conhecimentos (Cohen & Levinthal, 1989). Esses esforços ainda contribuem para que empresas utilizem informação disponível em seu ambiente externo e desenvolvam competências técnicas internas (*in-house*) para se manterem

informadas dos últimos desenvolvimentos, e facilitar a absorção das novas tecnologias produzidas (Cohen & Levinthal, 1989).

Os investimentos em P&D impulsionam o crescimento socioeconômico e ganhos no consumo (Jones & Williams, 1998). Na China, por exemplo, Jefferson et al. (2006) identificaram retornos significativos sobre investimentos em P&D após analisarem quase vinte e cinco mil empresas, e indicaram que o desempenho econômico do País no longo prazo dependerá da sua habilidade para inovar, adquirir, disseminar novas tecnologias e contribuir para o estoque mundial de conhecimento industrial. Apontaram, ainda, chances dos investimentos em P&D proporcionarem retornos maiores do que aqueles sobre o capital (Jefferson et al., 2006).

Na Europa, Wiesenthal et al. (2012) destacam o compromisso da União Europeia (EU) com a redução de emissões dos gases de efeito estufa, e analisam os impactos que os investimentos em P&D, associados a tecnologias de baixo nível de carbono, exercem sobre essas emissões, concluindo que o aumento nos esforços de pesquisa pode reduzir entre 4% e 13% o custo de investimento nessas tecnologias. Wiesenthal et al. (2012) ressaltam, ainda, que a EU estima volume adicional em P&D para financiar a implementação de seu Plano Estratégico de Tecnologia e Energia Europeu (SET-Plan).

A Coréia do Sul também tem planos de aumentar seus investimentos em P&D motivada pelo compromisso com a energia limpa. O estudo de Choi et al. (2017) deixa isso claro, e aponta que investimentos em P&D para 11 tecnologias poderão, até 2050, economizar 11,7% em energia primária e 13,7% em consumo final, e ainda, aumentar a proporção de geração de energias renováveis para 19,4%, um acréscimo de 16,4% se comparado a 2011. Choi et al. (2017) também esperam uma queda entre 30% e 40% na emissão de CO₂. Esse e os demais estudos acima demonstram uma grande expectativa sobre as contribuições dos investimentos em P&D ao setor energético global.

No setor elétrico brasileiro, embora o incentivo a inovação já existisse nos contratos de concessão das distribuidoras, somente no ano 2000, após a promulgação da Lei nº 9.991/2000, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) instituiu formalmente

um programa de P&D para promover a cultura da inovação. A citada lei trata de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte dos agentes do setor elétrico, obrigando-os a aplicarem anualmente um mínimo de setenta e cinco centésimos por cento de sua receita operacional líquida em P&D do setor elétrico. Em 2004 essa lei foi atualizada com a indicação da destinação desses investimentos, distribuindo a sua aplicação em três partes:

- 40% para o Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - FNDCT;
- 40% para projetos de P&D, conforme regulamentos definidos pela ANEEL;
- 20% para o Ministério de Minas e Energia, para custeio de estudos e pesquisas.

Em 2015 uma nova atualização dessa lei foi feita, prevendo que os programas e projetos de inovação do setor elétrico priorizem a obtenção de resultados de aplicação prática, com foco na criação e aperfeiçoamento de produtos, processos, metodologias e técnicas.

O programa de P&D da ANEEL foi instituído para orientar a adequada alocação de recursos humanos e financeiros “em projetos que demonstrem originalidade, aplicabilidade, relevância e a viabilidade econômica de produtos e serviços, nos processos e usos finais de energia” (ANEEL, 2018a). Para isso, a Agência publicou um Manual de P&D (ANEEL, 2018b) determinando as regras para o reconhecimento dos 40% em investimentos destinados a projetos de P&D, como mencionados acima. Desde quando fora fundado, o programa enfatiza diferentes linhas de pesquisa para investimento, variando com a publicação de cada manual de P&D. Os temas propostos e suas variações ao longo do tempo podem ser consultados no apêndice A. De modo resumido, o programa prioriza, mas não se limita, aos seguintes assuntos (ANEEL, 2018a):

- Melhora em desempenho/eficiência
- Melhora econômico-financeira de tecnologias, produtos ou serviços eficientes
- Redução de custos
- Redução de impactos ambientais

- Redução no consumo das fontes de energia e dos sistemas/ equipamentos finais
- Auxílio no planejamento e operação de sistemas elétricos
- Auxílio na proteção, supervisão e controle do sistema
- Auxílio na inspeção e manutenção de redes elétricas
- Aumento da capacidade de transporte e confiabilidade do sistema elétrico
- Gestão de riscos para os consumidores finais e equipes de manutenção
- Inserção competitiva de fontes alternativas no mercado aberto

Embora o regulador não se restrinja exclusivamente aos temas acima, observamos que o desempenho operacional e econômico-financeiro é um dos resultados mais enfatizados nas linhas propostas pelos programas de P&D. Então, podemos refletir que, de modo geral, o resultado esperado desses investimentos em P&D melhorem o desempenho e a qualidade do serviço prestado pelos agentes do setor elétrico. Esses e outros benefícios esperados pelos programas de P&D da ANEEL podem ser consultados no apêndice B.

Não obstante os manuais de P&D da ANEEL e outros estudos enfatizem os investimentos em P&D como obrigação regulatória (Pinto & Maisonnave, 2012; Pfitzner, Salles-Filho & Brittes, 2014; Zorzo et al., 2017), as linhas de pesquisa indicadas nos manuais sugerem uma expectativa do setor elétrico em relação aos efeitos desses investimentos sobre o desempenho. Essa relação é discutida também no estudo de Pfitzner, Salles-Filho & Brittes (2014), em que os autores, a despeito da obrigatoriedade legal de investir, destacam motivadores socioeconômicos para tais investimentos, como o aumento da eficiência operacional, redução de tarifas e a possibilidade de ganhos com *royalties* pela comercialização de tecnologias desenvolvidas no contexto do programa de P&D do setor.

Diante do exposto, esta pesquisa pretende estudar a relação entre investimentos em P&D e desempenho, analisando dados das distribuidoras brasileiras de energia elétrica, no intuito de responder a seguinte questão: *Como os investimentos em P&D afetam o desempenho das distribuidoras brasileiras de energia elétrica?* O setor elétrico foi escolhido por sua relevância socioeconômica para o País e para a

sociedade, e por ser um dos setores que incentiva o investimento em inovação, mantendo regularmente atividades associadas a P&D desde os anos 2000. Outra vantagem desse setor, como campo de pesquisa, é a transparência e disponibilidade de dados, que contribui para enriquecer as análises aqui realizadas.

Em nossa análise, adotamos quatro modelos de regressão múltipla em painel, utilizando dados de 59 distribuidoras, no período entre 2011 e 2016. Para cada modelo, adotamos uma variável dependente que expressa uma medida de desempenho: 1) EBITDA (*Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization*), medida em R\$; 2) DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora), medida em horas; 3) IASC (Índice ANEEL de Satisfação do Consumidor), medida em uma escala de 0 a 100; e 4) Perdas, medida em *watt* (potência elétrica). Incluímos outras três variáveis regressoras: 1) Extensão da rede elétrica, em km; 2) Energia consumida, em *watt*; e 3) Investimentos em P&D, em R\$. As duas primeiras foram empregadas como variáveis de controle, e a última como variável independente.

Os dados analisados foram obtidos junto à ANEEL, através das páginas de seu site eletrônico, com exceção da extensão da rede, que obtivemos diretamente da Agência, via correio eletrônico. Embora nossa pesquisa histórica e coleta dos dados incluíssem todas as distribuidoras do setor elétrico brasileiro, não identificamos a disponibilidade de todos os dados para todas as variáveis, empresas e períodos de nossa análise, o que restringiu a nossa amostra a 59 empresas entre 2011 e 2016.

O resultado de nossas regressões revela que os investimentos em P&D contribuem para a redução das perdas técnicas, e influenciam os resultados econômicos das distribuidoras de energia, mas não exercem efeitos sobre a qualidade do serviço. Essa conclusão reforça a importância desses investimentos no desempenho econômico e operacional das distribuidoras, mas levanta dúvidas sobre a inclusão e priorização do tema qualidade nos projetos de P&D das distribuidoras, no período de análise.

Com o nosso estudo, esperamos contribuir com a literatura posicionando o investimento em P&D como um dos elementos que influenciam o desempenho das distribuidoras, relação ainda pouco explorada em nosso campo de pesquisa.

Gerencialmente, nossa pesquisa contribui como um direcionador na alocação de recursos para a inovação, sugerindo áreas em que os investimentos contribuem e outras que não contribuem, e provocando uma reflexão sobre o quão efetivo os esforços em P&D têm sido diante do desempenho das distribuidoras. Também buscamos trazer uma nova perspectiva sobre os investimentos em P&D, que outrora era visto apenas como um dever regulatório das distribuidoras (Pfitzner, Salles-Filho & Brittes, 2014; Zorzo et al., 2017), demonstrando o potencial desses investimentos para a melhoria do desempenho das distribuidoras de energia elétrica.

Conhecer as áreas que se beneficiam e outras que ainda não se beneficiam dos investimentos em P&D ajuda a orientar investimentos futuros em inovação, direcionando recursos para reforçar áreas com as quais os esforços em P&D já contribuem, e desenvolver outras que são relevantes para o setor e necessitam de maior atenção para se desenvolverem. A partir desse conhecimento, as distribuidoras podem intensificar seus esforços na redução de perdas e incremento da eficiência, mas também rever as tratativas dadas ao tema qualidade, pelos projetos de P&D. Como resultado, as iniciativas de inovação das distribuidoras podem manter a redução das perdas, melhorar a eficiência e contribuir para a reduzir as tarifas ao consumidor final. Tais avanços também podem contribuir para o desenvolvimento e implementação das tecnologias emergentes, como *smart grids* e indústria 4.0. Essa, em nossa percepção, é a principal contribuição para a sociedade.

Esta pesquisa prossegue organizada da seguinte forma: na seção 2 apresentamos o levantamento teórico realizado para identificar as principais variáveis associadas ao desempenho das distribuidoras, e o modo como se relacionam com os investimentos em P&D. Usamos esse referencial para construir nossas hipóteses de pesquisa. A seção 3 descreve o desenho da pesquisa e os procedimentos metodológicos adotados para a coleta, tratamento e análise dos dados. Na seção 4, apresentamos as análises descritivas dos dados e os resultados dos modelos de regressão em painel, e finalmente, na seção 5 registramos as conclusões e limitações desta pesquisa, sugerindo alguns pontos de observação para estudos futuros.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção apresenta o referencial teórico relacionado à temática e questão desta pesquisa e, assim, aponta as principais discussões encontradas na literatura associadas ao objeto e questão investigados, ao mesmo tempo em que indica a fundamentação teórica para o desenvolvimento das hipóteses de pesquisa acerca da importância dos investimentos em P&D, por parte das distribuidoras de energia elétrica, sobre seu desempenho empresarial.

Este referencial resultou de um levantamento da literatura, para o qual adotamos como fontes de pesquisa a base *Scopus*, selecionada por sua popularidade e abrangência internacionais, e revistas nacionais, como a RAUSP, RAE, RAI, RAC, READ, RAM e REGE. Nossa busca se concentrou na combinação do seguinte conjunto de palavras: “*electricity distribution*”, “*power sector*”, “*efficiency*”, “*performance*”, “*innovation*”, “*research & development*”, “*R&D*”, “*P&D*”, “*resultados*” e “*desempenho*” (financeiro e econômico).

De nosso levantamento, identificamos um conjunto de estudos que analisam e discutem o desempenho das distribuidoras de energia elétrica sob diferentes perspectivas. Por esse motivo, organizamos o referencial em três subseções, conforme as diferentes perspectivas sobre desempenho: 1) desempenho econômico-financeiro; 2) desempenho em qualidade do serviço; e 3) desempenho considerando as perdas de energia.

2.1. Desempenho econômico-financeiro

Um dos elementos mais avaliados nos estudos sobre desempenho é o custo operacional (*OPEX*). Souza et al. (2010) adotaram essa variável em suas análises como um insumo necessário para as distribuidoras entregarem a energia elétrica na quantidade necessária (MWh), para o total de consumidores devidos, e ao longo da extensão de sua rede elétrica (km). A principal discussão de sua pesquisa está na forma que o regulador revisa as tarifas praticadas pelo setor, propondo a integração

de diferentes métodos para avaliar o desempenho das distribuidoras, baseados no *OPEX*.

Tendo em mente que as receitas de vendas das distribuidoras são limitadas pelo regulador (*price cap*), e que apenas parte de seus custos podem ser repassados para a tarifa cobrada do consumidor, Souza et al. (2010) destacam que um serviço prestado com custos reduzidos gera ganhos para as distribuidoras, que se beneficiam financeiramente desse resultado. Os autores adotaram seis modelos, através dos quais analisaram dados de 2001, de 40 distribuidoras, e concluíram que a grande maioria delas se mantém ineficiente sob a ótica do custo operacional. Dos seis modelos utilizados, a AES-SUL e a CELPE foram as empresas que mais se destacaram, atingindo o nível eficiente de custos em quatro modelos.

Custos operacionais e de manutenção também foram incluídos na análise de desempenho de Yadav et al. (2010), na comparação de 29 divisões de distribuição de energia elétrica (EDD, em inglês) da Índia, entre 2007 e 2008. A ênfase de sua análise, orientada à otimização dos insumos, destaca os custos operacionais e de manutenção como um elemento a ser reduzido para maximizar os resultados associados à prestação dos serviços das distribuidoras. Uma das sugestões dos autores para melhorar o desempenho das distribuidoras envolve aumentar a escala operacional, unificando EDDs ineficientes, medida que pode contribuir para otimizar seus custos e aprimorar seu desempenho.

Comparando as mesmas empresas e período de 2010, o estudo de Yadav et al. (2011) reforçou a conclusão de que há muito espaço para melhorias na Índia, apontando um potencial de economia anual de 1.567 milhões Rúpias Indianas (~US\$ 25.000), em mão de obra e custos operacionais. Tal economia pode gerar caixa adicional para melhora e extensão do serviço a outros potenciais consumidores. Ressaltam, ainda, que melhorias no desempenho podem ser alcançadas por meio dos incentivos e políticas adequados, e pelo estímulo à competitividade.

Depois de indicar que uma reorganização das divisões de distribuição de eletricidade (EDD, em inglês) poderia contribuir para melhoras no desempenho (Yadav et al., 2010), um novo estudo de Yadav et al. (2014) analisa essas EDDs no contexto do

processo de reestruturação, realizada pela empresa pública indiana *Uttarakhand Power Corporation Limited* (UPCL). A reestruturação consistiu na divisão das EDDs em porções menores, e teve como objetivo melhorar o seu desempenho e preservar sua competitividade diante das reformas do setor elétrico indiano e de sua abertura para novos participantes. A comparação foi feita com dados do período entre 2005 e 2008, adotando variáveis muito comuns nas avaliações de desempenho desse setor, incluindo os custos de operação e manutenção, inspirados pelo estudo de Miliotis (1992). Yadav et al. (2014) defendem que os custos operacionais e de manutenção representam um dos mais importantes insumos para manter as EDDs nos limites de seu orçamento.

Após analisarem os dados, Yadav et al. (2014) observaram uma redução no desempenho das EDDs, e revelam que a reestruturação não contribuiu para a melhora nesse resultado. Ao contrário, constataram um colapso do nível médio de desempenho no período analisado. Para os autores, um motivo para esse resultado seria um processo irracional de reestruturação dessas divisões. Yadav et al. (2014) não esclareceram se as variáveis utilizadas são suficientes para determinar a relação entre a redução da eficiência e o processo de reestruturação. Estabelecer essa relação ajudaria a esclarecer de fato quais foram as causas reais da piora no desempenho.

De modo similar ao trabalho de Souza et al. (2010), os estudos de Pereira de Souza et al. (2010) e Pereira de Souza et al. (2014) compararam 60 distribuidoras brasileiras, com o objetivo de avaliar o desempenho dos custos operacionais em função da energia fornecida (em MWh), número de unidades consumidoras e da extensão da rede (em km). Nessas avaliações, os trabalhos criticam o modelo de comparação adotado pelo regulador do setor elétrico brasileiro. Seus argumentos e análises enfatizam os possíveis vieses metodológicos, introduzidos pela presença de valores discrepantes (*outliers*) nos dados analisados, ou pela ausência de adequada ponderação dos fatores analisados, e empregam técnicas complementares na tentativa de reduzir esses problemas.

Outra proposta de avaliação de desempenho, alternativa ao modelo adotado pelo regulador, é feita por Leme et al. (2014), com o objetivo de ajudar a analisar o impacto

ambiental sobre o desempenho das distribuidoras. Defendem os autores que sua proposta permite ao regulador construir modelos semi-paramétricos de dois estágios mais apropriados para uma análise comparativa das distribuidoras de energia elétrica. Seu estudo também emprega a variável gastos operacionais (*OPEX*) como um recurso das distribuidoras para atender a demanda por energia, em quantidade (MWh), em número de consumidores e em manutenção da extensão da rede (em km). Leme et al. (2014) também incluem na análise algumas variáveis ambientais, como média salarial, índices de precipitação, índice de complexidade e densidade de consumidores, acreditando que estas impactam diretamente no desempenho das distribuidoras.

Todas as variáveis ambientais destacada acima estão, segundo Leme et al. (2014), associadas aos custos operacionais e de manutenção. Médias salariais distingue o perfil de cada região brasileira, que afeta o custo com mão de obra. Precipitações provocam aumento no número de interrupções e, conseqüentemente, aumento nos custos de operação e manutenção. O índice de complexidade expressa o grau de dificuldade das distribuidoras em combater perdas não técnicas, como o furto de energia, e indica que distribuidoras com áreas maiores terão mais dificuldade para combater perdas, e maiores custos também. Referente a densidade, quanto mais dispersos estão os consumidores, maiores os custos com atendimento, possivelmente devido à distância e o tempo para deslocamento das equipes da distribuidora até os locais de atendimento.

Com o uso das variáveis ambientais, Leme et al. (2014) comparam o modelo de avaliação de desempenho do regulador brasileiro com um modelo simulado, proposto pelos autores. Essa comparação os leva a concluir que as variáveis ambientais impactam linearmente e não linearmente o desempenho das distribuidoras, sugerindo que a sua proposta pode ser útil para evitar mal especificação de modelos de análise de desempenho.

O modelo de avaliação do regulador no Nepal também é criticado no estudo de Jha et al. (2011) por analisar o desempenho a partir de um único fator, como por exemplo, a redução de perdas ou tempo médio de conexão. Os autores propõem, então, uma

abordagem que integra, de forma ponderada, diferentes variáveis que afetam o desempenho, dentre as quais estão os custos anuais de operação e manutenção.

