

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Fernando de Souza Savian

**PERDAS NÃO TÉCNICAS NA DISTRIBUIÇÃO DE ELETRICIDADE:
ESTRATÉGIAS DE CONTROLE E APOIO À TOMADA DE DECISÃO**

Santa Maria, RS
2022

Fernando de Souza Savian

**PERDAS NÃO TÉCNICAS NA DISTRIBUIÇÃO DE ELETRICIDADE:
ESTRATÉGIAS DE CONTROLE E APOIO À TOMADA DE DECISÃO**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção, Área de Concentração em Gerência da Produção, Linha de Pesquisa Inteligência Organizacional, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Doutor em Engenharia de Produção**.

Orientador: Prof. Dr. Julio Cezar Mairesse Siluk

Santa Maria, RS
2022

Este estudo foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Finance Code 001

Savian, Fernando de Souza

Perdas não técnicas na distribuição de eletricidade: estratégias de controle e apoio à tomada de decisão / Fernando de Souza Savian.- 2022.
212 p.; 30 cm

Orientador: Julio Cezar Mairesse Siluk

Coorientador: José Renes Pinheiro

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, RS, 2022

1. Distribuição de eletricidade 2. Estratégia 3. Perda não técnica 4. Política energética 5. Tomada de decisão

I. Siluk, Julio Cezar Mairesse II. Pinheiro, José Renes III. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a).
Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, FERNANDO DE SOUZA SAVIAN, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Tese) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

Fernando de Souza Savian

**PERDAS NÃO TÉCNICAS NA DISTRIBUIÇÃO DE ELETRICIDADE:
ESTRATÉGIAS DE CONTROLE E APOIO À TOMADA DE DECISÃO**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção, Área de Concentração em Gerência da Produção, Linha de Pesquisa Inteligência Organizacional, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Doutor em Engenharia de Produção**.

Aprovado em 24 de Novembro de 2022:

Julio Cezar Mairesse Siluk, Dr. (UFSM) - Videoconferência
(Presidente/Orientador)

José Renes Pinheiro, Dr. (UFSM/UFBA) - Videoconferência
(Coorientador)

Arturo Suman Bretas, Dr. (University of Florida) - Videoconferência

Henrique de Oliveira Henriques, Dr. (UFF) - Videoconferência

Paula Donaduzzi Rigo, Dra. (UFSM) - Videoconferência

Santa Maria, RS
2022

*À minha família, José, Fátima, Oda, Bibiana e Taís,
por me guiarem a cada dia pelo belo caminho da felicidade.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, agradeço por me guiar pelo caminho do conhecimento e da honestidade.

À Universidade Federal de Santa Maria, berço de tantas mentes brilhantes, que manteve suas portas abertas a mim, disponibilizando uma estrutura ímpar para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao meu orientador e amigo, Prof. Dr. Julio Cezar Mairesse Siluk, por potencializar minhas qualidades, apontar e corrigir minhas fraquezas e acreditar em meu potencial como pesquisador e ser humano.

Ao meu co-orientador, Prof. Dr. José Renes Pinheiro, pelos ensinamentos de alto nível e pelo apoio dispendido à realização desta tese.

À Prof^a. Dra. Zita Vale, ao Prof. Dr. Henrique Henriques, ao Prof. Dr. Arturo Bretas e ao Prof. Dr. Tiago Marchesan, que contribuíram significativamente para que esta pesquisa atingisse o patamar de uma tese de doutorado.

À melhor família do mundo! Sou grato aos meus pais, José Flores Savian e Fátima Marilusa de Souza Savian, à minha segunda mãe, Lourdes Pinto da Silva, e à minha irmã, Bibiana Pinto da Silva, pelo apoio incondicional à minha escolha de carreira como pesquisador.

À minha companheira de vida, melhor amiga e pesquisadora de excelência, Dra. Taís Bisognin Garlet, por estar junto a mim em cada etapa dessa linda jornada que é a vida.

Aos meus demais familiares, tanto aqueles que aqui estão quanto aqueles que seguem vivos em memória e em saudade, por serem pilares de confiança e inspiração.

À minha segunda família! Agradeço a Valdir Dalcin Garlet, Tanea Maria Bisognin Garlet e Bruno Bisognin Garlet pelo incentivo e pela torcida para que esse sonho se concretizasse.

Aos queridos colegas do Núcleo de Inovação e Competitividade, pesquisadores de altíssimo nível que compartilharam diariamente conhecimento para que essa pesquisa atingisse seu patamar final.

Aos professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, por sua contribuição em minha formação profissional e pelo zelo com que me trataram em meu período de doutorado.

Aos profissionais que participaram desta pesquisa, pelo compartilhamento fundamental de conhecimento, viabilizando os resultados desta tese.

Aos grandes amigos da vida! Àqueles que me apoiaram incondicionalmente em cada passo dessa trajetória, torcendo a cada dia para que eu atingisse o sonho de me tornar doutor.

A todos vocês, agradeço do fundo do meu coração!

Que se ilumine!

Dan Torrance

RESUMO

PERDAS NÃO TÉCNICAS NA DISTRIBUIÇÃO DE ELETRICIDADE: ESTRATÉGIAS DE CONTROLE E APOIO À TOMADA DE DECISÃO

AUTOR: Fernando de Souza Savian

ORIENTADOR: Prof. Dr. Julio Cezar Mairesse Siluk

A distribuição de eletricidade no Brasil é fundamental para garantir a competitividade dos setores industrial, comercial e rural, além de prover bem-estar social. Contudo, nem toda a eletricidade injetada no sistema de distribuição chega ao consumidor e uma parte significativa da energia consumida não é faturada pelas concessionárias. Essa última parcela, também chamada de perda não técnica, gera perdas econômicas significativas, afeta a qualidade e a confiabilidade da rede e impacta diretamente na tarifa de eletricidade. Nesse cenário, concessionárias, agência reguladora, legisladores e pesquisadores vêm desenvolvendo ações para identificar e mitigar perdas não técnicas e seus efeitos ao longo dos últimos anos no país. No entanto, esquemas de fraude são aprimorados constantemente, a inadimplência aumenta à medida que a tarifa sobe e a renda média da população decresce, e as características socioeconômicas, geográficas, culturais e técnicas de um país com dimensões continentais como o Brasil dificultam a seleção dos métodos mais eficientes no combate às perdas não técnicas. Sendo assim, esta tese propôs um modelo que permite auxiliar concessionárias brasileiras de distribuição de eletricidade no processo de tomada de decisão para identificação e mitigação de perdas não técnicas. A proposta dessa tese baseou-se em uma abordagem metodológica mista, utilizando-se de técnicas qualitativas, como revisão sistemática da literatura e entrevistas semi-estruturadas, e quantitativas, como análise bibliométrica e análise de decisão multicritério. Os principais resultados obtidos compreenderam: (i) visão geral dos indicadores de pesquisas sobre perdas não técnicas em anais de conferência, identificando os locais onde podem ser encontrados os artigos de maior relevância; (ii) definição unificada de perdas não técnicas; (iii) identificação das principais consequências das perdas não técnicas para países, concessionárias e sociedade; (iv) seleção das principais barreiras para identificação de perdas não técnicas; (v) seleção das principais estratégias para identificação de perdas não técnicas; (vi) análise das principais regulações e legislações sobre o tema no mundo; (vii) identificação dos fatores que auxiliam e dificultam na identificação e mitigação de perdas não técnicas no Brasil; (viii) análise dos panoramas atual e futuro das perdas não técnicas no país; (ix) modelo que auxilia no processo de tomada de decisão das concessionárias para seleção de métodos de identificação de perdas não técnicas. Sob a perspectiva acadêmica, os resultados permitem expandir o conhecimento sobre o tema, realizando contribuições únicas na literatura. Sob o ponto de vista prático, a pesquisa contribui para a compreensão do cenário por parte das distribuidoras, facilitando o processo de tomada de decisão estratégica para combater as perdas não técnicas. Os resultados também fornecem um direcionamento para formulação de políticas públicas, regulações e legislações para minimizar os efeitos das perdas não técnicas no Brasil.

Palavras-chave: Distribuição de eletricidade. Estratégia. Perda não técnica. Política energética. Tomada de decisão.

ABSTRACT

NON-TECHNICAL LOSSES IN ELECTRICITY DISTRIBUTION: CONTROL AND SUPPORT STRATEGIES FOR DECISION-MAKING

AUTHOR: Fernando de Souza Savian
ADVISOR: Prof. Julio Cezar Mairesse Siluk, Dr.

Electricity distribution in Brazil is essential to guarantee the competitiveness of the industrial, commercial and rural sectors and provide social well-being. However, not all the electricity injected into the distribution system reaches the consumer, and the concessionaires do not bill a significant part of the energy consumed. It is also called non-technical loss, generates substantial economic losses, affects the network's quality and reliability, and directly impacts the electricity tariff. In this scenario, concessionaires, regulatory agencies, legislators, and researchers have been developing actions to identify and mitigate non-technical losses and their effects over the last few years in the country. However, fraud schemes are constantly being improved, and delinquency increases as tariffs rise as the population's average income decreases. Furthermore, the socio-economic, geographical, cultural, and technical characteristics of a country with continental dimensions like Brazil make it challenging to select the most efficient methods to combat non-technical losses. Therefore, this thesis proposed an approach that helps Brazilian electricity distribution concessionaires in the decision-making process to identify and mitigate non-technical losses. This thesis proposal was based on a mixed methodological approach, using qualitative techniques, such as a systematic literature review and semi-structured interviews, and quantitative techniques, such as bibliometric analysis and multi-criteria decision analysis. The main results obtained were: (i) an overview of research indicators on non-technical losses in conference proceedings, identifying where the most relevant articles can be found; (ii) a unified definition of non-technical losses; (iii) identification of the main consequences of non-technical losses for countries, concessionaires, and society; (iv) selection of the main barriers for the identification of non-technical losses; (v) selection of the main strategies for identifying non-technical losses; (vi) analysis of the principal regulations and legislation on the subject in the world; (vii) identification of factors that help and hinder the identification and mitigation of non-technical losses in Brazil; (viii) analysis of the current and future scenarios of non-technical losses in the country; (ix) a model that assists in the decision-making process of the concessionaires for the selection of methods for identifying non-technical losses. From an academic perspective, the results expand knowledge on the subject, making unique contributions to the literature. From a practical point of view, the research contributes to the distributors' understanding of the scenario, facilitating the strategic decision-making process to combat non-technical losses. The results also guide the formulation of public policies, regulations, and legislation to minimize the effects of non-technical losses in Brazil.

Keywords: Decision-making. Electricity distribution. Energy policy. Non-technical loss. Strategy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura da Pesquisa	32
Figura 2 – Caracterização dos artigos propostos.....	34
Figura 3 – Número de artigos por ano de publicação	45
Figura 4 – Evolução do número de publicações por país.....	48
Figura 5 – Visão geral dos resultados	74
Figura 6 – Etapas metodológicas	127
Figura 7 – Estrutura para análise dos dados.....	133

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estratégias para identificação de artigos sobre perdas não técnicas	44
Tabela 2 – Dados sobre os autores que mais publicaram sobre o tema da pesquisa.....	46
Tabela 3 – Dados sobre os países que mais publicaram sobre o tema da pesquisa	47
Tabela 4 – Instituições mais produtivas sobre perdas não técnicas entre 1987 e 2021.....	49
Tabela 5 – Fundações patrocinadoras de maior destaque na pesquisa.....	50
Tabela 6 – 10 palavras-chave mais citadas pelos autores	51
Tabela 7 – Artigos mais citados	52
Tabela 8 – Características dos artigos que abordam perdas não técnicas	54
Tabela 9 – Protocolo de revisão	71
Tabela 10 – Definições de perdas não técnicas encontradas na revisão sistemática.....	75
Tabela 11 – Consequências das perdas não técnicas para países, concessionárias e sociedade.....	85
Tabela 12 – Perfil dos respondentes.....	131
Tabela 13 – Desafios para identificação de perdas não técnicas no Brasil	139
Tabela 14 – Desafios para mitigação de perdas não técnicas no Brasil.....	143
Tabela 15 – Fatores que auxiliam no combate às perdas não técnicas no Brasil.....	147
Tabela 16 - Escala de mensuração da adequação de cada conjunto de métodos ai em um fator g_j e enquadramento das categorias de resultados (C^h).....	177
Tabela 17 – Definição do peso dos fatores da zona de concessão	179
Tabela 18 – Desempenho dos grupos de métodos por fator (média das respostas).....	179
Tabela 19 – Relação de Superação Valorada	180
Tabela 20 – Categorização dos grupos de métodos propostos.....	180
Tabela 21 – Artigos sugeridos para implementação à distribuidora	184

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADMC	Análise de Decisão Multicritério
AMI	<i>Advanced Metering Infrastructure</i>
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CRTP	Ciclo de Revisão Tarifária Periódica
EDL	<i>Electricité du Liban</i>
ELECTRE	<i>Élimination Et Choix Traduisant la Réalité</i>
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações
MPF	Ministério Público Federal
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PIB	Produto Interno Bruto
PL	Projeto de Lei
PNT	Perda Não Técnica
PRISMA	<i>Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses</i>
PRORET	Procedimentos de Regulação Tarifária
RNB	Renda Nacional Bruta
VAr	<i>Volt-Ampère Reativo</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	25
1.1 TEMA E OBJETIVOS	27
1.2 JUSTIFICATIVA	28
1.3 DELINEAMENTO DO ESTUDO	30
1.3.1 Método de pesquisa	30
1.3.2 Método de trabalho	31
1.4 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO	35
1.5 ESTRUTURA DA TESE	36
2 ARTIGO 1 - PERDAS NÃO TÉCNICAS EM DISTRIBUIÇÃO DE ELETRICIDADE: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA	39
2.1 INTRODUÇÃO	40
2.2 MÉTODOS	43
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
2.3.1 Características dos resultados de publicação	44
2.3.2 Desempenho das publicações: países, instituições e fundações patrocinadoras	47
2.3.3 Análise das palavras-chave	50
2.3.4 Artigos mais citados	51
2.3.5 Interpretação dos resultados	54
2.4 CONCLUSÕES	57
2.5 REFERÊNCIAS	59
3 ARTIGO 2 - PERDAS NÃO TÉCNICAS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DE ARTIGOS CONTEMPORÂNEOS	67
3.1 INTRODUÇÃO	68
3.2 MÉTODO	70
3.2.1 Questões de pesquisa, bases de dados e termos de busca	71
3.2.2 Pesquisa na base de dados e seleção preliminar	72
3.2.3 Análise de conteúdo	73
3.2.4 Extração de dados e síntese dos resultados	73
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	73
3.3.1 Definição de perda não técnica	75
3.3.2 Consequências relacionadas às perdas não técnicas	79

3.3.3 Barreiras e estratégias para identificação de perdas não técnicas	89
3.3.4 Regulações e políticas para reduzir perdas não técnicas	97
3.4 CONCLUSÕES	104
3.5 REFERÊNCIAS	106
4 ARTIGO 3 - PERDAS NÃO TÉCNICAS NO BRASIL: VISÃO GERAL, DESAFIOS E DIREÇÕES PARA IDENTIFICAÇÃO E MITIGAÇÃO	123
4.1 INTRODUÇÃO.....	124
4.2 MÉTODOS.....	126
4.2.1 Contextualização da pesquisa	127
4.2.2 Coleta de dados	129
4.2.3 Descrição e análise dos resultados	132
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	133
4.3.1 Panorama das perdas não técnicas no Brasil	133
4.3.2 Desafios para identificação de perdas não técnicas no Brasil	137
4.3.3 Desafios para mitigação de perdas não técnicas no Brasil	140
4.3.4 Fatores que auxiliam no combate às perdas não técnicas no Brasil	144
4.3.5 Futuro das perdas não técnicas no Brasil	148
4.4 CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES POLÍTICAS	150
4.5 REFERÊNCIAS	153
APÊNDICES DO ARTIGO 3	161
APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO PARA PROFISSIONAIS DA DIMENSÃO DE NEGÓCIO	161
APÊNDICE B - QUESTIONÁRIO PARA PROFISSIONAIS DA DIMENSÃO REGULATÓRIA.....	161
APÊNDICE C - QUESTIONÁRIO PARA PROFISSIONAIS DA DIMENSÃO LEGISLATIVA.....	162
APÊNDICE D - QUESTIONÁRIO PARA PROFISSIONAIS DA DIMENSÃO DE CONHECIMENTO	163
5 ARTIGO 4 – PERDAS NÃO TÉCNICAS NA DISTRIBUIÇÃO DE ELETRICIDADE: MODELO PARA TOMADA DE DECISÃO ESTRATÉGICA EM CONCESSIONÁRIAS BRASILEIRAS	165
5.1 INTRODUÇÃO.....	166
5.2 ESTRUTURAÇÃO DO PROBLEMA.....	168
5.3 MÉTODO	172

5.3.1 Construindo o modelo ELECTRE TRI	172
5.3.2 Aplicação do modelo	176
5.3.3 Descrição e análise dos resultados	178
5.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	178
5.4.1 Resultados gerados pelo modelo ELECTRE TRI	178
5.4.2 Escolha dos métodos de identificação de perdas não técnicas	181
5.4.3 Relação dos grupos de métodos com os fatores de caracterização da região de concessão	182
5.5 CONCLUSÕES	186
5.6 REFERÊNCIAS	188
APÊNDICES DO ARTIGO 4	195
APÊNDICE E – DESCRIÇÕES DOS GRUPOS DE MÉTODOS APRESENTADAS AOS ENTREVISTADOS	195
6 CONCLUSÕES	199
6.1 CONTRIBUIÇÕES ACADÊMICAS	200
6.2 CONTRIBUIÇÕES PRÁTICAS	203
6.3 LIMITAÇÕES E OPORTUNIDADES PARA PESQUISAS FUTURAS	204
REFERÊNCIAS	207

1 INTRODUÇÃO

A demanda por eletricidade em países em desenvolvimento está crescendo nos últimos anos, e tende a ultrapassar o consumo dos países desenvolvidos nas próximas décadas (GARLET et al., 2019). Diante desse cenário, estratégias relacionadas à sustentabilidade da geração, transmissão e distribuição de energia elétrica se fazem necessárias para elevar o bem-estar da sociedade e as competitividades industrial, comercial e agropecuária desses países (LUQMAN; HAQ; AHMAD, 2021; NASCIMENTO et al., 2020). No Brasil, o alto custo da eletricidade afeta a competitividade do setor industrial (ZANARDO et al., 2018), trazendo desafios regulatórios relacionados à eficiência e à confiabilidade do sistema de distribuição (AHMAD et al., 2018). Nesse contexto, o sistema elétrico brasileiro vem passando por diversas transformações ao longo das últimas décadas, criando um ambiente competitivo no cenário nacional, com destaque à privatização de geradoras, transmissoras e distribuidoras de energia elétrica (RAMOS, 2014). Essas ações surgiram na década de 1990 como uma resposta do governo federal às frequentes interrupções relacionadas ao racionamento de eletricidade e um desejo de atrair investimentos para o setor (CORTON; ZIMMERMANN; PHILLIPS, 2016).

Sob a perspectiva das concessionárias, um de seus principais objetivos é garantir que a eletricidade contratada seja entregue ao consumidor e faturada, para que seja possível realizar investimentos na rede a fim de manter a qualidade e confiabilidade da distribuição (DOS ANGELOS et al., 2011; KUMAR; PRASAD; SAMIKANNU, 2017; SMITH, 2004). No entanto, parte dessa energia é perdida, gerando prejuízos para as distribuidoras (LEÓN et al., 2011; MESSINIS; HATZIARGYRIOU, 2018). Essas perdas podem ser classificadas de duas formas: técnicas e não técnicas. As perdas técnicas consistem principalmente na dissipação de eletricidade que ocorre no transporte, transformação e distribuição (DEPURU; WANG; DEVA-BHAKTUNI, 2011; VIEGAS et al., 2017). Por outro lado, as perdas não técnicas (PNT) consistem em toda eletricidade que é consumida mas não é faturada pela concessionária (GUERRERO et al., 2018; MONEDERO et al., 2012; PASSOS JÚNIOR et al., 2016; RAMOS et al., 2018). Elas podem ocorrer devido a conexões ilegais, problemas com medidores, estimativas de consumo válidas muito baixas, conexões defeituosas e clientes desconsiderados (IBRAHIM, 2000).

Nas regiões com maior índice de furto de eletricidade, existe uma tendência de aumento na demanda para valores acima das potências nominais dos transformadores. Isso pode resultar em desvios de qualidade, como sobrecarga do transformador, desequilíbrio de tensão e queda de tensão em regime permanente nos barramentos do sistema (ARANGO et al., 2016). Além

dos desafios técnicos mencionados, as concessionárias precisam superar problemas de gestão, aspectos comportamentais da população e características socioeconômicas complexas nas regiões de concessão. Essas dificuldades refletem em grandes prejuízos econômicos e financeiros. Em 2020, as perdas não técnicas no Brasil representaram um custo de aproximadamente R\$ 8,6 bilhões (ANEEL, 2021), valor que é custeado pelas concessionárias e pelos consumidores regulares (ANEEL, 2015). Dessa forma, concessionárias, legisladores, pesquisadores, órgãos governamentais e a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) dedicam esforços para minimizar a perda de eletricidade, que só pode ser superada por meio de pesquisas, políticas públicas, regulamentações e leis planejadas com a colaboração de todas as partes interessadas.

Uma das principais estratégias adotadas no Brasil para mitigação das perdas não técnicas partiu da agência reguladora. O método regulatório baseado em *Yardstick Competition* (SCHLEIFER, 1985) passou a ser utilizado pela ANEEL no segundo Ciclo de Revisão Tarifária Periódica (CRTP), de 2008 a 2013. Essa metodologia, que é aprimorada a cada CRTP, permite à agência comparar o desempenho de empresas similares por meio de *benchmarking* para definir o valor regulatório de receitas irrecuperáveis de determinada empresa (ANEEL, 2020). A regulação por incentivos faz com que as concessionárias busquem níveis de eficiência cada vez maiores no combate às perdas, investindo em estratégias de pesquisa e desenvolvimento (P&D) e telemedição, desenvolvimento de novos métodos de identificação de PNT e campanhas de educação e conscientização da população. No âmbito legislativo, o Código Penal Brasileiro prevê prisão de um a quatro anos e multa para quem furta energia elétrica, que pode ir até cinco anos se o furto for realizado durante o repouso noturno (BRASIL, 1940). Além disso, existem projetos de lei tramitando no Congresso Nacional relacionados ao impacto das perdas não técnicas na composição tarifária (LOPES, 2016; MARINHO, 2019; RIBEIRO, 2019), visto que a regulação brasileira permite que os níveis regulatórios de perdas de cada região de concessão sejam inseridos na tarifa (ANEEL, 2015; SIMÕES et al., 2020).

Os desafios relacionados à identificação e à mitigação de perdas não técnicas aumentam à medida que surgem novos métodos de furto de eletricidade (DEPURU; WANG; DEVA-BHAKTUNI, 2011). Entretanto, o estudo das principais estratégias para controle das PNT pode oferecer vantagens competitivas para as concessionárias e gerar benefícios para a sociedade, que passa a consumir eletricidade mais barata e de melhor qualidade. Dessa forma, quatro questões de pesquisa nortearam a presente tese:

- a) Qual é o panorama das perdas não técnicas a níveis mundial e nacional?
- b) Quais os principais fatores que auxiliam e dificultam no combate às perdas não técnicas no Brasil?

- c) Quais estratégias podem ser desenvolvidas por legisladores, agência reguladora, governo e concessionárias para minimizar os efeitos das perdas não técnicas na sociedade brasileira?
- d) Como auxiliar as concessionárias brasileiras na tomada de decisão estratégica sobre os melhores métodos de identificação de perdas não técnicas?

Nesse contexto, a presente tese visou aprofundar essas questões de pesquisa, ampliando o conhecimento científico sobre o tema e propondo direcionamentos para órgãos governamentais e concessionárias brasileiras. Para tanto, assumiu-se que existem fatores essenciais dentro das dimensões mercadológica, regulatória, legislativa e de conhecimento que influenciam no combate às PNT. Esses fatores devem ser observados pelas concessionárias na determinação dos melhores métodos para identificação de perdas não técnicas, de modo a aumentar o potencial de assertividade no processo. Dessa forma, torna-se possível que a rede de distribuição de eletricidade no Brasil receba mais investimentos, retornando à população eletricidade de qualidade, confiável e a um preço mais acessível.