Depois de compararem 57 centros de distribuição (CD) entre 2004 e 2005, Jha et al. (2011) concluem que o desempenho das distribuidoras varia em função do modelo de análise adotado, e que em ambos os casos há oportunidades para melhora no desempenho. Complementarmente, os autores analisaram as forças e fraquezas dos CDs avaliados, com a intenção de determinar alternativas para melhora no desempenho. Com base nessa análise, os autores sugerem que a maior fraqueza de alguns CDs é o alto custo operacional e com manutenção, e indicam uma reorganização dos CDs como alternativa para melhorar o desempenho, com um potencial de melhora estimado em pouco mais de 7% (similar a recomendação de Yadav et al., 2010).

Com uma abordagem um pouco diferente, Amado et al. (2013) comparam o desempenho de 79 linhas aéreas de média tensão em uma das áreas de distribuição de energia, em Portugal. Embora a ênfase no estudo de Amado et al. (2013) esteja concentrada em quanto as medidas gerenciais, como uma política de manutenção, afetam o desempenho, sua análise emprega um modelo quantitativo que inclui variáveis relacionadas aos resultados esperados pela distribuidora, dentre as quais encontram-se os custos totais de manutenção. Essa e outras variáveis foram incluídas com a participação de tomadores de decisão da distribuidora EDP, em Portugal. A conclusão dos autores sugere que a política de manutenção adotada pela empresa avaliada não impacta significativamente o desempenho das linhas, mas a adoção de determinada tecnologia ajuda a minimizar os efeitos das interrupções, o que contribui para melhorias na qualidade do serviço. A adesão a tal tecnologia pode implicar também um esforço menor para manter os padrões de qualidade, o que converge para a minimização dos custos de manutenção.

Outra medida empregada nas avaliações de desempenho refere-se aos investimentos realizados pelas empresas de energia. Quando analisou e comparou as métricas de desempenho de 12 distribuidoras públicas inglesas, Weyman-Jones (1991) também empregou variáveis que representassem o capital investido. Esse estudo adotou dois modelos: um assumindo o capital como valor monetário dos ativos em cada área de

operação, e outro considerando medidas físicas da extensão (em km) dos ativos elétricos em cada região, traduzindo o capital investido em circuitos por km. Essas alternativas foram necessárias para lidar com as dificuldades associadas a assertividade e atualidade dos dados na época do estudo.

A constatação de Weyman-Jones (1991) revelou um grupo de 8 empresas eficientes no primeiro modelo, e 5 empresas no segundo. Isso indica que o uso de valores monetários pode reduzir a capacidade discriminatória da técnica de análise adotada pelo autor (*Data Envelopment Analysis – DEA*). O estudo ainda sugere que o desempenho pode variar de acordo com a classe de consumo que as distribuidoras atendem (doméstico, comercial, industrial), em função de pressões regulatórias. Cita, como exemplo, que o mercado doméstico é mais regulado do que os demais mercados.

Para analisar e comparar o desempenho de 14 distribuidoras e sua variação em função da reforma no setor elétrico no Peru, Pérez-Reyes e Tovar (2010) analisaram dados de 1996 a 2006, adaptando o modelo proposto Battese e Coelli (1995) para o uso de uma função de distância. Nesse modelo, Pérez-Reyes e Tovar (2010) incluíram o valor monetário do capital (imobilizado) e investimento por consumidor, justificando a primeira como uma '*proxy*' da infraestrutura necessária para distribuir energia (informação disponível apenas para alguns anos no Peru), e a segunda por indicar a necessidade de investimento em certas regiões, já que essa necessidade é menor em áreas com maior densidade, como as zonas urbanas, e maior em regiões menos densas, como as zonas rurais.

O estudo de Pérez-Reyes e Tovar (2010) concluiu que acréscimos no investimento por consumidor reduz a eficiência relativa. Altos investimentos feitos em áreas de baixa densidade não permite a distribuidora obter as vantagens de uma economia de escala, como em áreas de alta densidade. Os autores também concluíram que, no Peru, o período avaliado reflete melhora no desempenho das distribuidoras dado o processo de reforma do setor elétrico. O desempenho das empresas avaliadas melhorou durante o período analisado e a média estimada do setor elétrico nesse período é de 92,01%, com 9 das 14 distribuidoras acima desta média.

O capital investido na distribuição de energia elétrica é representado por Moya et al. (2010) pelas variáveis capacidade dos transformadores (em kW) e extensão da rede (em km). Também adotam como variável ambiental a densidade dos consumidores, que expressa a quantidade de consumidores por transformador, indicando o volume de capital necessário por cliente. Essa variável, segundo os autores, pode indicar um desempenho melhor. Isso porque onde ocorre um consumo maior por transformador exige-se um investimento menor, e ainda, um esforço (custo) menor em manutenção e operação, fato que beneficia as distribuidoras.

O estudo de Xavier et al. (2015) também utiliza a extensão da rede e a capacidade dos transformadores como '*proxies*' do capital investido pelas distribuidoras. Os autores propõem uma alternativa ao modelo brasileiro de avaliação de desempenho e sugerem que há uma relação de equilíbrio entre gestão, qualidade, ambiente e custos. Também destacam que a regulação de taxa de retorno sobre ativos é um problema porque estimula as distribuidoras ao excesso de capital para obter maior remuneração, e isso pode gerar aumento nas tarifas ao consumidor.

Em sua investigação, Xavier et al. (2015) avaliaram 712 conjuntos elétricos, operados por 10 distribuidoras brasileiras de energia elétrica, entre 2006 e 2007. Os autores adotaram duas variáveis para representar o investimento em capital: extensão da rede e capacidade dos transformadores, similar ao estudo de Moya et al. (2010). Uma de suas conclusões é que a redução por capital na busca por eficiência pode comprometer a qualidade do serviço prestado pelas distribuidoras. Com isso, os autores sugerem que existe uma relação de equilíbrio (*trade-off*) entre mão de obra, capital e qualidade do serviço, importante para avaliação e comparação de desempenho.

Investimentos em inovação também têm a sua relação com o desempenho analisada na literatura. Esses investimentos, diferentemente daqueles realizados em capital físico, variam em função das receitas e das demandas por inovação, e podem afetar não só o desempenho das distribuidoras, mas também o seu valor como empresa. Isso porque, no Brasil, quando distribuidoras investem em inovação, geralmente buscam melhorias em eficiência, segurança e qualidade, em linha com as diretrizes do agente regulador. Investimentos que proporcionam um desempenho melhor geram

redução de custos de operação e manutenção, e como descrito por Souza et al. (2010), as distribuidoras se apropriam desse ganho.

A relevância dos investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D) na determinação do valor de mercado das distribuidoras de energia elétrica foi investigada por Alves et al. (2011). Naturalmente, a amostra analisada restringiu-se ao conjunto de empresas pertencentes ao setor elétrico e àquelas listadas na bolsa de valores de São Paulo (BOVESPA), resultando em 9 distribuidoras. Os autores analisaram um período de oito anos, entre 2002 e 2009, começando desde os primeiros registros de investimento em P&D no setor elétrico, decorrentes da obrigação regulatória (lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000). O uso da regressão com dados em painel permitiu os autores analisarem um conjunto de dados com 72 observações.

Além dos valores investidos em P&D, Alves et al. (2011) utilizaram valor de mercado das ações das empresas listadas, número de ações negociadas por empresa, patrimônio líquido e lucro líquido como variáveis de estudo. Após as análises, os autores notaram que os investimentos em P&D são relevantes na determinação do valor de mercado apenas quando analisados individualmente, mas não se mantêm relevantes quando analisados em conjunto com outras variáveis, como o patrimônio líquido ou lucro líquido. Para Alves et al. (2011), duas características do setor elétrico podem ter influenciado: 1) o fato do setor ser considerado de baixa intensidade tecnológica; e 2) a percepção dos investimentos em P&D apenas como uma obrigação regulatória, tornando tal investimento uma variável pouco discriminatória entre as distribuidoras avaliadas e, portanto, reduzindo a importância dessa variável na análise.

Mais recentemente, Zorzo et al. (2017) estudaram a correlação entre inovação e a eficiência econômica relativa. A intenção do estudo era descobrir se a eficiência econômica das empresas estudadas está relacionada ao seu foco em inovação. Assim como Alves et al. (2011), Zorzo et al. (2017) escolheram empresas distribuidoras de energia elétrica listadas na BOVESPA, obtendo uma amostra de vinte distribuidoras, com dados analisados no período entre 2010 e 2013.

Na análise de Zorzo et al. (2017), a variável que representa a eficiência econômica foi construída pela combinação de quatro outras variáveis: 1) ativo total; 2) custos operacionais; 3) despesas operacionais; e 4) receita líquida. A variável que expressa o foco em inovação resulta da análise do conteúdo dos relatórios divulgados pelas distribuidoras da amostra. Essa análise foi orientada por perguntas extraídas da literatura, cujas respostas refletem o grau de inovação de cada empresa, conforme uma escala numérica.

Obtidos os resultados das variáveis de interesse, Zorzo et al. (2017) constataram um baixo nível de correlação entre ambas. Respeitando o conceito de foco em inovação e eficiência econômica atribuídos no estudo, esse resultado indica que a eficiência econômica não está associada ao foco das distribuidoras às suas ações de inovação. Os autores comentam que esse resultado reforça o que outros autores já constataram a respeito da obrigatoriedade de investir. Tal comentário é justificado por Zorzo et al. (2017) pela identificação de apenas uma empresa, entre as vinte, fazer a menção adequada do termo “inovação” em seus relatórios da administração. Isso levou os autores a entenderem que as demais empresas que não expõem adequadamente suas iniciativas de inovação em seus relatórios encaram o investimento como uma exigência regulatória, o que na prática pode não ser verdadeiro.

Ainda de acordo com Zorzo et al. (2017), o baixo volume de relatórios que caracterizam inovação, publicados pelas distribuidoras estudadas, também pode ter contribuído para um nível baixo de correlação entre as variáveis. Esse é um dos possíveis vieses dessa análise, já que uma das principais variáveis de interesse dependia da disponibilidade dessas informações, além variar em função do volume, frequência e conteúdo das publicações realizadas pelas distribuidoras, no período analisado. É interessante considerar também que o campo de pesquisa de Zorzo et al. (2017) envolve um setor regulado, cujas prioridades incluem segurança, qualidade e desempenho, mesmo no contexto da inovação. Evidentemente, essa característica não requer ou implica, necessariamente, um número maior de relatórios publicados com ênfase em inovação.

O estudo de Oliveira et al. (2015), embora transcenda o setor elétrico, complementa as discussões acima, referentes a relação entre investimentos em inovação e

desempenho. Sob a ótica macroeconômica, Oliveira et al. (2015) analisam os impactos dos investimentos em P&D sobre o Produto Interno Bruto (PIB) e sobre os pedidos de patentes do País. Com o auxílio de sete modelos econométricos, os autores analisaram as variáveis PIB nacional, investimentos em P&D e total de pedidos de patentes no período entre 2000 e 2012.

As análises de Oliveira et al. (2015) demonstram relação positiva em todos os modelos utilizados, com variação apenas em seus níveis de significância (valor-p). Destaque para os modelos 1 e 2 que, respectivamente, adotam como variável dependente o PIB nacional e a proporção entre investimento em P&D e PIB Nacional, ambas explicadas pela variável independente investimento em P&D. Esses resultados confirmam a hipótese inicial dos autores sobre a relevância dos investimentos em P&D para o crescimento do PIB e aumento no volume de patentes. Na perspectiva estatal, os autores acrescentam que o Estado pode intervir no processo de inovação para corrigir falhas de mercado, assumindo que este último não é capaz de fazê-lo por si, e declaram que tal intervenção, refletida em políticas de ciência e tecnologia, afetam positivamente no crescimento do PIB e no registro de patentes. Oliveira et al. (2015) reforçam, ainda, seus resultados, citando outros estudos que, ao longo dos anos 90 e 2000, confirmam a relação positiva dos investimentos em P&D sobre o crescimento e desenvolvimento tecnológico de um país.

Adicionalmente, Oliveira et al. (2015) propõem a continuidade do estudo sobre os investimentos em P&D, argumentando que tais gastos possuem “comportamento aleatório e variam conforme as mudanças no mundo e nas políticas públicas”. Também sugerem análises de investimentos em P&D sob uma lente microeconômica, em nível de firma, e ainda, os impactos desses investimentos por setores, fatores limitadores de sua pesquisa. Essa é uma das propostas da presente pesquisa.

A literatura discutida acima fornece um panorama geral dos estudos que envolvem o desempenho das distribuidoras de energia elétrica, e revela a importância das variáveis custo e investimento na determinação desse desempenho. Observamos também que o regulador do setor elétrico incentiva o investimento em P&D, enfatizando melhorias no desempenho das distribuidoras. O estímulo para investir em inovação que melhore o desempenho contribui para as distribuidoras obterem ganhos

de produtividade, que podem ser revertidos em lucro. Deste modo, acreditamos que os investimentos em inovação contribuam para a determinação das medidas econômicas de desempenho das distribuidoras. Com base nisso, estabelecemos nossa primeira hipótese de estudo.

Hipótese 1: Investimentos em P&D por parte de uma distribuidora de energia contribuem para um melhor resultado econômico da mesma.

2.2. Desempenho em qualidade do serviço

No setor elétrico, de modo geral, a qualidade do serviço é medida pela continuidade e estabilidade no fornecimento da energia elétrica (Amado et al., 2013). Alguns estudos percebem a qualidade também pela ótica de perdas (técnicas e não técnicas), e há aqueles que combinam uma série de indicadores para expressar o que é qualidade do serviço. Na pesquisa de Yadav et al. (2010), a qualidade é vista como a duração média de interrupção, variável analisada em conjunto com outros elementos. Nessa análise, os autores adotam como visão de desempenho para as distribuidoras, o atendimento de seu mercado, com a infraestrutura de que dispõe, e a uma determinada duração média de interrupção. Nesse caso, o mercado das distribuidoras é representado pelas variáveis número de consumidores e energia vendida; sua infraestrutura pela extensão de suas linhas de distribuição e capacidade de seus transformadores; e a duração média de interrupção reflete a medida de qualidade do serviço, vista pelos autores como uma variável importante e controlável.

Já no início de suas análises, Yadav et al. (2010) constatam que mais da metade da variação nos custos operacionais e de manutenção e no número de empregados ocorre em função de cinco variáveis preditoras, dentre essas, a duração das interrupções. Outras que também afetam essa variação são: energia vendida, número de consumidores, extensão da rede de distribuição e capacidade dos transformadores.

Além de aplicarem duas técnicas complementares, Yadav et al. (2010) analisaram o desempenho de Divisões de Distribuição de Eletricidade (EDD) em duas condições

ambientais diferentes: 1) em regiões montanhosas; e 2) em regiões planas. De modo geral, as EDDs presentes em regiões planas tiveram melhor desempenho em comparação àquelas em regiões montanhosas. Quando analisadas separadamente (*cluster analysis*), os autores confirmam o desempenho eficientes das mesmas empresas em áreas planas (oito empresas) e notam que dez empresas localizadas em áreas montanhosas têm um desempenho melhor, se comparadas com outras em condições semelhantes.

Os resultados de Yadav et al. (2010) indicam que as condições de relevo podem afetar o desempenho, assemelhando-se a constatação de Pérez-Reyes e Tovar (2010), de que áreas com menor densidade de consumidores (similar a regiões montanhosas) implicam em maior custo e menores ganhos para as distribuidoras. Tais condições também podem afetar a qualidade do serviço, como vimos no estudo de Leme et al. (2014), que emprega variáveis ambientais em sua análise argumentando que variações nas precipitações provocam aumento no número de interrupções, e a complexidade da região também afeta a capacidade das distribuidoras combaterem perdas, e esses fatores acabam refletidos nos seus custos de operação e manutenção.

No estudo seguinte, Yadav et al. (2011) enfatizam aspectos mais técnicos do desempenho das distribuidoras, associados a redução de custo e sugerindo o uso de sistemas de operação e auditoria, mas novamente incluem a variável duração de interrupção em suas avaliações. Semelhante à sua pesquisa de 2010, os autores identificaram apenas oito empresas com desempenho eficiente.

A qualidade do serviço é amplamente discutida por Çelen, e Yalçin (2012), que propõem a sua inclusão nas avaliações de desempenho. Por causa das diferentes perspectivas sobre o conceito de qualidade no setor elétrico, os autores adotam duas técnicas de análise aplicadas em diferentes métricas associadas a qualidade. Na primeira técnica (FAHP – *Fuzzy Analytic Hierarchy Process*), os níveis de importância relativa dos diferentes indicadores de qualidade são determinados. Na segunda (TOPSIS – *Technique for order performance by similarity to ideal solution*) os autores geram a variável de qualidade do serviço, para análise em conjunto com outras

variáveis determinantes do desempenho. Para os autores, a vantagem dessa combinação é poder considerar, simultaneamente, várias medidas de qualidade.

Essa abordagem é justificada por Çelen & Yalçın (2012) pelo fato de diversos estudos definirem e tratarem qualidade de formas diferentes. Por exemplo, os autores citam Growitsch et al. (2009), Bagdadioglu e Senyücel (2010), e Çelen (2011) como alguns estudos que utilizam a duração das interrupções do fornecimento de energia como uma métrica de qualidade. Citam também Pacudan & de Guzman (2002), Edvardsen e Forsund (2003), e Hirschhausen et al. (2006) como trabalhos que tratam qualidade sob a perspectiva de perda ou furto de energia. E ainda citam Giannakis et al. (2005), que adota uma combinação de métricas para expressar a qualidade do serviço prestado. Çelen & Yalçın (2012) explicam que a qualidade não se expressa em uma única medida, mas envolve um conjunto de medidas, de natureza técnica e não técnica. Para ilustrar algumas métricas de qualidade, os autores citam atributos técnicos, como a continuidade do suprimento, a estabilidade da tensão elétrica, e a perda/furto de energia, e atributos não técnicos, associados à qualidade comercial, que envolvem o tempo e a exatidão dos serviços prestados, como a previsão de uma nova conexão, leitura do medidor, cobrança de faturas, e atendimento às demandas e reclamações dos consumidores (Fumagalli & Lo Schiavo, 2009, apud Çelen & Yalçın, 2012, pp.61).

A variável de qualidade utilizada por Çelen & Yalçın (2012) resulta da combinação do seguinte conjunto de variáveis: 1) número de interrupções; 2) duração das interrupções; 3) quantidade de perda e furto de energia; 4) quantidade de energia fornecida; e 5) número de consumidores. Essas variáveis indicam a ênfase dos autores nos atributos técnicos, decisão influenciada pela disponibilidade dos dados. Na aplicação da primeira técnica (FAHP), os autores trabalharam com duas medidas principais: 1) confiabilidade; e 2) perda/furto. Da primeira, cinco indicadores de qualidade foram produzidos: 1) Número de interrupções / Número de consumidores; 2) Duração das interrupções / Número de consumidores; 3) Número de interrupções / Quantidade de energia fornecida; 4) Duração das interrupções / Quantidade de energia fornecida; e 5) Duração das interrupções / Número de interrupções. Da segunda medida, dois indicadores: 1) Quantidade de perda/furto / Número de consumidores; e 2) Quantidade de perda/furto / Quantidade de energia fornecida.