1.1 TEMA E OBJETIVOS

O tema de pesquisa desta tese contempla o setor de distribuição de eletricidade e como as perdas não técnicas afetam todos os *stakeholders* nesse cenário. Tendo em vista a crescente demanda por eletricidade e os prejuízos gerados por esse tipo de perda, pesquisas que tragam estratégias efetivas no combate às perdas não técnicas vêm ganhando destaque na literatura e no mercado. Nesse cenário, é importante o desenvolvimento de uma pesquisa que beneficie a sociedade através do direcionamento de estratégias de regulações e políticas públicas referentes ao tema e que proporcione meios de vantagem competitiva às concessionárias.

Considerando o tema da pesquisa, o objetivo geral dessa tese foi propor uma abordagem que permita auxiliar concessionárias brasileiras de distribuição de eletricidade no processo de tomada de decisão para identificação e mitigação de perdas não técnicas. Para alcançar o objetivo geral dessa pesquisa, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- a) identificar publicações de qualidade, que possam subsidiar a pesquisa sobre o assunto;
- b) analisar os cenários mundial e brasileiro das perdas não técnicas, apresentando seus impactos e as principais estratégias e políticas para mitigá-las;
- c) compilar os fatores que influenciam na identificação e mitigação de perdas não técnicas no Brasil;

- d) desenvolver um modelo para seleção dos melhores métodos de identificação de perdas não técnicas de acordo com as características das regiões de concessão do Brasil.

1.2 JUSTIFICATIVA

As perdas não técnicas geram diversas consequências irreversíveis para todos os *stakeholders*, incluindo órgãos governamentais, concessionárias e sociedade (KUMAR; PRASAD; SAMIKANNU, 2017; VILLAR-RODRIGUEZ et al., 2017). Seus impactos negativos são potencializados em países de média e baixa renda, que possuem estruturas de rede de distribuição mais precárias e altamente subsidiadas (MORI, 2021; VIEGAS et al., 2017). Para obter resultados efetivos na identificação e mitigação de perdas não técnicas, é necessário compreender as consequências geradas por elas de forma integrada. Cada região do Brasil possui características socioeconômicas muito distintas; portanto, estratégias genéricas de combate às PNT não causam os mesmos impactos para toda a população (MACIEL et al., 2020). Como parte das perdas não técnicas é subsidiada por consumidores regulares, uma alta pressão tarifária pode aumentar o índice de inadimplência e incentivar o furto de eletricidade em consumidores que não tenham condição de pagar pela eletricidade consumida (TASDOVEN; FIEDLER; GARAYEV, 2012; YORUKOGLU et al., 2016). Além disso, consumidores rurais, industriais e comerciais podem ver na fraude de eletricidade uma oportunidade de obtenção de vantagem competitiva diante de seus concorrentes através da redução de custos (COMA-PUIG; CARMONA, 2019).

É reconhecido na literatura que as concessionárias sofrem os impactos econômicos e financeiros das perdas não técnicas, afetando negativamente investimentos no setor elétrico (JAMIL; AHMAD, 2019). Ainda, destaca-se que a redução das perdas técnicas e não técnicas é uma prioridade para as distribuidoras pela necessidade de operar e prestar serviços sob condições de eficiência energética, competitividade econômica e cumprimento de regulamentações nacionais e normas internacionais (VLASA et al., 2020). Sendo assim, soluções relacionadas a pesquisa e gestão ganham importância no combate às PNT (SIMÕES et al., 2020). Procedimentos de reengenharia de processos de negócios relacionados a serviços comerciais permitem maximizar a energia elétrica faturada (SHARMA et al., 2016), e o fortalecimento das bases de dados viabiliza projetos de pesquisa relacionados ao desenvolvimento de algoritmos de identificação de perdas não técnicas com alto índice de custo-benefício para as concessionárias (LEITE; MANTOVANI, 2018). Muitos métodos de combate às PNT são desenvolvidos e publicados anualmente (AHMAD et al., 2018; MESSINIS; HATZIARGYRIOU, 2018; SAVIAN

et al., 2021; VIEGAS et al., 2017), contudo grande parte deles se adequa apenas a características específicas da rede de distribuição e à realidade socioeconômica e comportamental de determinada região.

Kong et al. (2021) dizem que a precisão e a eficiência da detecção de alguns métodos de furto desconhecidos precisam ser melhoradas, e que novos métodos de detecção de perdas não técnicas baseados em dados de medição precisam ser considerados em pesquisas futuras. Saeed et al. (2020) revelam uma lacuna na literatura referente a métodos teóricos, pois há uma forte necessidade de investigar as causas das PNT nos países em desenvolvimento. Ainda, dizem que a avaliação da viabilidade financeira dos métodos baseados em *hardware* é insuficiente na literatura e sugerem a análise de como os métodos orientados à rede se comunicam com métodos orientados a dados, uma vez que essas metodologias normalmente se complementam. Ghori et al. (2020) destacam que há uma necessidade de estender o uso de métricas de avaliação de desempenho para estimar e comparar taxas de erro nos métodos de detecção de perdas não técnicas, sugerindo a seleção de uma combinação de classificadores para conjuntos de dados especificados.

Pazi, Clohessy e Sharp (2020) afirmam que a adoção e uso de um método de seleção de classificadores para detecção de furto de eletricidade permite que fraudadores em potencial sejam identificados com mais facilidade e que o número de horas de inspeções aleatórias seja reduzido. Massaferrero, Martino e Fernandez (2020) confirmam que o retorno sobre o investimento na detecção de fraude de eletricidade pode ser drasticamente melhorado quando soluções são desenvolvidas considerando aspectos econômicos. Segundo Yakubu, Babu e Adjei (2018), é imperativo compreender os fatores que motivam os consumidores a se envolverem em furtos de eletricidade, pois assim é possível desenvolver métodos que permitam extrair provas irrefutáveis para processar fraudadores. Ainda, Messinis e Hatzargyriou (2018) concluem que métodos de identificação de PNT podem ser agrupados de acordo com suas características e comparados qualitativamente por indicadores como desempenho, custo, recursos de volume e variedade de dados, desequilíbrio de classe e tempo de resposta.

Conforme é possível observar nas pesquisas citadas, existem muitas lacunas a serem exploradas acerca de perdas não técnicas e seus impactos para concessionárias e sociedade. Destaca-se ainda que não existem estudos na literatura que abordem especificamente as questões investigadas por esta tese, que iniciou explorando o cenário mundial da pesquisa na área, identificou os principais fatores que interferem no combate às perdas não técnicas no Brasil e, por fim, apresentou um modelo para seleção das melhores metodologias de identificação de PNT considerando as características específicas de cada região de concessão no país. Os artigos

supracitados, contudo, se apresentam como pontos de partida para condução deste estudo, que propôs uma abordagem singular na literatura que auxilia a tomada estratégica de decisão das concessionárias brasileiras no controle das perdas não técnicas.

1.3 DELINEAMENTO DO ESTUDO

Após a definição das questões de pesquisa, dos objetivos e da justificativa e relevância da tese, esta seção apresenta o delineamento do estudo. Inicialmente, o enquadramento metodológico é explicado, seguido pelos métodos utilizados para a obtenção dos resultados da tese.

1.3.1 Método de pesquisa

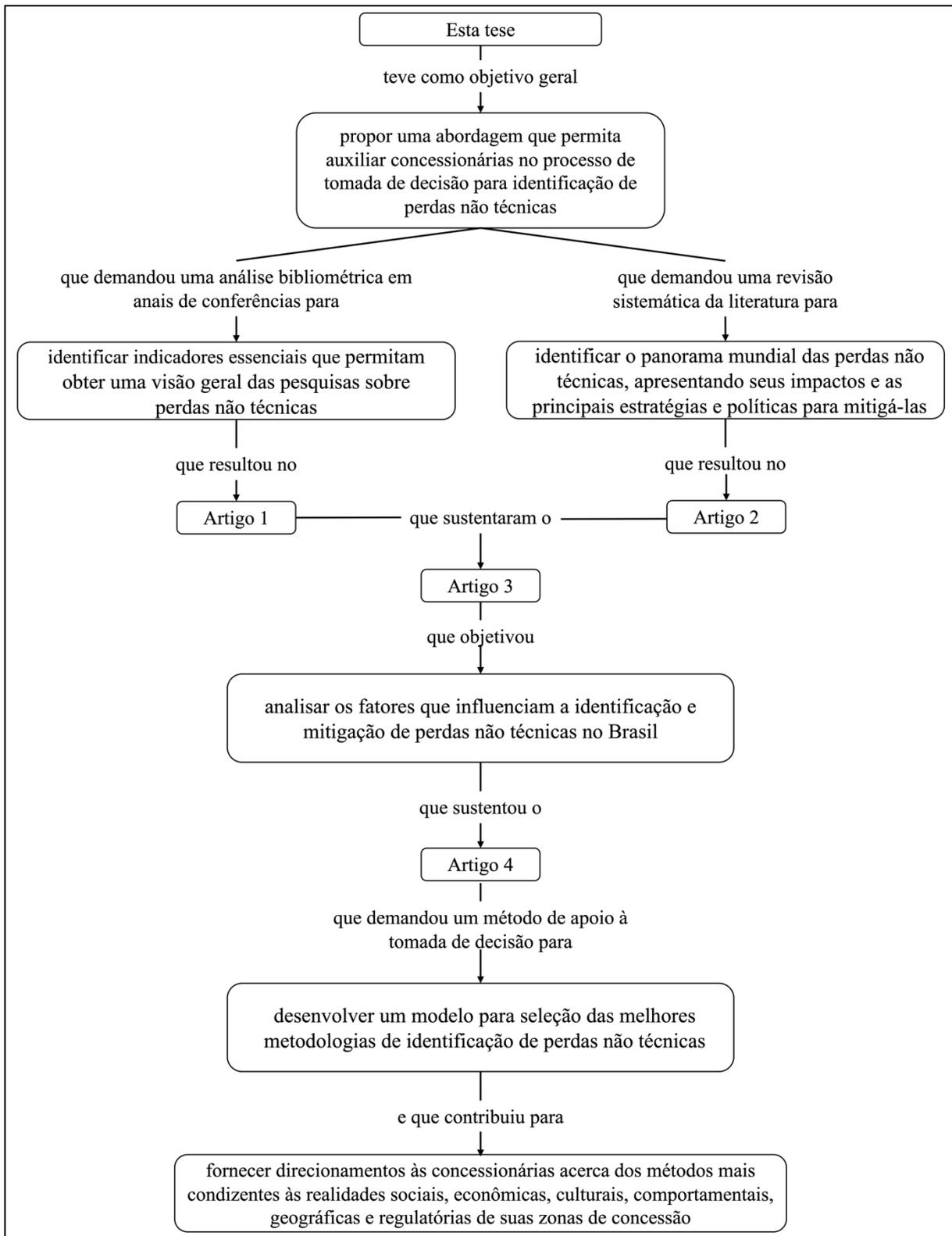
Pesquisas são caracterizadas pela utilização de métodos científicos, que são um conjunto de atividades sistemáticas e racionais que permitem produzir conhecimentos válidos e verdadeiros, traçando o caminho a ser seguido, detectando erros e auxiliando as decisões dos cientistas (MARCONI; LAKATOS, 2019). Quanto à sua finalidade, essa pesquisa pode ser considerada aplicada, pois foi voltada à aquisição de conhecimentos com vistas à aplicação em uma situação específica. Quanto ao seu propósito, é exploratória, pois permitiu proporcionar maior familiaridade com o fenômeno das perdas não técnicas, envolvendo levantamento bibliográfico e entrevistas com pessoas que possuem experiência prática no assunto (GIL, 2018).

Quanto ao método científico, esse estudo é caracterizado como indutivo, pois partiu de dados particulares e suficientemente constatados para levar a conclusões cujo conteúdo é muito mais amplo do que o das premissas nas quais se basearam (MARCONI; LAKATOS, 2019). A pesquisa segue um método misto. Possui uma abordagem qualitativa ao desenvolver uma revisão sistemática da literatura e entrevistas semiestruturadas para compreensão do panorama global e nacional das perdas não técnicas. Também segue uma abordagem quantitativa ao desenvolver análise bibliométrica e utilizar o método de análise de decisão multicritério *Élimination et Choix Traduisant la Réalité* (ELECTRE) TRI. Através dele, foi possível ordenar os métodos de identificação de perdas não técnicas em categorias relacionadas com o potencial de assertividade e aplicabilidade diante das características das regiões de concessão, pois o ELECTRE TRI avalia cada método de identificação por seus méritos, e não em relação a outros métodos (DIAS et al., 2018).

1.3.2 Método de trabalho

Para atender aos objetivos propostos, a pesquisa foi delineada segundo os conceitos referentes a perdas não técnicas na rede de distribuição de energia elétrica, suas consequências e estratégias para identificá-las e mitigá-las. Para tanto, o objetivo geral da tese foi contemplado por meio do cumprimento de quatro etapas, representadas em formato de artigos. Cada artigo apresentou objetivos e métodos de trabalho específicos, necessários para que o objetivo geral do estudo tenha sido alcançado. A estrutura proposta para o desenvolvimento da pesquisa é apresentada na Figura 1, enfatizando que o Artigo 1 apresentou o cenário de pesquisas no cenário global, o Artigo 2 trouxe o panorama das PNT a nível mundial e definições singulares para a área por meio de uma revisão sistemática da literatura, o Artigo 3 realizou um diagnóstico do cenário brasileiro no combate às perdas não técnicas e o Artigo 4 apresentou um modelo inédito para auxiliar as concessionárias na tomada de decisão para combater as PNT.

Figura 1 – Estrutura da Pesquisa



Fonte: Autor.

A estrutura da pesquisa demonstra que as etapas iniciais envolvem a compreensão do cenário de pesquisa de perdas não técnicas, seus impactos para países, concessionárias e sociedade, e as principais estratégias técnicas e políticas para identificá-las e mitigá-las, através de dois estudos paralelos que originam os Artigos 1 e 2. O primeiro estudo buscou o entendimento do cenário atual das pesquisas relacionadas a perdas não técnicas em anais de conferências, apresentando indicadores importantes para compreensão do tema. O segundo estudo, por sua vez, buscou identificar o panorama das perdas não técnicas no mundo, elucidando conceitos importantes e decisivos para auxiliar a tomada de decisão de todos os *stakeholders* afetados pelo problema. Os dois primeiros artigos deram base de conhecimento para que o Artigo 3 tenha sido desenvolvido e apresentado o cenário atual e as perspectivas futuras do combate às PNT no Brasil sob quatro perspectivas. Por fim, os fatores que interferem no controle das perdas não técnicas no Brasil e que foram discutidos pelo Artigo 3 fundamentaram a formulação do Artigo 4, que apresentou uma análise que relaciona as características específicas das zonas de concessão com os atributos inerentes dos principais métodos de identificação de PNT encontrados na literatura. A Figura 2 caracteriza e descreve sucintamente a proposta de cada artigo que compõe esta tese.

Figura 2 – Caracterização dos artigos propostos

Estudos	Objetivos	Questões de Pesquisa	Método de Pesquisa	Contribuições
Artigo 1	Apresentar indicadores que permitam obter uma visão geral da pesquisa publicada em anais de conferências sobre perdas não técnicas entre 1987 e 2021.	Quais são as características e tendências de publicação referentes a perdas não técnicas?	Pesquisa teórica quantitativa: Análise bibliométrica.	Visão geral da pesquisa sobre perdas não técnicas em conferências, avanço do conhecimento no tema e estímulo a conexões entre pesquisadores e instituições de ensino no mundo.
Artigo 2	Identificar o panorama mundial das perdas não técnicas, apresentando seus impactos e as principais estratégias e políticas para mitigá-las.	<ul style="list-style-type: none"> •Qual é a definição de perdas não técnicas? •Quais são as principais consequências geradas pelas perdas não técnicas? •Quais são as principais barreiras para identificação de perdas não técnicas? •Quais são as principais estratégias para identificação de perdas não técnicas? •Quais são as principais políticas e regulações para mitigar o efeito das perdas não técnicas? 	Pesquisa teórica qualitativa: Revisão sistemática da literatura.	Os resultados apresentam uma definição unificada de perdas não técnicas, apresentando de modo singular suas principais consequências para países, concessionárias e sociedade. Além disso, apresenta as principais barreiras e estratégias para sua identificação e a discussão das principais regulações no mundo acerca do tema.
Artigo 3	Apresentar o panorama do combate às perdas não técnicas no Brasil e propor direcionamentos para atuações legislativa, regulatória, mercadológica e acadêmica no país.	<ul style="list-style-type: none"> •Qual é o panorama das perdas não técnicas no Brasil? •Quais são os principais fatores que dificultam e auxiliam na identificação e mitigação de perdas não técnicas no Brasil? •Quais são os direcionamentos para o combate às perdas não técnicas no Brasil? 	Pesquisa exploratória qualitativa: Entrevistas semiestruturadas e revisão da literatura.	Auxiliar na formulação de estratégias regulatórias, legislativas e de desenvolvimento científico-tecnológico para minimizar os impactos negativos das perdas não técnicas para as concessionárias e para a sociedade.
Artigo 4	Desenvolver um modelo para seleção dos melhores métodos de identificação de perdas não técnicas considerando características das regiões de concessão.	Como auxiliar as concessionárias na tomada de decisão estratégica sobre os melhores métodos de identificação de perdas não técnicas?	Pesquisa exploratória mista: Revisão da literatura e ELECTRE TRI.	Auxiliar na processo de tomada de decisão das concessionárias acerca dos métodos mais condizentes às realidades de suas zonas de concessão.

Fonte: Autor.

O Artigo 1 – “Perdas não técnicas em distribuição de eletricidade: uma análise bibliométrica” forneceu um panorama da pesquisa sobre perdas não técnicas em anais de conferências, permitindo avaliar tendências, características e padrões das publicações da área. Para condução desse estudo quantitativo, 585 artigos foram extraídos da base de dados *Scopus* e analisados quanto ao ano de publicação, autores e seus índices-h, países, citações, instituições de pesquisa, palavras-chave e fundações patrocinadoras. As análises permitiram identificar características dos resultados de publicação, e possuem implicações importantes e estratégicas para a comunidade científica, concessionárias e órgãos governamentais.

O Artigo 2 – “Perdas não técnicas: uma revisão sistemática de artigos contemporâneos”, por meio de uma revisão sistemática da literatura nas bases de dados *Scopus* e *Web of Science*, trouxe uma definição singular e unificada de perdas não técnicas, abrangendo informações expostas nas publicações mais relevantes da área. Além disso, pela primeira vez na literatura,

reuniu as principais consequências das perdas não técnicas para países, concessionárias e sociedade, e forneceu as principais barreiras e estratégias para identificação de perdas não técnicas adotadas no mundo. Ainda, apresentou um panorama das principais regulações e leis que são aplicadas em países de todas as faixas de Renda Nacional Bruta *per capita*, permitindo que formuladores de políticas públicas e reguladores identifiquem estratégias que efetivamente dão resultado no combate às PNT em países com realidades socioeconômicas similares. O artigo trouxe implicações e resultados únicos para todos os *stakeholders*, sendo uma fonte de conhecimento estratégica para mitigar perdas não técnicas.

O Artigo 3 – “Perdas não técnicas no Brasil: visão geral, desafios e direções para identificação e mitigação” apresentou os resultados da análise de 28 entrevistas semiestruturadas realizadas com especialistas das dimensões de negócio, regulatória, legislativa e de conhecimento. Após discorrer sobre o panorama atual das perdas não técnicas no Brasil, o artigo trouxe com ineditismo os principais desafios para identificação e mitigação de perdas não técnicas no país. Além disso, discorreu sobre os principais fatores que auxiliam no combate às PNT, e propôs estratégias de políticas públicas e de atuação dos *stakeholders* para controlar o problema a médio e longo prazos. Os resultados possibilitam que concessionárias saibam especificamente quais fatores precisam ser potencializados ou mitigados no controle das perdas não técnicas, sendo fonte de vantagem competitiva para o setor.

O Artigo 4 – “Perdas não técnicas na distribuição de eletricidade: modelo para tomada de decisão estratégica em concessionárias brasileiras” apresentou um modelo para seleção de métodos de identificação de perdas não técnicas baseado nas características específicas de cada região de concessão brasileira. Para que este estudo tenha sido conduzido, inicialmente foram compilados os principais fatores que impactam na identificação e mitigação das perdas não técnicas no Brasil a partir das entrevistas realizadas no Artigo 3 com funcionários de concessionárias e de pesquisadores. Na sequência, foram realizadas entrevistas com sete profissionais de uma *holding* de distribuidoras de eletricidade brasileira acerca do impacto de cada método em cada fator, a importância dos fatores e a possibilidade de veto de algum grupo de métodos. Os resultados demonstraram como o método pode auxiliar concessionárias no processo de tomada de decisão estratégica para seleção de métodos de identificação de perdas não técnicas que tenham maior potencial de eficácia de acordo com as características da região de concessão.

1.4 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Para o desenvolvimento da tese, algumas delimitações foram estabelecidas. Foram

consideradas no estudo as perdas não técnicas no sistema de distribuição de eletricidade. Não foram analisadas perdas na transmissão, tampouco perdas técnicas que ocorrem na distribuição de energia elétrica. Além disso, destaca-se que o primeiro artigo da tese abordou um estudo bibliométrico apenas em publicações de anais de conferências, que indicam cenários mais imediatos em comparação aos de periódicos científicos, pois possuem um menor período entre submissão, aceite e publicação de artigos. O segundo artigo englobou uma revisão sistemática da literatura realizada nas bases de dados *Scopus* e *Web of Science*, selecionando apenas artigos publicados em periódicos com percentil acima de 75% em pelo menos uma das bases. Isso foi definido com o objetivo de selecionar apenas publicações de altíssima qualidade para embasar os resultados atingidos. O terceiro e o quarto artigos limitaram-se ao cenário brasileiro de enfrentamento às perdas não técnicas. Nessas etapas da pesquisa, foram entrevistados apenas especialistas brasileiros, devido à sua ampla experiência no combate às PNT e conhecimento profundo do cenário do país.

1.5 ESTRUTURA DA TESE

Esta tese está organizada em sete capítulos principais. O primeiro capítulo introduz as questões de pesquisa e os objetivos da tese, justificando o desenvolvimento do estudo sob os pontos de vista acadêmico e prático e demonstrando a singularidade da proposta. Adicionalmente, este capítulo apresenta os métodos de pesquisa e trabalho, as delimitações do estudo e a estrutura da tese.

O segundo capítulo apresenta o primeiro artigo da tese, que consiste em um estudo quantitativo para compreender o cenário atual e as tendências de publicações sobre perdas não técnicas. Para isso, indicadores bibliométricos de 585 estudos foram extraídos da base de dados *Scopus* e analisados. O terceiro capítulo contempla o segundo artigo da tese, que compreende uma revisão sistemática da literatura seguindo o protocolo *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA). Este estudo analisa 144 artigos das bases de dados *Scopus* e *Web of Science* e traz uma definição unificada para perdas não técnicas, suas principais consequências para países, concessionárias e sociedade, as principais barreiras e estratégias para identificação de PNT e as principais regulações e políticas públicas utilizadas em países de todas as faixas de Renda Nacional Bruta *per capita* para controlar o problema.

O quarto capítulo apresenta o terceiro artigo da tese, que traz as perdas não técnicas no cenário brasileiro sob a perspectiva de 28 entrevistados das dimensões de negócio, regulatória, legislativa e de conhecimento. São levantados os principais desafios relacionados a

identificação e mitigação de PNT e os fatores que auxiliam o combate ao problema no Brasil. Além disso, apresenta perspectivas para o futuro do tema no país e propõe direcionamentos para *stakeholders* desenvolverem ações estratégicas e integradas para controlar o problema a médio e longo prazos. O Capítulo 5 contempla o quarto artigo da tese, que compreende o desenvolvimento e o exemplo de aplicação de um modelo para auxiliar na tomada de decisão estratégica de concessionárias brasileiras para selecionar métodos eficazes no combate às perdas não técnicas. O Capítulo 6 apresenta as considerações finais e as conclusões da tese, destacando as contribuições acadêmicas e práticas dos resultados encontrados. Também apresenta as limitações do estudo e os direcionamentos para pesquisas futuras.

2 ARTIGO 1 - PERDAS NÃO TÉCNICAS EM DISTRIBUIÇÃO DE ELETRICIDADE: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

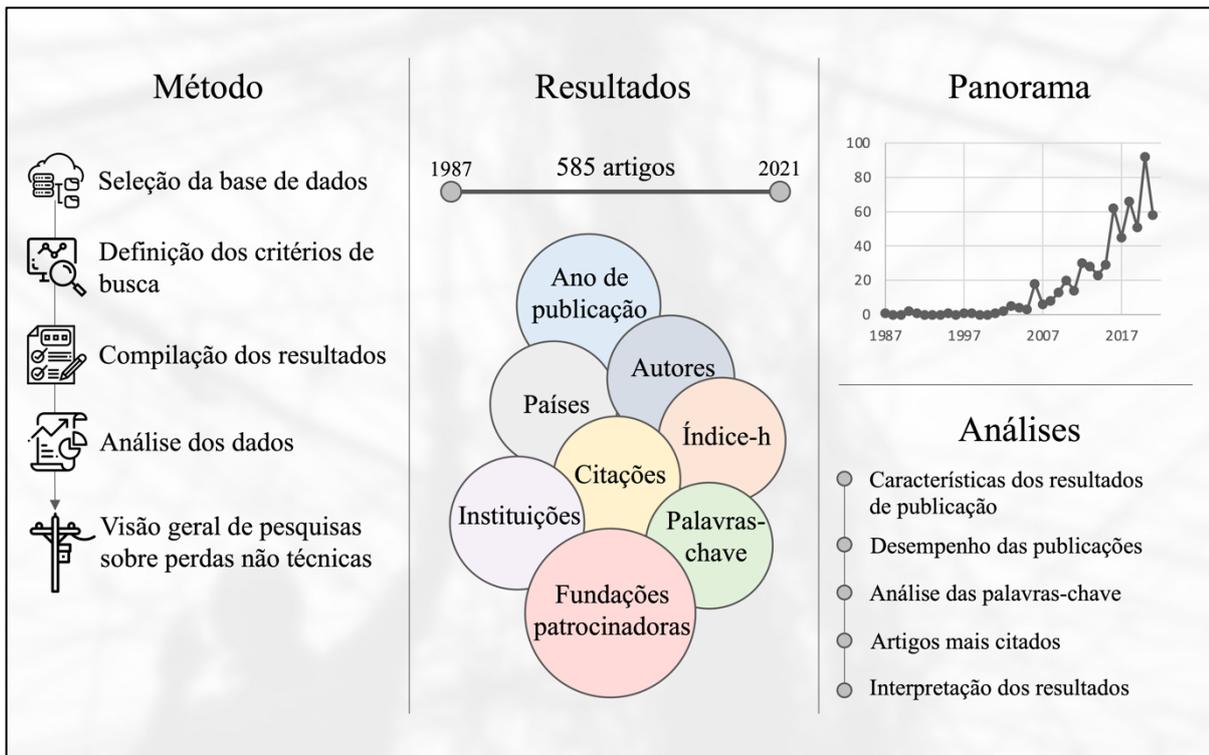
Fernando de Souza Savian, Julio Cezar Mairesse Siluk, Taís Bisognin Garlet,
Felipe Moraes do Nascimento, José Renes Pinheiro

Uma versão deste artigo foi publicada em 1º de junho de 2021 no periódico IEEE Latin America Transactions (Qualis B1; Fator de Impacto JCR 2021: 0,967; Percentil Scopus: 50%).

Resumo: Este capítulo teve como objetivo fornecer um panorama da pesquisa sobre perdas não técnicas, apresentando uma análise bibliométrica de 585 trabalhos em anais de congressos. A pesquisa foi realizada na base de dados *Scopus*, correspondendo ao período de 1987 a 2021. Os resultados mostraram demonstram o interesse mundial da comunidade científica pelas perdas não técnicas. Além disso, constatou-se que o idioma predominante na redação das publicações foi o inglês e que os países que mais publicaram artigos na área foram Índia, China, Estados Unidos e Brasil. Os países em desenvolvimento contribuem para o bem estar da sociedade ao estimular pesquisas na área para reduzir os danos causados pelas perdas não técnicas na distribuição de energia elétrica, pois grande parte desses custos é repassada ao consumidor. A principal contribuição deste capítulo é apresentar um panorama da pesquisa sobre perdas não técnicas em anais de congressos, apontando as principais tendências por meio dos indicadores medidos.

Palavras-chave: Análise bibliométrica. Furto de eletricidade. Perda Não Técnica.

Resumo gráfico:



Abreviações:

AMI: *Advanced Metering Infrastructure*

ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica

CAPES: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CNPq: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

MCTI: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações

PNT: Perdas não técnicas

2.1 INTRODUÇÃO

O furto de eletricidade tem sido um fenômeno recorrente ao longo dos últimos anos em diversos lugares do mundo. Sendo assim, prejuízos significativos são causados para as concessionárias de distribuição de energia elétrica e, conseqüentemente, para o consumidor (MESSINIS; HATZIARGYRIOU, 2018; SAVIAN et al., 2021). O furto de energia elétrica é considerado parte de um conjunto de perdas em distribuição chamado perdas não técnicas (PNT), que são definidas como qualquer energia ou serviço consumido não faturado por causa da falha de um equipamento de medição ou por uma manipulação fraudulenta e mal-intencionada desse

equipamento (AHMAD, 2017; JAMIL; AHMAD, 2019; KUMAR; PRASAD; SAMIKANNU, 2017; MONEDERO et al., 2012; ZANETTI et al., 2019).

Apesar de esse fenômeno afetar mais intensamente países em desenvolvimento, também é uma realidade em países desenvolvidos. As perdas não técnicas são responsáveis por perdas anuais de cerca de US\$ 89 bilhões a nível mundial. Os 50 principais países emergentes perdem em torno de US\$ 58,7 bilhões por ano. Até 2024, estima-se que os países emergentes estarão investindo US\$ 29 bilhões por ano em infraestrutura de *smart grids* para combater o furto de eletricidade, aumentar a confiabilidade da rede e tornar as concessionárias de distribuição de energia elétrica mais sustentáveis (KRISHNA; GUNTER; SANDERS, 2018; NAGI et al., 2010; XIA; XIAO; LIANG, 2019; YORUKOGLU et al., 2016).

No Brasil, as perdas não técnicas reais contabilizaram um custo de aproximadamente R\$ 8,6 bilhões em 2020. Já as perdas não técnicas regulatórias, calculadas através de metodologia da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), representaram um custo de R\$ 5,6 bilhões no mesmo ano, o que representa aos consumidores cerca de 2,9 % do valor da tarifa de energia elétrica, variando por distribuidora (ANEEL, 2021b). A região Norte do país é a mais afetada, apresentando 52,8 % de perda não técnica real relativa à baixa tensão que foi faturada em 2020, seguida pela região Sudeste (15 %), Nordeste (13,1 %), Centro-Oeste (8,6 %) e Sul (8 %) (ANEEL, 2021a).

Os consumidores regulares, que não se enquadram como agentes ativos de perdas não técnicas, também acabam sendo prejudicados. O custo das perdas não técnicas inseridas até o nível regulatório estabelecido pela ANEEL é repassado aos clientes, gerando um aumento das tarifas (VIEGAS et al., 2017; VILLAR-RODRIGUEZ et al., 2017; WINTHER, 2012; XIA et al., 2018; YORUKOGLU et al., 2016). Esse fato acaba por gerar um efeito cascata, pois com tarifas mais altas, o índice de perdas não técnicas tende a aumentar (TASDOVEN; FIEDLER; GARAYEV, 2012; VIEGAS et al., 2017). Além disso, devido a perdas no faturamento, as concessionárias perdem poder de investimento na rede, prejudicando ainda mais o consumidor, que recebe um serviço instável de fornecimento de energia elétrica (IBRAHIM, 2000; JAMIL, 2013; KUMAR; PRASAD; SAMIKANNU, 2017; LEWIS, 2015; SAVIAN et al., 2021).

De forma a identificar e combater as perdas não técnicas, diversos estudos são publicados anualmente por pesquisadores do mundo inteiro apresentando métodos de detecção (DEPURU; WANG; DEVABHAKTUNI, 2011), tanto em periódicos (AMIN et al., 2015; ARYANEZHAD, 2019; HAN; XIAO, 2017; JOKAR; ARIANPOO; LEUNG, 2016; PUNMIYA; CHOE, 2019; RAMOS et al., 2011; SILVA; DA SILVA; DE ALMEIDA-FILHO, 2016; ZHOU et al., 2015) quanto em anais de conferências (BANDIM et al., 2003;

CÁRDENAS et al., 2012; DEPURU; WANG; DEVABHAKTUNI, 2010; FOURIE; CALMEYER, 2004; HAN; XIAO, 2014; MCLAUGHLIN et al., 2012; NAGI et al., 2008b; NIZAR et al., 2007), bem como analisando aspectos regulatórios com a finalidade de traçar estratégias para mitigar esse problema (BERKTAY et al., 2004; CORTON; ZIMMERMANN; PHILLIPS, 2016; DOS ANGELOS et al., 2011; GHAJAR; KHALIFE; RICHANI, 2000; GUERRERO et al., 2014; JOSEPH, 2010; MWAURA, 2012; SAVIAN et al., 2021; SHARMA et al., 2016; SOMUNCU; HANNUM, 2018; COSTA-CAMPI; DAVI-ARDERIUS; TRUJILLO-BAUTE, 2018). O estudo de artigos científicos sobre detecção de perdas não técnicas mostra que não existe uma metodologia comum seguida para detectar fraudes. De acordo com Messinis e Hatziargyriou (2018), pesquisadores adotam métodos de diferentes campos do conhecimento, sendo os mais comuns aprendizado de máquina, detecção de anomalias, segurança cibernética e análise de redes de distribuição. Além disso, ressalta que os vários esquemas de detecção de perdas não técnicas estão organizados em três grandes categorias: orientado a dados, orientado à rede e híbrido.

Revisões sistemáticas da literatura já foram publicadas acerca de perdas não técnicas, como em Messinis e Hatziargyriou (2018), em que é apresentada uma visão geral dos algoritmos utilizados por sistemas de detecção de PNT com foco em explicar por que são adequados para aplicações específicas. Já em Viegas et al. (2017), as principais contribuições em relação a perdas não técnicas são uma análise dos tipos de vetores de possíveis ataques e revisão e análise de estudos e requisitos apresentando soluções para detecção. Por sua vez, Ahmad e Hasan (2016) têm como objetivo realizar uma investigação introdutória de PNT em sistemas de distribuição de energia. Savian et al. (2021) traz uma definição padrão sobre perdas não técnicas, aponta consequências das PNT para países, concessionárias e sociedade, traz à luz barreiras e estratégias relacionadas à identificação e mitigação das PNT e as principais regulações e políticas utilizadas buscando a solução do problema. Contudo, nenhuma análise que quantificasse apenas pesquisas publicadas ao longo dos anos sobre perdas não técnicas em anais de conferências foi realizada até o momento.

Um dos principais métodos para quantificar estudos científicos é a análise bibliométrica, que tem sido utilizada para medir o progresso em muitas áreas da ciência e da engenharia, e é um instrumento de pesquisa comum para análises sistemáticas (FU et al., 2010; VAN RAAN, 2005). Além disso, esse método permite avaliar tendências, características e padrões das publicações da área a ser pesquisada, bem como ampliar a pesquisa na área e contribuir para a credibilidade dos estudos encontrados (GARLET et al., 2019; SILVA et al., 2019).

O objetivo desse capítulo é apresentar uma análise bibliométrica que aborde o número

de publicações em anais de conferências por ano, dados sobre autores e seus índices-h, palavras-chave, países e instituições que mais publicam, principais fundações patrocinadoras das pesquisas e artigos mais citados, a fim de obter uma visão geral das pesquisas sobre perdas não técnicas publicadas em anais de conferências entre 1987 e 2021. Dessa forma, este estudo representa uma fonte de vantagem competitiva para pesquisadores, que tomam conhecimento das novas tendências e grupos concorrentes, para agências institucionais e governamentais, que requerem avaliações da qualidade das pesquisas, e para empresas, que solicitam relatórios e artigos que são muitas vezes feitos em cooperação com equipes científicas.

2.2 MÉTODOS

Um método comum de pesquisa bibliométrica é buscar publicações usando a base de dados *Scopus*, que possui uma cobertura robusta e internacional de artigos de conferências (LI et al., 2010). A *Scopus* contempla as principais editoras do mundo, como *Elsevier*, *Wiley-Blackwell*, *Taylor & Francis* e *IEEE*, dentre outras. Na *Scopus*, estão disponíveis mais de oito milhões de artigos de conferências publicados em mais de 100.000 eventos do mundo inteiro, representando 10 % de toda a base de dados. Essas pesquisas são publicadas como edições especiais de periódicos (cerca de 28 %) ou como anais de conferências (cerca de 72 %) (SCOPUS, 2017). Dessa forma, considerando que a *Scopus* é uma das maiores bases de dados do mundo e abrange uma ampla gama de estudos e conferências, ela foi a base de dados selecionada para a pesquisa.

A pesquisa englobou apenas artigos de anais de conferências, visto que são uma fonte e base para a mensuração do conhecimento científico, garantindo uma perspectiva holística e detalhada da pesquisa atual. As investigações bibliométricas dos anais de conferências são uma abordagem nova e inovadora, cujos estudos e trabalhos apresentados podem ser interpretados como indicadores precoces do desenvolvimento científico (HOFER et al., 2010).

A pesquisa foi realizada em setembro de 2019 e atualizada em janeiro de 2022 utilizando os seguintes termos de busca nos títulos, resumos e palavras-chave: “*non-technical loss**”, “*commercial loss**”, “*energy fraud**”, “*energy theft**”, “*electricity fraud**” e “*electricity theft**”. Não foi adicionada restrição de idioma. A Tabela 1 apresenta como foi realizada a pesquisa na base *Scopus*, o tipo de pesquisa que foi conduzida, bem como os campos e a *string* utilizada.

Tabela 1 – Estratégias para identificação de artigos sobre perdas não técnicas

Base de dados	<i>Scopus</i>
Tipo de pesquisa	<i>Advanced search</i>
Campos de busca	TITLE-ABS-KEY (título, resumo e palavras-chave)
String de busca	<i>“non-technical loss*” OR “commercial loss*” OR “energy fraud*” OR “energy theft*” OR “electricity fraud*” OR “electricity theft*”</i>
Período estipulado	Todos os anos até 2021
Tipo de documento	<i>Conference proceedings</i> ou <i>Conference review</i>

Fonte: Autor.

Os indicadores bibliométricos selecionados foram analisados através do *Microsoft Excel 2021*[®]. A contribuição de diferentes países e instituições foi estimada pela localização da afiliação de pelo menos um dos autores dos artigos publicados. Artigos originados da Inglaterra, Escócia, Irlanda do Norte e País de Gales foram agrupados em Reino Unido.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

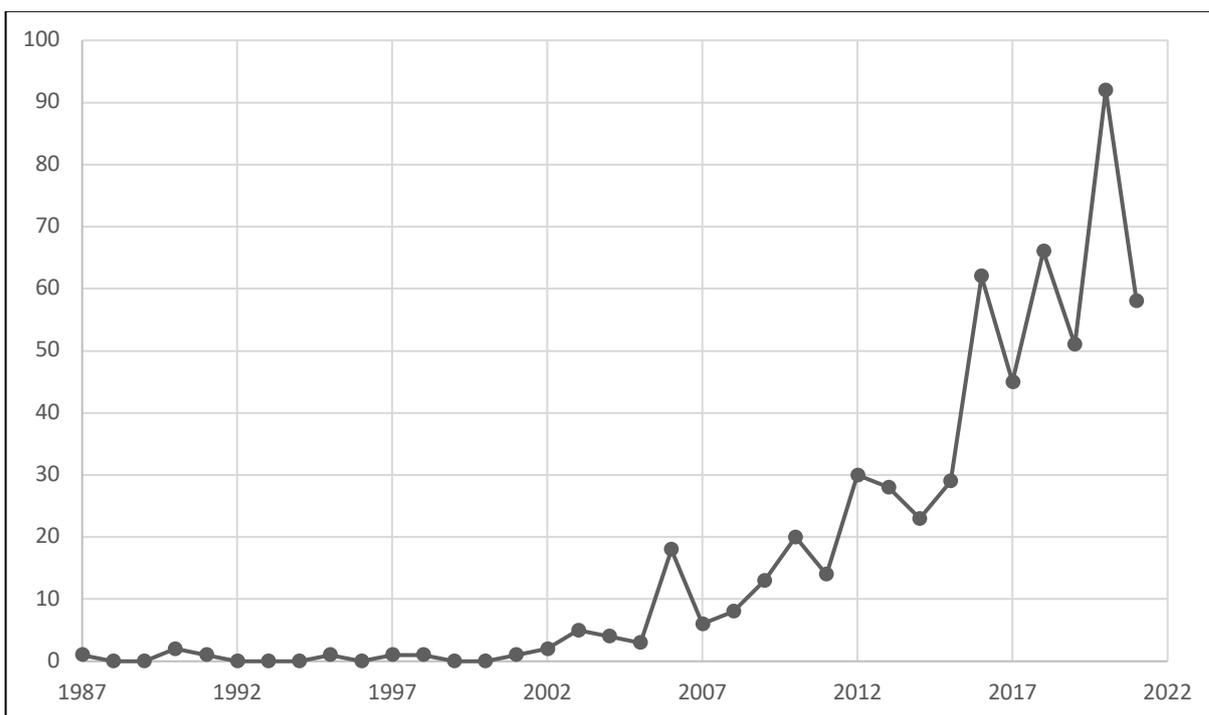
Este subcapítulo apresenta e discute os resultados obtidos na análise bibliométrica. A pesquisa na base *Scopus* resultou em 585 artigos publicados entre 1987 e 2021, tendo esses dados sido coletados em janeiro de 2022 através da pesquisa avançada. Do total, 95,73 % são artigos de pesquisa e 4,27 % compõem artigos de revisões. O idioma de publicação predominante é o inglês, correspondendo a 98,29 % dos artigos, seguido pelo português (1,37 %), espanhol (0,17 %) e russo (0,17 %).

2.3.1 Características dos resultados de publicação

Os resultados foram obtidos analisando títulos, resumos e palavras-chave das publicações. A Figura 3 mostra que o número de publicações permaneceu baixo até meados da década de 2000, aumentando significativamente a partir de 2006. O ano de 2016 apresenta uma elevação substancial no número de artigos publicados. Em países desenvolvidos, o crescimento do número de publicações é motivado por políticas para maior eficiência e digitalização da rede, permitindo a coleta e análise de dados de operações de consumo e ativos (VIEGAS et al., 2017). Já em países em desenvolvimento, a identificação de perdas não técnicas tem sido fundamental

nos últimos anos, dada sua grande evolução que ocorre tanto pelo fato de que impostos sobre a energia elétrica levam em consideração a quantidade de furtos no sistema de distribuição quanto pela quantidade crescente de assentamentos irregulares (MADRIGAL; RICO; UZCATEGUI, 2017; PASSOS JÚNIOR et al., 2016). Durante o período de estudo, o número cumulativo de artigos cresceu de um em 1987 para 585 em 2021.

Figura 3 – Número de artigos por ano de publicação



Fonte: Autor.

O número médio de autores por publicação teve um aumento significativo, de 2,00 em 1987 para 3,95 em 2021. Contudo, os anos que apresentaram maior número médio de autores por publicação foram 2013 e 2020, com 4,36. Além disso, esta pesquisa levantou os autores que mais publicaram sobre esse tema em conferências ao longo do período apresentado, assim como o número de citações que esses artigos receberam e seus respectivos índices-h.

O índice-h é uma medida bibliométrica proposta por Hirsch (2005), e sugere que um cientista possui índice-h se h dos seus N_p artigos tem pelo menos h citações cada e os outros $(N_p - h)$ artigos não têm mais do que h citações cada. Dessa forma, um autor que possui um índice-h elevado comprova sua relevância na comunidade científica, tendo em vista que esse indicador representa o modo mais amplamente aceito de medir o impacto de uma publicação e de um autor (STOICA, 2018). Esses dados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Dados sobre os autores que mais publicaram sobre o tema da pesquisa

Autor	Artigos/ autor	Número de ci- tações	Média de citações por artigo	Índice- h
Javaid, Nadeem	10	55	5,50	47
Wang, Lingfeng	6	278	46,33	49
Devabhaktuni, Vijay Kumar	6	278	46,33	30
Depuru, Soma Shekara Sreenadh Reddy	6	278	46,33	14
Dong, Zhaoyang	6	230	38,33	73
Nizar, Anizah Hanim	6	230	38,33	7
State, Radu	6	114	19,00	25
Biscarri, Jesús	6	101	16,83	11
Papa, João Paulo	6	78	13,00	37
Ramos, Caio César Oba	6	78	13,00	11
Serpedin, Erchin	6	50	8,33	34
Ismail, Muhammad	6	50	8,33	21
Glauner, Patrick	5	113	22,60	6
Xiao, Yang	5	91	18,20	62
Biscarri, Félix	5	89	17,80	14
Millán, Rocío	5	89	17,80	9
Davidson, Innocent Ewean	5	30	6,00	12
Imran, Muhammad	5	20	4,00	45
Lecumberry, Federico	5	17	3,40	9
Fernández, Alicia	5	17	3,40	8
Ullah, Ashraf	5	10	2,00	2

Fonte: Autor.

Supondo que os documentos estejam organizados em ordem decrescente do número de citações e seja c_i o número de citações de i artigos, o índice-h pode ser definido como é apresentado na Equação 1 (ABBAS, 2012).

$$h = \max(i) ; c_i \geq i \quad (1)$$

Nota-se que dentre os autores com maior número de artigos encontrados na análise bibliométrica, é comum que haja co-autoria. Os autores Wang, L., Depuru, S. S. S. R. e Devabhaktuni, V. K. publicaram seis artigos juntos. A mesma relação de co-autoria ocorre com Dong, Z. e Nizar, A. H., assim como com Papa, J. P. e Ramos, C. C. O.. Algumas co-autorias também são perceptíveis entre Biscarri, F., Biscarri, J. e Millán, R., entre State, R. e Glauner, P. e entre Lecumberry, F. e Fernández, A.. O estudo de co-autoria através de uma perspectiva

de rede pode mostrar que os pesquisadores trocam ideias, objetivos, questões de pesquisa, métodos de validação e métodos similares de análise de dados. Dessa forma, redes coesas de co-autoria podem gerar consensos sobre problemas, métodos de pesquisa e resultados (STOICA, 2018).

2.3.2 Desempenho das publicações: países, instituições e fundações patrocinadoras

Publicações de autores de 78 países foram contabilizadas na pesquisa bibliométrica. A Tabela 3 apresenta os dados de publicações e citações dos 10 países mais produtivos.