Calculados os indicadores acima, Çelen & Yalçın (2012) reuniram um grupo de especialistas formado por três pessoas, tomadores de decisão, para avaliar a importância relativa de cada indicador, dentro da estrutura hierárquica da variável de qualidade do serviço (QS), aplicando uma técnica complementar (*triangular fuzzy conversion scale*). A segunda técnica (TOPSIS) foi utilizada com base nos resultados ponderados obtidos na primeira. O conceito básico no método TOPSIS é que a alternativa escolhida deve ser aquela com a distância mais curta da solução ideal positiva, e a mais longa da solução ideal negativa. A alternativa com “aproximação relativa da solução ideal”, atendendo aos dois critérios de distância mencionados, é a melhor alternativa. Aplicando esse conceito, os autores calcularam os coeficientes de proximidade de cada uma das cinco medidas e de seus indicadores, para cada distribuidora, em cada ano. Esses coeficientes foram normalizados e somados, resultando no valor da variável QS (Çelen & Yalçın, 2012).

Depois de analisarem os dados de 21 distribuidoras de energia elétrica da Turquia, entre 2002 e 2009, Çelen & Yalçın (2012) compararam os resultados e constataram apenas 10 empresas com o melhor desempenho. Dentre as demais, 8 empresas têm potencial para melhorias, indicando que uma expansão de suas operações deve contribuir com um desempenho futuro melhor. O estudo concluiu, ainda, que é possível distribuir o mesmo montante de energia com uma redução entre 2,5% e 3% no conjunto de recursos empregados pelas distribuidoras, como mão de obra, extensão da rede e capacidade dos transformadores.

Ainda na Turquia, Çelen, A. (2013) analisou o desempenho de 21 distribuidoras, entre 2002 e 2009. Sua análise de desempenho inclui as variáveis muito comuns na literatura, em linha com o levantamento de Jamasb & Pollitt (2001), dentre as quais encontramos a qualidade da eletricidade. Aqui, a qualidade é representada pela duração média da falta de energia, por consumidor. Depois de analisar o desempenho, Çelen, A. (2013) emprega uma técnica complementar de regressão censurada, conhecida como modelo Tobit (Tobin, 1958), determinado a encontrar as variáveis que explicam o desempenho.

Com ênfase em variáveis ambientais, Çelen, A. (2013) concluiu que existe uma relação positiva entre a densidade de consumidores e desempenho, indicando que o

aumento em uma unidade dessa densidade eleva o desempenho em 0,32%. Em um modelo alternativo, esse aumento sobe para 0,37%. Neste ponto, o texto não deixa claro se esse crescimento proporcional é constante e quais seriam os possíveis limites dessa constância. Adicionalmente, mesmo conhecendo o impacto que a densidade de consumidores exerce sobre o desempenho das distribuidoras, tal achado pode ser gerencialmente irrelevante, assumindo que gestores não têm controle ou poder de influência sobre a densidade de consumidores.

Ao criticarem a falta de investigação dos efeitos que um programa gerencial ou recurso de projeto exerceria sobre o desempenho, Amado et al. (2013) consideraram indiretamente a qualidade do serviço. Quando analisaram e compararam o desempenho de 79 linhas de média tensão, em Portugal, selecionaram a variável perda de energia devido a interrupções no serviço. Também concentraram sua análise em linhas operantes em uma mesma região, com condições climáticas homogêneas, para minimizar os impactos de eventos excepcionais relacionados ao clima.

Conforme registrado na subseção anterior, Amado et al. (2013) sugerem que certa tecnologia pode ajudar a minimizar os efeitos de uma interrupção, isolando o problema no local da ocorrência e contribuindo para a melhoria da qualidade do serviço. A tecnologia analisada pelos autores é a *OCR (Oil Circuit Recloser)*, cuja funcionalidade consiste em isolar os efeitos de interrupções em seu local de ocorrência, minimizando seus impactos sobre o desempenho e qualidade do fornecimento de energia.

Por fim, Xavier et al. (2015) também apresentaram críticas aos métodos de avaliação de desempenho, alegando que esses não incluem variáveis relativas à qualidade do serviço. Seu estudo incluiu a variável tempo total de interrupção, resultante da multiplicação do indicador DEC (Duração Equivalente de interrupção por unidade Consumidora) pelo número de unidades consumidoras. Utilizam, ainda, variáveis comuns aos outros estudos: extensão da rede, capacidade dos transformadores, número de funcionários, energia fornecida e número de consumidores. Número de raios, densidade de consumidores e a propriedade (*ownership*) da distribuidora são incluídas como variáveis ambientais, utilizadas posteriormente como variáveis explicativas do desempenho.

Para assegurar a correta comparação entre as distribuidoras analisadas, Xavier et al. (2015) dividiram a área de concessão brasileira em Redes de Unidades (*UN – Unit Networks*), com o objetivo de tornar os objetos de análise mais homogêneos e garantir uma comparação justa. Essa divisão resultou em 70 UNs, formadas por 712 conjuntos elétricos, operados por 10 distribuidoras brasileiras, o que representa aproximadamente 56% da carga fornecida no Brasil.

Três modelos foram empregados por Xavier et al. (2015), dos quais um dedica-se a avaliar a participação da qualidade do serviço no desempenho. Nesse modelo, os autores tratam o tempo total de interrupção como uma variável controlável, assim como um insumo (*input*), com base na noção de que se deve reduzir esse tempo de interrupção (como reduzir outros recursos) para melhorar o desempenho, expressando-a como um produto (*output*) indesejado. Essa inclusão é feita porque a qualidade do serviço pode ser afetada pela redução voluntária dos outros recursos enquanto se busca melhorar o desempenho. Com esse modelo, os autores querem assegurar que a busca por eficiência não reduza a qualidade do fornecimento.

Das conclusões de Xavier et al. (2015), notamos que os raios influenciam negativamente o desempenho, enquanto que a densidade de consumidores influencia positivamente, resultado coerente com os estudos de Pérez-Reyes e Tovar (2010), Yadav et al. (2010) e Çelen, A. (2013). A propriedade (*ownership*) não impactou significativamente o desempenho das empresas analisadas. Além disso, como muitos outros estudos, Xavier et al. (2015) constataram que há espaço para melhorias no desempenho.

As discussões sobre qualidade e sua relação com desempenho confirmam a pertinência dessa variável ao nosso estudo. Nossa indagação, a partir desses achados, é sobre a influência que os investimentos em P&D podem exercer sobre a qualidade do serviço prestado pelas concessionárias. Sabemos que o regulador define metas rigorosas de qualidade para as distribuidoras de energia elétrica, e o mesmo fiscaliza os investimentos das concessionárias em P&D, conforme determina a Lei nº 9.991/2000. Esses investimentos, sob a supervisão do regulador, são destinados ao desenvolvimento de temas de interesse do setor elétrico, dentre os quais se enfatiza a eficiência, a segurança e a qualidade do serviço. O direcionamento

desses recursos para melhorias na qualidade deve, portanto, contribuir para as métricas de qualidade e para a percepção de qualidade do consumidor final. Esse raciocínio nos conduz a nossa segunda hipótese.

Hipótese 2: Investimentos em P&D por parte de uma distribuidora de energia contribuem para melhoria da qualidade de seu serviço.

2.3. Desempenho considerando as perdas de energia

As perdas afetam o desempenho de todos os tipos de organização. Aquela que perde menos, de modo geral, é mais eficiente do que as que perdem mais. No setor elétrico não é diferente, mas há uma particularidade: por ser um setor regulado ao qual o regulador impõe limites na cobrança de tarifas (*price cap*), as distribuidoras não podem repassar suas perdas integralmente para o consumidor. Cada uma terá que conviver com suas perdas, mantendo seus preços no patamar permitido pelo regulador. No longo prazo, as perdas podem inviabilizar a continuidade de uma distribuidora, levando-a a interromper definitivamente suas atividades. Naturalmente, isso impacta significativamente o consumidor e demais agentes do setor.

Tratando-se de uma variável relevante, as perdas têm sido objeto de análise nas avaliações de desempenho. Embora o estudo de Pérez-Reyes e Tovar (2010) enfatize os efeitos da reforma no setor elétrico sobre o desempenho das distribuidoras, os autores incluem as perdas de energia (em MWh) em sua análise das melhorias de desempenho. Moya et al. (2010) esclarecem que a capacidade dos transformadores se reflete nas perdas da rede elétrica, concluindo que se trata de uma variável relevante na distribuição de energia, e um componente importante na determinação do desempenho.

Para os autores, essas perdas (técnicas) estão associadas ao transporte de energia. Por outro lado, as perdas comerciais estão associadas ao furto de energia. Ambas afetam o suprimento de energia porque as empresas precisam aumentar a quantidade de energia adquirida dos geradores para atender o mesmo nível de energia demandada pelo consumidor final. Por esta razão, seu estudo tratou essa variável

como um *input* da distribuidora. Essa visão converge com o raciocínio de Xavier et al. (2015), quando incluem o tempo de interrupção como um *input*, que deve ser reduzido (*output* indesejado).

Uma das conclusões do estudo de Moya et al. (2010) é que as variáveis ambientais, como a densidade do consumo (energia vendida por consumidor) e a densidade dos clientes (número de clientes por transformador), contribuem para a redução da ineficiência das distribuidoras colombianas. Essa conclusão é semelhante à de Çelen, A. (2013), na Turquia e de Pérez-Reyes e Tovar (2010), no Peru.

A avaliação de desempenho do regulador do setor elétrico no Nepal foi criticada por Jha et al. (2011) devido ao fato de incluírem um único fator na avaliação, como a redução de perdas, ignorando os demais elementos determinantes do desempenho. Alternativamente, os autores analisam o desempenho de 57 centros de distribuição de energia elétrica (CD) adotando as perdas da distribuição de energia em conjunto com outras variáveis principais, que afetam o desempenho. Como resultado, Jha et al. (2011) constataram que a energia utilizada foi considerada uma das variáveis dominantes, junto com os custos operacionais e as perdas. Observaram também que o desempenho de alguns CDs foi prejudicado pelo alto nível de perdas na distribuição.

Por representar um problema importante na Turquia, o já discutido estudo de Çelen, A. (2013) analisa a variável perda de energia em duas perspectivas diferentes: como insumo (*input*) da operação e como variável ambiental. Após avaliar o desempenho, o estudo se concentra em explicar os efeitos das variáveis ambientais sobre esse desempenho. A taxa de perda de energia, segundo a constatação do autor, influencia positivamente o desempenho, significando que empresas com taxas de perda maiores apresentam maiores índices de desempenho. Diante desse resultado inesperado e contra intuitivo, Çelen, A. (2013) argumenta que as empresas que não incorrem em maiores gastos operacionais e de manutenção para reduzir perdas podem estar obtendo melhor desempenho por influência dessa retenção nos custos.

O também comentado estudo de Amado et al. (2013), cujo foco se concentra na variação do desempenho explicada por medidas gerenciais, discute o impacto da implementação de políticas de manutenção no desempenho de linhas de média

tensão da EDP, em Portugal. Os autores também analisam os impactos de uma nova tecnologia empregada pela distribuidora sobre o desempenho dessas linhas. Essa análise está alinhada ao propósito de um programa de gestão da manutenção, que envolve minimizar os custos e melhorar a qualidade do serviço, incluindo a redução de perdas de energia.

Embora Amado et al. (2013) não tenham encontrado relação positiva entre desempenho e uma política interna de manutenção preventiva da distribuidora analisada, sua constatação de que a implementação da tecnologia *OCR (Oil Circuit Recloser)* contribui para a melhora no desempenho das linhas, ajudando a minimizar os efeitos de uma interrupção em aproximadamente 90% dos casos, representa uma das maiores contribuições dos autores, revelando um impacto positivo da adesão dessa tecnologia sobre o desempenho da distribuidora estudada.

Leme et al. (2014) analisam os potenciais impactos que variáveis ambientais exercem sobre o desempenho da distribuidora. Os autores selecionam variáveis indicadas como ambientais pelo próprio regulador (ANEEL, 2012), que são: nível salarial, intensidade de chuvas, a densidade do mercado atendido e nível de complexidade. Essa última representa a dificuldade que as distribuidoras enfrentam no combate a perdas não técnicas (comerciais), como o furto de energia. Uma empresa que possui uma área com alto grau de complexidade geralmente tem grande dificuldade em reduzir suas perdas comparadas com outras áreas de concessão com índices menores, o que pode envolver diferentes custos operacionais (Leme et al., 2014). Os autores concluem que as variáveis ambientais podem impactar linear e não linearmente o desempenho e que sua proposta de modelo, alternativa àquela adotada pelo regulador, contribui para integrar essas variáveis e evitar um modelo mal especificado.

Para avaliar o desempenho das regiões de distribuição de energia (EDC, em inglês) na Irlanda, Mullarkey et al. (2015) aplicaram diferentes modelos de análise, incluindo um com ênfase na qualidade do serviço, representada pelos autores por perdas no processo de distribuição. Como explicado por Pérez-Reyes e Tovar (2010), essas perdas podem ser técnicas ou não técnicas (também conhecida como perda comercial, como por exemplo, por erro ou ausência de medição). Segundo Mullarkey

et al. (2015), as perdas são as fontes de ineficiência, e representam a diferença entre a energia requerida e a energia distribuída aos consumidores finais. Para reduzir os custos ao consumidor, a distribuidora precisa reduzir suas perdas.

O trabalho de Mullarkey et al. (2015) identificou as perdas das EDCs analisando as variáveis energia consumida bruta e energia consumida líquida. A diferença entre as duas resulta no montante de energia perdida. Da sua análise, Mullarkey et al. (2015) concluíram que apenas 5 (19,2%) das 26 EDCs avaliadas operavam de forma eficiente em 2008, ano dos dados da amostra. Os autores propuseram mudanças nos insumos (*inputs*) como forma de melhorar o desempenho das EDCs ineficientes. Também apresentaram como alternativa a reorganização de algumas EDCs em Zonas de Distribuição de Energia (EDZs, em inglês), como uma das formas de melhorar o desempenho.

A evolução no percentual de perdas de energia no sistema elétrico e das tarifas de energia em função dos investimentos em P&D foram analisadas no estudo de Pfitzner, Salles-Filho & Brittes (2014), quando investigavam a dinâmica da pesquisa, desenvolvimento e inovação (P&D&I) nas empresas do setor elétrico e a sua contribuição para o sistema setorial de inovação (SSI) brasileiro. Essa dinâmica nas empresas foi caracterizada por três elementos observáveis: 1) motivação para inovar (por que inovam); 2) estratégias competitivas e tecnológicas (como inovam); e 3) processos da cadeia produtiva (onde inovam). Para caracterizar as estratégias adotadas pelas empresas e identificar as ações institucionais sobre P&D&I, os autores recorreram à pesquisa bibliográfica e documental.

O passo seguinte de Pfitzner, Salles-Filho & Brittes (2014) consistiu em construir/levantar indicadores para analisar os esforços de P&D&I das empresas selecionadas e comparar, entre 2006 e 2011, o desempenho do setor elétrico brasileiro com aquele de outros países (Canadá, Alemanha e Austrália), sob a ótica de investimentos, produção tecnológica e resultados operacionais. Quatro grandes empresas brasileiras foram incluídas nessa comparação: Cemig, Furnas, CPFL e Eletronorte. Os autores constataram um crescimento nos investimentos em P&D das empresas, mas a comparação entre os quatro países estudados revela resultados diferentes, sob o olhar do desempenho operacional. O Canadá e a Austrália

aumentaram o preço da tarifa para seu consumidor final e reduziram perdas de energia no sistema elétrico, mas a Alemanha e o Brasil, já possuindo as maiores tarifas residenciais, aumentaram o seu preço, e não conseguiram reduzir perdas de energia do sistema. O Brasil também ganhou destaque por suas perdas excederem os 10%, indicado pelos autores que os esforços em P&D&I nesse país, ao contrário do Canadá e Austrália, não contribuíram com o desempenho do sistema, dentro do período avaliado.

Conforme o exposto na subseção 2.1., Oliveira et al. (2015) argumentam que o comportamento dos gastos em P&D são aleatórios e variam em função de mudanças no mundo e nas políticas públicas. Sob a luz desse argumento, é importante que estudos dos efeitos de investimentos em P&D sobre o desempenho das distribuidoras sejam mantidos, envolvendo períodos mais recentes. Análises em nível de firma também são importantes para verificar o alcance dos impactos desses investimentos sobre os resultados das empresas, estudos pouco presentes na literatura.

Diante do protagonismo que a variável perdas exerce no setor elétrico, por sua influência nos custos, por sua relação com a qualidade do serviço e desempenho das distribuidoras, por sua influência na viabilidade econômica e financeira de longo prazo dessas empresas, e ainda, por sua relevância na determinação da competitividade nos preços das tarifas e ganhos de produtividade, a consideramos uma variável importante para o nosso estudo. Sabendo também que o regulador do setor elétrico brasileiro mantém, em seu programa de P&D, o estímulo à redução das perdas para melhoria do desempenho das distribuidoras, enfatizando-a em algumas de suas linhas de pesquisa, e em harmonia com o argumento de Yadav et al. (2011), ao defenderem que incentivos e políticas adequados, e o estímulo à competitividade contribuem para melhoria no desempenho, estabelecemos aqui a nossa terceira e última hipótese de estudo.

Hipótese 3: Investimentos em P&D por parte de uma distribuidora de energia contribuem para a redução das perdas de energia em seu processo de distribuição.

2.4. Síntese do referencial teórico

Nesta seção analisamos os principais estudos sobre desempenho das distribuidoras de energia elétrica, e sobre a relação entre esse desempenho e os investimentos realizados em P&D, conforme suscitado pela questão desta pesquisa. Conforme demonstrado acima, as discussões em torno do tema caracterizam o desempenho sob três diferentes perspectivas: econômico-financeira, de qualidade do serviço e de perdas de energia. Com base no presente referencial, três hipóteses de pesquisa foram enunciadas, supondo o benefício dos investimentos em P&D sobre o desempenho das distribuidoras.

Embora haja muitos estudos sobre desempenho, constatamos no decorrer de nosso levantamento que existem poucas análises que explorem a relação direta entre o desempenho das distribuidoras de energia elétrica e os investimentos em P&D. Também identificamos a pesquisa de Oliveira et al. (2015), que registra o quão aleatório é o comportamento dos investimentos em P&D, que se altera conforme o mundo e suas políticas públicas mudam. Esse comportamento, segundo os autores, demanda a continuidade dos estudos envolvendo investimentos em P&D, não apenas em nível macroeconômico, como o fizeram, mas também em nível de empresa.

Especialmente no Brasil, que historicamente acumula altos níveis de perda (Pfitzner, Salles-Filho & Brittes, 2014), e ainda pouco explora a relação entre P&D e desempenho, consideramos esse estudo um importante direcionador para investimentos futuros em inovação. De tal modo, analisaremos a relação que os investimentos em P&D exercem sobre o resultado econômico das distribuidoras, sobre a qualidade de seu serviço à população, e sobre o nível de perdas em sua operação, fornecendo à comunidade acadêmica e aos gestores interessados uma nova perspectiva em relação aos investimentos em pesquisa e desenvolvimento.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Divulgamos aqui nossos procedimentos para análise dos dados e teste das hipóteses enunciadas. Explicamos nosso modelo de pesquisa, relembramos a questão do nosso estudo, e descrevemos nossa abordagem de pesquisa, seguida das hipóteses, variáveis analisadas, sua operacionalização, e os procedimentos de amostragem, coleta e tratamento de dados. Encerramos a seção comentando a estrutura de dados em painel, utilizada em nossas análises.

3.1. Modelo de pesquisa

Esta seção apresenta o modelo da pesquisa, cujo objetivo consiste em responder à seguinte questão:

Como os investimentos em P&D afetam o desempenho das distribuidoras brasileiras de energia elétrica?

Para responder a essa questão, avaliamos o grau e o caráter em que os investimentos em P&D afetam o desempenho das distribuidoras. Buscamos, com isso, não apenas alcançar as contribuições já mencionadas, mas também propor uma reflexão sobre a natureza e qualidade desses investimentos. Posto de outra forma, nossa pesquisa analisará a relação ilustrada na Figura 1, abaixo.

Figura 1. Representação das hipóteses de pesquisa

A figura acima demonstra a influência dos investimentos em P&D sobre o desempenho das distribuidoras. Em linha com as hipóteses levantadas na seção anterior, esses investimentos contribuem para a melhoria no desempenho. Outras duas variáveis de controle integram essa relação, tanto por representarem a essência da operação de distribuição de energia elétrica, como pela finalidade de minimizar possíveis vieses (Cooper & Schindler, 2016) sobre a relação entre desempenho e investimentos em pesquisa e desenvolvimento.

Em nossa pesquisa lidamos com o desempenho no sentido lato, motivados não apenas pela forma como a literatura explora tal variável, mas também pelo modo como o regulador do setor elétrico controla a operação das distribuidoras. Assim, analisamos o desempenho através de quatro variáveis dependentes, sob três diferentes perspectivas: 1) EBITDA (*Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization*), como desempenho econômico; 2) DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) e 3) IASC (Índice ANEEL de Satisfação do Consumidor), como desempenho de qualidade; e 4) volume de perdas técnicas, como desempenho em perdas.

3.2. Abordagem e método de pesquisa

O propósito desta pesquisa é compreender os efeitos que os investimentos em P&D exercem sobre o desempenho, no contexto das distribuidoras brasileiras de energia elétrica. Três hipóteses foram levantadas na seção anterior, e para testá-las adotamos a abordagem quantitativa, por meio da qual buscamos evidenciar e mensurar as relações entre as variáveis de interesse. Essas relações são verificadas mediante o uso da técnica de regressão múltipla, considerada a mais apropriada para o exame de dependência entre variáveis (Hair et al., 2009; Gujarati & Porter, 2011). Empregamos essa técnica sobre dados secundários, disponibilizados publicamente pela ANEEL em seu *website*. Os dados coletados abrangem um período entre 2011 e 2016, e foram estruturados em formato de painel (Wooldridge, 2016).

Esta pesquisa é caracterizada como “projeto *ex post facto*”, no qual não há o controle nem a manipulação de variáveis. Sua abordagem limita-se a analisar e relatar o

histórico dessas variáveis, sem qualquer intenção de influenciá-las ou manipulá-las. Consequentemente, este estudo tem como objetivo entender como uma variável produz mudança em outra, sendo classificado como um estudo causal-explanatório (Cooper e Schindler, 2016). As hipóteses, os modelos de regressão em painel, estrutura dos dados e detalhes sobre o emprego das variáveis são apresentados nas subseções a seguir.

3.3. Hipóteses, variáveis e operacionalização

Na seção anterior levantamos e discutimos a literatura sobre o desempenho das distribuidoras de energia elétrica, e sobre o comportamento desse desempenho em função dos investimentos em P&D. Essa discussão promoveu o referencial teórico necessário para a formulação das três hipóteses de pesquisa, investigadas no presente estudo.

Iniciamos levantando e revisando estudos existente acerca da avaliação de desempenho no setor elétrico, adotando como fontes de pesquisa a base *Scopus*, selecionada por sua popularidade e abrangência internacionais, em conjunto com bases de revistas nacionais, como a RAUSP, RAE, RAI, RAC, READ, RAM e REGE. Nossa busca se concentrou na combinação do seguinte conjunto de palavras: “*electricity distribution*”, “*power sector*”, “*efficiency*”, “*performance*”, “*innovation*”, “*research & development*”, “*R&D*”, “*P&D*”, “resultados” e “desempenho”. Para identificar os trabalhos associados ao interesse desta pesquisa, uma sequência de procedimentos foi realizada sobre os resultados da busca. Os critérios aplicados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Procedimentos iniciais de pesquisa

Procedimento	Objetivo	Critério
Consolidar trabalhos	Criar uma base única com todos os textos, para análise.	Resultado inicial da pesquisa feita na base SCOPUS.
Filtrar tipo de documento	Selecionar o tipo de documento, conforme os critérios descritos.	<i>Article</i> , <i>Article in press</i> e <i>Review</i> .
Filtrar idioma	Selecionar o idioma dos trabalhos, conforme os critérios descritos.	Português, inglês e espanhol.
Tratar redundâncias	Eliminar os trabalhos que se repetem nos resultados das duas pesquisas.	Trabalhos repetidos.

Procedimento	Objetivo	Critério
Analisar título, resumo e palavras-chave	Identificar os trabalhos que possam ser de interesse da pesquisa	Tema, objetivo, método e unidade de análise.
Coletar textos completos	Obter os textos na íntegra, para leitura	Textos selecionados na fase anterior
Analisar introdução	Identificar trabalhos realmente pertinentes ao interesse da pesquisa	Tema, objetivo e método de pesquisa.
Analisar trabalho completo	Conhecer a pesquisa, variáveis utilizadas, resultados obtidos	Objetivos e análises similares ao desta pesquisa

Esse levantamento teórico discutido na seção anterior sugere alguma influência dos investimentos em P&D sobre o desempenho das distribuidoras de energia elétrica. Em linha com as diferentes perspectivas sobre desempenho identificadas na literatura, enunciamos três hipóteses gerais, que agora, detalhamos com a intenção de verificamos a sua validade:

Hipótese 1: Investimentos em P&D por parte de uma distribuidora de energia contribuem para um melhor resultado econômico da mesma.

- a) À medida que uma distribuidora investe em P&D, melhora seu lucro antes dos juros, impostos, depreciação e amortização, (EBITDA).

Hipótese 2: Investimentos em P&D por parte de uma distribuidora de energia contribuem para melhoria da qualidade de seu serviço.

- a) À medida que uma distribuidora investe em P&D, reduz a Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora, (DEC).
- b) À medida que uma distribuidora investe em P&D, aumenta seus Índices ANEEL de Satisfação do Consumidor, (IASC).

Hipótese 3: Investimentos em P&D por parte de uma distribuidora de energia contribuem para a redução das perdas de energia em seu processo de distribuição.

- a) À medida que as distribuidoras investem em P&D, reduz seu volume de perdas de energia.

Com base nas hipóteses levantadas, a pesquisa procede a quatro modelos de regressão em painel, para cada qual selecionamos uma variável dependente e três independentes. A escolha dessas variáveis foi orientada, principalmente, pelo nosso referencial teórico, em conjunto com nosso interesse de pesquisa, em um esforço para

evitar vieses na especificação de nossos modelos de análise. Nossas variáveis são apresentadas na tabela abaixo.

Tabela 2 – Variáveis sob análise

Variáveis dependentes (y)	Variáveis independentes (x)
<ul style="list-style-type: none"> • y1: EBITDA • y2: DEC • y3: IASC • y4: Perdas 	<ul style="list-style-type: none"> • x1: Extensão da rede • x2: Energia Consumida • x3: Investimentos em P&D/Capital Social

As quatro variáveis dependentes representam o desempenho, sob as hipóteses advindas de três perspectivas identificadas na literatura: y1 (EBITDA), sob a perspectiva econômica; y2 (DEC) e y3 (IASC), sob a perspectiva de qualidade; e y4 (Perdas), sob a perspectiva de perdas técnicas. As variáveis independentes x1 (Extensão da rede) e x2 (Energia consumida) são adotadas como variáveis de controle, cuja função é evitar uma possível conclusão tendenciosa por não a incluirmos (Cooper & Schindler, 2016). A variável independente x3 (Investimentos em P&D/Capital Social) é a variável preditora, nosso principal foco de análise. A seguir fornecemos mais detalhes sobre essas variáveis e sua operacionalização em nossa pesquisa.

3.3.1. Variáveis dependentes

3.3.1.1. EBITDA (*Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization*)

Essa variável, medida em R\$, significa o lucro antes dos juros, impostos, depreciação e amortização, e revela a situação financeira da empresa exclusivamente em função de suas operações, ou seja, sua capacidade de geração de caixa em função de sua atividade fim. Aqui é possível observar se a operação de uma empresa é, por si só, suficiente e eficiente para mantê-la competitiva e sustentável a longo prazo, sem a necessidade de outras fontes de caixa/renda. Embora haja vantagens e desvantagens no uso desse indicador para avaliar empresas (*valuation*) (Engle, P., 2010; Zorzo et al., 2017), é um indicador que reflete a situação operacional de uma organização,

inclusive das distribuidoras de energia elétrica, servindo para o propósito de nossa pesquisa.

O EBITDA é um indicador fundamental para a manutenção da prestação do serviço de distribuição de energia dentro dos padrões de qualidade, e representa uma parcela da riqueza gerada pelas distribuidoras que deve ser investida na aquisição e em melhorias de sua infraestrutura de distribuição (ANEEL, 2016). Também reflete outras variáveis muito citadas em nosso referencial teórico, como por exemplo, a energia fornecida, convertida em receita de fornecimento, e os custos operacionais, que incluem a mão de obra (funcionários) e os gastos com manutenção (*OPEX*). Desta forma, o EBITDA torna-se uma variável útil não só por sua capacidade de comparar o desempenho operacional de diferentes empresas, mas também pela relação que possui com outras variáveis populares na literatura e por sua importância na manutenção do negócio das distribuidoras de energia elétrica.

3.3.1.2. DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora)

A DEC, expressa em horas e centésimos de hora, resulta da divisão entre a Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora (DIC), excluindo-se as centrais geradoras, e o número total de unidades consumidoras faturadas do conjunto, no período de apuração, atendidas em baixa ou média tensão. Em outras palavras, representa o total de horas que determinado conjunto de consumidores ficou sem energia, em determinado período de apuração.

Conforme nosso referencial teórico, alguns autores indicam esta variável como uma das mais importantes na determinação do desempenho das distribuidoras. No setor elétrico brasileiro, a DEC é rigorosamente fiscalizada pelo regulador, e impacta direta e imediatamente os consumidores de energia elétrica. O não atendimento às metas de duração de interrupções estabelecidos pelo regulador podem levar as distribuidoras ao pagamento de multas e compensações aos consumidores. Trata-se de uma variável determinante na qualidade do serviço prestado à sociedade e, dependendo de seu comportamento, torna-se influente no desempenho econômico-financeiro das distribuidoras. Neste estudo, analisamos os efeitos que os

investimentos em P&D podem exercer sobre esta variável, sob a perspectiva da qualidade do serviço.

3.3.1.3. IASC (Índice ANEEL de Satisfação do Consumidor)

Este índice, medido em uma escala entre 0 e 100 pontos, é resultado de uma pesquisa amostral anual, realizada pelo regulador do setor elétrico brasileiro, para avaliar a satisfação dos consumidores com suas respectivas distribuidoras. Nessa pesquisa são avaliados cinco variáveis: 1) qualidade percebida; 2) valor percebido (relação custo-benefício); 3) satisfação global; 4) confiança no fornecedor; e 5) fidelidade (ANEEL, 2018c). Cada variável é composta por critérios que buscam medir a percepção do consumidor sobre confiabilidade, agilidade, atendimento, e entre outros aspectos, a qualidade.

Os dados dessa pesquisa nos fornecem não só a percepção do consumidor sobre a qualidade do serviço, algo inexplorado na literatura, como também oferece algum indício sobre as perdas não técnicas. Por exemplo, perdas associadas a erros de medição, de faturamento ou perdas por falta de equipamento de medição podem ser refletidos em aspectos avaliados pelo IASC, como por exemplo, os níveis de confiança no valor faturado, detalhamento das contas, dentre outros. Felizmente, ao contrário de outros países, o regulador brasileiro disponibiliza esses dados desde 2000, o que nos permite incluir essa variável em nossas análises.

3.3.1.4. Perdas técnicas

A variável perdas técnicas é expressa em unidades de potência (watt) e resulta do processo de transformação de tensão (volt), inerentes ao transporte de energia. Sendo o negócio da distribuidora comprar e distribuir energia, sua aquisição geralmente ocorre em níveis de tensão maiores, pois os geradores ficam distantes dos grandes centros urbanos e essa tensão é necessária para transportar a eletricidade por longas distâncias, através das linhas de alta tensão. A distribuidora deve, então, reduzir essa tensão ao longo desse transporte, por meio de seus equipamentos transformadores, para viabilizar a entrega da energia elétrica para os consumidores finais, em níveis adequados de tensão (média ou baixa).

Como vimos no referencial teórico, as perdas prejudicam o desempenho das distribuidoras e afetam a tarifa cobrada ao consumidor. Infelizmente, para as distribuidoras, a tarifa é limitada pelo regulador (*price cap*) e parte do resultado dessas perdas podem ter que ser financiadas pelos próprios acionistas da distribuidora. Por ser uma variável gerenciável, diretamente vinculada ao desempenho da empresa, e ainda ser uma das principais variáveis de interesse das distribuidoras e do regulador, é considerada uma variável importante para a nossa pesquisa.

3.3.2. Variável independente

3.3.2.1. Investimentos em P&D

Essa variável é representada pelo volume financeiro aplicado pelas distribuidoras em P&D (em R\$). Esses investimentos representam uma das variáveis principais, que embora estejam vinculadas a um instrumento legal (Lei nº 9.991/2000) e à Receita Operacional Líquida (ROL) das distribuidoras, a entendemos como algo sob o controle dessas empresas, já que a legislação determina um nível mínimo de investimento sem estabelecer um valor máximo. A ideia aqui é analisar o quanto a variação desses investimentos podem influenciar no desempenho.

Como o valor investido em P&D é determinado pela ROL das distribuidoras, corremos o risco de empregar uma variável homogênea entre as diferentes distribuidoras de nossa amostra. Sabemos que a ROL varia em função do tipo e número de unidades consumidoras e do volume consumido de energia nessas áreas de concessão em que as distribuidoras operam, cuja concessão é decidida pelo Poder Concedente e independe da escolha das distribuidoras. Na existência de áreas com perfil de consumo similares, operadas por distribuidoras diferentes, teremos um comportamento semelhante dos investimentos em P&D, e isso pode reduzir ou anular a capacidade discriminatória dessa variável. Para minimizar esse problema, dividimos a variável investimentos em P&D pela variável capital social integralizado, a fim de proporcionalizar e melhor discriminar o comportamento dos investimentos em P&D de cada distribuidora.

3.3.2.2. Capital Social

O capital de uma empresa, de modo geral, tem origem nos recursos que seus sócios disponibilizam para iniciar o negócio. A Lei das Sociedades Anônimas (S/A) e suas atualizações estabelece que o capital social deve ser expresso em moeda nacional (R\$), e pode ser integralizado em espécie ou em bens conversíveis em espécie (Lei nº 6.404, de 15 de dezembro de 1976).

De modo similar a outras variáveis, como a extensão da rede, o volume de capital varia muito entre as distribuidoras. Contudo, a variação no capital social não implica necessariamente na variação de outras variáveis, como no exemplo da extensão da rede, que pode ser expandida com recursos de terceiros. Pela possibilidade de viés em nossa análise, entendemos a adoção dessa variável como uma medida necessária para discernirmos melhor a proporção em que cada empresa investe em P&D, tendo como referência o seu próprio capital integralizado. Desta forma, não corremos o risco de duas empresas apresentarem volume de investimentos semelhantes, dado ao nível semelhante de ROL, sem contudo, disporem do mesmo montante de capital, já que uma das empresas pode contar com capital de terceiros para expandir sua operação e obter níveis de ROL similares a empresas de maior porte.

3.3.3. Variáveis de controle

3.3.3.1. Extensão da rede elétrica

Sendo esta uma das variáveis mais destacadas na literatura, e principal meio para a distribuição de energia do País, essa variável expressa a grandeza operacional de cada distribuidora. Entretanto, devemos lembrar que a extensão da rede é uma variável que não se submete ao controle direto das distribuidoras, e portanto, é caracterizada em função da área geográfica e demográfica onde cada uma opera. Em nossos modelos de regressão em painel, empregamos a extensão da rede, medida em km, como uma variável de controle (VC), sendo a sua função evitar uma possível conclusão tendenciosa por não a incluirmos (Cooper & Schindler, 2016).

3.3.3.2. Energia consumida

Essa variável, medida em watt, também é uma das mais citadas na literatura e naturalmente faz parte da operação das distribuidoras na mesma proporção que a extensão da rede e outras variáveis. A distribuidora adquire energia de outros agentes do setor elétrico para revendê-la aos consumidores finais, processo pelo qual consome energia. De modo similar a extensão da rede, o consumo de energia é determinado pelo mercado presente na área de concessão da distribuidora, conforme demandas previstas. Sendo assim, pouca ou nenhuma gerência há sobre essa variável, a qual adotamos também como variável controle (VC).

3.4. Amostragem, coleta e tratamento dos dados

Nossas análises são amparadas em dados secundários, todos coletados diretamente no *website* da Agência Nacional de Energia Elétrica, exceto aqueles da variável extensão da rede, o qual tivemos de solicitar através do Sistema Eletrônico do Serviço de Informação ao Cidadão (e-SIC, 2017). Embora a nossa intenção de analisar os dados de todas as distribuidoras brasileiras, nos deparamos com limitações no banco de dados disponível, o que nos demandou alguns tratamentos preliminares para assegurar maior precisão de nossos estimadores.