Tabela 3 – Dados sobre os países que mais publicaram sobre o tema da pesquisa

País	Artigos/ país	Artigos/país (%)	Número de citações
Índia	90	21,23	468
China	78	18,40	259
Estados Unidos	76	17,92	1477
Brasil	73	17,22	376
Paquistão	24	5,66	106
África do Sul	22	5,19	151
Reino Unido	20	4,72	61
Austrália	14	3,30	253
Espanha	14	3,30	130
Malásia	13	3,07	139

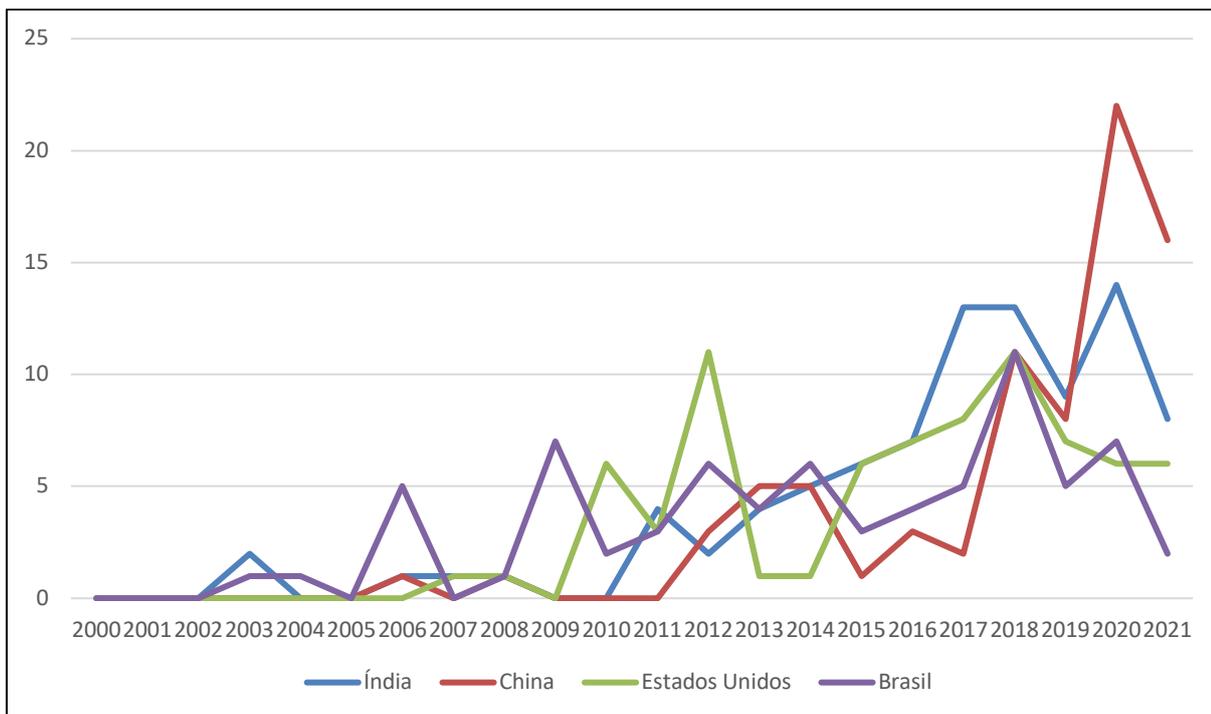
Fonte: Autor.

É possível notar que os países que mais publicaram na área de perdas não técnicas foram Índia, China, Estados Unidos e Brasil. Isso ocorre pelo fato de Índia e Brasil sofrerem muito com esse fenômeno, tendo grandes prejuízos financeiros. Esse fato pode ser corroborado por Ramos et al. (2018), que atesta que o percentual de perdas não técnicas varia entre 0,5 % e 25 % no Brasil, entre 20 % e 40 % na Índia, enquanto no Reino Unido, por exemplo, varia entre 0,2 % e 1 %. Já os Estados Unidos buscam identificar formas de combater perdas não técnicas, visto que medidores inteligentes *hakeados* são muito utilizados para furtar eletricidade, resultando em perdas de até US\$ 6 bilhões para as empresas de distribuição de eletricidade norte-americanas (AMIN et al., 2015). Em 2013, as perdas financeiras registradas em 50 países emergentes, dentre eles Índia e China, somavam US\$ 58,7 bilhões. Esses países planejaram um investimento de US\$ 168 bilhões para tornar a *smart grid* mais confiável e desenvolver técnicas

para reduzir as fraudes de perdas não técnicas (HAN; XIAO, 2017).

A Figura 4 apresenta a evolução do número de publicações por ano em cada um dos quatro países que mais publicam a partir do ano 2000, demonstrando que pesquisadores brasileiros já publicavam artigos referentes a perdas não técnicas desde a metade da década de 2000, enquanto pesquisadores indianos ampliaram significativamente seus esforços nessas pesquisas a partir do início da década de 2010. No país asiático, o investimento em pesquisas na área iniciou, dentre outros fatores, em decorrência de um estudo do Banco Mundial, que sugere que o Produto Interno Bruto indiano teve um decréscimo de 1,5 % como consequência do furto de eletricidade (RAZAVI; FLEURY, 2019).

Figura 4 – Evolução do número de publicações por país



Fonte: Autor.

As instituições brasileiras também se destacaram no tema de perdas não técnicas em distribuição de energia elétrica. Das 10 instituições com mais pesquisadores vinculados, três são brasileiras. No total, foram identificadas pesquisas provenientes de autores de 160 instituições distintas. Os resultados demonstram a importância das universidades como centros de pesquisa para solucionar problemas que afetam empresas e sociedade como um todo. Presume-se que as instituições acadêmicas contribuem para o desempenho do sistema de inovação ao gerar e difundir conhecimento, estimulando assim o crescimento econômico (FRITSCH;

SLAVTCHEV, 2007). Além disso, destaca-se a atuação da *IEEE*, sendo a quarta instituição com maior número de artigos vinculados a seus pesquisadores. Também ressalta-se que 185 dos 585 artigos resultantes da análise foram publicados em anais de conferências *IEEE*, o que corresponde a 31,6 % de todos os resultados. A Tabela 4 apresenta esses resultados.

Tabela 4 – Instituições mais produtivas sobre perdas não técnicas entre 1987 e 2021

Instituição	País	Artigos/instituição
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho	Brasil	10
Universidade de São Paulo	Brasil	9
<i>COMSATS University Islamabad</i>	Paquistão	9
IEEE	Estados Unidos	8
Universidade Federal do Rio Grande do Sul	Brasil	8
<i>Tennessee Technological University</i>	Estados Unidos	8
Endesa, S.A.	Espanha	7
<i>Universidad de la República</i>	Uruguai	7
<i>Texas A&M University at Qatar</i>	Catar	7
<i>King Saud University</i>	Arábia Saudita	6
<i>China Electric Power Research Institute</i>	China	6
<i>Texas A&M University</i>	Estados Unidos	6
<i>North China Electric Power University</i>	China	6
<i>The University of Toledo</i>	Estados Unidos	6
<i>The University of Queensland</i>	Austrália	6
<i>Universidad de Sevilla</i>	Espanha	6
<i>University of Luxembourg</i>	Luxemburgo	6

Fonte: Autor.

Dentre as 89 fundações de apoio à pesquisa identificadas, 11 se destacaram por terem mais de uma publicação vinculada a elas. Conforme é possível analisar na Tabela 5, quatro dessas fundações são brasileiras, realçando ainda mais o investimento em pesquisas relacionadas a perdas não técnicas no país. Apesar de o número absoluto de artigos decorrentes de pesquisas financiadas por fundações brasileiras ser pequeno, ressalta-se que dos 585 artigos que retornaram como resultado na pesquisa, 73 são de pesquisadores brasileiros. Destes, um total de 36 artigos atestam apoio de órgãos de fomento nacionais. Dessa forma, pode-se concluir que 49,31 % dos artigos brasileiros são resultado de pesquisas financiadas por fundações patrocinadoras. É possível ressaltar, portanto, que iniciativas governamentais canalizam recursos

através de órgãos de fomento, mas que esse índice tem margem para aumentar com o tempo.

Tabela 5 – Fundações patrocinadoras de maior destaque na pesquisa

Fundação patrocinadora	País/região	Artigos/fundação
<i>National Science Foundation</i>	Estados Unidos	15
<i>National Natural Science Foundation of China</i>	China	10
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico	Brasil	8
Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior	Brasil	7
<i>Qatar Foundation</i>	Catar	7
<i>Qatar National Research Fund</i>	Catar	7
<i>State Grid Corporation of China</i>	China	7
Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação	Brasil	6
European Commission	União Europeia	4
Agência Nacional de Energia Elétrica	Brasil	4
<i>European Social Fund</i>	União Europeia	3

Fonte: Autor.

No Brasil, o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) atuam no fomento de pesquisas em nível nacional. Além disso, destaca-se a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que promove a pesquisa a nível nacional, desde que estas atendam aos requisitos de capacitação técnica da proposta de projeto (FREITAS et al., 2014).

2.3.3 Análise das palavras-chave

Análises estatísticas de palavras-chave podem ser utilizadas para identificar direcionamentos na ciência e provaram ser significantes em monitorar o desenvolvimento das áreas analisadas (FU et al., 2010). Nessa pesquisa, 3.955 palavras-chave foram identificadas no total. A Tabela 6 apresenta as 10 palavras-chave mais utilizadas pelos autores, utilizando intervalos de oito anos para apresentar a evolução de sua utilização, dispondo o número total de artigos com cada palavra-chave por período fora dos parênteses e entre parênteses o percentual de artigos que utilizou essas palavras-chave em cada período.

Tabela 6 – 10 palavras-chave mais citadas pelos autores

Palavra-chave	Total	1987-1995	1996-2004	2005-2013	2014-2021
<i>Crime</i>	239	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	38 (15,9 %)	201 (84,1 %)
<i>Non-technical loss</i>	207	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	62 (30,0 %)	145 (70,0 %)
<i>Electric Power Transmission Networks</i>	149	0 (0,0 %)	1 (0,7 %)	6 (4,0 %)	142 (95,3 %)
<i>Smart Power Grids</i>	144	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	21 (14,6%)	123 (85,4%)
<i>Electricity Theft</i>	141	1 (0,7 %)	0 (0,0 %)	22 (15,6%)	118 (83,7 %)
<i>Smart Grid</i>	95	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	19 (20,0%)	76 (80,0 %)
<i>Smart Meters</i>	92	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	14 (15,2%)	78 (84,8 %)
<i>Electricity Utilities</i>	87	2 (2,3 %)	3 (3,4 %)	34 (39,1%)	48 (55,2 %)
<i>Advanced Metering Infrastructures</i>	77	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	10 (13,0%)	67 (87,0 %)
<i>Energy Utilization</i>	65	0 (0,0 %)	1 (1,5 %)	12 (18,5%)	52 (80,0 %)

Fonte: Autor.

Por meio dessa análise, observa-se a evolução da pesquisa relacionada a *smart grids* ao longo dos últimos 15 anos. Esse avanço relaciona-se com o fato de que a execução das redes inteligentes melhora o controle, o monitoramento e a otimização de inúmeras restrições de qualidade de energia elétrica. Além disso, os medidores inteligentes oferecem a chance de controlar e monitorar adequadamente o consumo de energia das famílias, tanto pelas concessionárias quanto pelos consumidores. Nesse tipo de aplicação, o principal método de furto de energia pode ser a interferência no medidor, fato abordado pelos estudos de Ahmad (2017) e Lewis (2015). É possível perceber que, no mesmo período, os termos crime e furto de eletricidade relacionados a perdas não técnicas ganharam destaque, comprovando o direcionamento do foco das pesquisas para o problema. Dessa forma, diversas soluções e metodologias publicadas em anais de conferências vêm ganhando destaque com o passar dos anos.

2.3.4 Artigos mais citados

Dentre os principais indicadores bibliométricos para avaliar a qualidade de uma pesquisa, destaca-se o número de citações recebidas por um artigo (DUQUE OLIVA; CERVERA TAULET; RODRÍGUEZ ROMERO, 2011). Conforme apresentado na Tabela 7 são analisados os 11 artigos mais citados dentre os 585 artigos encontrados na pesquisa e, na sequência, são descritos seus objetivos e principais contribuições.

Tabela 7 – Artigos mais citados

#	Título do artigo	Referência	Número de citações
1	<i>Energy theft in the advanced metering infrastructure</i>	(MCLAUGHLIN; PODKUIKO; MCDANIEL, 2010)	161
2	<i>Support vector machine based data classification for detection of electricity theft</i>	(DEPURU; WANG; DEVABHAKTUNI, 2011)	128
3	<i>Detection of abnormalities and electricity theft using genetic support vector machines</i>	(NAGI et al., 2008a)	121
4	<i>Multi-vendor penetration testing in the advanced metering infrastructure</i>	(MCLAUGHLIN et al., 2010)	97
5	<i>Non-technical loss analysis for detection of electricity theft using support vector machines</i>	(NAGI et al., 2008b)	84
6	<i>A game theory model for electricity theft detection and privacy-aware control in AMI systems</i>	(CÁRDENAS et al., 2012)	82
6	<i>Evaluating electricity theft detectors in smart grid networks</i>	(MASHIMA; CÁRDENAS, 2012)	82
8	<i>AMI threats, intrusion detection requirements and deployment recommendations</i>	(GROCHOCKI et al., 2012)	72
9	<i>Large-scale detection on non-technical losses in imbalanced data sets</i>	(GLAUNER et al., 2016)	56
10	<i>Wavelet based feature extraction and multiple classifiers for electricity fraud detection</i>	(JIANG et al., 2002)	55
10	<i>Smart grid initiative for power distribution utility in India</i>	(SINHA et al., 2011)	55

Fonte: Autor.

O artigo mais citado é intitulado “*Energy Theft in the Advanced Metering Infrastructure*” (MCLAUGHLIN; PODKUIKO; MCDANIEL, 2010), com 161 citações. Os autores consideraram meios adversos de fraudar a rede elétrica manipulando sistemas *Advanced Metering Structure* (AMI), documentando os métodos que os adversários usariam para tentar manipular os dados de uso de energia e validando a viabilidade desses ataques.

Na sequência, o artigo intitulado “*Support vector machine based data classification for detection of electricity theft*” (DEPURU; WANG; DEVABHAKTUNI, 2011) possui 128 citações. No artigo, os autores discutiram os problemas subjacentes à detecção de furto de eletricidade. Foram utilizadas máquinas de vetores de suporte, que foram treinadas com os dados coletados de medidores inteligentes, representando todas as formas possíveis de furto e testados em vários clientes.

O terceiro artigo apresentado na Tabela 7 é intitulado “*Detection of abnormalities and electricity theft using genetic support vector machines*” (NAGI et al., 2008a), e aparece com 121 citações. O objetivo dos autores foi apresentar uma abordagem híbrida em relação à análise de perdas não técnicas para concessionárias utilizando algoritmo genético e uma máquina de vetor de suporte. O modelo pré-selecionou clientes suspeitos para serem inspecionados no local por fraude com base no comportamento anormal do consumo.

Tendo recebido 97 citações, o artigo intitulado “*Multi-vendor penetration testing in the advanced metering infrastructure*” (MCLAUGHLIN et al., 2010) foi o quarto mais citado, e apresentou uma abordagem de AMI para modelar metas de invasores, como fraude energética. Foram gerados diversos cenários reais que identificaram manipulação de dados de uso de energia, medidores de falsificação e extração de dados confidenciais de registros internos.

O quinto artigo mais citado é intitulado “*Non-technical loss analysis for detection of electricity theft using support vector machines*” (NAGI et al., 2008b) e possui 84 citações. Os autores apresentaram uma nova abordagem para a análise de perdas não técnicas para concessionárias de energia elétrica usando máquinas de vetores de suporte.

Com 82 citações cada, os artigos intitulados “*A game theory model for electricity theft detection and privacy-aware control in AMI systems*” (CÁRDENAS et al., 2012) e “*Evaluating electricity theft detectors in smart grid networks*” (MASHIMA; CÁRDENAS, 2012) aparecem na sexta posição. O primeiro formula o problema da detecção de furto de eletricidade como um jogo entre a concessionária de energia elétrica e o ladrão de eletricidade, no qual objetivo do ladrão é furtar uma quantidade predefinida de eletricidade, minimizando a probabilidade de ser detectado, enquanto a concessionária deseja maximizar a probabilidade de detecção e o grau de custo operacional em que incorrerá para gerenciar esse mecanismo de detecção de anomalias. Já o segundo propõe um modelo de ameaça para o uso da análise de dados na detecção de furto de eletricidade e uma nova métrica que aproveita esse modelo de ameaça para avaliar e comparar os detectores de anomalias, utilizando dados reais de um sistema AMI para validar a abordagem.

O artigo intitulado “*AMI threats, intrusion detection requirements and deployment recommendations*” (GROCHOCKI et al., 2012) possui 72 citações, e tem por objetivo pesquisar as várias ameaças enfrentadas pelas AMIs e as técnicas comuns de ataque usadas para realizá-las, a fim de identificar e entender os requisitos para uma solução abrangente de detecção de intrusões. Na sequência, destaca-se o artigo intitulado “*Large-scale detection of non-technical losses in imbalanced data sets*” (GLAUNER et al., 2016), que apresenta uma abordagem abrangente para avaliar três modelos de detecção de PNT para diferentes proporções de perdas não

técnicas em grandes conjuntos de dados de 100 mil de clientes: regras booleanas, lógica difusa e máquina de vetor de suporte.

Os artigos intitulados “*Wavelet based feature extraction and multiple classifiers for electricity fraud detection*” (JIANG et al., 2002) e “*Smart grid initiative for power distribution utility in India*” (SINHA et al., 2011) possuem 55 citações. Os autores do primeiro artigo propõem um novo método de análise automática de recursos usando técnicas *wavelet* e combinando vários classificadores para identificar fraudes em redes de distribuição de eletricidade. Já o segundo artigo discute as iniciativas de *smart grids* na Índia, metodologia de implementação, desafios e benefícios, analisando a necessidade dessa tecnologia para minimizar perdas técnicas e comerciais. Também elabora a metodologia para implementar o projeto de rede inteligente no cenário de energia indiano, destacando os vários desafios para implementar a rede inteligente no país.

2.3.5 Interpretação dos resultados

Os resultados desse estudo mostram as características gerais dos artigos publicados em anais de conferências indexados na base de dados Scopus. A Tabela 8 destaca as análises conduzidas, os principais resultados encontrados e as conclusões preliminares desse estudo.

Tabela 8 – Características dos artigos que abordam perdas não técnicas

(continua)

Análise realizada	Principais resultados	Conclusões preliminares
Quantidade de artigos por tipo de documento	95,7 % dos artigos são de pesquisa e 4,3 % são de revisões	Artigos de pesquisa apresentam número mais significativo do que revisões
Quantidade de artigos por ano de publicação	O tópico foi consolidado na literatura depois do ano de 2006 e alcançou seu pico em 2020	O tópico está consolidado na literatura
Quantidade de artigos por idioma	98,29 % dos artigos foram publicados em inglês	Inglês corresponde ao principal idioma de publicação desses estudos na base de dados <i>Scopus</i>
Quantidade de artigos por país	Índia, China, EUA e Brasil representam os países mais produtivos no tema	Diferentes países apresentam produtividades similares em perdas não técnicas

Tabela 8 – Características dos artigos que abordam perdas não técnicas

(conclusão)

Análise realizada	Principais resultados	Conclusões preliminares
Quantidade de autores por artigo	O número médio de autores por publicação foi de 3,95 em 2021 e alcançou seu pico em 2013 e 2020, com 4,36	A vasta maioria dos artigos é desenvolvida através de colaboração entre pesquisadores
Quantidade de artigos por instituição	Universidades brasileiras lideraram o <i>ranking</i> com mais artigos em perdas não técnicas	Instituições brasileiras se destacam na pesquisa do tema
Quantidade de artigos por fundação patrocinadora	Uma fundação patrocinadora americana apresentou o maior número de artigos na área	Apesar de uma fundação dos Estados Unidos patrocinar o maior número de artigos, o Brasil concentra a maioria das fundações patrocinadoras à pesquisa no tema
Palavras-chave mais utilizadas para representar os artigos	As palavras-chave mostram os vínculos entre redes inteligentes, crime e furto de eletricidade relacionados a PNT	Observa-se que a evolução da pesquisa em PNT e termos vinculados a fim de melhorar o controle, monitoramento e qualidade da energia
Quantidade de citações por artigo	O artigo mais citado apresentou 161 citações	Os autores mais produtivos não são necessariamente os mais citados
Caracterização dos artigos mais citados	Os artigos mais citados estão distribuídos em anais de conferências especializadas na área	Abordagens para análise de PNT e problemas subjacentes à detecção de furto de eletricidade correspondem aos principais tópicos discutidos nos artigos

Fonte: Autor.

As conferências são um importante canal de comunicação para pesquisadores no campo de perdas não técnicas, principalmente para publicação de artigos de pesquisa (95,7 %), conforme foi possível observar na Tabela 8. Artigos de revisão também são publicados em conferências, contudo em proporção significativamente menor (4,3 %). O número de artigos de pesquisa é maior porque eles são derivados de pesquisas experimentais originais, gerando conclusões inéditas em decorrência de novas descobertas científicas. Por outro lado, artigos de revisão são derivados de pesquisas não experimentais, ou seja, se baseiam no conhecimento gerado até o momento sobre determinado assunto (DE CARVALHO, 2017). Dessa forma, artigos de revisão englobam estudos acerca de diversos artigos de pesquisa, existindo, portanto, em menor número.

Além disso, identificou-se que perdas não técnicas representam um tópico consolidado na literatura, tendo atingido o pico de publicações em 2020. Até 2005, o máximo de publicações em um ano foi de cinco. A partir de 2006, o número aumentou significativamente, chegando a 92 publicações em 2020. Esse interesse contínuo indica que há uma tendência de que as pesquisas na área de perdas não técnicas sigam crescendo nos próximos anos, de modo a resolver uma série de barreiras, como a apresentada por Cárdenas et al. (2012), que diz que as técnicas tradicionais de detecção desse tipo de perdas por si só não são suficientes, pois podem em geral detectar que alguns dos clientes conectados à concessionária estão furtando eletricidade, mas não conseguem identificar exatamente quem eles são.

A análise dos artigos por idioma indicou que o inglês corresponde ao principal idioma de comunicação científica. Esse resultado pode sofrer influência da base de dados *Scopus*, utilizada na coleta de dados. É provável que a maior parte das conferências indexadas na plataforma tenham como idioma oficial o inglês, contudo prevalência do inglês também deriva do seu advento como um idioma global, aumentando as possibilidades em diversos setores internacionais, principalmente no campo científico (GARLET et al., 2019).

Analizando a quantidade de artigos publicados por países, instituições e fundações patrocinadoras, destaca-se que a participação do Brasil e de pesquisadores brasileiros em grande parte das pesquisas realizadas. Ainda, ressalta-se o número significativo de estudos desenvolvidos na Índia, nos Estados Unidos e na China, demonstrando que a temática apresenta relevância global.

Com relação ao número de autores por artigo publicado, nota-se que a maioria dos estudos são realizados por no mínimo dois autores, indicando que as pesquisas são geralmente conduzidas por meio de colaboração entre diferentes pesquisadores. Além disso, analisando o número de publicações por autor, verifica-se que essa área de pesquisa está evoluindo, pois ainda não existem autores dominantes, e pesquisadores de diferentes origens vêm contribuindo para a temática. A análise das palavras-chave evidenciou que os termos crime e perdas não técnicas ganharam destaque, corroborando o direcionamento do foco das pesquisas para o tema.

A análise de impacto demonstrou que o artigo mais citado apresentou 161 citações; no entanto, os autores mais produtivos não são necessariamente os mais citados. Ademais, verificou-se que os artigos mais citados tiveram como principais objetivos a compreensão dos problemas à detecção de furto de eletricidade e o desenvolvimento de metodologias para detecção e análise de perdas não técnicas.

2.4 CONCLUSÕES

Ao analisar 585 artigos de conferências referentes a perdas não técnicas em distribuição de energia elétrica e termos derivados na base de dados *Scopus*, esse capítulo apresentou uma análise bibliométrica sobre o tema, propiciando uma visão geral das pesquisas publicadas em anais de conferências sobre perdas não técnicas entre 1987 e 2021. Destaca-se que foram analisados artigos de conferências, pois estas podem ser vistas como incubadoras de áreas emergentes de pesquisa e, portanto, como inovadoras no campo das pesquisas internacionais (HOFER et al., 2010). Foram analisados os seguintes indicadores: idioma de publicação, variação do número de publicações ao longo dos anos, autores e seus índices-h, país, instituição, fundação patrocinadora das publicações, palavras-chave e artigos mais citados.

As pesquisas sobre perdas não técnicas em distribuição de energia elétrica, relacionadas a furtos e fraudes de eletricidade, vêm crescendo ao longo dos últimos 16 anos, principalmente em países em desenvolvimento, como Índia e Brasil. Esse fato pode ser explicado por Penin (2008), que comprova que o aumento de ligações irregulares é relacionado à deterioração econômica da região ou do país em que se encontram. Ressaltou-se também a qualidade dos pesquisadores que estudam a área. A média do índice-h calculado entre os 21 autores que mais publicaram é de 125,05, e a média de citações que cada um desses pesquisadores recebeu com os artigos publicados e analisados por essa pesquisa é de 109,33. Também foi possível destacar que países em desenvolvimento estão investindo e incentivando a pesquisa na área com o objetivo de reduzir os prejuízos causados por perdas não técnicas em distribuição de eletricidade. O desenvolvimento de pesquisas em universidades e com apoio de fundações patrocinadoras demonstra ações estratégicas tomadas por governos para mitigar o risco relacionado ao furto de energia elétrica.

A análise das palavras-chave utilizadas ao longo dos anos demonstrou que as primeiras pesquisas sobre o tema, entre o final da década de 1980 e o início dos anos 2000, buscavam uma compreensão do problema, enquanto a partir de meados da década de 2000 houve um aumento significativo em palavras-chave como “*non-technical loss*” e “*electricity theft*”, o que demonstra o aumento dos esforços em pesquisas na área. Nesse ponto ressalta-se o crescimento dos termos “*smart power grids*”, “*smart grids*” e “*smart meters*”, fato que se relaciona, principalmente em países desenvolvidos, ao aumento de políticas para maior eficiência e digitalização da rede.

Foi possível perceber ao analisar os artigos mais citados o foco em apresentar e testar novas abordagens para identificação de perdas não técnicas, através de metodologias como

algoritmo genético e máquina de vetor de suporte. Os objetivos convergem na tentativa de identificar fraudadores de eletricidade e auxiliar as concessionárias a reduzir seus prejuízos. Assim, é possível constatar que muitas das políticas de prevenção e combate às perdas não técnicas têm impactos positivos na diminuição da inadimplência (PENIN, 2008; SAVIAN et al., 2021).

Este capítulo demonstra como a análise bibliométrica pode ser uma ferramenta útil para as comunidades empresarial, governamental e acadêmica. Para a comunidade empresarial, representada no âmbito dessa pesquisa principalmente pelas concessionárias de distribuição de energia elétrica, a análise bibliométrica contribui de forma a apresentar um panorama da pesquisa relacionada a perdas não técnicas no mundo. Assim, podem identificar quais países, pesquisadores e instituições estão na vanguarda da pesquisa na área, de forma que possam servir de referência na implantação de melhorias nos seus métodos de detecção de perdas não técnicas.

Para a comunidade governamental, a análise bibliométrica pode ser utilizada na avaliação de pesquisa e produtividade em comunidades científicas, tanto por políticos quanto por agências de fomento (ELLEGAARD; WALLIN, 2015). Além disso, auxilia no direcionamento e distribuição de recursos entre instituições de ensino e na identificação dos centros de referência e dos centros emergentes em pesquisa na área de perdas não técnicas nos seus respectivos países.

Por fim, para a comunidade acadêmica, a análise bibliométrica é vista como um método valioso para avaliar a produção científica e tem um impacto crescente (ELLEGAARD; WALLIN, 2015). Ademais, contribui para o avanço do conhecimento sobre perdas não técnicas e encoraja novos estudos e conexões entre pesquisadores e instituições de ensino e pesquisa de diversas partes do mundo. Também permite a identificação das principais conferências realizadas mundialmente, a fim de que pesquisadores possam direcionar suas pesquisas e intercambiar experiências acerca do tema.

Agradecimentos e financiamento da pesquisa: Essa pesquisa foi apoiada pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico [processos nº 308057/2020-1, 142448/2018-4, 310594/2017-0 e 465640/2014-1], Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior [processos nº 88887.486381/2020-00, 88887.486394/2020-00 e 23038.000776/2017-54] e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul [processo nº 17/2551-0000517-1]. Os autores agradecem ao CPNq, CAPES, FAPERGS e Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia – Geração Distribuída (INCT-GD) por apoiar essa pesquisa.

2.5 REFERÊNCIAS

- ABBAS, Ash Mohammad. Bounds and inequalities relating h-Index, g-Index, e-Index and generalized impact factor: An improvement over existing models. **PLoS ONE**, v. 7, n. 4, p. e33699, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0033699>
- AHMAD, Tanveer; UL HASAN, Qadeer. Detection of Frauds and Other Non-technical Losses in Power Utilities using Smart Meters: A Review. **International Journal of Emerging Electric Power Systems**, v. 17, n. 3, p. 217–234, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1515/ijeeps-2015-0206>
- AHMAD, Tanveer. Non-technical loss analysis and prevention using smart meters. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 72, p. 573–589, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.100>
- AMIN, Saurabh *et al.* Game-theoretic models of electricity theft detection in smart utility networks: Providing new capabilities with advanced metering infrastructure. **IEEE Control Systems**, v. 35, n. 1, p. 66–81, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/MCS.2014.2364711>
- ANEEL. **Luz na Tarifa**. Brasília – DF, 2021a. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/luz-na-tarifa>
- ANEEL. **Perdas de Energia Elétrica na Distribuição - Edição 01/2021**. Brasília - DF, 2021b. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/documents/654800/18766993/Relatório+Perdas+de+Energia_+Edição+1-2021.pdf/143904c4-3e1d-a4d6-c6f0-94af77bac02a
- ARYANEZHAD, Majid. A novel approach to detection and prevention of electricity pilferage over power distribution network. **International Journal of Electrical Power and Energy Systems**, v. 111, p. 191–200, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2019.04.005>
- BANDIM, Cesar Jorge *et al.* Identification of Energy Theft and Tampered Meters Using a Central Observer Meter: A Mathematical Approach. **2003 Proceedings of the IEEE Power Engineering Society Transmission and Distribution Conference**, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/tdc.2003.1335175>
- BERKTAY, Ali *et al.* Electrical energy prices and losses respect to Turkish social-economic situations. **Energy Exploration and Exploitation**, v. 22, n. 3, p. 195–206, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1260/0144-5987.22.3.195>
- CÁRDENAS, Álvaro *et al.* A game theory model for electricity theft detection and privacy-aware control in AMI systems. **2012 50th Annual Allerton Conference on Communication, Control, and Computing, Allerton 2012**, 2012. p. 1830–1837. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/Allerton.2012.6483444>
- CORTON, Maria Luisa; ZIMMERMANN, Aneliese; PHILLIPS, Michelle Andrea. The low cost of quality improvements in the electricity distribution sector of Brazil. **Energy Policy**, v. 97, p. 485–493, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.07.052>

COSTA-CAMPI, Maria Teresa; DAVI-ARDERIUS, Daniel; TRUJILLO-BAUTE, Elisa. The economic impact of electricity losses. **Energy Economics**, v. 75, p. 309–322, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.08.006>

DE CARVALHO, Leonardo Bianco. Esclarecimento sobre tipos de artigos científicos para publicação na Revista de Ciências Agroveterinárias. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 16, n. 4, p. 343–344, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5965/223811711642017343>

DEPURU, Soma Shekara Sreenadh Reddy; WANG, Lingfeng; DEVABHAKTUNI, Vijay. A conceptual design using harmonics to reduce pilfering of electricity. **IEEE PES General Meeting, PES 2010**, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/PES.2010.5590033>

DEPURU, Soma Shekara Sreenadh Reddy; WANG, Lingfeng; DEVABHAKTUNI, Vijay. Support vector machine based data classification for detection of electricity theft, **2011 IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition, PSCE 2011**. Phoenix, AZ, USA: IEEE, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/PSCE.2011.5772466>

DEPURU, Soma Shekara Sreenadh Reddy; WANG, Lingfeng; DEVABHAKTUNI, Vijay. Electricity theft: Overview, issues, prevention and a smart meter based approach to control theft. **Energy Policy**, v. 39, p. 1007–1015, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.11.037>

DOS ANGELOS, Eduardo Werley S. *et al.* Detection and identification of abnormalities in customer consumptions in power distribution systems. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 26, p. 2436–2442, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2011.2161621>

DUQUE OLIVA, Edison Jair; CERVERA TAULET, Amparo; RODRÍGUEZ ROMERO, Carlos. Estudo bibliométrico dos modelos de medição do conceito de qualidade recebida do serviço em internet. **Revista Innovar Journal Revista de Ciências Administrativas y Sociales**, v. 16, n. 28, p. 223–243, 2011. Disponível em: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0121-50512006000200013&lng=es&nrm=is&tlng=pt

ELLEGAARD, Ole; WALLIN, Johan A. The bibliometric analysis of scholarly production: How great is the impact? **Scientometrics**, v. 105, p. 1809–1831, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1645-z>

FOURIE, J. W.; CALMEYER, J. E. A statistical method to minimize electrical energy losses in a local electricity distribution network. **2004 IEEE AFRICON Conference**, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/africon.2004.1406768>

FREITAS, Fabrizio Leal *et al.* Processo de Desenvolvimento de Produto: Aplicação em um Projeto de P&D dentro do Programa ANEEL. **XXIV Seminário Nacional de Parques Tecnológicos e Incubadoras de Empresas**. Belém - PA, 2014.

FRITSCH, Michael; SLAVTCHEV, Viktor. Universities and innovation in space. **Industry and Innovation**, v. 14, n. 2, p. 201–218, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/13662710701253466>

FU, Hui Zhen *et al.* A bibliometric analysis of solid waste research during the period 1993-2008. **Waste Management**, v. 30, p. 2410–2417, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.06.008>

GARLET, Taís Bisognin *et al.* Research, development and innovation management in the energy sector. **Advances in Energy Research**, v. 6, n. 1, p. 17–33, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.12989/eri.2019.6.1.017>

GHAJAR, Raymond; KHALIFE, Joe; RICHANI, Brahim. Design and cost analysis of an automatic meter reading system for Electricité du Liban. **Utilities Policy**, v. 9, n. 4, p. 193–205, 2000. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0957-1787\(02\)00004-8](https://doi.org/10.1016/S0957-1787(02)00004-8)

GLAUNER, Patrick *et al.* Large-scale detection of non-technical losses in imbalanced data sets. **2016 IEEE Power and Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference, ISGT 2016**, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ISGT.2016.7781159>

GROCHOCKI, David *et al.* AMI threats, intrusion detection requirements and deployment recommendations. **2012 IEEE 3rd International Conference on Smart Grid Communications, SmartGridComm 2012**. Tainan, Taiwan: IEEE, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/SmartGridComm.2012.6486016>

GUERRERO, Juan I. *et al.* Improving Knowledge-Based Systems with statistical techniques, text mining, and neural networks for non-technical loss detection. **Knowledge-Based Systems**, v. 71, p. 376–388, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2014.08.014>

HAN, Wenlin; XIAO, Yang. NFD: A practical scheme to detect non-technical loss fraud in smart grid. **2014 IEEE International Conference on Communications, ICC 2014**, 2014. p. 605–609. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ICC.2014.6883385>

HAN, Wenlin; XIAO, Yang. A novel detector to detect colluded non-technical loss frauds in smart grid. **Computer Networks**, v. 117, p. 19–31, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2016.10.011>

HIRSCH, J. E. An index to quantify an individual's scientific research output. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 102, n. 46, p. 16569–16572, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.0507655102>

HOFER, Katharina Maria *et al.* Conference proceedings as a matter of bibliometric studies: The Academy of International Business 2006-2008. **Scientometrics**, v. 84, p. 845-862, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11192-010-0216-6>

IBRAHIM, Emad S. Management of loss reduction projects for power distribution systems. **Electric Power Systems Research**, v. 55, n. 1, p. 49–56, 2000. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0378-7796\(99\)00073-5](https://doi.org/10.1016/S0378-7796(99)00073-5)

JAMIL, Faisal. On the electricity shortage, price and electricity theft nexus. **Energy Policy**, v. 54, p. 267–272, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.11.034>

- JAMIL, Faisal; AHMAD, Eatzaz. Policy considerations for limiting electricity theft in the developing countries. **Energy Policy**, v. 129, p. 452–458, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.02.035>
- JIANG, Rong *et al.* Wavelet based feature extraction and multiple classifiers for electricity fraud detection. **Proceedings of the IEEE Power Engineering Society Transmission and Distribution Conference**, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TDC.2002.1177814>
- JOKAR, Paria; ARIANPOO, Nasim; LEUNG, Victor C. M. Electricity theft detection in AMI using customers' consumption patterns. **IEEE Transactions on Smart Grid**, v. 7, n. 1, p. 216–226, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TSG.2015.2425222>
- JOSEPH, Kelli L. The politics of power: Electricity reform in India. **Energy Policy**, v. 38, n. 1, p. 503–511, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.09.041>
- KRISHNA, Varun Badrinath; GUNTER, Carl A.; SANDERS, William H. Evaluating Detectors on Optimal Attack Vectors That Enable Electricity Theft and der Fraud. **IEEE Journal on Selected Topics in Signal Processing**, v. 12, n. 4, p. 790–805, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/JSTSP.2018.2833749>
- KUMAR V. Sampath; PRASAD, Jagdish; SAMIKANNU, Ravi. Overview, issues and prevention of energy theft in smart grids and virtual power plants in Indian context. **Energy Policy**, v. 110, p. 365–374, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.08.032>
- LEWIS, Fabian B. Costly “Throw-Ups”: Electricity Theft and Power Disruptions. **Electricity Journal**, v. 28, n. 7, p. 118–135, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tej.2015.07.009>
- LI, Jie *et al.* Citation analysis: Comparison of web of science®, scopus™, scifinder®, and google scholar. **Journal of Electronic Resources in Medical Libraries**, v. 7, n. 3, p. 196–217, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/15424065.2010.505518>
- MADRIGAL, Manuel; RICO, J. Jesus; UZCATEGUI, Leonardo. Estimation of Non-Technical Energy Losses in Electrical Distribution Systems. **IEEE Latin America Transactions**, v. 15, n. 8, p. 1447–1452, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TLA.2017.7994791>
- MASHIMA, Daisuke; CÁRDENAS, Alvaro A. Evaluating electricity theft detectors in smart grid networks. **Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)**, 2012. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-642-33338-5_11
- MCLAUGHLIN, Stephen *et al.* AMIDS: A multi-sensor energy theft detection framework for advanced metering infrastructures. **2012 IEEE 3rd International Conference on Smart Grid Communications, SmartGridComm 2012**, 2012. p. 354–359. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/SmartGridComm.2012.6486009>
- MCLAUGHLIN, Stephen *et al.* Multi-vendor penetration testing in the advanced metering infrastructure. **Proceedings - Annual Computer Security Applications Conference, ACSAC**, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/1920261.1920277>

MCLAUGHLIN, Stephen; PODKUIKO, Dmitry; MCDANIEL, Patrick. Energy theft in the advanced metering infrastructure. **Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)**, 2010. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-642-14379-3_15

MESSINIS, George M.; HATZIARGYRIOU, Nikos D. Review of non-technical loss detection methods. **Electric Power Systems Research**, v. 158, p. 250–266, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2018.01.005>

MONEDERO, Iñigo *et al.* Detection of frauds and other non-technical losses in a power utility using Pearson coefficient, Bayesian networks and decision trees. **International Journal of Electrical Power and Energy Systems**, v. 34, n. 1, p. 90–98, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2011.09.009>

MWAURA, Francis M. Adopting electricity prepayment billing system to reduce non-technical energy losses in Uganda: Lesson from Rwanda. **Utilities Policy**, v. 23, p. 72–79, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jup.2012.05.004>

NAGI, Jawad. *et al.* Detection of abnormalities and electricity theft using genetic support vector machines. **IEEE Region 10 Annual International Conference, Proceedings/TENCON**. Hyderabad, India: IEEE, 2008a. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TENCON.2008.4766403>

NAGI, Jawad *et al.* Non-technical loss analysis for detection of electricity theft using support vector machines. **PECon 2008 - 2008 IEEE 2nd International Power and Energy Conference**, 2008b. p. 907–912. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/PECON.2008.4762604>

NAGI, Jawad *et al.* Nontechnical loss detection for metered customers in power utility using support vector machines. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 25, n. 2, p. 1162–1171, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2009.2030890>

NIZAR, Anisah Hanim *et al.* A data mining based NTL analysis method. **2007 IEEE Power Engineering Society General Meeting, PES**, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/PES.2007.385883>

PASSOS JÚNIOR, Leandro Aparecido *et al.* Unsupervised non-technical losses identification through optimum-path forest. **Electric Power Systems Research**, v. 140, p. 413–423, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2016.05.036>

PENIN, Carlos Alexandre de Sousa. **Combate, prevenção e otimização das perdas comerciais de energia elétrica**. 214 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2008.

PUNMIYA, Rajiv; CHOE, Sangho. Energy theft detection using gradient boosting theft detector with feature engineering-based preprocessing. **IEEE Transactions on Smart Grid**, v. 10, n. 2, p. 2326–2329, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TSG.2019.2892595>

RAMOS, Caio César Oba *et al.* A new approach for nontechnical losses detection based on

optimum-path forest. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 26, n. 1, p. 181–189, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2010.2051823>

RAMOS, Caio César Oba *et al.* On the study of commercial losses in Brazil: A binary black hole algorithm for theft characterization. **IEEE Transactions on Smart Grid**, v. 9, n. 2, p. 676–683, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TSG.2016.2560801>

RAZAVI, Rouzbeh; FLEURY, Martin. Socio-economic predictors of electricity theft in developing countries: An Indian case study. **Energy for Sustainable Development**, v. 49, p. 1–10, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.esd.2018.12.006>

SAVIAN, Fernando de Souza *et al.* Non-technical losses: A systematic contemporary article review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 147, p. 111205, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111205>

SCOPUS. **Scopus Content Coverage Guide**. 2017. Disponível em: https://www.elsevier.com/___data/assets/pdf_file/0007/69451/Scopus_ContentCoverage_Guide_WEB.pdf

SHARMA, Tanushree *et al.* Of pilferers and poachers: Combating electricity theft in India. **Energy Research and Social Science**, v. 11, p. 40–52, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.08.006>

SILVA, Lucimário G. de Oliveira; DA SILVA, Albérico A, P.; DE ALMEIDA-FILHO, Adiel Teixeira. Allocation of power-quality monitors using the p-median to identify nontechnical losses. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 31, n. 5, p. 2242–2249, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2016.2555282>

SILVA, Vítor Vasata Macchi *et al.* Competence-Based Management Research in the Web of Science and Scopus Databases: Scientific Production, Collaboration, and Impact. **Publications**, v. 7, n. 4, p. 60, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/publications7040060>

SINHA, Arup *et al.* Smart grid initiative for power distribution utility in India. **IEEE Power and Energy Society General Meeting**. Detroit, MI, USA: IEEE, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/PES.2011.6038943>

SOMUNCU, Tugba; HANNUM, Christopher. The rebound effect of energy efficiency policy in the presence of energy theft. **Energies**, v. 11, n. 12, p. 3379, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en1123379>

STOICA, Adelina Alexandra. Homophily in co-authorship networks. **International Review of Social Research**, v. 8, n. 2, p. 119–128, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.2478/irsr-2018-0014>

TASDOVEN, Hidayet; FIEDLER, Beth Ann; GARAYEV, Vener. Improving electricity efficiency in Turkey by addressing illegal electricity consumption: A governance approach. **Energy Policy** v. 43, p. 226–234, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.12.059>

VAN RAAN, Anthony F. J. For Your Citations Only? Hot Topics in Bibliometric Analysis. **Measurement: Interdisciplinary Research & Perspective**, 2005. Disponível em: https://doi.org/10.1207/s15366359mea0301_7

VIEGAS, Joaquim L. *et al.* Solutions for detection of non-technical losses in the electricity grid: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 80, p. 1256–1268, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.193>

VILLAR-RODRIGUEZ, Esther *et al.* Detection of non-technical losses in smart meter data based on load curve profiling and time series analysis. **Energy**, v. 137, p. 118–128, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.07.008>

WINTHER, Tanja. Electricity theft as a relational issue: A comparative look at Zanzibar, Tanzania, and the Sunderban Islands, India. **Energy for Sustainable Development**, v. 16, n. 1, p. 111–119, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.esd.2011.11.002>

XIA, Xiaofang *et al.* Coded grouping-based inspection algorithms to detect malicious meters in neighborhood area smart grid. **Computers and Security**, v. 77, p. 547–564, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cose.2018.05.004>

XIA, Xiaofang; XIAO, Yang; LIANG, Wei. ABSI: An Adaptive Binary Splitting Algorithm for Malicious Meter Inspection in Smart Grid. **IEEE Transactions on Information Forensics and Security**, v. 14, n. 2, p. 445–458, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TIFS.2018.2854703>

YORUKOGLU, Sinan *et al.* The effect of the types of network topologies on nontechnical losses in secondary electricity distribution systems. **IEEE Transactions on Industry Applications**, v. 52, n. 5, p. 3631–3643, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TIA.2016.2582820>

ZANETTI, Marcelo *et al.* A Tunable Fraud Detection System for Advanced Metering Infrastructure Using Short-Lived Patterns. **IEEE Transactions on Smart Grid**, v. 10, n. 1, p. 830–840, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TSG.2017.2753738>

ZHOU, Yuchen *et al.* A Dynamic Programming Algorithm for Leveraging Probabilistic Detection of Energy Theft in Smart Home. **IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing**, v. 3, n. 4, p. 502–513, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TETC.2015.2484841>

3 ARTIGO 2 - PERDAS NÃO TÉCNICAS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DE ARTIGOS CONTEMPORÂNEOS

Fernando de Souza Savian, Julio Cezar Mairesse Siluk, Taís Bisognin Garlet, Felipe Moraes do Nascimento, José Renes Pinheiro, Zita Vale

*Uma versão em inglês deste artigo publicada em 19 de maio de 2021 no periódico *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Qualis A1; Fator de Impacto JCR 2021: 16,799; Percentil Scopus: 97%).*

Resumo: As perdas não técnicas referem-se a toda eletricidade consumida e não faturada, e representam um problema significativo com consequências para todos os setores e um impacto negativo substancial em algumas regiões. Essas perdas são complexas e atribuídas a diversos fatores, levando pesquisadores, concessionárias e agentes reguladores a buscarem soluções para reduzir seus efeitos. Assim, este capítulo teve como objetivo identificar o panorama mundial das perdas não técnicas, apresentando seus impactos e as principais estratégias e políticas para mitigá-las, ajudando os setores público e privado a compreenderem o tema para traçar soluções eficazes para o enfrentamento desse problema. Para tanto, foi realizada uma revisão sistemática da literatura utilizando o protocolo de revisão *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*, que resultou em 144 artigos de periódicos publicados entre 2000 e 2021. Os resultados compreenderam uma definição completa de perdas não técnicas, suas consequências para os países, distribuidoras de eletricidade e sociedade, as barreiras e estratégias para sua identificação e as principais políticas e regulamentações em países de todos os níveis de Renda Nacional Bruta *per capita*. A principal contribuição deste capítulo é demonstrar o impacto das perdas não técnicas na sociedade e na economia, e os rumos de pesquisas e investigações para que as fraudes no setor elétrico sejam mitigadas.

Palavras-chave: Barreiras; Consequências; Definição; Distribuição de Eletricidade; Estratégias; Perda Não Técnica; Regulações; Revisão Sistemática.