Realizamos uma pesquisa histórica dos dados de nossas variáveis através de três páginas da internet: 1) Sustentabilidade Econômico-Financeira (ANEEL, 2018d); 2) Relatórios ANEEL (ANEEL, 2017a) e 3) IASC (ANEEL 2017b). Nossa coleta incluiu dados de todas as distribuidoras no período entre 2010 e 2016. Após coletarmos os dados e constatarmos a indisponibilidade de alguns, efetuamos a exclusão de algumas observações que não apresentaram disponibilidade de dados em pelo menos 6 das 8 variáveis analisadas (75%). Também mantivemos em mente o cuidado de preservar ao menos cinco observações para cada variável, regra geral recomendada para análises de regressão múltipla (Hair et al., 2009). Esses foram os únicos critérios limitadores de nossa amostra, não probabilística.

A variável que apresentou maior número de observações foi a energia consumida, com 713 observações de 102 empresas. As que apresentaram menor número foram Investimentos em P&D e EBITDA, cada uma com 378 observações de 63 empresas. Para equilibrar nosso banco de dados, primeiro identificamos as observações e variáveis com valores indisponíveis. Observamos que o ano de 2010 é o que apresenta menor nível de disponibilidade, o que nos levou a descartar a análise para este ano. Em seguida, eliminamos as observações com baixo nível de disponibilidade de dados, conforme nosso critério comentado acima. Nossa amostra final resultou em 358 observações, de 60 empresas, do período entre 2011 e 2016. Dessa amostra, a variável com menor nível de disponibilidade é o capital social, com 77% dos dados disponíveis ($n = 275$). IASC apresenta 84% de disponibilidade, a extensão da rede 91% e perdas técnicas 99%. Todas as demais apresentam 100% de disponibilidade.

3.5. Estrutura de dados em painel

Por se tratar de um estudo longitudinal, analisamos um conjunto de dados em painel, caracterizados por observações de variáveis cujos dados refletem o comportamento de empresas de uma amostra ao longo do tempo (Wooldridge, 2016). A adoção dessa estrutura nos oferece dados mais variáveis, menos colineares entre si, com mais graus de liberdade e estimadores mais eficientes. Também nos permite examinar a dinâmica de mudanças e minimizar os possíveis vieses resultantes de uma análise com um único conjunto de empresas, e ainda, analisar todas as observações de todos os indivíduos em todo o período da amostra, de forma integrada, o que outras estruturas de dados não permitem (Gujarati & Porter, 2011). Dispor de diversas observações de um mesmo indivíduo ao longo do tempo também nos ajuda a controlar algumas de suas características não observáveis, facilitando a inferência causal, o que seria igualmente difícil se analisássemos esse indivíduo em um único momento no tempo (Wooldridge, 2016).

Em análise de regressão múltipla com dados em painel, é comum e recomendado a comparação entre três técnicas de estimação para determinar a natureza dos vieses provocados pela alocação dos efeitos não observados inteiramente ou parcialmente nos termos de erro (Wooldridge, 2016). Desse modo, seguimos nossa análise

empregando e comparando os resultados dessas três técnicas: efeitos aleatórios, efeitos fixos e MQO agrupado (POLS, em inglês).

O modelo de efeitos aleatórios presume que o fator não observado e constante ao longo do tempo (a_i) é independente e não correlacionado com todas as variáveis explicativas. Essa técnica inclui o fator a_i inteiramente no termo de erro composto, que inclui outros elementos não observados que variam no tempo. Essa técnica dispensa a necessidade de utilizar variáveis *dummy* de tempo para distinguir a existência de elementos constantes a serem eliminados, como no modelo de efeitos fixos. Assim, evitamos o problema da perdas de graus de liberdade, e a consequente redução na precisão dos estimadores (Gujarati & Porter, 2011; Wooldridge, 2016).

Alternativamente, o modelo de efeitos fixos, separa os fatores não observados que afetam a variável dependente, de acordo com seu comportamento: aqueles que são constantes (a_i) e aqueles que variam ao longo do tempo (u_{it}). A intenção é eliminar a_i , assumindo uma correlação entre este fator e outras variáveis explicativas. Não havendo tal correlação, essa técnica produziria estimadores ineficientes (Wooldridge, 2016).

A técnica de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) é muito usada para estimar o comportamento da variável dependente, dado um determinado comportamento das variáveis independentes (Wooldridge, 2016). Contudo, mesmo sendo possível agrupar dados de diferentes unidades de análise, em diferentes períodos, essa técnica não é capaz de distinguir essas diferenças, resultando em coeficientes potencialmente tendenciosos e inconsistentes, já que a heterogeneidade das empresas, nos períodos analisados não é discernida. Despreza, ainda, a natureza dos dados em corte transversal e de séries temporais (Gujarati & Porter, 2011).

Naturalmente, há vantagens e limitações nessas três técnicas. Para comparar e identificar a técnica mais apropriada para a análise de nossos dados, aplicamos dois testes simples, também recomendados pela teoria econométrica: o Teste de Breusch-Pagan LM, que compara o modelo de efeitos aleatórios com o de MQO; e o Teste de Hausman, que compara o modelo de efeitos aleatórios com o de efeitos fixos (Wooldridge, 2016).

Para testar as hipóteses levantadas na seção anterior, quatro modelos foram utilizados: o modelo 1 enfatiza o desempenho econômico; os modelos 2 e 3 enfatizam a qualidade do serviço; e o modelo 4 analisa as perdas das distribuidoras. A especificação dos modelos incluíram as variáveis já apresentadas, nas seguintes condições:

Modelo 1: $EBITDA_{it} = \beta_0 + \beta_1 EXTREDE_{it} + \beta_2 ENERCON_{it} + \beta_3 PED_K_{it} + u_{it}$

Modelo 2: $DEC_{it} = \beta_0 + \beta_1 EXTREDE_{it} + \beta_2 ENERCON_{it} + \beta_3 PED_K_{it} + u_{it}$

Modelo 3: $IASC_{it} = \beta_0 + \beta_1 EXTREDE_{it} + \beta_2 ENERCON_{it} + \beta_3 PED_K_{it} + u_{it}$

Modelo 4: $PERDAS_{it} = \beta_0 + \beta_1 EXTREDE_{it} + \beta_2 ENERCON_{it} + \beta_3 PED_K_{it} + u_{it}$

Onde:

EBITDA = variável dependente que representa o lucro antes dos juros, impostos, depreciação e amortização;

DEC = variável dependente que expressa a Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora;

IASC = variável dependente que consiste no Índice ANEEL de Satisfação do Consumidor;

PERDAS = variável dependente que representa o volume de perdas das distribuidoras;

β_0 = Intercepto;

β_1 = Coeficiente de inclinação

EXTREDE = variável independente que expressa a extensão da rede elétrica;

ENERCON = variável independente que representa o volume de energia consumida pelas distribuidoras;

PED_K = variável independente, resultante da divisão dos investimentos em P&D pelo Capital Social.

u_{it} = Erro aleatório

Em cada modelo, mantivemos o cuidado de identificar e tratar problemas comuns em análise de regressão múltipla, como a heteroscedasticidade e a multicolinearidade. A heteroscedasticidade ocorre quando a variância dos fatores não observados que afetam a variável dependente aumenta em função de suas variáveis independentes. Esse problema, embora não afete os estimadores nem a qualidade do ajuste (r^2 e

$\overline{r^2}$), invalida o erro padrão dos estimadores, os intervalos de confiança e as estatísticas t e F , as quais deixam de ter distribuições t e F na presença de heteroscedasticidade (Wooldridge, 2016). Para assegurar que esse problema não afetasse nossas análises, utilizamos o teste de Breusch-Pagan LM da heteroscedasticidade e, constatado o problema, empregamos procedimentos robustos em relação à heteroscedasticidade, considerando-o adequado ao nosso cenário de análise em função do tamanho de nossa amostra (Wooldridge, 2016).

A multicolinearidade, caracterizada pela correlação alta (não perfeita) entre duas ou mais variáveis independentes, reduz o poder preditivo das variáveis independentes à medida em que são associadas com outras variáveis independentes. À proporção que uma variável independente se altera, provoca alterações em outras variáveis independentes (Hair et al., 2009; Gujarati & Porter, 2011; Wooldridge, 2016). Como consequência, a definição dos efeitos que cada variável independente exerce sobre a variável dependente fica comprometida, tornando os resultados menos precisos e sua interpretação mais delicada. A inclusão de variáveis irrelevantes pode causar não apenas o problema da multicolinearidade, mas também uma variância maior dos estimadores, aumentando seus intervalos de confiança, reduzindo a acurácia dos testes de hipótese (Wooldridge, 2016) e seu poder de generalização (Hair et al., 2009).

Procuramos conter esse problema já na especificação dos modelos, evitando superespecificá-lo. Embora a teoria aponte diversas outras variáveis associadas ao desempenho, identificamos já na literatura algumas altamente correlacionadas, como por exemplo, as variáveis extensão da rede com número de funcionários (Mullarkey et al., 2015), e energia consumida com número de consumidores (Souza et al., 2010; Pereira de Souza et al., 2010; 2014). Esforçamo-nos, então, por especificar modelos parcimoniosos, incluindo variáveis que fossem conceitualmente relevantes e tivessem baixa multicolinearidade (Hair et al., 2009), alinhadas ao nosso referencial teórico e à nossa questão de pesquisa, dois importantes direcionadores na especificação de nossos modelos de regressão em painel e na minimização do risco de superespecificação ou omissão de variáveis.

Após a seleção das variáveis, utilizamos dois procedimentos para confirmar o grau de correlação entre as variáveis dos modelos analisados. Primeiro checamos a

correlação de Pearson entre as variáveis. Depois analisamos o Fator de Inflação de Variância (VIF, em inglês), que nos dá a dimensão de quanto a variância de um estimador é inflada pela presença de multicolinearidade (Gujarati & Porter, 2011). Embora não haja um limite específico para os resultados do VIF serem considerados ideais, arbitramos como valor máximo aceitável um $VIF = 10$, inspirados nos argumentos de Wooldridge (2016).

3.6. Aspectos éticos da pesquisa

Esta pesquisa desenvolve uma análise baseada em dados públicos, divulgados pela Agência Nacional de Energia Elétrica em seu sítio eletrônico, disponível para consulta e coleta por parte de qualquer interessado. Estudos similares a este foram desenvolvidos utilizando a mesma fonte de dados, com o objetivo de avaliar o mesmo conjunto de empresas, autorizadas pela ANEEL a operar no setor elétrico brasileiro. Esta pesquisa não utiliza nem divulga nenhuma informação confidencial, e portanto, não compromete nenhum aspecto ético, legal, regulatório ou de negócios das empresas estudadas, prevalecendo unicamente o interesse científico de seus resultados.

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nesta seção apresentamos e discutimos nossas análises dos dados secundários e dos resultados obtidos pelos modelos de regressão em painel. Primeiramente, fornecemos um panorama descritivo sobre os investimentos em P&D no Brasil. Descrevemos, ainda, os resultados das variáveis dependentes ao longo do período analisado. Em seguida, revelamos e discutimos o modo como esses investimentos afetam o desempenho das distribuidoras brasileiras de energia elétrica.

4.1. Análise descritiva dos dados

Nossa análise descritiva revela a evolução dos investimentos em P&D das 59 distribuidoras de energia elétrica presentes em nossa amostra, no período entre 2011 e 2016. Adicionalmente, mostra o comportamento das variáveis dependentes, associadas ao desempenho dessas distribuidoras no mesmo período.

4.1.1. Evolução dos investimentos em P&D

Inicialmente observamos um comportamento crescente no volume de investimentos em P&D durante os seis anos de nossa análise. Esse crescimento ocorre tanto no montante total, como naquele investido por região brasileira, conforme demonstram a Figura 2 e 3. A região Sudeste é a que possui maior participação no investimento em P&D, seguida das regiões Sul e Nordeste.

Nos primeiros dois anos, a região Sudeste manteve mais da metade dos investimentos em P&D, porém a partir de 2013 sua participação no total investido vem reduzindo, conforme cresce os investimentos de outras regiões. A Figura 4 mostra as regiões Centro-Oeste, Nordeste e Norte como aquelas que avançam em participação nos últimos anos. Dentre essas, o Norte incrementou sua participação em quase 3%, enquanto que o Nordeste e Centro-Oeste aumentaram em torno de 2%. A região Sul

manteve uma participação entre 15% e 17%, enquanto que o Sudeste passou de 52% em 2011 para 47,1% em 2016.

Figura 2. Investimentos em P&D por ano

Figura 3. Investimentos em P&D por ano e região

Figura 4. Participação das regiões brasileiras nos investimentos em P&D

A liderança do Sudeste nos investimentos em P&D pode estar vinculada ao fato de que é a região com o maior número de distribuidoras. De acordo com nossa base de dados, das distribuidoras de nossa amostra, 21 (36%) operam na região Sudeste, 15 (25%) na região Sul, 11 (19%) no Nordeste, 7 (12%) no Norte e apenas 5 (8%) no Centro-Oeste. O volume absoluto investido em P&D por cada empresa, em cada região é demonstrado na Figura 5.

Notamos que ao longo dos seis anos, somente no Sudeste duas empresas investiram quase R\$ 300 milhões e outras duas quase R\$ 200 milhões, um cenário bem diferente das demais regiões. O Sul conta com duas empresas investindo em torno de R\$ 200 milhões no período, e no Nordeste apenas uma empresa ultrapassou os R\$ 100 milhões. Em todos os demais casos, os investimentos em P&D não chegam a R\$ 100 milhões.

Figura 5. Investimento em P&D por região

4.1.2. Evolução das variáveis dependentes da pesquisa (EBITDA, DEC, IASC e Perdas)

O Sudeste apresenta indicadores EBITDA expressivos, com duas empresas superando a faixa de R\$ 1 milhão e outras quatro ultrapassando a faixa dos R\$ 500 mil. Em outras regiões, somente uma empresa ultrapassa essas marcas: a COELBA, no Nordeste. Com base em nossos dados, como vemos na Figura 6, podemos concluir que, no setor elétrico, a geração de riqueza se concentra no Sudeste. Também observamos que as empresas da região Norte apresentam problemas econômicos, e esse pode ser um dos fatores que afetam seus investimentos em P&D e outros indicadores de desempenho.

A Figura 7 converge com o raciocínio anterior. Podemos notar que o indicador DEC é unanimemente maior na região Norte, e unanimemente menor na região Sul e Sudeste, onde apenas a ELETROCAR e a ENEL RJ ultrapassam a média de 17,40 horas de interrupção no fornecimento, ao longo do período analisado.

Figura 6. Média EBITDA por região

A Figura 7 mostra que, ao Norte, apenas a distribuidora BOA VISTA mantém um baixo nível de DEC, mas provavelmente a um custo maior, o que certamente afeta seu EBITDA, como vimos na Figura 6. Essa pode ser uma das causas que contribuem para o seu baixo nível de investimento em P&D, como revelado pela Figura 5. No Nordeste, segundo a Figura 7, seis das onze empresas (54%) ultrapassam a média em horas de interrupção, e no Centro-Oeste apenas duas (40%), estando as demais distribuidoras abaixo desse tempo, como a maioria no Sul e Sudeste.

As diferenças que observamos na DEC entre as regiões podem ser influenciadas também por características demográficas e climáticas inerentes a cada região. Relembramos os argumentos de Moya et al. (2010), Yadav et al. (2010), Çelen, A. (2013) e Leme et al. (2014) que discutem a relação que outras variáveis, como densidade de consumidores e clima, exercem sobre a qualidade do serviço. Em geral, sabemos que o clima e a densidade populacional diferem muito entre as regiões brasileiras, e estes também podem ser elementos que contribuem para as diferenças demonstradas na Figura 7.

Figura 7. Média DEC por região

O indicador IASC, de modo geral, apresenta menos heterogeneidade, mas ainda notamos diferenças importantes. Das cinco regiões brasileiras, a região Norte é a única em que todas as distribuidoras apresentam IASC abaixo de 63, média Nacional. No Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste, esse cenário se reflete em 5 empresas, e no Sul apenas a IENERGIA apresentou IASC abaixo da média Nacional. A Figura 8 demonstra o IASC médio das empresas em cada região.

Quando observamos as perdas de energia, duas regiões ganham destaque: Sudeste e Norte. No primeiro caso, notamos um grande volume absoluto de perdas e, de acordo com nossas análises, isso pode ocorrer em função desta ser a região com o maior consumo de energia, mas também por incluir a distribuidora LIGHT, a que mais perdeu energia no País entre 2011 e 2016. Durante os seis anos analisados em nossa amostra, pouco mais de 49% da energia consumida no País ocorreu no Sudeste, e suas perdas representam quase 48% do total de perdas no período.

Figura 9. Perdas de energia por região

Figura 10. Consumo e perda de energia por distribuidora

Tabela 3 – Consumo e perda de energia por região

Região	Distribuidoras	Consumo	Perdas	% Consumo no Brasil	% Perdas no Brasil
Sudeste	21	934.976.198	183.095.630	49,26%	47,91%
Sul	15	325.083.481	38.943.691	17,13%	10,19%
Nordeste	11	352.790.674	75.419.992	18,59%	19,73%
Norte	7	120.126.268	55.495.886	6,33%	14,52%
Centro-Oeste	5	165.154.062	29.244.076	8,70%	7,65%
Totais	59	1.898.130.683	382.199.274	100,00%	100,00%

Fonte: ANEEL, adaptado pelo autor.

Figura 11. Receita de fornecimento

4.1.3. Análises cruzadas entre as variáveis com ênfase nos investimentos em P&D

Em linha com o demonstrado nas Figuras 2, 3 e 11, nossos dados também revelam que, de modo geral, o aumento nos investimentos em P&D está associado ao aumento nas receitas de fornecimento, conforme presumimos a partir do que determina a Lei nº 9.991/2000, porém há casos específicos em que essa associação não se mantém. Apenas como exemplo, na Figura 12 observamos que as empresas DMED, MUX ENERGIA e CEA claramente demonstram investimentos em P&D

desassociados, até certo grau, de suas receitas. A figura sugere que as primeiras enfatizam mais o investimento do que a última. Os recursos aplicados em P&D pelas distribuidoras AME, CEMIG, ENEL CE e ELETROACRE sofreram grandes oscilações ao longo dos anos, ora em proporção superior, ora inferior ao seu faturamento.

Figura 12. Receita x Investimentos em P&D

No período investigado, as empresas que mais se destacaram em montante investido em P&D foram a CEMIG e a ELETROPAULO, com valores próximos a R\$ 300 milhões, seguidas da LIGHT, CPFL PAULISTA e COPEL, com investimento próximo a R\$ 200 milhões. A lista das empresas com maior volume investido no período é apresentada na Figura 13.

Um valor de investimento maior, como demonstrado na Figura 13, não necessariamente reflete um esforço financeiro superior em P&D. Sabemos que tais investimentos consistem em uma obrigação regulatória, vinculada à Receita Operacional Líquida das distribuidoras, e essa receita é originada com o emprego de infraestrutura, mão de obra e outros recursos na prestação do serviço à população.

Esses recursos podem variar em função da estrutura de capital de cada empresa. Em outras palavras, esses recursos que viabilizam a geração de receita podem ter origem no capital próprio da distribuidora ou no capital de terceiros.