Abreviações:

AMI: *Advanced Metering Structure*

ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica

EDL: *Electricité du Liban*

PNT: Perda não técnica

PRISMA: *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*

RNB: Renda Nacional Bruta

VAr: Volt-ampere reativo

3.1 INTRODUÇÃO

A demanda por eletricidade vem crescendo nos últimos anos em todo o mundo. Esse aumento pode estar associado à recuperação econômica dos países de baixa renda, crescimento da produção industrial e ao crescimento da produção industrial e à inserção de novas tecnologias à disposição da sociedade nos países de alta renda (AHMAD et al., 2018; GARLET et al., 2019). Esse crescimento cria desafios econômicos e regulatórios que estão diretamente relacionados à sustentabilidade dos sistemas de distribuição (NASCIMENTO et al., 2020), uma vez que nem toda a energia elétrica disponibilizada pelas concessionárias chega ao consumidor final, apesar da demanda crescente. Uma quantidade substancial de eletricidade é perdida em todo o sistema de distribuição (NAVANI, 2009), e essas perdas são divididas em dois tipos: técnicas e não técnicas. As perdas técnicas são inerentes à transmissão e consistem principalmente na dissipação de eletricidade no transporte, transformação, distribuição e medição de energia (RAMOS et al., 2011a; REDISKE et al., 2019; VIEGAS et al., 2017; ZANETTI et al., 2019). As perdas não técnicas (PNT) correspondem à toda eletricidade consumida e não faturada (FERNANDES et al., 2019; LEÓN et al., 2011b; VIEGAS et al., 2017). Elas podem ocorrer devido a conexões ilegais, problemas com medidores de energia, como atraso na instalação ou erros de leitura, equipamento de medição contaminado, defeituoso ou não adaptado, estimativas de consumo válidas muito baixas, conexões defeituosas e clientes desconsiderados (IBRAHIM, 2000).

As perdas não técnicas têm sido um fenômeno generalizado e um problema significativo para as distribuidoras de eletricidade (MESSINIS; HATZIARGYRIOU, 2018; YIP et al., 2017). Além de aumentar as perdas de rede, as PNT podem trazer problemas adicionais, como redução da confiabilidade e qualidade da rede, queda de tensão, danos à infraestrutura, possibilidade de falta de energia, risco à segurança pública e perda de receita, que na maioria dos casos leva às concessionárias cobrá-las dos consumidores benignos por meio de tarifas (DEPURU; WANG; DEVABHAKTUNI, 2011; DOS ANGELOS et al., 2011; KADUREK et al., 2010; LO; ANSARI, 2013; YIP et al., 2017). As distribuidoras de eletricidade sofrem perdas econômicas substanciais devido a fraudes resultantes de perdas não técnicas, representando US\$ 89,3

bilhões anualmente em todo o mundo, e os 50 principais países emergentes têm perdas de US\$ 58,7 bilhões por ano (HAN; XIAO, 2017; XIA; XIAO; LIANG, 2019). Contudo, é possível que os prejuízos reais referentes às PNT sejam ainda maiores, tendo em vista que a contabilidade dessas perdas em países subdesenvolvidos pode ser subestimada. Assim, as PNT representam a principal fonte de perdas comerciais para as distribuidoras, e isso se deve à dificuldade de mensuração desse tipo de perdas (LEITE; MANTOVANI, 2018).

Os operadores do sistema de distribuição têm tentado detectar furtos de eletricidade para reduzir as perdas não técnicas. No entanto, apesar dos esforços para detectar fraudes, o fenômeno persiste, principalmente quando métodos tradicionais, como a simples inspeção de medidores, são aplicados com diversas limitações técnicas e sociais (MESSINIS; HATZIARGYRIOU, 2018). Várias metodologias e ferramentas que podem auxiliar na detecção de PNT são encontradas na literatura. Entretanto, não existe uma fórmula de sucesso sobre o que é necessário para desenvolver uma técnica eficiente para sua identificação.

Ahmad et al. (2018) trazem como foco várias práticas de modelagem para identificação de perdas não técnicas, concluindo que nos métodos de modelagem primária, tempo e investimento de capital são economizados para descobrir a magnitude das perdas do sistema nos métodos de modelagem primários. Messinis e Hatziargyriou (2018) apresentam uma visão geral dos algoritmos de detecção de PNT, apontando seus principais parâmetros. Além disso, afirmam que esses métodos podem ser definidos em três categorias principais: orientado a dados, orientado a rede e híbrido. Viegas et al. (2017) apresentaram os resultados de uma revisão da literatura analisando técnicas para identificar consumidores com alta probabilidade de comportamento de furto e métodos para detectar padrões que podem implicar vulnerabilidades em equipamentos de medição. Entretanto, revelaram lacunas aparentes, como a falta de pesquisas que analisem a situação nas economias subdesenvolvidas e a falta de discussões sobre como as soluções se encaixam na estrutura das concessionárias.

Os problemas associados à detecção de perdas não técnicas não estão apenas relacionados às metodologias existentes, mas também à dificuldade de implementação de políticas, à corrupção, a infraestruturas deficientes e ao comportamento ilícito do consumidor (AHMAD, 2017). Embora o desenvolvimento de métodos de detecção de fraudes energéticas seja fundamental, uma solução mais completa passa por prevenir o furto e adotar medidas técnicas para educar o consumidor e garantir que ele se sinta confortável pagando pelos serviços prestados pelos fornecedores (KUMAR; PRASAD; SAMIKANNU, 2017). Ademais, é necessária a formulação de políticas que considerem cenários específicos, particularmente no que diz respeito aos elevados preços da eletricidade e à baixa qualidade do serviço. A redução na tarifa e a

melhoria na qualidade da energia fornecida podem aumentar a competitividade do setor industrial (ZANARDO et al., 2018), resultar em um maior número de consumidores pagando as contas corretamente e, conseqüentemente, maximizar a receita das concessionárias (YAKUBU; BABU; ADJEI, 2018).

Assim, percebe-se que as perdas não técnicas não se concentram em uma única esfera e são de natureza complexa. Portanto, este capítulo teve como objetivo identificar, por meio de uma revisão sistemática, o panorama mundial das perdas não técnicas, apresentando seus impactos e as principais estratégias e políticas para mitigá-las. Para isso, foi necessário compreender e elucidar as definições de PNT e suas conseqüências para países, distribuidoras de energia elétrica e sociedade. Além disso, foi fundamental identificar as barreiras mencionadas na literatura e as estratégias adotadas para identificar as perdas não técnicas. Também foi crucial analisar a legislação, as políticas e as regulações atuais sobre o tema em países com diversas faixas de Renda Nacional Bruta (RNB) *per capita*. A principal contribuição desta revisão é ajudar pesquisadores, distribuidoras de energia elétrica e formuladores de políticas públicas a compreender e avaliar o impacto das perdas não técnicas na sociedade e em suas economias, bem como apontar incentivos e caminhos a serem seguidos para a minimização de fraudes no setor elétrico.

Este capítulo está estruturado em quatro subseções. A subseção 3.2 discute o método utilizado para realizar a revisão sistemática e a análise de conteúdo. A subseção 3.3 apresenta os resultados e as discussões do estudo, enquanto a subseção 3.4 apresenta as considerações finais, enfatizando as implicações dos resultados, inferências e sugestões para pesquisas futuras.

3.2 MÉTODO

A coleta, análise e síntese dos principais aspectos relacionados às perdas não técnicas forneceram as principais contribuições deste capítulo. Assim, o método de pesquisa consistiu em uma revisão sistemática da literatura, desenvolvida com base no protocolo de revisão *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) (MOHER et al., 2009). A primeira etapa foi definir as questões de pesquisa, bancos de dados e termos de busca apropriados para atingir o objetivo. A etapa seguinte consistiu na busca nas bases de dados selecionadas para identificação dos artigos e seleção preliminar. A terceira etapa envolveu a avaliação do conteúdo, com a definição e aplicação dos critérios de inclusão e exclusão de materiais por meio da análise qualitativa. Por fim, os dados foram extraídos e os resultados sintetizados. As subseções a seguir detalham as etapas do método. A Tabela 9 apresenta o

protocolo de revisão e as informações coletadas nas demais etapas.

Tabela 9 – Protocolo de revisão

Etapa da revisão	Informações coletadas
Pesquisa na base de dados e seleção preliminar	Ano Autores Título Resumo Palavras-chave Periódico Percentil
Avaliação de conteúdo	<p data-bbox="756 781 1142 815"><i>Grupo 1 (todas respostas sim)</i></p> <p data-bbox="549 815 1430 927">Objetivo do artigo - Os objetivos do artigo estão claros? (sim/não) - Os objetivos do artigo envolvem perdas não técnicas ou perdas comerciais? (sim/não)</p> <hr/> <p data-bbox="549 927 1430 994">Principais resultados - O estudo apresenta suas contribuições? - Os principais resultados do estudo estão claros?</p> <hr/> <p data-bbox="756 994 1270 1039"><i>Grupo 2 (pelo menos uma resposta sim)</i></p> <p data-bbox="549 1039 1430 1330">Questões de pesquisa relacionadas - O estudo define PNT? - O estudo apresenta alguma consequência de PNT? - O estudo apresenta barreiras à identificação de PNT? - O estudo apresenta estratégias para identificação de PNT? - O estudo apresenta regulações nacionais ou internacionais para mitigar PNT?</p>
Extração de dados	Definição de PNT Consequências de PNT Barreiras à identificação de PNT Estratégias para identificação de PNT Regulações relacionadas a PNT País do estudo Ano Periódico Notas gerais

Fonte: Autor.

3.2.1 Questões de pesquisa, bases de dados e termos de busca

Cinco questões de pesquisa foram propostas para identificar o panorama mundial e os aspectos cruciais associados às perdas não técnicas:

1. Qual é a definição de perdas não técnicas?

2. Quais são as principais consequências das PNT para os países, distribuidoras de energia elétrica e sociedade?

3. Quais são as principais barreiras para a identificação de perdas não técnicas?

4. Quais são as estratégias adotadas para identificar PNT?

5. Quais são as principais regulações para mitigar o efeito das perdas não técnicas?

As bases de dados selecionadas para a revisão sistemática foram *Web of Science* e *Scopus*, uma vez que incluem as principais editoras e possuem um número significativo de periódicos (SCOPUS, 2017). O escopo dessas bases de dados gerou alguns resultados sobrepostos. No entanto, isso serve como um processo de validação para garantir que todos os artigos relevantes sejam selecionados para a pesquisa (GARZA-REYES, 2015; VIEIRA; AMARAL, 2016).

Os termos de busca foram criados para minimizar as chances de perder qualquer estudo relevante. Desta forma, a *string* de pesquisa foi construída para incluir estudos sobre PNT, furto ou fraude de energia ou eletricidade e perdas comerciais. A combinação desses termos foi pesquisada nos títulos, resumos e palavras-chave nas bases de dados selecionadas. Além disso, não houve limitação do período de busca, e apenas artigos de pesquisa ou revisões em periódicos científicos foram escolhidos por serem a principal fonte de pesquisa acadêmica (PEREZ-PEREZ et al., 2015). Os idiomas de publicação selecionados foram inglês, espanhol e português, que representam idiomas globais e aumentam as possibilidades de encontrar materiais no campo científico (MONTGOMERY, 2004; ZYOUD; FUCHS-HANUSCH, 2017). Assim, a *string* de busca nos bancos de dados *Web of Science* e *Scopus* foi: *title-abstract-keywords* ("non-technical loss*" OR "commercial loss*" OR "energy theft*" OR "energy fraud*" OR "electricity theft*" OR "electricity fraud*").

3.2.2 Pesquisa na base de dados e seleção preliminar

A busca nas bases de dados foi realizada em junho de 2019 e atualizada em janeiro de 2022, e resultou em 887 artigos, incluindo materiais duplicados e nos idiomas inglês, português e espanhol, considerando apenas artigos de pesquisa e de revisão publicados em periódicos. A revisão sistemática foi realizada com o apoio do *software Microsoft Excel*[®], que facilitou a organização dos resultados, e *Mendeley*[®] que auxiliou na localização e exclusão de materiais duplicados. Na primeira fase, os artigos foram selecionados em periódicos com percentil superior a 75% em pelo menos uma base de dados.

3.2.3 Análise de conteúdo

Nessa etapa, foram estudados e analisados o título, o resumo, a introdução e a conclusão dos artigos, com uma análise a partir das questões de exclusão dos dois grupos, apresentadas na Tabela 9. No grupo 1, o objetivo do estudo e os principais resultados foram avaliados. Todas as quatro perguntas tiveram que ter "sim" como resposta para que o artigo não fosse excluído da revisão. No grupo 2, foi analisado se as questões da pesquisa foram respondidas. Pelo menos uma das cinco questões precisava ser respondida "sim" para que o artigo fosse mantido para análise na revisão. Após essa etapa, 228 artigos permaneceram na revisão sistemática.

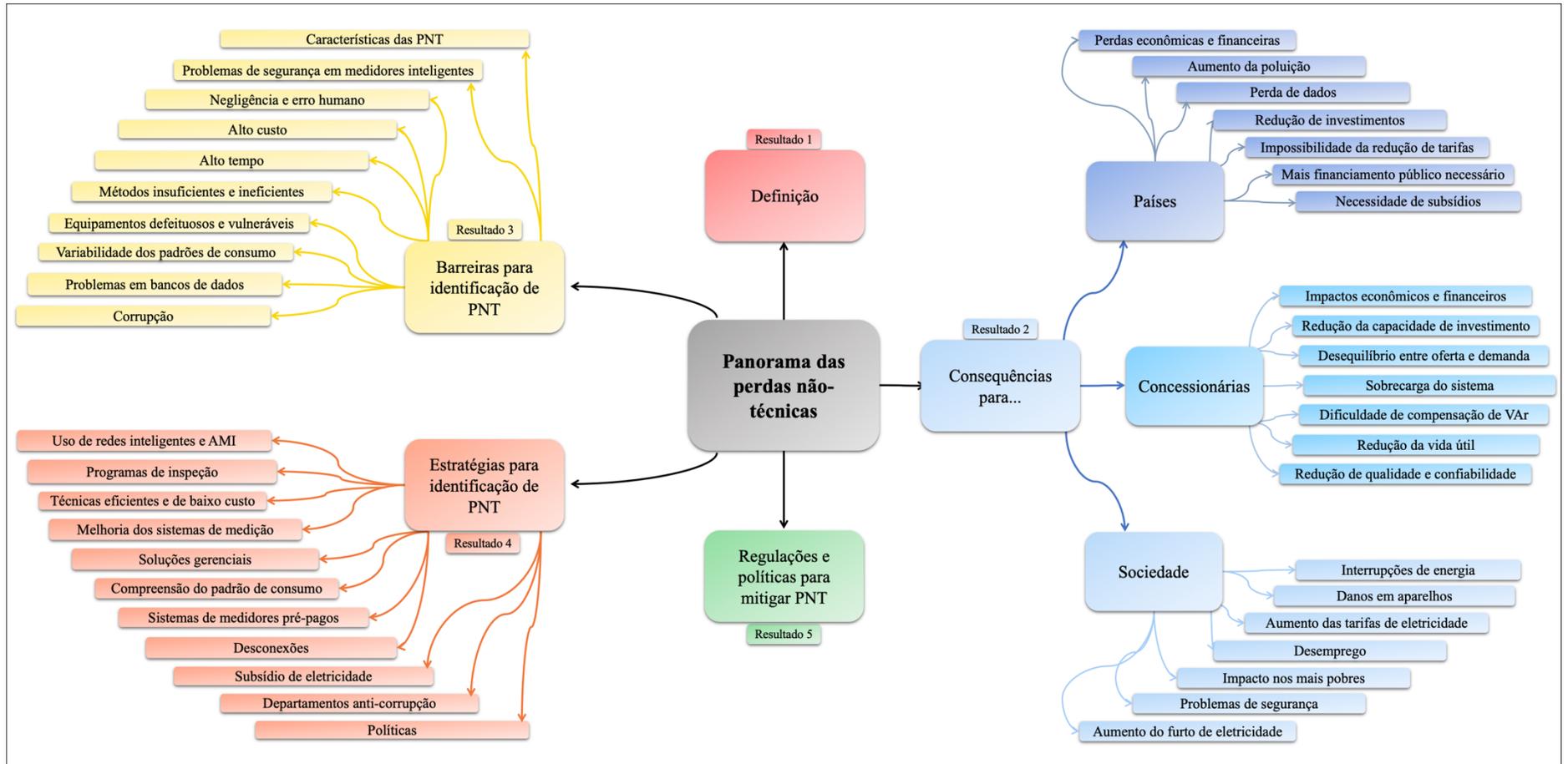
3.2.4 Extração de dados e síntese dos resultados

A extração dos dados ocorreu após a leitura completa dos 228 artigos selecionados na revisão sistemática, restando 144 artigos, cujos conteúdos são abordados e discutidos nos resultados desse capítulo. As informações foram armazenadas no *Microsoft Excel*[®] e posteriormente sintetizadas para responder às cinco questões de pesquisa. Os dados extraídos foram relacionados a definições e consequências de perdas não técnicas, barreiras e estratégias para identificação de PNT, e políticas e regulações em países com diferentes níveis de RNB *per capita*.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os 144 artigos selecionados na revisão sistemática foram publicados entre 2000 e 2021. O ano com maior número de publicações foi 2020. Os países que mais publicaram sobre o tema foram os Estados Unidos, com 33 artigos, China, com 26 artigos, e Brasil, com 21 artigos. Foram encontrados 135 artigos de pesquisa e nove revisões, sendo que o periódico com maior número de artigos de pesquisa publicados foi o *Energy Policy*, com 13 artigos, correspondendo a 9,63 % do total. A revista com maior número de revisões publicadas foi *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, com três artigos, correspondendo a 33,33 % do total de artigos de revisão. A sequência deste subcapítulo apresenta e discute em detalhes as descobertas da revisão sistemática que respondem às perguntas da pesquisa. A Figura 5 mostra uma visão geral dos resultados obtidos.

Figura 5 – Visão geral dos resultados



Fonte: Autor.

3.3.1 Definição de perda não técnica

A primeira questão de pesquisa na revisão sistemática diz respeito à definição de PNT. Dentre os artigos selecionados, 48 apresentam definições para perdas não técnicas, as quais foram compiladas e são apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10 – Definições de perdas não técnicas encontradas na revisão sistemática

(continua)

Referência	Definição de PNT
(ZANETTI et al., 2019)	“As perdas não técnicas (PNT) consistem em furto de eletricidade, inadimplência por parte dos clientes e erros na contabilidade e manutenção de registros.”
(VIEGAS et al., 2017)	“As PNT, também referidas na literatura como perdas comerciais, são perdas não naturais associadas à quantidade de eletricidade não faturada e eletricidade faturada que não é paga.”
(LEÓN et al., 2011b)	“No setor elétrico, uma perda não técnica (PNT) é definida como qualquer energia consumida ou serviço que não é faturado por falha do equipamento de medição ou manipulação mal intencionada e fraudulenta do equipamento, e também por causa de erros administrativos no processamento de faturamento de energia. Na verdade, as PNT da empresa são todas as perdas, exceto as perdas técnicas...”
(GUERRERO et al., 2018)	“Uma perda não técnica (PNT) em uma concessionária de energia é definida como qualquer energia consumida ou serviço que não é faturado devido à falha do equipamento de medição ou manipulação mal intencionada e fraudulenta deste equipamento.”
(FERNANDES et al., 2019)	“...as perdas não técnicas referem-se ao valor da eletricidade não faturada e eletricidade faturada que não é paga.”
(IBRAHIM, 2000)	“... as perdas não técnicas estão relacionadas ao processo de gestão do cliente. As principais causas das perdas não técnicas são: 1. Perdas no consumo correspondentes à energia efetivamente consumida, mas não registada, ou registada de forma imprecisa no sistema de faturação da distribuidora. 2. Perdas no faturamento geradas por disfunções, ou mesmo lacunas no sistema de faturamento da empresa. 3. Perdas de cobrança geradas pelo não pagamento ou atraso no pagamento das faturas emitidas.”
(KUMAR; PRASAD; SAMIKANNU, 2017)	“PNT inclui furto de energia, falhas de medição, imprecisões de medição, problemas de faturamento, fornecimento não medido, etc.”
(GHAJAR; KHALIFE, 2003)	“... as perdas não técnicas ... são o resultado de furto ou fraude causada por adulteração do medidor, leitura falsa, conexões ilegais ou contas não pagas.”
(BERKTAY et al., 2004)	“... perdas não técnicas, incluindo perdas na distribuição e a incidência de uso ilegal.”
(LEÓN et al., 2011a)	“PNT é definida como energia não faturada devido à existência de irregularidades ou desvios nas instalações do cliente.”

Tabela 10 – Definições de perdas não técnicas encontradas na revisão sistemática

(continuação)

Referência	Definição de PNT
(MONEDERO et al., 2012)	“Uma perda não técnica (PNT) é definida como qualquer energia consumida ou serviço que não é faturado devido a uma falha do equipamento de medição ou uma manipulação mal intencionada e fraudulenta do referido equipamento.”
(MWAURA, 2012)	“As perdas não técnicas referem-se à perda de energia elétrica por meio de furto, que pode ser na forma de ligações ilegais, fraude ou não pagamento de contas.”
(OBAFEMI; IFERE, 2013)	“As perdas não técnicas são perdas induzidas pelo homem e incluem; furto de eletricidade por meio de conexão ilegal à rede ou adulteração de um medidor de consumo, erros, como resultado de contabilidade e registros inadequados, bem como falta de pagamento por parte dos clientes após um período de faturamento. ”
(AMIN et al., 2015)	“... perdas não técnicas (como furto de eletricidade, fraude ou contas não cobradas / inadimplentes) ...”
(CORTON; ZIMMERMANN; PHILLIPS, 2016)	“As perdas não técnicas referem-se a perdas de energia devido a fatores específicos do segmento de distribuição, como fraude, furto de energia e erros na leitura de energia elétrica por conta de medidores danificados.”
(SILVA; DA SILVA; DE ALMEIDA-FILHO, 2016)	“... perdas não técnicas (desvio de energia antes que o faturamento seja medido).”
(PASSOS JÚNIOR et al., 2016)	“O principal conceito relacionado às PNT refere-se à quantidade de energia que foi usada, mas não faturada ...”
(RAMOS et al., 2018)	“As perdas comerciais, também chamadas de perdas não técnicas (PNT), estão associadas à energia entregue ao consumidor que não é faturada ...”
(VIEGAS; ESTEVES; VIEIRA, 2018)	“Nas redes elétricas, as perdas não técnicas (PNT) são iguais à diferença entre a energia fornecida e a energia paga, subtraindo-se a energia perdida pelo calor nas linhas, transformadores e outros equipamentos. PNT são o resultado de furto de eletricidade, fraude ou ativos de medição deficientes ... ”
(BUZAU et al., 2019)	“Perdas não técnicas de eletricidade (PNT) devido a qualquer tipo de anomalia (erro de instalação, erro de parametrização do medidor, medidor com defeito ou fraude de energia) ...”
(BLAZAKIS; KAPETANAKIS; STAVRAKAKIS, 2020)	“As perdas não técnicas na rede elétrica (PNT) são definidas como a energia que é distribuída, mas não faturada principalmente devido a ações ilegais externas ao sistema de potência e a condições que os cálculos de perdas técnicas não levam em consideração. Uma grande proporção das perdas não técnicas são devidas a furtos e fraudes (adulteração de medidores e manipulações ilegais de rede).”
(CALVO et al., 2020)	“Perdas Não Técnicas (PNT), que se referem a perdas causadas por furto na concessionária ou erros do medidor”

Tabela 10 – Definições de perdas não técnicas encontradas na revisão sistemática

(continuação)

Referência	Definição de PNT
(VENTURA et al., 2020)	“As perdas não técnicas são classificadas em dois grupos. O primeiro grupo são as perdas causadas por má gestão das distribuidoras, como falhas de medição e erros de faturamento, que podem ser corrigidas pela própria empresa, também conhecidas como perdas comerciais. No segundo grupo, encontram-se as perdas causadas pelos consumidores finais, como furto de energia e fraude, sendo necessárias para a sua detecção, fiscalizações ou visitas.”
(DIAHOVCHENKO; OLSEN, 2020)	“Um dos componentes das perdas não técnicas (PNT de energia elétrica é o furto por adulteração de medidores de energia (ME).”
(FERREIRA; TRINDADE; VIEIRA, 2020)	“As perdas não técnicas estão principalmente associadas ao desvio do medidor, adulteração do medidor e fraude.”
(GHORI et al., 2020b)	“PNT é a perda que pode ser causada por mau funcionamento não intencional do medidor ou por tentativas fraudulentas intencionais de ignorar medidores, desacelerar ou parar medidores, leituras incorretas do medidor ou mesmo ter uma conexão ilegal.”
(GHORI et al., 2020a)	“Perda Não Técnica (PNT) é a perda incorrida devido a tentativas ilegais de furto por consumidores maliciosos de eletricidade.”
(HU et al., 2019)	“As PNT, também chamadas de perdas comerciais, são principalmente causadas pela utilização ilegal ou desonesta de eletricidade com o objetivo de reduzir os pagamentos, nomeadamente, fraude na eletricidade.”
(LU et al., 2019)	“PNT são anomalias que incluem erros de instalação, medidores defeituosos e furto de eletricidade, etc.”
(BRETAS et al., 2020)	“As perdas não técnicas (PNT), por outro lado, correspondem à energia entregue, mas não computada devido a erros de medição, fraude ou furto.”
(VAHABZADEH et al., 2020)	“As perdas não técnicas se originam de atividades fora do sistema e ocorrem de várias formas, incluindo furto de eletricidade, não pagamento por clientes e erros no registro e cálculo dos custos de energia.”
(MANITO et al., 2019)	“PNT surgem da prática de fraudes, furtos, medidores de defeitos, erros de medição e consumo de energia não medido.”
(MESSINIS; RIGAS; HATZIARGYRIOU, 2019)	“PNT é definida como a soma da energia não contabilizada resultante de furto de eletricidade, mau funcionamento do medidor, erros de medição etc. e é calculada como a diferença entre a energia injetada na rede e a energia medida consumida, incluindo perdas técnicas.”
(SIMÕES et al., 2020)	“As PNT de energia elétrica são causadas por ações externas ao sistema de potência, como furto de energia elétrica, inadimplência dos clientes quanto a erros na leitura do medidor e na manutenção do registro.”