Figura 13. Empresas com maior volume investido em P&D

Para entendermos o grau de esforço que as empresas dedicam à P&D, procuramos analisar esses investimentos proporcionalmente ao seu capital social integralizado. Essa perspectiva pode nos indicar a representatividade relativa do valor investido para cada empresa, ao invés de sua representatividade no quadro geral. A Figura 14 aponta as empresas com maior esforço financeiro em P&D, comparado ao seu capital.

A Figura 14 revela que, quando o volume investido em P&D é proporcionalmente comparado ao capital social da distribuidora, a CPFL PAULISTA é a que mais se destaca, com uma média de investimentos equivalente a quase 12% do montante de seu capital. A DEMEI segue com quase 8% e UHNEPAL em torno de 5%. Embora a CEMIG e ELETROPAULO ganhem destaque na Figura 13, notamos aqui que seus investimentos em P&D representam pouco mais de 2% e não mais que 4%, respectivamente, do equivalente ao seu capital social.

Figura 14. Empresas com maiores % de investimentos em P&D s/ Capital

O fato da CPFL PAULISTA investir um montante proporcionalmente maior ao equivalente do seu capital social pode indicar que essa empresa possui capital de terceiros maior que outras empresas. Esse raciocínio é fortalecido pela Figura 12, onde notamos uma semelhança das suas receitas com as da CEMIG e ELETROPAULO. Seguindo essa comparação, nossa base de dados revelou que em 2011 o capital social da CPFL PAULISTA representava apenas 6% do capital da CEMIG e 11% do capital da ELETROPAULO. Em 2016, essa proporção aumentou para 39% e 70%, respectivamente. Essa constatação reforça o argumento sobre uma possível diferença na estrutura de capital dessas distribuidoras.

Outra constatação que contribui para o raciocínio acima é que o investimento médio em P&D da CPFL PAULISTA, entre 2011 e 2016, foi de 0,44% de sua Receita Operacional Líquida, valor próximo à média nacional (variável PPED da Figura 21). Mesmo assim, o montante investido representa um alto percentual de seu capital social, em comparação com a mesma proporção das demais distribuidoras. Essa observação converge com a ideia de que esta distribuidora pode utilizar recursos de terceiros para alavancar suas operações e seus investimentos em P&D.

A CPFL PAULISTA se destaca também perante a distribuidora LIGHT por fornecer um montante de energia elétrica ligeiramente superior, entretanto, com um volume de perdas bastante inferior. Em outra comparação, a CPFL PAULISTA consome 84% do consumo da CEMIG, mas apenas 48% de suas perdas. A Figura 15 demonstra essa e outras comparações na região Sudeste.

Figura 15. Consumo e perda de energia na região Sudeste

O EBITDA médio da CPFL PAULISTA figura entre os quatro maiores do setor elétrico, junto com CEMIG, COELBA e ELETROPAULO. A LIGHT, embora tenha um consumo de energia superior ao da CPFL PAULISTA, apresenta um EBITDA médio inferior, possivelmente influenciado por seu nível de perdas. O EBITDA médio das empresas analisadas no período é apresentado na Figura 16.

Embora não seja a proposta desta pesquisa estudar casos específicos, consideramos oportuna uma breve comparação entre três empresas, uma vez identificado o seu destaque no contexto dessa pesquisa. A CEMIG e ELETROPAULO pelos maiores valores absolutos de investimentos em P&D, e a CPFL PAULISTA pelo maior valor relativo de investimento em P&D, quando proporcionalmente comparado ao seu

capital social. As três empresas lideram no desempenho econômico, como vemos na Figura 16.

Figura 16. EBITDA médio por região e empresa

O montante investido em P&D pela CPFL PAULISTA equivale, em média, a 64% do investido pela CEMIG, e a 66% do investido pela ELETROPAULO. No entanto, seu EBITDA médio, dos seis anos analisados, equivale a 90% do obtido pela CEMIG e a 97% da ELETROPAULO. A Tabela 4 faz um breve comparativo entre essas três empresas.

Embora seu volume absoluto de investimentos em P&D seja aproximadamente 35% menor em comparação à CEMIG e ELETROPAULO, a CPFL PAULISTA obteve resultados bem expressivos, comparados com aqueles apurados pelas outras duas distribuidoras. Seu EBITDA médio alcançou entre 90% e 97% do apurado pelas duas empresas. Na comparação do seu IASC, também notamos resultados bastante elevados em comparação com as outras duas empresas: 98% da CEMIG e 108% da ELETROPAULO, superando o desempenho em satisfação desta última. A CPFL

PAULISTA também é a distribuidora com a 5ª maior média em receita de fornecimento entre 2011 e 2016, como mostra a Figura 17.

Tabela 4 – Comparação entre CPFL PAULISTA, CEMIG e ELETROPAULO

EMPRESA	INVESTIMENTO EM P&D*	EBITDA*	DEC*	IASC*	PERDAS*
CPFL PAULISTA	R\$31.593	R\$993.500	7,28	64,16	2.809.491
CEMIG	R\$49.605	R\$1.105.364	12,60	65,20	5.842.508
ELETROPAULO	R\$48.195	R\$1.028.753	13,85	59,66	4.951.380
PROPORÇÃO DOS RESULTADOS DA CPFL PAULISTA EM RELAÇÃO À CEMIG E ELETROPAULO					
% em relação à CEMIG	64%	90%	58%	98%	48%
% em relação à ELETROPAULO	66%	97%	53%	108%	57%

Fonte: ANEEL, adaptado pelo autor.

*Valores médios no período entre 2011 e 2016.

Figura 17. Receita média no período, por distribuidora

Na Tabela 4 notamos também que a CPFL PAULISTA mantém entre 53% e 58% da DEC apurada pela CEMIG e ELETROPAULO, sugerindo que seu nível de serviço e disponibilidade são melhores. Suas perdas também giram entre 48% e 57% comparadas às perdas das outras duas distribuidoras. Também é curioso observarmos na Figura 12 que o investimento em P&D da CEMIG e ELETROPAULO,

ao longo dos seis anos, não correspondem exatamente à sua receita de fornecimento. Ambas as empresas, ao contrário da CPFL PAULISTA, passaram por períodos em que seus investimentos em P&D assumiram movimento oposto às suas receitas.

Comparações entre outras distribuidoras também podem ser realizadas a partir dos dados analisados. As tabelas e figuras a seguir mostram as dez distribuidoras com maior investimento em P&D, maior percentual de Receita Operacional Líquida (ROL) investida em P&D e maior percentual do montante equivalente ao capital social investido em P&D. Suas respectivas variáveis, entre as principais de nossa análise, são transcritas nessas mesmas tabelas.

Tabela 5 – As 10 empresas com maior volume financeiro investido em P&D*

#	EMPRESA	PED***	%ROL**	%CS**	EBITDA***	DEC	IASC	PERDAS
1	CEMIG-D	R\$ 49.605	0,49%	2,16%	R\$ 1.105.364	12,60	65,20	5.842.508
2	ELETROPAULO	R\$ 48.195	0,42%	3,98%	R\$ 1.028.753	13,85	59,66	4.951.380
3	LIGHT	R\$ 32.928	0,44%	-	R\$ 931.056	15,04	57,10	8.463.532
4	CPFL PAULISTA	R\$ 31.593	0,44%	11,59%	R\$ 993.500	7,28	64,16	2.809.491
5	COPEL-DIS	R\$ 31.193	0,43%	1,04%	R\$ 302.933	11,84	67,19	2.486.876
6	CELESC-DIS	R\$ 24.249	0,45%	2,30%	R\$ 260.014	15,31	64,48	1.872.253
7	COELBA	R\$ 23.579	0,48%	4,13%	R\$ 1.103.931	22,63	60,32	3.023.733
8	ELEKTRO	R\$ 18.936	0,44%	1,99%	R\$ 750.554	8,75	64,79	1.274.101
9	ENEL RJ	R\$ 18.111	0,48%	-	R\$ 742.328	21,91	55,75	2.756.762
10	CELPE	R\$ 16.012	0,46%	2,71%	R\$ 379.684	20,46	60,68	2.636.596

Fonte: ANEEL, adaptado pelo autor.

*Valores médios entre 2011 e 2016.

**ROL: Receita Operacional Líquida; CS: Capital Social.

***Valores em milhares de R\$.

A tabela 5 revela um pouco mais sobre o comportamento dos investimentos em P&D dessas distribuidoras. Por exemplo, a CEMIG e a ELETROPAULO, embora possuam o maior volume financeiro aplicado em P&D, esse montante corresponde a apenas 0,49% e 0,42% de suas ROL, respectivamente. Tais proporções estão diretamente vinculadas às expectativas regulatórias para investimentos em P&D.

A LIGHT, embora figure na terceira posição da Tabela 5, mantém o maior volume de perdas de todas as distribuidoras, e detém o segundo menor IASC da tabela, atrás apenas da ENEL RJ. A CPFL PAULISTA, embora invista na mesma proporção de ROL da LIGHT e apresente um volume de investimento inferior ao seu, em P&D, atinge um EBITDA maior, com metade de DEC e 1/3 de perdas. A COELBA se destaca

por ser o segundo maior EBITDA da tabela, mantendo a sétima posição em volume de investimentos em P&D, correspondentes a 0,48% de sua ROL. A CELESC, pelo contrário, mantém o menor EBITDA em comparação com as outras nove distribuidoras, mesmo mantendo um volume de investimentos na sexta posição e o segundo menor volume de perdas do grupo. A ELEKTRO, comparada com as outras nove distribuidoras da tabela, é a que mantém o menor nível de perdas, o segundo maior IASC e o segundo menor DEC da tabela, e ainda, o sexto maior EBITDA, na comparação.

A Figura 18 mostra que o auge dos investimentos em P&D da CEMIG ocorreu em 2012, quando a distribuidora chegou a investir 0,71% de sua ROL. O mesmo ocorreu com a ELETROPAULO, quando em 2015 atingiu a proporção máxima de investimento em P&D em relação à ROL: 0,49%. As demais linhas do gráfico se assemelham, até certo grau, ao movimento mostrado na Figura 11, sugerindo que os investimentos em P&D acompanharam o crescimento das receitas ao longo do tempo.

Figura 18. As 10 empresas com maior volume financeiro investido em P&D

Embora a CEMIG ganhe destaque na Figura 18, sua proporção média de ROL investida em P&D, entre 2011 e 2016, fica em nono lugar na Tabela 6. Isso ocorre graças ao colapso dessa proporção nos anos seguintes, chegando a 0,36% em 2015. Enquanto isso, distribuidoras como AME e CHESP atingiram 0,96% em 2014, e 0,80% em 2011, respectivamente. Na média do período, a AME investiu 0,59% de sua ROL e a CHESP 0,53%.

Tabela 6 – As 10 empresas com maior % de ROL investido em P&D*

#	EMPRESA	PED***	%ROL**	%CS**	EBITDA***	DEC	IASC	PERDAS
1	AME	R\$ 10.672	0,59%	0,23%	-R\$ 967.887	54,32	54,77	3.971.690
2	CHESP	R\$ 202	0,53%	1,94%	R\$ 6.706	16,91	62,05	13.293
3	CEMAR	R\$ 9.333	0,51%	1,36%	R\$ 513.802	18,07	59,45	1.251.668
4	CEAL	R\$ 4.648	0,51%	0,70%	-R\$ 90.713	28,33	57,36	1.199.467
5	EPB	R\$ 5.532	0,50%	1,25%	R\$ 260.213	20,54	68,35	604.719
6	ELFSM	R\$ 835	0,50%	-	R\$ 29.240	8,18	67,94	64.601
7	ESE	R\$ 3.772	0,50%	1,06%	R\$ 173.681	15,67	64,00	341.395
8	ETO	R\$ 3.353	0,49%	1,20%	R\$ 92.916	36,35	58,58	323.491
9	CEMIG-D	R\$ 49.605	0,49%	2,16%	R\$ 1.105.364	12,60	65,20	5.842.508
10	EBO	R\$ 886	0,49%	1,41%	R\$ 29.482	8,59	68,73	48.287

Fonte: ANEEL, adaptado pelo autor.

*Valores médios entre 2011 e 2016.

**ROL: Receita Operacional Líquida; CS: Capital Social.

***Valores em milhares de R\$.

Na variável EBITDA da Tabela 6, a distribuidora AME acumula prejuízos desde 2011, exceto em 2014, coincidentemente o ano em que mais investiu em P&D, mesmo não sendo o ano de sua maior receita (Figura 19). A distribuidora também responde pelo maior DEC da tabela. A CHESP, com o segundo maior percentual de ROL aplicado em P&D, apresenta o menor volume de perdas, mas esse resultado pode estar associado ao seu volume de consumo de energia. O mesmo vale para a distribuidora EBO, que obteve a maior média em IASC e a segunda menor média em DEC dentre as empresas da mesma tabela, além de registrar o segundo menor nível de perdas do grupo. A CEMAR, com uma taxa de 0,51% de sua ROL aplicada em P&D, manteve um volume investido próximo ao da distribuidora AME, obtendo, contudo, apenas 1/3 de perdas e DEC, um IASC melhor e, ainda, um EBITDA 150% superior.

A Figura 19 mostra que mesmo havendo um incentivo regulatório para investir em P&D, existem empresas que investem além do mínimo legalmente determinado, e outras que investem abaixo do esperado. Nessa mesma figura, somado aos dados da

Tabela 6, notamos que variações sazonais nos investimentos em P&D não devem ser suficientes para produzir um bom desempenho, a exemplo da distribuidora AME, que embora tenha a maior das taxas de investimento sobre a ROL em 2014, ano em que mais investiu e obteve lucro, apura prejuízos em todo o restante do período.

Figura 19. As 10 empresas com maior % de ROL investido em P&D

Na comparação da taxa de investimento em relação ao capital social, a CPFL PAULISTA começa destacando-se, obtendo bons resultados ao longo dos seis anos analisados. A queda na proporção de seus investimentos em P&D em relação ao seu capital social, conforme notado na Figura 20, é justificada pelo incremento de capital da distribuidora no decorrer desse período. Em 2011 a distribuidora registrava um capital social de R\$ 144.378 mil e passou para R\$ 905.948 mil em 2016, um aumento equivalente a pouco mais de seis vezes o montante anterior. Com isso, a proporção de seus investimentos em P&D sobre o capital passou de 18% em 2011 para 4% em 2016, uma taxa ainda considerada alta em relação a maioria das demais distribuidoras.

Tabela 7 – As 10 empresas com maior % de Capital investido em P&D*

#	EMPRESA	PED***	%ROL**	%CS**	EBITDA***	DEC	IASC	PERDAS
1	CPFL PAULISTA	R\$ 31.593	0,44%	11,59%	R\$ 993.500	7,28	64,16	2.809.491
2	DEMEI	R\$ 203	0,48%	7,58%	R\$ 3.674	12,17	74,53	12.116
3	UHENPAL	R\$ 110	0,47%	5,01%	R\$ 3.434	16,50	68,18	9.091
4	COELBA	R\$ 23.579	0,48%	4,13%	R\$ 1.103.931	22,63	60,32	3.023.733
5	ELETROPAULO	R\$ 48.195	0,42%	3,98%	R\$ 1.028.753	13,85	59,66	4.951.380
6	SULGIPE	R\$ 471	0,46%	3,86%	R\$ 11.158	13,54	71,51	52.668
7	EMG	R\$ 2.209	0,45%	3,63%	R\$ 75.552	9,96	68,80	160.531
8	COSERN	R\$ 6.333	0,46%	3,52%	R\$ 307.852	14,72	68,27	616.262
9	CFLO	R\$ 380	0,44%	3,31%	R\$ 8.041	5,19	67,96	9.921
10	ELETROCAR	R\$ 264	0,47%	3,18%	R\$ 4.854	17,53	70,94	16.951

Fonte: ANEEL, adaptado pelo autor.

*Valores médios entre 2011 e 2016.

**ROL: Receita Operacional Líquida; CS: Capital Social.

***Valores em milhares em R\$.

Figura 20. As 10 empresas com maior % de Capital investido em P&D

A Tabela 7 também mostra a DEMEI como outra distribuidora que mantém um percentual elevado do equivalente ao seu capital em investimentos em P&D, e ainda, um percentual da ROL acima da média nacional. Ao longo dos anos, manteve essa diferença em relação as outras distribuidoras, como notamos na Figura 20. Seu IASC

mostrou-se o maior dentre as distribuidoras comparadas em sua tabela. A CFLO também se destaca por manter o menor nível em DEC e o segundo menor em perdas, diante das distribuidoras listadas, também mantendo uma taxa de investimento sobre ROL próxima da média nacional.

A análise descritiva acima é útil para nos situar sobre o comportamento das distribuidoras de energia elétrica em relação aos investimentos em P&D. Diante dos dados, podemos identificar as empresas e regiões brasileiras que mais investem em P&D, em volume absoluto ou relativo, e comparar os resultados de seus principais indicadores de desempenho, identificando aquelas com melhor desempenho e aquelas que precisam se aprimorar. Para fins de referência, um resumo estatístico das variáveis pode ser consultado na Figura 21. Na sequência, discutimos nossas análises de regressão em painel.

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
ID	352	30.94886	17.15266	1	60
EMPRESA	0				
ANO	352	2013.514	1.704635	2011	2016
EBITDA	352	190528.6	424285.6	-3842104	2497162
ENERCON	352	5392417	7594192	41196.24	3.79e+07
EXTREDE	318	58785.36	98733.05	79.954	876547
PERDAS	347	1101439	1638189	216.427	9054706
DEC	352	17.1908	15.40006	.38	101.5
CAPITALSOC~L	269	643940	919169.9	2200	4610171
IASC	295	63.31542	9.052172	35.47	84.74
REGIO	0				
RECEITA	352	1.73e+09	2.49e+09	1.12e+07	1.39e+10
ROL	352	1842459	2648155	11034.34	1.47e+07
PED	352	8321.753	11786.01	20.76077	67124.83
PED_K	269	.021718	.0226222	.0011977	.1846587
PPED	352	.0045534	.0007759	.0017001	.0096454

Fonte: elaborado pelo autor, com uso do software Stata®

Figura 21. Descrição estatística das variáveis analisadas

4.2. Modelos de regressão em painel

Iniciamos nossas análises verificando a existência e proporção de correlação entre as variáveis de nossos quatro modelos de regressão em painel, buscando identificar e tratar possíveis problemas de multicolinearidade. Como produto dessa verificação, obtivemos os índices de correlação apresentados na Figura 22. Também verificamos e comparamos o Fator de Inflação da Variância (ou VIF, em inglês), certificando-nos que seu resultado estivesse dentro dos limites aceitáveis. O VIF encontrado em nossa amostra varia entre 1,11 e 1,95, e o VIF médio é de 1,63.

	EBITDA	ENERCON	EXTREDE	PED_K		DEC	ENERCON	EXTREDE	PED_K
EBITDA	1.0000				DEC	1.0000			
ENERCON	0.6373 0.0000	1.0000			ENERCON	0.0086 0.8720	1.0000		
EXTREDE	0.5295 0.0000	0.6328 0.0000	1.0000		EXTREDE	0.1350 0.0160	0.6328 0.0000	1.0000	
PED_K	0.3290 0.0000	0.2539 0.0000	0.0024 0.9713	1.0000	PED_K	-0.2814 0.0000	0.2539 0.0000	0.0024 0.9713	1.0000
	IASC	ENERCON	EXTREDE	PED_K		PERDAS	ENERCON	EXTREDE	PED_K
IASC	1.0000				PERDAS	1.0000			
ENERCON	-0.1581 0.0065	1.0000			ENERCON	0.8221 0.0000	1.0000		
EXTREDE	-0.1847 0.0024	0.6328 0.0000	1.0000		EXTREDE	0.5356 0.0000	0.6328 0.0000	1.0000	
PED_K	0.3048 0.0000	0.2539 0.0000	0.0024 0.9713	1.0000	PED_K	0.0928 0.1326	0.2539 0.0000	0.0024 0.9713	1.0000

Fonte: elaborado pelo autor, com uso do software Stata®

Figura 22. Correlação entre as variáveis e sua significância

Efetuamos também os testes de Breusch-Pagan LM e de Hausman, os quais sugerem o modelo de efeitos aleatórios como o mais indicado para a análise de regressão do EBITDA e das PERDAS, considerando um intervalo de confiança de 95%. Para as variáveis DEC e IASC, o mais indicado pelos testes foi o modelo de efeitos fixos. Na sequência verificamos a existência de heteroscedasticidade em nossos dados, constatando que apenas o modelo 3, cuja variável dependente é o IASC, possuía uma

amostra homoscedástica. Tratamos o problema com o emprego da regressão em painel com erros robustos em todos os modelos de nossa análise (Wooldridge, 2016).

Para as regressões, seguimos uma análise progressiva, iniciando com uma regressão simples, envolvendo uma variável dependente e outra independente. Nossos modelos vão se expandindo no decorrer da análise, à medida que incluímos novas variáveis, até que todas as variáveis tenham sido incluídas. A cada inclusão, observamos o comportamento dos coeficientes e suas estatísticas, assim como o comportamento do próprio modelo, medindo sua capacidade de explicação e importância significativa de cada variável independente na explicação total do modelo. Nas subseções a seguir, apresentamos os resultados dos modelos de regressão em painel.

4.2.1. Modelos de Regressão em Painel para Desempenho Econômico

A seguir, são apresentados os resultados do modelo de regressão em painel para a variável EBITDA, obtidos no teste de nossa primeira hipótese de estudo: investimentos em P&D por parte de uma distribuidora de energia contribuem para um melhor resultado econômico da mesma.

A Figura 23 mostra os coeficientes estimados do nosso primeiro modelo, no qual a variável dependente é o EBITDA. Neste modelo, buscamos explicar o comportamento do EBITDA através das três variáveis independentes especificadas em nossos modelos: EXTREDE e ENERCON, como variáveis de controle, e PED_K, como nossa principal variável independente, representando a proporção dos investimentos em P&D comparado ao capital social. As estimativas geradas a partir dos dados de nossa amostra revelam um coeficiente positivo e significativo da variável PED_K em relação à variável EBITDA, confirmando a nossa primeira hipótese de estudo. De acordo com os resultados, baseados nos dados entre 2011 e 2016, podemos afirmar com 99% de confiança que os investimentos em P&D contribuem para o desempenho econômico das distribuidoras. O desempenho em EBITDA é explicado por esse modelo em pelo menos 53%, conforme revela o valor do coeficiente de determinação (R^2) geral, que também demonstra um alto grau de confiança.

	(1) EBITDA	(2) EBITDA	(3) EBITDA
EXTREDE	-0.153 (-0.38)	-0.550 (-1.68)	-0.337 (-0.80)
ENERCON		0.0377*** (4.90)	0.0325*** (3.76)
PED_K			2322733.1** (3.11)
_cons	218467.9*** (4.01)	35910.0 (1.57)	-14465.2 (-0.53)
N	318	318	237
r2_w	0.0825	0.0888	0.101
r2_o	0.280	0.550	0.538
r2_b	0.498	0.617	0.626
chi2	0.143	29.08	48.34
p	0.706	0.000000485	1.80e-10
F			

t statistics in parentheses

* p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001

Figura 23. Resultados do Modelo de Regressão do EBITDA

A variável ENERCON também apresenta relação positiva e altamente significativa com o EBITDA, sendo a sua principal variável explicativa. Notamos que na primeira regressão, o coeficiente da variável EXTREDE não apresenta significância estatística, e seu R² geral limita-se a apenas 28%. Porém, quando incluída a variável EXTREDE, o R² geral do modelo sobe para 55%. Esse valor é ligeiramente reduzido para 53,8% com a inclusão da variável PED_K, provavelmente pela redução da amostra, causada pela falta de dados, já que nem todas as observações da variável Capital Social estavam disponíveis em nossa fonte. Mesmo sob tais circunstâncias, as variáveis EXTREDE e PED_K mantêm-se significativas na relação com o EBITDA, confirmando nossa hipótese 1.

A variável EXTREDE não se mostrou relevante na explicação do EBITDA em nenhuma das regressões efetuadas. Duas possíveis situações podem estar

associadas a esse resultado. Na primeira, a rede elétrica é uma característica inerente à concessão do serviço público, e sua extensão pode já ter sido determinada antes mesmo da concessão para a iniciativa privada, possivelmente já depreciada em alguns casos, não afetando os resultados correntes, como o EBITDA. Na segunda, os investimentos realizados na extensão da rede compõem o ativo imobilizado (*CAPEX*) das distribuidoras, e esse investimento são depreciados ao longo do tempo. A variável dependente EBITDA desconsidera a depreciação, já que expressa o lucro antes dos juros, impostos, depreciação e amortização. De qualquer modo, concluímos que a extensão da rede não possui qualquer participação na determinação do EBITDA, contudo o consumo de energia e a proporção de investimentos em P&D em relação ao capital explicam pelo menos 53% desse desempenho econômico da distribuidora.

4.2.2. Modelos de Regressão em Painel para Desempenho em Qualidade

Apresentamos abaixo os resultados dos modelos de regressão em painel das variáveis DEC e IASC, obtidos no teste de nossa segunda hipótese de estudo: investimentos em P&D por parte de uma distribuidora de energia contribuem para melhoria da qualidade de seu serviço.

Em nosso segundo modelo, analisamos a DEC como medida de desempenho em qualidade do serviço. Na Figura 24, observamos que essa análise de regressão resulta em um coeficiente negativo de PED_K, significando que investimentos em P&D gerariam redução na DEC e melhoram o nível de qualidade do serviço prestado pelas distribuidoras. Embora este seja o cenário esperado, em linha com nossas hipóteses de estudo, o coeficiente não se mostra significativo. Esse resultado gera dúvidas sobre o quanto os investimentos em P&D enfatizam a redução da DEC, ou ainda, sobre o quanto os projetos que a enfatizam são eficazes. Também pode indicar desafios que as distribuidoras enfrentam na redução dessa variável, que pode ser fortemente influenciada por características climáticas e geográficas, e por limitações tecnológicas ainda presentes no cenário de análise.

As demais variáveis independentes também não apresentaram coeficientes estatisticamente significantes na determinação da DEC. Também notamos que o

modelo especificado não é suficientemente consistente para explicar o desempenho das distribuidoras em DEC, apresentando um R^2 de apenas 0,2%. Esse resultado restringe a nossa conclusão sobre as relações entre as variáveis independentes e a DEC, e sugere haver outras variáveis que explicam a DEC, não incluídas nesse modelo. A análise de desempenho das distribuidoras em DEC deve ser revista com a inclusão de outros regressores, não identificados neste estudo.

	(1) DEC	(2) DEC	(3) DEC
EXTREDE	-0.0000159 (-0.97)	-0.00000959 (-0.84)	-0.0000101 (-0.79)
ENERCON		-0.00000238 (-1.07)	-0.00000281 (-1.04)
PED_K			-8.232 (-0.39)
_cons	16.36*** (16.98)	28.82* (2.35)	34.10* (2.24)
N	318	318	237
r2_w	0.0219	0.0558	0.0693
r2_o	0.0182	0.00802	0.00272
r2_b	0.0214	0.00512	0.000812
chi2			
p	.	0.417	0.389
F	0.944	0.669	0.965

t statistics in parentheses

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

Figura 24. Resultados dos Modelos de Regressão da DEC

O desempenho em qualidade, agora sob a perspectiva do IASC, também não demonstrou relação com as variáveis independentes. Ao observar a Figura 25, notamos que variável PED_K não expressa um estímulo significativo para o IASC. Mesmo mostrando um coeficiente positivo, o que indicaria uma contribuição dos investimentos em P&D para o aumento nos índices de satisfação, seu nível de significância não é suficiente para afirmarmos haver uma relação válida entre essas

duas variáveis. Assim como no caso da variável DEC, nos perguntamos sobre o quanto os projetos de P&D envolvem a satisfação do consumidor, ainda que secundariamente, já que a satisfação evidentemente é influenciada por outras questões operacionais, como por exemplo as perdas comerciais.

	(1)	(2)	(3)
	IASC	IASC	IASC
EXTREDE	-0.00000873 (-1.57)	-0.00000989 (-1.61)	-0.00000520 (-1.87)
ENERCON		0.000000768 (1.17)	0.000000401 (0.50)
PED_K			17.17 (0.41)
_cons	64.65*** (186.70)	60.48*** (16.73)	61.50*** (14.11)
N	268	268	200
r2_w	0.00249	0.00466	0.00254
r2_o	0.0341	0.0371	0.00990
r2_b	0.0455	0.0584	0.0125
chi2			
p	.	0.184	0.286
F	2.456	1.806	1.290

t statistics in parentheses

* p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001

Figura 25. Resultados dos Modelos de Regressão do IASC

Ainda na Figura 25, notamos que o coeficiente de determinação (R^2) é de apenas 3% nas duas primeiras regressões, e despenca para 0,9% na terceira, quando incluímos a variável PED_K. Além da terceira regressão se basear em uma amostra (N) reduzida, graças à ausência de observações da variável Capital Social, se torna claro para nós que o desempenho em satisfação do consumidor não é determinado pela extensão da rede, ou pela energia consumida, tampouco pelos investimentos em P&D realizados pelas distribuidoras. Dado o baixo grau da qualidade de ajuste desse modelo, fizemos uma nova análise apenas entre as variáveis IASC e PED_K, agora

através de regressão simples, isolando os efeitos das variáveis de controle, na tentativa de mensurar a relação direta entre essas duas variáveis. Como resultado, obtivemos apenas um R^2 de 9%, maior do que o anterior, mas sem qualquer alteração nas conclusões acima.

Além da PED_K, as variáveis de controle também não mostraram qualquer associação com o IASC. Esse resultado também indica não haver relação entre a satisfação do consumidor e a infraestrutura ou o volume de consumo das distribuidoras, e nos leva a crer que o seu comportamento varia exclusivamente em função de atributos “*soft*”, percebidos pelo consumidor em sua relação com a distribuidora. Baseado nisso, distribuidoras que tenham mais iniciativas envolvendo o seu consumidor, tornando o seu trabalho mais perceptível, talvez consigam influenciar mais na variação do IASC. A manutenção dos atributos “*hard*”, como a tensão de energia, ou a troca de uma linha de distribuição, provavelmente não produzirá qualquer efeito no índice de satisfação, uma vez que tais iniciativas, em geral, não são percebidas pelo consumidor.

Embora nossa segunda hipótese afirma que os investimentos em P&D contribuem para um melhor desempenho em qualidade, os modelos 2 e 3 evidenciam não haver qualquer relação entre tais investimentos e as variáveis DEC e IASC, aqui vistas sob a ótica da qualidade do serviço. Esse fato nos leva a rejeitar nossa segunda hipótese, e a questionar a especificação dos modelos 2 e 3 para explicar as variáveis DEC e IASC.

4.2.3. Modelos de Regressão em Painel para Desempenho em Perdas

Revelamos, agora, os resultados do modelo de regressão em painel para a variável Perdas, obtidos no teste de nossa terceira e última hipótese de estudo: investimentos em P&D por parte de uma distribuidora de energia contribuem para a redução das perdas de energia em seu processo de distribuição.

Das quatro variáveis dependentes analisadas, a variável PERDAS é a que se mostra mais afetada pelos investimentos em P&D. A Figura 26 mostra um coeficiente

negativo para a variável PED_K, indicando uma relação inversa entre PERDAS e PED_K, e revelando que as perdas são reduzidas à medida que se investe em P&D. Essa constatação é suportada por um coeficiente altamente significativo, a um nível de 99,9% de confiança. A partir desses resultados, podemos afirmar, com segurança, que os investimentos em P&D contribuem para a redução das perdas de energia elétrica, confirmando a hipótese 3 do nosso estudo.

	(1) PERDAS	(2) PERDAS	(3) PERDAS
EXTREDE	0.971*** (4.51)	0.527*** (5.32)	0.544*** (7.75)
ENERCON		0.150*** (5.67)	0.124*** (9.40)
PED_K			-2014411.2*** (-3.71)
_cons	1045238.7*** (4.97)	252041.7* (2.54)	360765.1** (3.23)
N	318	318	237
r2_w	0.112	0.255	0.248
r2_o	0.287	0.681	0.766
r2_b	0.340	0.680	0.755
chi2	20.37	103.2	432.2
p	0.00000640	3.83e-23	2.30e-93
F			

t statistics in parentheses

* p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001

Figura 26. Resultados dos Modelos de Regressão de PERDAS

Outra evidência que reforça a conclusão acima é a alta capacidade de explicação do modelo especificado para a variável PERDAS. Observamos que a variável EXTREDE explica aproximadamente 29% das perdas. Quando acrescentamos a variável ENERCON, o poder explicativo do modelo sobe para 68%. Com a inclusão da variável PED_K, o modelo revela um R² geral acima de 76%. Todas essas qualidades convergem para a confirmação de nossa hipótese envolvendo investimentos em P&D

e perdas. Diante desse fato, confirmamos nossa terceira hipótese, da qual os investimentos em P&D contribuem para reduzir o volume de perdas de energia.

As Figuras 27 e 28 mostram, por empresa, a relação entre as perdas e os investimentos em P&D ao longo do tempo analisado. Observamos que, de modo geral, à medida que os investimentos em P&D aumentam, as perdas diminuem. O inverso também ocorre, elevando o nível de perdas quando ocorre a redução dos investimentos em P&D.

Figura 27. Relação entre perdas e investimentos em P&D

Nossas análises nos levam a refletir que a ideia de investir em P&D baseado apenas no atendimento a uma obrigação regulatória (Pfitzner, Salles-Filho & Brittes, 2014; Zorzo et al., 2017) pode conduzir as distribuidoras a perderem uma boa oportunidade de, diante deste incentivo, melhorarem seu desempenho, alocando adequadamente seus recursos em projetos orientados por essa oportunidade, e pela busca de melhorias em sua eficiência e competitividade frente aos padrões de desempenho do setor (*yardstick competition*, Shleifer, 1985).

Após todas as evidências que nossa pesquisa fornece, mesmo que não possamos confirmar as três hipóteses de estudo, obtivemos indícios suficientes para comprovar que os investimentos em P&D contribuem, de modo geral, para o desempenho das distribuidoras de energia elétrica, ainda que tais investimentos sejam motivados por força de lei. Cabe às distribuidoras alinhar cada projeto de P&D aos seus indicadores de desempenho, acompanhando o processo de pesquisa e desenvolvimento, e assegurando que seus resultados contribuam para as melhorias necessárias, para seu desempenho e para as prioridades do setor elétrico.

Figura 28. Relação entre perdas e taxa de investimento em P&D sobre Capital

5. CONCLUSÃO

Nossa pesquisa verificou a relação entre os investimentos em P&D e o desempenho das distribuidoras brasileiras de energia elétrica, no período entre 2011 e 2016. Em linha com nosso referencial teórico, tratamos o desempenho sob três perspectivas: 1) desempenho econômico-financeiro; 2) desempenho em qualidade na prestação de serviço; e 3) desempenho em perdas de energia. Três hipóteses foram enunciadas a partir de nosso levantamento da literatura, meio pelo qual também identificamos as principais variáveis associadas a desempenho, empregadas na especificação dos nossos modelos de regressão em painel, utilizados para o teste das hipóteses.

Após a análise de nossa amostra, concluímos que apenas a segunda hipótese não pode ser confirmada, ou seja, não encontramos evidências significativas que mostrem que os investimentos em P&D contribuam para um melhor desempenho em qualidade do serviço. As variáveis selecionadas para representar esse desempenho foram a DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) e o IASC (Índice ANEEL de Satisfação do Consumidor), e sua regressão não resultou em coeficientes significantes, tampouco a qualidade do ajuste se mostrou consistente para explicar a variação dessas duas variáveis, conforme resultados apresentados na seção anterior.

No entanto, o desempenho econômico, representado pela variável EBITDA, é afetado positivamente pelos investimentos em P&D, mostrando coeficientes altamente significantes em um modelo com qualidade de ajuste em mais de 53%. O desempenho em perdas, o qual representamos com o próprio volume de perdas, também se mostrou inversamente influenciado pelos investimentos em P&D, ou seja, à medida que uma empresa investe em P&D, seu volume de perdas é reduzido. Os coeficientes obtidos na regressão das perdas se mostraram estatisticamente significantes, e seu modelo de regressão apresentou qualidade do ajuste acima de 76%. Esses resultados confirmam nossa primeira e terceira hipóteses de estudo, nas quais os investimentos em P&D contribuem para a melhoria do desempenho econômico-financeiro e para a redução das perdas das distribuidoras de energia elétrica.

5.1. Limitações de pesquisa

Nossa pesquisa se concentrou no setor elétrico brasileiro, avaliando os indicadores de desempenho associados ao serviço de distribuição de energia elétrica, no período entre 2011 e 2016, comparando apenas as concessionárias ativas nesse período. Empresas permissionárias não são consideradas neste estudo. Também não analisamos ou comparamos o desempenho de empresas que operam nas indústrias de energia elétrica do exterior. No caso de grandes grupos empresariais que possuem distribuidoras no Brasil e no exterior, analisamos os dados relativos apenas às distribuidoras operantes no Brasil, durante o período investigado. Nossa pesquisa também se limitou a analisar e avaliar o desempenho das distribuidoras de energia elétrica, cujas operações são reguladas e fiscalizadas pela ANEEL. Toda e qualquer relação existente entre as operações de distribuição e transmissão e/ou comercialização de energia elétrica não são analisadas neste estudo. Tais relações poderão ser exploradas em pesquisas futuras. Adicionalmente, seguindo a abordagem de estudos anteriores, a análise de desempenho aqui realizada considera variáveis quantitativas que refletem a operação das distribuidoras brasileiras, e não pretendeu capturar aspectos não quantitativos, que podem de algum modo influenciar no desempenho da organização. Esses aspectos também poderão ser estudados futuramente.