Tabela 10 – Definições de perdas não técnicas encontradas na revisão sistemática

(conclusão)

Referência	Definição de PNT
(SHAH; MESBAH; AL-AWAMI, 2020)	“PNT são perdas devido ao furto de eletricidade por usuários registrados/não registrados por meio de adulteração ou escutas, leituras imprecisas de medidores e faturamento impreciso pela concessionária.”
(SANTILIO et al., 2020)	“As perdas incorridas pelos fatores acima mencionados (furto e fraude) são denominadas como perdas não técnicas. Estes ainda podem ser contabilizados em perdas não técnicas, como erros de leitura para fins de faturamento e erros do medidor não causados por terceiros.”

Fonte: Autor.

Na análise das definições, percebeu-se que um sinônimo comumente utilizado para perda não técnica é “perda comercial”. É o caso de Ventura et al. (2020), Hu et al. (2019), Hu et al. (2021), Ramos et al. (2018) e Viegas et al. (2017), conforme apresentado na Tabela 10, que utilizam explicitamente o termo “perda comercial”, em concordância com outros autores que também utilizam o mesmo termo para se referir às PNT (DOS ANGELOS et al., 2011; LEITE; MANTOVANI, 2018; SMITH, 2004; YORUKOGLU et al., 2016). Barros, Costa e Araújo (2021), Blazakis, Kapetanakis e Stavrakakis (2020), Bretas et al. (2020), Fernandes et al. (2019), Guerrero et al. (2018), Kharal et al. (2021), León et al. (2011a, 2011b), Messinis, Rigas e Hatziargyriou (2019), Monedero et al. (2012), Nadeem e Arshad (2021), Obafemi e Ifere (2013), Passos Júnior et al. (2016), Ramos et al. (2018), Silva, Da Silva e De Almeida-Filho (2016), Viegas, Esteves e Vieira (2018) e Viegas et al. (2017) descrevem a relação entre a energia consumida e não faturada para definir a PNT, e as principais causas das PNT estão relacionadas às ações de usuários maliciosos (ALMAZROI; AYUB, 2021; AMIN et al., 2015; BABUTA et al., 2021; BARROS; COSTA; ARAUJO, 2021; BERKTAY et al., 2004; BLAZAKIS; KAPETANAKIS; STAVRAKAKIS, 2020; BUZAU et al., 2019; CALVO et al., 2020; COMA-PUIG; CARMONA, 2021; CORTON; ZIMMERMANN; PHILLIPS, 2016; DIAHOVCHENKO; OLSEN, 2020; FERREIRA; TRINDADE; VIEIRA, 2020; GHAJAR; KHALIFE, 2003; GHORI et al., 2021, 2020; GHORI et al., 2020b; GUERRERO et al., 2018; HU et al., 2019, 2021; HUSSAIN et al., 2021; KHAN et al., 2021; KHARAL et al., 2021; KUMAR; PRASAD; SAMIKANNU, 2017; LEÓN et al., 2011b, 2011a; LU et al., 2019; MANITO et al., 2019; MESSINIS; RIGAS; HATZIARGYRIOU, 2019; MONEDERO et al., 2012; MUJEEB et al., 2021; MWAURA, 2012; OBAFEMI; IFERE, 2013; SANTILIO et al., 2020; SHAH; MESBAH; AL-AWAMI, 2020; SILVA; DA SILVA; DE ALMEIDA-FILHO,

2016; SIMÕES et al., 2020; TOLEDO-OROZCO et al., 2021; VAHABZADEH et al., 2020; VIEGAS; ESTEVES; VIEIRA, 2018; ZANETTI et al., 2019), erros de instalação (BUZAU et al., 2019; LU et al., 2019), problemas com medidores (ALMAZROI; AYUB, 2021; BARROS; COSTA; ARAUJO, 2021; BUZAU et al., 2019; CALVO et al., 2020; COMA-PUIG; CARMONA, 2021; CORTON; ZIMMERMANN; PHILLIPS, 2016; GHORI et al., 2020b; GUERRERO et al., 2018; KUMAR; PRASAD; SAMIKANNU, 2017; LEÓN et al., 2011b; LU et al., 2019; MANITO et al., 2019; MESSINIS; RIGAS; HATZIARGYRIOU, 2019; MONEDERO et al., 2012; SANTILIO et al., 2020; TOLEDO-OROZCO et al., 2021; VIEGAS; ESTEVES; VIEIRA, 2018), pagamentos em falta e atrasados (ALMAZROI; AYUB, 2021; AMIN et al., 2015; GHAJAR; KHALIFE, 2003; KHARAL et al., 2021; MWAURA, 2012; OBAFEMI; IFERE, 2013; SIMÕES et al., 2020; VAHABZADEH et al., 2020; VIEGAS et al., 2017), e erros na gestão dos registros de coleta (ALMAZROI; AYUB, 2021; AMIN et al., 2015; CORTON; ZIMMERMANN; PHILLIPS, 2016; DE OLIVEIRA VENTURA et al., 2020; GHAJAR; KHALIFE, 2003; GHORI et al., 2021; HUSSAIN et al., 2021; IBRAHIM, 2000; LEÓN et al., 2011b; MANITO et al., 2019; MESSINIS; RIGAS; HATZIARGYRIOU, 2019; OBAFEMI; IFERE, 2013; SANTILIO et al., 2020; SHAH; MESBAH; AL-AWAMI, 2020; SIMÕES et al., 2020; VAHABZADEH et al., 2020; VENTURA et al., 2020; ZANETTI et al., 2019). Considerando todas as definições encontradas, catalogadas e analisadas, o Resultado 1 apresenta uma definição completa e detalhada de perda não técnica, pois engloba os principais conceitos gerados na literatura até o momento.

Resultado 1: Perda não técnica, também conhecida como perda comercial, é qualquer eletricidade consumida e não faturada causada por furto, fraude ou conexões maliciosas e ilegais à rede, erros de instalação, deficiência ou adulteração de medidores, falta ou atraso de pagamento pelos consumidores, e erros na contabilidade, cobrança e manutenção de registros.

3.3.2 Consequências relacionadas às perdas não técnicas

As perdas não técnicas podem envolver consequências graves para todos os envolvidos, direta ou indiretamente (VILLAR-RODRIGUEZ et al., 2017). Embora os efeitos mais prejudiciais das PNT sejam mais perceptíveis em países de renda média e baixa, os países de alta renda também precisam encontrar maneiras de mitigar os danos causados por esse tipo de problema (VIEGAS et al., 2017). As PNT acarretam consequências e penalidades irreversíveis para a

sociedade, para as concessionárias e para os países (KUMAR; PRASAD; SAMIKANNU, 2017), sendo considerado um importante entrave ao crescimento econômico (RAZAVI; FLEURY, 2019; YURTSEVEN, 2015). Esta subseção apresenta os resultados da segunda questão de pesquisa, compilando informações sobre as principais consequências das PNT para os países, distribuidoras de energia elétrica e sociedade.

A consequência mais significativa das perdas não técnicas para todos os países afetados são as perdas econômicas e financeiras, contribuindo para o aumento da inflação (ALMAZROI; AYUB, 2021; ARYANEZHAD, 2019; ASLAM et al., 2020a; AVILA; FIGUEROA; CHU, 2018; FERNANDES et al., 2019; GAO; FOGGO; YU, 2019; GHAJAR; KHALIFE, 2003; GHASEMI; GITIZADEH, 2018; GLAUNER et al., 2017; HAMDAN; GHAJAR; CHEDID, 2012; IBRAHEM et al., 2021; IBRAHIM, 2000; LEWIS, 2015; OJEDOKUN; DINNE; BUHARI, 2020; RAZAVI; FLEURY, 2019; TAKIDDIN et al., 2021; TASDOVEN; FIEDLER; GARAYEV, 2012; VIEGAS et al., 2017; XIA; XIAO; LIANG, 2019; YORUKOGLU et al., 2016; YURTSEVEN, 2015; ZHENG et al., 2019; ZHENG et al., 2018). Prejuízos devido às PNT foram registrados por muitos anos, especialmente no final da década de 1990, quando os serviços de distribuição de eletricidade na Índia, Malásia e Estados Unidos relataram perdas de até US\$ 10 bilhões por ano (YORUKOGLU et al., 2016). Atualmente, estima-se que o mundo tenha perdas anuais de US\$ 89,3 bilhões (XIA; XIAO; LIANG, 2019), com destaque para países como Canadá (ZHENG et al., 2018), Estados Unidos (ZHENG et al., 2019), Turquia (YORUKOGLU et al., 2016; YURTSEVEN, 2015), Líbano (GHAJAR; KHALIFE, 2003; HAMDAN; GHAJAR; CHEDID, 2012), Jamaica (LEWIS, 2015), Honduras (AVILA; FIGUEROA; CHU, 2018), Irã (ARYANEZHAD, 2019), México e Indonésia (YORUKOGLU et al., 2016). Porém, o dano não é apenas econômico e financeiro. Devido às perdas não técnicas, pode haver um aumento na poluição e no uso indevido de recursos naturais (BRISEÑO; ROJAS, 2020b; GLAUNER et al., 2017) devido à necessidade de mais geração de eletricidade para satisfazer o excesso de demanda (YORUKOGLU et al., 2016). Ainda assim, as perdas não técnicas são consideradas a principal causa de incerteza nos dados energéticos dos países (SAJID; JAVAID, 2018), o que pode levar a dificuldades na correta alocação dos investimentos e composição tarifária.

As PNT afetam as decisões de investimento dos países (YURTSEVEN, 2015). O impacto que causam reduz a capacidade do setor público de investir na manutenção de instalações e em novas tecnologias de geração de energia elétrica (KUMAR; PRASAD; SAMIKANNU, 2017), afetando a qualidade e o desempenho do sistema (FERNANDES et al., 2019; JOSEPH, 2010; RAZAVI; FLEURY, 2019). As PNT também têm impacto negativo nas decisões de

investimento do governo para expandir a conectividade e o acesso à eletricidade para regiões carentes (MWAURA, 2012; RAZAVI; FLEURY, 2019), devolvendo o pagamento de impostos à sociedade. Isso ocorre porque as PNT causam uma redução da arrecadação legal de tarifas (TASDOVEN; FIEDLER; GARAYEV, 2012) e afetam o sistema tarifário (ARYANEZHAD, 2019). Além disso, as perdas por fraude e furto de eletricidade impedem os países de tomarem medidas para reduzir as tarifas a serem pagas pelos consumidores (SHARMA et al., 2016) e têm um impacto direto sobre os consumidores em situações sensíveis e na composição dos subsídios para as empresas de eletricidade.

Outra consequência grave das perdas não técnicas para todos os países afetados é que parte das receitas de eletricidade perdidas poderia ser aplicada a programas sociais (FERNANDES et al., 2019), estendendo o acesso à eletricidade à população mais pobre e socialmente desprotegida (SHARMA et al., 2016). Afetam a justiça social, sendo necessária a ampliação dos subsídios para viabilizar o consumo de energia elétrica desses usuários (SHARMA et al., 2016; VIEGAS et al., 2017). Na maioria dos casos, as PNT levam as autoridades a subsidiar eletricidade diretamente à sociedade, mas às vezes também é necessário fornecer financiamento às empresas de eletricidade, aumentando assim os gastos do governo (IBRAHIM, 2000). Por outro lado, quaisquer outras formas de subsídio podem até desencorajar o investimento privado no setor (JAMIL, 2013).

As concessionárias de distribuição sofrem graves consequências econômicas e financeiras em decorrência de perdas não técnicas (ALMAZROI; AYUB, 2021; AMIN et al., 2015; ASLAM et al., 2020b; BARZAMINI; GHASSEMIAN, 2019; CHUWA; WANG, 2021; CORTON; ZIMMERMANN; PHILLIPS, 2016; COSTA-CAMPI; DAVI-ARDERIUS; TRUJILLO-BAUTE, 2018; DEPURU; WANG; DEVABHAKTUNI, 2011; FENG, X. et al., 2020; FENG, Z. et al., 2020; GHASEMI; GITIZADEH, 2018; GHORI et al., 2021; GLAUNER et al., 2017; IBRAHEM et al., 2021; IBRAHIM, 2000; ISMAIL et al., 2020; JAMIL, 2018; JAMIL; AHMAD, 2019; KHARAL et al., 2021; KONG et al., 2021; KRISHNA; GUNTER; SANDERS, 2018; KUMAR; PRASAD; SAMIKANNU, 2017; LEITE et al., 2020; LEÓN et al., 2011b, 2011a; LEWIS, 2015; MANITO et al., 2019; MESSINIS; HATZIARGYRIOU, 2018; MESSINIS; RIGAS; HATZIARGYRIOU, 2019; MIN; GOLDEN, 2014; NABIL et al., 2019; NADEEM; ARSHAD, 2021; NAGI et al., 2010; QU et al., 2021; RAGGI et al., 2020; RUFÍN; DE MIRANDA; MOSKOWICZ, 2020; SAMUEL et al., 2020; SIMÕES et al., 2020; SMITH, 2004; TAN et al., 2017; TARIQ; POOR, 2018; TOLEDO-OROZCO et al., 2021; UNAL et al., 2021; VENTURA et al., 2020; VIEGAS et al., 2017; WINTHER, 2012; XIA et al., 2020; XIA; XIAO; LIANG, 2019; YORUKOGLU et al., 2016; ZHENG et al., 2018). Este

impacto é gerado tanto pelo aumento dos custos (AMIN et al., 2015; CORTON; ZIMMERMANN; PHILLIPS, 2016; GHASEMI; GITIZADEH, 2018; LEITE et al., 2020; LEWIS, 2015; MESSINIS; RIGAS; HATZIARGYRIOU, 2019; NADEEM; ARSHAD, 2021; RUFÍN; DE MIRANDA; MOSKOWICZ, 2020; UNAL et al., 2021; VIEGAS et al., 2017) quanto pela perda de receita (ALMAZROI; AYUB, 2021; ASLAM et al., 2020b; CHUWA; WANG, 2021; COSTA-CAMPI; DAVI-ARDERIUS; TRUJILLO-BAUTE, 2018; DEPURU; WANG; DEVABHAKTUNI, 2011; FENG, X. et al., 2020; GLAUNER et al., 2017; IBRAHEM et al., 2021; IBRAHIM, 2000; KUMAR; PRASAD; SAMIKANNU, 2017; LEWIS, 2015; MANITO et al., 2019; MESSINIS; HATZIARGYRIOU, 2018; MIN; GOLDEN, 2014; RAGGI et al., 2020; SAMUEL et al., 2020; SIMÕES et al., 2020; TARIQ; POOR, 2018; UNAL et al., 2021; VENTURA et al., 2020), podendo prejudicar a capacidade das concessionárias impactadas de desenvolver novos dispositivos de prevenção de PNT (DEPURU; WANG; DEVABHAKTUNI, 2011; UNAL et al., 2021). Além disso, as perdas não técnicas reduzem novos investimentos na rede de distribuição (JAMIL; AHMAD, 2019; SMITH, 2004), limitando o desenvolvimento e a expansão do sistema (LEWIS, 2015). Eles levam as empresas do setor a fazerem investimentos caros, prematuros e inúteis (IBRAHIM, 2000), colocando em risco a viabilidade, sustentabilidade e sobrevivência dos sistemas elétricos ao desequilibrá-los (WINTHER, 2012). Dessa forma, destaca-se que os impactos econômicos e financeiros são as principais consequências das perdas não técnicas para as concessionárias.

As dificuldades para as concessionárias devido às perdas não técnicas estão diretamente relacionadas ao desequilíbrio entre a eletricidade fornecida e demandada pelos consumidores (JINDAL et al., 2016; LEÓN et al., 2011a). A estimativa de carga é complexa (RAZAVI; FLEURY, 2019), e a sua precisão pode ser reduzida pelas PNT (FENG, Z. et al., 2020), já que o sistema não foi projetado para cargas adicionais. Assim, a capacidade de geração extra é necessária para satisfazer o excesso de demanda (YORUKOGLU et al., 2016), forçando as distribuidoras a comprar mais eletricidade (JAMIL, 2018; KUMAR; PRASAD; SAMIKANNU, 2017). Ainda, uma queda na tensão abaixo de seu valor nominal pode ocorrer devido a cargas não planejadas (SILVA; DA SILVA; DE ALMEIDA-FILHO, 2016). Assim, pode ocorrer uma sobrecarga do sistema elétrico (ALMAZROI; AYUB, 2021; ARYANEZHAD, 2019; DOS ANGELOS et al., 2011; KUMAR; PRASAD; SAMIKANNU, 2017; LEWIS, 2015; MWAURA, 2012; QU et al., 2021; RAZAVI; FLEURY, 2019; YORUKOGLU et al., 2016; ZHENG et al., 2018), exercendo uma carga pesada nas concessionárias do sistema de energia (JINDAL et al., 2016). A redução de carga pode ser necessária para compensar o colapso de tensão durante o período de pico para evitar mais danos ao sistema

(DEPURU; WANG; DEVABHAKTUNI, 2011; GHASEMI; GITIZADEH, 2018; JAMIL, 2013; LEWIS, 2015). Além disso, a falta de informações precisas sobre o fluxo de demanda torna complicada a compensação de Volt-Ampere Reativo (VAr) estático (RAZAVI, Rouzbeh; FLEURY, 2019), e energia reativa suficiente deve ser fornecida além da eletricidade produzida (DEPURU; WANG; DEVABHAKTUNI, 2011).

Todos esses fatores levam à redução da eficiência energética (ASLAM et al., 2020b, 2020a; GHASEMI; GITIZADEH, 2018; RAGGI et al., 2020; SIMÕES et al., 2020), perda de produtividade para as concessionárias (LEWIS, 2015) e a um grande impacto na otimização e gestão das distribuidoras (IBRAHEM et al., 2021; MESSINIS; RIGAS; HATZIARGYRIOU, 2019). Ademais, como perdas não técnicas causam danos ao sistema elétrico (MESSINIS; HATZIARGYRIOU, 2018; NABIL et al., 2019; ZHENG et al., 2018), as vidas úteis de equipamentos e da rede são reduzidas (ARYANEZHAD, 2019). Assim, há uma diminuição na qualidade do fornecimento de energia elétrica (COMA-PUIG; CARMONA, 2021; CORTON; ZIMMERMANN; PHILLIPS, 2016; COSTA-CAMPI; DAVI-ARDERIUS; TRUJILLO-BAUTE, 2018; DEPURU; WANG; DEVABHAKTUNI, 2011; DOS ANGELOS et al., 2011; KUMAR; PRASAD; SAMIKANNU, 2017; LEWIS, 2015; MESSINIS; HATZIARGYRIOU, 2018; MESSINIS; RIGAS; HATZIARGYRIOU, 2019; RUFÍN; DE MIRANDA; MOSKOWICZ, 2020; SILVA; DA SILVA; DE ALMEIDA-FILHO, 2016; VENTURA et al., 2020; WINTHER, 2012; XIA et al., 2020; XIA; XIAO; LIANG, 2019; YORUKOGLU et al., 2016). A ineficiência também afeta a confiabilidade e estabilidade da rede (ASLAM et al., 2020b; FENG, Z. et al., 2020; GLAUNER et al., 2017; IBRAHEM et al., 2021; NABIL et al., 2019; SMITH, 2004; UNAL et al., 2021; VILLAR-RODRIGUEZ et al., 2017), reduzindo o desempenho financeiro das distribuidoras.

As consequências das PNT para a sociedade estão diretamente ligadas aos prejuízos sofridos pelas concessionárias. Com a qualidade e a confiabilidade da distribuição de eletricidade afetadas, o risco e a frequência de interrupções no fornecimento, como apagões e quedas de energia, aumentam, principalmente nos horários de pico (ARYANEZHAD, 2019; DEPURU; WANG; DEVABHAKTUNI, 2011; GHASEMI; GITIZADEH, 2018; IBRAHIM, 2000; JAMIL, 2013; JAMIL; AHMAD, 2019; KUMAR; PRASAD; SAMIKANNU, 2017; LEWIS, 2015; MESSINIS; HATZIARGYRIOU, 2018; MWAURA, 2012; NADEEM; ARSHAD, 2021; OJEDOKUN; DINNE; BUHARI, 2020; RAZAVI; FLEURY, 2019; YORUKOGLU et al., 2016). Além disso, essas falhas de energia elétrica podem influenciar o desempenho e até mesmo danificar eletrodomésticos e eletrônicos, causando prejuízos aos consumidores pagadores e fraudadores (DEPURU; WANG; DEVABHAKTUNI, 2011; KUMAR;

PRASAD; SAMIKANNU, 2017; XIA et al., 2018, 2020).

No entanto, a principal consequência das PNT para a sociedade é o aumento das tarifas de eletricidade para consumidores pagantes (ALMAZROI; AYUB, 2021; AMIN et al., 2015; BRISEÑO; ROJAS, 2020b; COMA-PUIG; CARMONA, 2019; DEPURU; WANG; DEVABHAKTUNI, 2011; DOS ANGELOS et al., 2011; GHASEMI; GITIZADEH, 2018; HENRIQUES et al., 2014; JAMIL; AHMAD, 2019; KUMAR; PRASAD; SAMIKANNU, 2017; LEWIS, 2015; MANITO et al., 2019; MESSINIS; HATZIARGYRIOU, 2018; MWAURA, 2012; NADEEM; ARSHAD, 2021; OBAFEMI; IFERE, 2013; OJEDOKUN; DINNE; BUHARI, 2020; RAZAVI; FLEURY, 2019; SALINAS; LI, 2016; SHARMA et al., 2016; SIMÕES et al., 2020; SMITH, 2004; TASDOVEN; FIEDLER; GARAYEV, 2012; UNAL et al., 2021; VENTURA et al., 2020; VIEGAS et al., 2017; VILLAR-RODRIGUEZ et al., 2017; WINTHER, 2012; XIA et al., 2018, 2020; YORUKOGLU et al., 2016). Este é um problema complexo e muitas vezes necessário (DEPURU; WANG; DEVABHAKTUNI, 2011; KUMAR; PRASAD; SAMIKANNU, 2017; LEWIS, 2015; RAZAVI; FLEURY, 2019), que ocorre porque as concessionárias de distribuição amortizam os custos das perdas não técnicas nos consumidores regulares (AMIN et al., 2015; HENRIQUES et al., 2014; JAMIL; AHMAD, 2019; MESSINIS; HATZIARGYRIOU, 2018; MWAURA, 2012; SALINAS; LI, 2016; SIMÕES et al., 2020; TASDOVEN; FIEDLER; GARAYEV, 2012; VENTURA et al., 2020). Os setores empresarial e industrial também são afetados. As empresas que cometem fraude e furto de eletricidade podem reduzir custos, o que cria uma vantagem competitiva injusta (COMA-PUIG; CARMONA, 2019). O aumento da tarifa impacta empresas que pagam pela eletricidade consumida e precisam alterar programações de produção, o que pode gerar desemprego devido aos altos custos (ALMAZROI; AYUB, 2021; BRISEÑO; ROJAS, 2020a; GHASEMI; GITIZADEH, 2018; LEWIS, 2015). Além do desemprego, outros problemas sociais podem ser causados pelas PNT. O setor mais pobre da população é afetado porque tende a não ser conectado quando há baixo grau de eletrificação (ARYANEZHAD, 2019; BRISEÑO; ROJAS, 2020a; WINTHER, 2012). Devido a grandes perdas econômicas e financeiras, o setor e os serviços públicos podem não subsidiar o consumo de eletricidade por usuários socialmente sensíveis e estender o acesso à eletricidade à população carente (SHARMA et al., 2016).