Reconhecemos que o investimento em P&D não é determinante no desempenho das distribuidoras. Pelo contrário, o modo como os recursos disponíveis são gerados e organizados é que determinam a eficiência ou a competitividade de uma empresa (BagheriMoghadam, Hosseini & SahafZadeh, 2012). Nosso propósito, contudo, fora de estimar o quanto os investimentos em P&D podem, ou não, contribuir para o desempenho das distribuidoras, tendo em mente haver outros elementos presentes, que influenciam o desempenho das distribuidoras. Notamos isso ao rejeitarmos a segunda hipótese, quando verificamos que os investimentos em P&D não exercem qualquer efeito sobre as durações das interrupções, nem sobre os índices de satisfação do consumidor. Essas duas variáveis precisam ter seus modelos revistos e reavaliados em estudos posteriores, já que representam importantes medidas para o setor elétrico brasileiro.

REFERÊNCIAS¹

Agência Nacional de Energia Elétrica [ANEEL]. (2012). Nota Técnica nº 297/2012-SRE/ANEEL. Recuperado em 20 de julho de 2018, de http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2012/046/resultado/nota_tecnica_nº_297_2012-sre-aneel.pdf.

Agência Nacional de Energia Elétrica [ANEEL]. (2016). Nota Técnica nº 111/2016-SFF/ANEEL. Recuperado em 02 de agosto de 2018, de http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/consulta_publica/documentos/Nota_Tecnica_2016_111.pdf.

Agência Nacional de Energia Elétrica [ANEEL]. (2017a). Relatórios ANEEL. Recuperado em 28 de agosto de 2017, de <http://relatorios.aneel.gov.br/layouts/xlviewer.aspx?id=/RelatoriosSAS/RelSAMPRegiaoEmp.xlsx&Source=http%3A%2F%2Frelatorios%2Eaneel%2Egov%2Ebr%2FRelatoriosSAS%2FForms%2FAIItems%2Easpx&DefaultItemOpen=1>.

Agência Nacional de Energia Elétrica [ANEEL]. (2017b). Índice ANEEL de Satisfação do Consumidor [IASC]. Recuperado em 25 de setembro de 2017, de <http://www.aneel.gov.br/indicadores-da-distribuicao>.

Agência Nacional de Energia Elétrica [ANEEL]. (2018a). Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica. Brasília, DF. Recuperado em 02 de julho de 2018, de http://www.aneel.gov.br/programa-de-p-d/-/asset_publisher/ahiml6B12kVf/content/temas-para-investimentos-em-p-1/656831?inheritRedirect=false.

Agência Nacional de Energia Elétrica [ANEEL]. (2018b). Manual do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento. Recuperado em 02 de julho de 2018, de http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/leitura_arquivo/default.cfm?idaplicacao=56

Agência Nacional de Energia Elétrica [ANEEL]. (2018c). Índice ANEEL de Satisfação do Consumidor [IASC]. Recuperado em 12 de agosto de 2018, de <http://www.aneel.gov.br/metodologia-iasc>.

Agência Nacional de Energia Elétrica [ANEEL]. (2018d). Sustentabilidade Econômico-Financeira. Base de Dados em Formato Excel - Base 2017 3T. Recuperado em 17 de março de 2018, de http://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas/-/asset_publisher/CegkWaVJWF5E/content/sustentabilidade-economico-financeira/656815?inheritRedirect=false.

Alves, A. P., Silva, T. G., Macedo, M. A. da S., & Marques, J. A. V. da C. (2011). A relevância dos gastos com p&d para o mercado brasileiro de capitais: um estudo com distribuidoras de energia elétrica no período de 2002 a 2009. *RAI – Revista de Administração e Inovação*, 8(2), 216–239. <https://doi.org/10.5773/rai.v8i2.703>

Amado, C. A. F., Santos, S. P., & Sequeira, J. F. C. (2013). Using Data Envelopment Analysis to support the design of process improvement interventions in electricity distribution. *European Journal of Operational Research*, 228(1), 226–235. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.01.015>

Bagdadioglu, N., Senyücel, O. (2010). Service Quality Regulation in Electricity Distribution. The 6th International Scientific Conference “Business and Management 2010”. Vilnius Gediminas Technical University Publishing House “Technika”, Vilnius, Lithuania. 776e781.

BagheriMoghadam, N., Hosseini, S. H., & SahafZadeh, M. (2012). An analysis of the industry-government-university relationships in Iran’s power sector: A benchmarking approach. *Technology in Society*, 34(4), 284–294. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2012.09.001>

Battese, G.E., Coelli, T.J. (1995). A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production for panel data. *Empirical Economics* 20, 325–333.

Çelen, A. & Yalçın, N. (2012). Performance assessment of Turkish electricity distribution utilities: An application of combined FAHP/TOPSIS/DEA methodology to incorporate quality of service. *Utilities Policy*, 23, 59–71. <http://doi.org/10.1016/j.jup.2012.05.003>

Çelen, A. (2013). Efficiency and productivity (TFP) of the Turkish electricity distribution companies: An application of two-stage (DEA&Tobit) analysis. *Energy Policy*, 63, 300–310. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.09.034>

Çelen, A. 2011. Measuring the efficiency of the Turkish electric distribution sector using stochastic frontier analysis. Unpublished M.Sc. thesis, Middle East Technical University, Industrial Engineering Department.

Choi, S. J., Choi, D. G., Friley, P., Kim, H., & Park, S. Y. (2017). Quantitative Analysis on the Energy and Environmental Impact of the Korean National Energy R&D Roadmap a Using Bottom-Up Energy System Model. *Sustainability*, 9(5), 538. <https://doi.org/10.3390/su9040538>

Cohen, W. M., & Levinthal, D. A. (1989). Innovation and Learning: The Two Faces of R&D. *The Economic Journal*, 99(397), 569–596. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0297.2010.02368.x>

Cooper, D. R., & Schindler, P. S. (2016). *Métodos de Pesquisa em Administração*; tradução Scientific Linguagem Ltda, textos da 10 ed.: Iuri Duquia Abreu. 12ª Edição. AMGH Editora Ltda. Porto Alegre, RS. McGraw Hill Brasil.

Edvardsen, D.F., Forsund, F.R. (2003). International benchmarking of electricity distribution utilities. *Resource and Energy Economics* 25 (4), 353e374.

Engle, P. (2010). Why care about EBITDA? *Industrial Engineer*, 42(3), 22. Retrieved from www.scopus.com

e-SIC. (2017). Sistema Eletrônico do Serviço de Informação ao Cidadão. Solicitação atendida em 30 de dezembro de 2016, com atualizações em 23 de janeiro de 2017 e 27 de setembro de 2017, de <https://esic.cgu.gov.br/sistema/site/index.aspx>.

Fumagalli, E., Lo Schiavo, L. (2009). Regulating and improving the quality of electricity supply: the case of Italy. *European Review of Energy Markets* 3 (2), 1e27.

Giannakis, D., Jamasb, T., & Pollitt, M. (2005). Benchmarking and incentive regulation of quality of service: An application to the UK electricity distribution networks. *Energy Policy*, 33(17), 2256–2271. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2004.04.021>.

Growitsch, C., Jamasb, T., Pollitt, M. (2009). Quality of service, efficiency, and scale in network industries: an analysis of European electricity distribution. *Applied Economics* 41 (20), 2555e2570.

Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2011). *Econometria Básica*; tradução Denise Durante, Mônica Rosemberg e Maria Lúcia G. L. Rosa; revisão técnica Claudio D. Shikida, Ari Francisco de Araújo Júnior e Márcio Antônio Salvato. 5ª edição. Porto Alegre, RS. Amgh Editora.

Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., Anderson, R. E., & Tatham, R. L. (2009). *Análise multivariada de dados*; tradução Adonai Schlup Sant'Anna; revisão técnica Maria Aparecida Gouvêa. 6ª edição. Porto Alegre, RS. Bookman Editora.

Hirschhausen, C.v., Cullman, A., Kappeler, A. (2006). Efficiency analysis of German electricity distribution utilities: nonparametric and parametric tests. *Applied Economics* 38 (21), 2553e2566.

Jamasb, T., Pollitt, M. (2001). Benchmarking and regulation of electricity transmission and distribution utilities: Lessons from international experience. Department of Applied Economics, University of Cambridge.

Jefferson, G. H., Huamao, B., Xiaojing, G., & Xiaoyun, Y. (2006). R&D Performance in Chinese Industry. *Economics of Innovation and New Technology*, 15(4–5), 345–366. <https://doi.org/10.1080/10438590500512851>.

Jha, D. K., Yorino, N., & Karki, N. R. (2011). Evaluating performance of electricity distribution centers and improving relative operational efficiencies through reorganization: A case of Nepal. *International Journal of Emerging Electric Power Systems*, 12(2). <http://doi.org/10.2202/1553-779X.2368>.

Jones, C. I., & Williams, J. C. (1998). Measuring the social return to R&D. *The Quarterly Journal of Economics*, 113(4), 1119–1135. <https://doi.org/10.1162/003355398555856>.

Lei nº 10.847. (2004, 15 de março). Recuperado em 2 de julho de 2018, de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2004-2006/2004/lei/l10.847.htm.

Lei nº 13.203. (2015, 8 de dezembro). Recuperado em 2 de julho de 2018, de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Ato2015-2018/2015/Lei/l13203.htm.

Lei nº 6.404. (1976, 15 de dezembro). Recuperado em 12 de agosto de 2018, de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6404consol.htm.

Lei nº 9.991. (2000, 24 de julho). Recuperado em 2 de julho de 2018, de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9991.htm.

Leme, R. C., Paiva, A. P., Steele Santos, P. E., Balestrassi, P. P., & Galvão, L. de L. (2014). Design of experiments applied to environmental variables analysis in electricity utilities efficiency: The Brazilian case. *Energy Economics*, 45, 111–119. <http://doi.org/10.1016/j.eneco.2014.06.017>.

Miliotis, P. A. (1992). Data Envelopment Analysis Applied to Electricity Distribution Districts. *The Journal of Operational Research Society*. Vol. 43. No. 5. Mathematical Programming in Honour of Ailsa Land (May, 1992), PP 549-555.

Moya, Y. A. P., Flórez, G. A. G., & Medina, E. O. (2010). Avaliação do desempenho do setor de distribuição de eletricidade na colômbia: uma aplicação da análise de fronteira estocástica.

Mullarkey, S., Caulfield, B., McCormack, S., & Basu, B. (2015). A framework for establishing the technical efficiency of Electricity Distribution Counties (EDCs) using Data Envelopment Analysis. *Energy Conversion and Management*, 94, 112–123. <http://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.01.049>

Oliveira, M. A. C., Mendes, D. R. F., Moreira, T. B. S., & Cunha, G. H. de M. (2015). Análise econométrica dos dispêndios em pesquisa & desenvolvimento (P&D) no brasil. *RAI – Revista de Administração e Inovação*, 12(3), 268–286.

Pacudan, R., de Guzman, E. (2002). Impact of energy efficiency policy to productive efficiency of electricity distribution industry. *Energy Economics* 24 (1), 41e54.

Pereira De Souza, M. V., Diallo, M., Castro Souza, R., & Baidya, T. K. N. (2010). The cost efficiency of the brazilian electricity distribution utilities: A comparison of bayesian SFA and DEA models. *Mathematical Problems in Engineering*, 2010. <http://doi.org/10.1155/2010/593059>.

Pereira de Souza, M. V., Souza, R. C., Pessanha, J. F. M., da Costa Oliveira, C. H., & Diallo, M. (2014). An application of data envelopment analysis to evaluate the efficiency level of the operational cost of Brazilian electricity distribution utilities. *Socio-Economic Planning Sciences*, 48(3), 169–174. <http://doi.org/10.1016/j.seps.2014.03.002>.

Pérez-Reyes, R., & Tovar, B. (2010). Explaining the inefficiency of electrical distribution companies: Peruvian firms. *Energy Economics*, 32(5), 1175–1181. <http://doi.org/10.1016/j.eneco.2010.02.002>.

Pfitzner, M., Salles-Filho, S. L. M., & Brittes, J. L. P. (2014). Análise da dinâmica de P&D&I na construção do Sistema Setorial de Inovação de energia elétrica para o Brasil. *Gestão & Produção*, 21(3), 463–476. <https://doi.org/10.1590/0104-530X230>.

Pinto, S. R. da R., & Maisonnave, P. R. (2012). Inovação e investimentos no setor elétrico brasileiro sob a ótica de gestores de P&D. *Review of Administration and Innovation - RAI*, 9(3), 04-27. <https://doi.org/10.5773/rai.v9i3.533>.

Shleifer, A. (1985). A theory of yardstick competition. *Rand Journal of Economics*, 16, 319-327.

Souza, M. V. P. De, Souza, R. C., & Pessanha, J. F. M. (2010). Custos operacionais eficientes das distribuidoras de energia elétrica: um estudo comparativo dos modelos DEA e SFA. *Gestão & Produção*, 17(4), 653–667. <http://doi.org/10.1590/S0104-530X2010000400002>.

Tobin, J. (1958). Estimation of relationships for limited dependent variables. *Econometrica* 26, 24–36.

Weyman-Jones, T. (1991). Productive efficiency in a regulated industry. *Energy Economics*, 13(2), 116–122.

Wiesenthal, T., Mercier, A., Schade, B., Petric, H., & Dowling, P. (2012). A model-based assessment of the impact of revitalised R&D investments on the European power sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 105–112. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.139>.

Wooldridge, J. M. (2016). *Introdução à econometria: uma abordagem moderna*; tradução Priscilla Rodrigues da Silva Lopes e Livia Marina Koepl; revisão técnica Heloisa Pinna Bernardo. São Paulo, SP. Cengage Learning.

Xavier, S. S., Lima, J. W. M., Lima, L. M. M., & Lopes, A. L. M. (2015). How Efficient are the Brazilian Electricity Distribution Companies? *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*, 26(3), 283–296. <http://doi.org/10.1007/s40313-015-0178-2>.

Yadav, V. K., Padhy, N. P., & Gupta, H. O. (2010). A micro level study of an Indian electric utility for efficiency enhancement. *Energy*, 35(10), 4053–4063. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2010.06.011>.

Yadav, V. K., Padhy, N. P., & Gupta, H. O. (2011). Performance evaluation and improvement directions for an Indian electric utility. *Energy Policy*, 39(11), 7112–7120. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.08.028>.

Yadav, V. K., Padhy, N. P., & Gupta, H. O. (2014). The Evaluation of the Efficacy of an Ongoing Reform Initiative of an Indian Electric Utility. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 9(3), 291–300. <http://doi.org/10.1080/15567249.2010.493918>.

Zorzo, L. S., Diehl, C. A., Venturini, J. C., & Zambon, E. P. (2017). The relationship between the focus on innovation and economic efficiency: a study on Brazilian electric power distribution companies. *RAI Revista de Administração e Inovação*, 14(3), 235–249. <https://doi.org/10.1016/j.rai.2017.03.011>

¹ De acordo com o estilo APA – American Psychological Association

APÊNDICE A – Temas para investimento em de P&D

TEMAS PROPOSTOS PARA INVESTIMENTO NOS MANUAIS DE P&D DA ANEEL (2000 A 2012)	2000	2002	2006	2008	2012
Des. de tecnologia para combate ao furto e fraude de energia elétrica			✓		
Distribuição de energia elétrica		✓			
Eficiência energética	✓	✓	✓	✓	✓
Energia renovável	✓	✓			
Fonte renovável ou alternativa de geração de energia elétrica			✓		
Fontes alternativas de geração de energia elétrica				✓	✓
Geração de Energia Elétrica	✓	✓			
Geração termelétrica				✓	✓
Gestão de bacias e reservatórios				✓	✓
Medição		✓			
Medição e faturamento			✓		
Medição, faturamento e combate a perdas comerciais				✓	✓
Meio ambiente	✓	✓	✓	✓	✓
Novos materiais e componentes			✓		
Operação de Sistemas de Energia Elétrica				✓	✓
Pesquisa estratégica	✓	✓	✓		
Planejamento de Sistemas de Energia Elétrica				✓	✓
Planejamento e operação de sistemas elétricos			✓		
Qualidade		✓			
Qualidade e confiabilidade			✓		
Qualidade e Confiabilidade dos Serviços de Energia Elétrica				✓	✓
Segurança				✓	✓
Supervisão, Controle e Proteção de Sistemas de Energia Elétrica				✓	✓
Supervisão, controle e proteção de sistemas elétricos		✓	✓		
Transmissão de dados por redes elétricas		✓	✓		
Transmissão de energia elétrica		✓			

Fonte: ANEEL (2018a; 2018b)

APÊNDICE B – Benefícios esperados dos projetos de P&D

BENEFÍCIO ESPERADOS APONTADOS PELOS MANUAIS DE P&D DA ANEEL	CLASSIFICAÇÃO
· Algoritmo;	Produto da pesquisa básica
· Estrutura e Modelo;	
· Dados e Parâmetros;	
· Metodologia ou técnica;	Produto da pesquisa aplicada
· Protótipo ou projeto demonstrativo (piloto);	
· Produto ou dispositivo novo ou aperfeiçoado;	Produto de desenvolvimento experimental
· Processo novo ou aperfeiçoado;	
· Software novo ou aperfeiçoado;	
· Material novo ou aperfeiçoado;	
· Serviço novo ou aperfeiçoado;	
· Títulos de doutorado (número);	Capacitação científica e tecnológica
· Títulos de mestrado (número);	
· Títulos de especialização (número);	
· <i>Royalties</i> recebidos pela instituição como resultado de transferência de tecnologia, licenciamento de tecnologia ou qualquer outra forma de comercialização;	Contribuição econômica
· Economias de custos resultantes da contratação;	
· Aquisição de equipamentos;	Contribuição à infraestrutura
· Ampliação ou melhoria das instalações;	
· Montagem de redes de informação e bancos de dados;	
· Reconhecimento como Centro de Excelência;	Contribuição à reputação
· Prêmios;	
· Demanda por serviços de consultoria;	
· Artigos em Revistas e Anais;	
· Participação em Conferências, Seminários e Congressos;	
· Interações com a indústria nacional;	Impactos setoriais e nacionais
· Interações internacionais;	
· Interações com instituições de P&D e universidades brasileiras;	
· Interações com instituições de P&D e universidades estrangeiras.	
· Melhoria na saúde;	Benefícios socioeconômicos
· Melhoria na segurança;	
· Melhoria no meio ambiente;	
· Melhoria na eficiência energética na geração e consumo de energia elétrica;	
· Melhoria nas relações internacionais;	

Fonte: ANEEL (2018a; 2018b)