Existem também riscos de segurança para toda a comunidade (FENG, X. et al., 2020; QU et al., 2021) e para os técnicos das concessionárias causados por adulteração de rede (COMA-PUIG; CARMONA, 2019; MESSINIS; HATZIARGYRIOU, 2018; RAZAVI; FLEURY, 2019; TASDOVEN; FIEDLER; GARAYEV, 2012; ZHENG et al., 2018). Podem ocorrer incêndios e eletrocussão devido a desvios instalados incorretamente (DEPURU;

WANG; DEVABHAKTUNI, 2011; GAO; FOGGO; YU, 2019; KUMAR; PRASAD; SAMIKANNU, 2017; LEWIS, 2015; RUFÍN; DE MIRANDA; MOSKOWICZ, 2020; TASDOVEN; FIEDLER; GARAYEV, 2012; VILLAR-RODRIGUEZ et al., 2017; ZHENG et al., 2018) e os fraudadores podem morrer ao tentar furtar eletricidade (COMA-PUIG; CARMONA, 2019; DEPURU; WANG; DEVABHAKTUNI, 2011; KUMAR; PRASAD; SAMIKANNU, 2017; LEWIS, 2015; XIA et al., 2018). As PNT podem ainda ser uma grande ameaça à segurança cibernética de casas e comunidades inteligentes em países de alta renda (ZHOU et al., 2015). Por fim, o furto de energia elétrica se apresenta como causa e como consequência de perdas não técnicas (BRISEÑO; ROJAS, 2020a, 2020b; TASDOVEN; FIEDLER; GARAYEV, 2012; YORUKOGLU et al., 2016). Quanto maiores os níveis de instabilidade da rede, as tarifas de energia elétrica, a taxa de desemprego e os problemas sociais gerados pelas PNT, maior a tendência ao furto de eletricidade, levando a um ciclo que necessita do esforço conjunto dos setores público e privado para ser mitigado.

É necessário entender as consequências das perdas não técnicas para países, concessionárias de distribuição e sociedade de forma integrada. Todas as esferas da sociedade são afetadas por este problema, e a compreensão global do problema permite coordenar ações para reduzir os graves impactos das PNT. Considerando todas as informações analisadas e discutidas nesta seção, o Resultado 2 apresenta, por meio da Tabela 11, a compilação das principais consequências identificadas relacionadas às perdas não técnicas.

Resultado 2: As principais consequências das perdas não técnicas para países, concessionárias e sociedade são apresentadas na Tabela 11.

Tabela 11 – Consequências das perdas não técnicas para países, concessionárias e sociedade

(continua)

Consequências para...	Consequências	Referências
Países	Perdas econômicas e financeiras que prejudicam o crescimento da economia e geram inflação	(ALMAZROI; AYUB, 2021; ARYANEZHAD, 2019; ASLAM et al., 2020a; AVILA; FIGUEROA; CHU, 2018; FERNANDES et al., 2019; GAO; FOGGO; YU, 2019; GHAJAR; KHALIFE, 2003; GHASEMI; GITIZADEH, 2018; GLAUNER et al., 2017; HAMDAN; GHAJAR; CHEDID, 2012; IBRAHEM et al., 2021; IBRAHIM, 2000; LEWIS, 2015; OJEDOKUN; DINNE; BUHARI, 2020; RAZAVI; FLEURY, 2019; TAKIDDIN et al., 2021; TASDOVEN; FIEDLER; GARAYEV, 2012;

Tabela 11 – Consequências das perdas não técnicas para países, concessionárias e sociedade

(continuação)

Consequências para...	Consequências	Referências
Países	Uso extra de recursos naturais limitados, aumentando a poluição	VIEGAS et al., 2017; XIA; XIAO; LIANG, 2019; YORUKOGLU et al., 2016; YURTSEVEN, 2015; ZHENG et al., 2019; ZHENG et al., 2018)
	Incapacidade de registrar dados precisos de consumo de energia	(BRISEÑO; ROJAS, 2020b; GLAUNER et al., 2017)
	Redução da capacidade de investir na infraestrutura de distribuição e tecnologias	(FERNANDES et al., 2019; JOSEPH, 2010; KUMAR; PRASAD; SAMIKANNU, 2017; MWAURA, 2012; RAZAVI; FLEURY, 2019; TASDOVEN; FIEDLER; GARAYEV, 2012; YURTSEVEN, 2015)
	Impossibilidade de redução tarifária e impacto nos mercados de energia	(ARYANEZHAD, 2019; SHARMA et al., 2016)
	Mais financiamento público é necessário para auxiliar usuários socialmente sensíveis	(FERNANDES et al., 2019; RAZAVI; FLEURY, 2019; SHARMA et al., 2016; VIEGAS et al., 2017; YURTSEVEN, 2015)
	Necessidade de subsídio para concessionárias, reduzindo investimento privado no setor	(IBRAHIM, 2000; JAMIL, 2013)
	Concessionárias	Impactos econômicos e financeiros negativos sobre lucros e receitas

Tabela 11 – Consequências das perdas não técnicas para países, concessionárias e sociedade

(continuação)

Consequências para...	Consequências	Referências
	Impactos econômicos e financeiros negativos sobre lucros e receitas	HATZIARGYRIOU, 2019; MIN; GOLDEN, 2014; NABIL et al., 2019; NADEEM; ARSHAD, 2021; NAGI et al., 2010; QU et al., 2021; RAGGI et al., 2020; RUFÍN; DE MIRANDA; MOSKOWICZ, 2020; SAMUEL et al., 2020; SIMÕES et al., 2020; SMITH, 2004; TAN et al., 2017; TARIQ; POOR, 2018; TOLEDO-OROZCO et al., 2021; UNAL et al., 2021; VENTURA et al., 2020; VIEGAS et al., 2017; WINTHER, 2012; XIA et al., 2020; XIA; XIAO; LIANG, 2019; YORUKOGLU et al., 2016; ZHENG et al., 2018)
	Redução da capacidade de investimento para melhoria da rede	(IBRAHIM, 2000; JAMIL, 2018; JAMIL; AHMAD, 2019; LEWIS, 2015; SMITH, 2004; WINTHER, 2012; YORUKOGLU et al., 2016)
	Desequilíbrio da relação entre oferta e demanda devido a dificuldades na estimação de carga	(FENG, Z. et al., 2020; JAMIL, 2018; JINDAL et al., 2016; KUMAR; PRASAD; SAMIKANNU, 2017; LEÓN et al., 2011a; RAZAVI; FLEURY, 2019; SILVA; DA SILVA; DE ALMEIDA-FILHO, 2016; YORUKOGLU et al., 2016)
Concessionárias	Sobrecarga do sistema de distribuição	(ALMAZROI; AYUB, 2021; ARYANEZHAD, 2019; DEPURU; WANG; DEVABHAKTUNI, 2011; DOS ANGELOS et al., 2011; GHASEMI; GITIZADEH, 2018; JAMIL, 2013; JINDAL et al., 2016; KUMAR; PRASAD; SAMIKANNU, 2017; LEWIS, 2015; MWAURA, 2012; QU et al., 2021; RAZAVI; FLEURY, 2019; YORUKOGLU et al., 2016; ZHENG et al., 2018)
	Dificuldade de compensação de VAR devido à falta de informações precisas sobre o fluxo de demanda	(DEPURU; WANG; DEVABHAKTUNI, 2011; RAZAVI; FLEURY, 2019)
	Redução da eficiência e da vida útil da rede	(ARYANEZHAD, 2019; ASLAM et al., 2020b, 2020a; GHASEMI; GITIZADEH, 2018; LEWIS, 2015; MESSINIS; RIGAS; HATZIARGYRIOU, 2019; RAGGI et al., 2020; SIMÕES et al., 2020; ZHENG et al., 2018)
	Diminuição da qualidade e confiabilidade da rede	(ASLAM et al., 2020b; COMA-PUIG; CARMONA, 2021; CORTON; ZIMMERMANN; PHILLIPS, 2016; COSTA-CAMPI; DAVI-ARDERIU; TRUJILLO-BAUTE, 2018; DEPURU; WANG; DEVABHAKTUNI, 2011; DOS ANGELOS et al., 2011; FENG, Z. et al., 2020; GLAUNER et al., 2017; KUMAR;

Tabela 11 – Consequências das perdas não técnicas para países, concessionárias e sociedade

(continuação)

Consequências para...	Consequências	Referências
Concessionárias		PRASAD; SAMIKANNU, 2017; LEWIS, 2015; MESSINIS; HATZIARGYRIOU, 2018; MESSINIS; RIGAS; HATZIARGYRIOU, 2019; NABIL et al., 2019; RUFÍN; DE MIRANDA; MOSKOWICZ, 2020; SILVA; DA SILVA; DE ALMEIDA-FILHO, 2016; SMITH, 2004; VENTURA et al., 2020; VILLAR-RODRIGUEZ et al., 2017; WINTHER, 2012; XIA et al., 2020; XIA; XIAO; LIANG, 2019; YORUKOGLU et al., 2016)
	Interrupções de energia parciais ou completas	(ALMAZROI; AYUB, 2021; ARYANEZHAD, 2019; DEPURU; WANG; DEVABHAKTUNI, 2011; IBRAHEM et al., 2021; IBRAHIM, 2000; JAMIL, 2013; JAMIL; AHMAD, 2019; KUMAR; PRASAD; SAMIKANNU, 2017; LEWIS, 2015; MESSINIS; HATZIARGYRIOU, 2018; MWAURA, 2012; NADEEM; ARSHAD, 2021; OJEDOKUN; DINNE; BUHARI, 2020; RAZAVI; FLEURY, 2019; UNAL et al., 2021; YORUKOGLU et al., 2016)
	Danos em aparelhos e eletrônicos	(DEPURU; WANG; DEVABHAKTUNI, 2011; KUMAR; PRASAD; SAMIKANNU, 2017; XIA et al., 2018, 2020)
Sociedade	Aumento da tarifa de eletricidade para consumidores regulares	(ALMAZROI; AYUB, 2021; AMIN et al., 2015; BRISEÑO; ROJAS, 2020b; COMA-PUIG; CARMONA, 2019; DEPURU; WANG; DEVABHAKTUNI, 2011; DOS ANGELOS et al., 2011; GHASEMI; GITIZADEH, 2018; HENRIQUES et al., 2014; JAMIL; AHMAD, 2019; KUMAR; PRASAD; SAMIKANNU, 2017; LEWIS, 2015; MANITO et al., 2019; MESSINIS; HATZIARGYRIOU, 2018; MWAURA, 2012; NADEEM; ARSHAD, 2021; OBAFEMI; IFERE, 2013; OJEDOKUN; DINNE; BUHARI, 2020; RAZAVI; FLEURY, 2019; SALINAS; LI, 2016; SHARMA et al., 2016; SIMÕES et al., 2020; SMITH, 2004; TASDOVEN; FIEDLER; GARAYEV, 2012; UNAL et al., 2021; VENTURA et al., 2020; VIEGAS et al., 2017; VILLAR-RODRIGUEZ et al., 2017; WINTHER, 2012; XIA et al., 2018, 2020; YORUKOGLU et al., 2016)

Tabela 11 – Consequências das perdas não técnicas para países, concessionárias e sociedade

(conclusão)

Consequências para...	Consequências	Referências
	Perturbação da rotina e das finanças das empresas, levando ao desemprego	(BRISEÑO; ROJAS, 2020a; COMA-PUIG; CARMONA, 2019; GHASEMI; GITIZADEH, 2018; LEWIS, 2015)
	Impacto negativo sobre as pessoas mais pobres e socialmente sensíveis	(ARYANEZHAD, 2019; BRISEÑO; ROJAS, 2020a; SHARMA et al., 2016; WINTHER, 2012)
Sociedade	Questões de segurança, como riscos de incêndio e eletrocussão para comunidades e técnicos, e risco de morte para fraudadores de energia.	(COMA-PUIG; CARMONA, 2019; DEPURU; WANG; DEVABHAKTUNI, 2011; FENG, X. et al., 2020; GAO; FOGGO; YU, 2019; KUMAR; PRASAD; SAMIKANNU, 2017; LEWIS, 2015; MESSINIS; HATZIARGYRIOU, 2018; QU et al., 2021; RAZAVI; FLEURY, 2019; RUFÍN; DE MIRANDA; MOSKOWICZ, 2020; TASDOVEN; FIEDLER; GARAYEV, 2012; VILLAR-RODRIGUEZ et al., 2017; XIA et al., 2018; ZHENG et al., 2018; ZHOU et al., 2015)
	Aumento do furto de eletricidade devido ao aumento tarifário	(BRISEÑO; ROJAS, 2020a, 2020b; TASDOVEN; FIEDLER; GARAYEV, 2012; YORUKOGLU et al., 2016)

Fonte: Autor.

3.3.3 Barreiras e estratégias para identificação de perdas não técnicas

A necessidade de ações integradas entre os setores público e privado para mitigar as perdas não técnicas torna-se clara com a compreensão das consequências geradas por elas. Um dos problemas mais relevantes no contexto das PNT é a detecção de consumidores ilegais (TASDOVEN; FIEDLER; GARAYEV, 2012). Existem várias barreiras e vulnerabilidades na identificação de conexões maliciosas ou adulteradas na rede, que passam por problemas técnicos e erros na análise de bancos de dados do consumidor. Diversas estratégias e ações são desenvolvidas e colocadas em prática para identificar e reduzir PNT, buscando soluções técnicas, gerenciais e regulatórias. Esta subseção apresenta os resultados da terceira e da quarta questões de pesquisa, mesclando informações sobre as principais barreiras e estratégias para identificação de perdas não técnicas.

As características das PNT tornam sua identificação desafiadora, visto que o consumo

ilegal de eletricidade ocorre em tempo real (AHMAD, 2017), é causado por fatores externos à rede de distribuição (GHASEMI; GITIZADEH, 2018), e depende de fatores socioeconômicos que não são gerenciáveis pelas distribuidoras (SIMÕES et al., 2020). Além disso, existe a possibilidade de muitos fraudadores coexistirem ou colaborarem para furtar energia elétrica e aprimorar métodos de fraude (QU et al., 2021), já que muitos deles são insatisfeitos com o serviço prestado pelas concessionárias (HAN; XIAO, 2017; OJEDOKUN; DINNE; BUHARI, 2020). Os parâmetros centrados no consumo precisam ser avaliados antes da implementação de medidas de detecção e controle (DEPURU; WANG; DEVABHAKTUNI, 2011; JINDAL et al., 2016), uma vez que perdas não técnicas tendem a ser desafiadoras para serem categorizadas e formuladas (YORUKOGLU et al., 2016) pois este é um problema de classificação altamente desequilibrado (BUZAU et al., 2019; HU et al., 2021).

O aprimoramento das redes tradicionais abriu espaço às redes inteligentes, que podem evitar perdas não técnicas ao fornecer comunicação bidirecional entre concessionárias e consumidores (ASLAM et al., 2020b, 2020a; BISWAS et al., 2020; RUFÍN; DE MIRANDA; MOSKOWICZ, 2020; SANGODE; METRE, 2020). Nesse contexto, a implementação de *Advanced Metering Infrastructures* (AMI) surge como uma das tecnologias líderes em redes inteligentes para mitigar e prevenir anomalias na rede, devido às suas capacidades de monitorização em intervalos de tempo mais refinados e de proporcionar uma grande quantidade de dados de consumo de eletricidade de usuários (ASLAM et al., 2020a; CHUWA; WANG, 2021; COSTA-CAMPI; DAVI-ARDERIUS; TRUJILLO-BAUTE, 2018; FEI et al., 2022; HAQ et al., 2021; HUSSAIN et al., 2021; JAMIL, 2018; JOKAR; ARIANPOO; LEUNG, 2016; OTCHERE-APPIAH et al., 2021; QU et al., 2021; RAZAVI et al., 2019; UNAL et al., 2021; VILLAR-RODRIGUEZ et al., 2017; XIAO; XIAO; DU, 2013). O AMI fornece medição e transmissão automáticas de leituras de medidores, que devem ser realizadas com frequência e precisão, e serve para analisar tendências no consumo de eletricidade e identificar fraudadores com mais facilidade (AHMAD, 2017; ARYANEZHAD, 2019; BUZAU et al., 2019; FENG, Z. et al., 2020; GHAJAR; KHALIFE; RICHANI, 2000; HUANG; LO; LU, 2013; KHARAL et al., 2021; TAN et al., 2017; ZANETTI et al., 2019). Hamdan, Ghajar e Chedid (2012) estimam que esta estratégia pode reduzir as perdas não técnicas em até 20 %. Sendo assim, muitos métodos relacionados a AMI estão sendo desenvolvidos para estimar o furto de eletricidade (CUI et al., 2020).

No entanto, a extensa execução de *software* e recursos de comunicação no AMI pode criar vulnerabilidades de segurança em medidores inteligentes e afetar o controle de supervisão e o sistema de aquisição de dados para modificar os valores de consumo de energia (HE;

MENDIS; WEI, 2017; KIM et al., 2019; RAZAVI et al., 2019; SANTILIO et al., 2020; VENTURA et al., 2020; ZANETTI et al., 2019). Usuários mal-intencionados podem lançar ataques cibernéticos que são difíceis de identificar usando técnicas como *False Data Injection*, adulteração de dados antes de serem enviados para medidores inteligentes, invasão de rede ou através de links de comunicação (BARZAMINI; GHASSEMIAN, 2019; DE SOUZA et al., 2020; HAN; XIAO, 2020; HE; MENDIS; WEI, 2017; JOKAR; ARIANPOO; LEUNG, 2016; LEITE; MANTOVANI, 2018; SHAH; MESBAH; AL-AWAMI, 2020; XIA et al., 2018, 2020; XIA; XIAO; LIANG, 2019; XIAO; XIAO; DU, 2013; ZHOU et al., 2015). Eles também podem efetuar ataques físicos, como adulterar medidores de energia e alimentadores, empregando um forte ímã permanente e conectando-se diretamente a linhas de energia (SHAH; MESBAH; AL-AWAMI, 2020; TAKIDDIN et al., 2021; XIA et al., 2020; XIA; XIAO; LIANG, 2019). Ainda, os dados de alta frequência coletados dos medidores inteligentes apresentam alguns problemas sérios de armazenamento e análise de dados (HUSSAIN et al., 2021). Além disso, o custo de implementação de dispositivos de medição inteligentes é alto, o que pode ser uma barreira para a implementação dessa estratégia (AHMAD, 2017; HUSSAIN et al., 2021; KHARAL et al., 2021; VENTURA et al., 2020; ZHENG et al., 2018).

Algumas concessionárias não são precisas na medição de eletricidade devido à negligência (BALOCH et al., 2019). Ademais, quando as inspeções de clientes são realizadas localmente, os dados de consumo de energia são analisados manualmente e estão sujeitos a erro humano (ASLAM et al., 2020b; AVILA; FIGUEROA; CHU, 2018; BUZAU et al., 2019). Esse problema só pode ser superado com alto comprometimento dos funcionários da concessionária, o que não é comum em economias menos transparentes (JAMIL, 2018). Uma alternativa é o desenvolvimento de campanhas de fiscalização *in loco* e auditorias completas do consumo de energia elétrica ao nível da distribuição (AMIN et al., 2015; ASLAM et al., 2020b; COMA-PUIG; CARMONA, 2021; COSTA-CAMPI; DAVI-ARDERIUS; TRUJILLO-BAUTE, 2018; GLAUNER et al., 2017; KHARAL et al., 2021; KUMAR; PRASAD; SAMIKANNU, 2017; RAMOS et al., 2018), com programas de treinamento e recompensas para os colaboradores de acordo com o número de casos fiscalizados (GHASEMI; GITIZADEH, 2018; VENTURA et al., 2020). Essas inspeções podem ser realizadas após análise prévia dos dados de consumo dos usuários e em zonas pré-selecionadas (AHMAD, 2017; AHMAD et al., 2018; CALVO et al., 2020; MONEDERO et al., 2012; VENTURA et al., 2020). Elas podem ser massivas (GUERRERO et al., 2018; SANGODE; METRE, 2020), periódicas (CALVO et al., 2020; DOS ANGELOS et al., 2011) ou de surpresa (JINDAL et al., 2016; OJEDOKUN; DINNE; BUHARI, 2020) para aumentar a assertividade.

O custo das inspeções *in loco* é elevado e não representa um bom retorno para as concessionárias (BUZAU et al., 2020; CALVO et al., 2020; DOS ANGELOS et al., 2011; GHASEMI; GITIZADEH, 2018; GHORI et al., 2020b; JINDAL et al., 2016; JOKAR; ARIANPOO; LEUNG, 2016; LEÓN et al., 2011b; LU et al., 2019; RAMOS et al., 2018, 2011b; VAHABZADEH et al., 2020). O número de inspetores necessários para essas operações é muito alto (AHMAD, 2017; AVILA; FIGUEROA; CHU, 2018; GLAUNER et al., 2017; JOKAR; ARIANPOO; LEUNG, 2016; MONEDERO et al., 2012). O número de falsos positivos é significativo devido à mudança de residentes, mudança de dispositivos, sazonalidade e inspeções de consumidores guiadas por resultados de estimativa de perda (BRETAS et al., 2020; DOS ANGELOS et al., 2011; GUERRERO et al., 2018; JINDAL et al., 2016; JOKAR; ARIANPOO; LEUNG, 2016). Além disso, o tempo para realização de inspeções manuais é significativamente elevado, tornando este método ineficiente e com grande demanda de trabalho (ASLAM et al., 2020b; AVILA; FIGUEROA; CHU, 2018; HUANG, Y.; XU, 2021; JINDAL et al., 2016; XIA; XIAO; LIANG, 2019). Outro problema é que a maioria dos métodos existentes são insuficientes ou desatualizados para detectar PNT, tanto para análises presenciais como para análises remotas (AMIN et al., 2015; AVILA; FIGUEROA; CHU, 2018; BUZAU et al., 2019; JINDAL et al., 2016; JOKAR; ARIANPOO; LEUNG, 2016; QU et al., 2021; ZANETTI et al., 2019), pois podem detectar apenas um tipo de consumo ilegal (GHASEMI; GITIZADEH, 2018). Ademais, eles podem ter pontos fracos na identificação de técnicas de adulteração desconhecidas (DEPURU et al., 2013), fraudadores coexistentes (HAN; XIAO, 2017) e fatores maliciosos que podem alterar o padrão de consumo (JOKAR; ARIANPOO; LEUNG, 2016), levando ao baixo desempenho de métodos como os de classificação, a menos que variáveis apropriadas sejam criadas das leituras do medidor (RAZAVI et al., 2019; ZHENG et al., 2019).

É necessário investir no desenvolvimento de técnicas e algoritmos eficientes e de baixo custo que aumentem a qualidade de detecção de problemas na rede e consumidores fraudulentos para superar essas barreiras (AVILA; FIGUEROA; CHU, 2018; DEPURU; WANG; DEVABHAKTUNI, 2011; DOS ANGELOS et al., 2011; HE; MENDIS; WEI, 2017; KHARAL et al., 2021; LEITE; MANTOVANI, 2018; SANTILIO et al., 2020; SMITH, 2004). Uma técnica efetiva é desenvolver um medidor de perda técnica para melhorar o cálculo da rede e estimar PNT com maior precisão (HENRIQUES et al., 2020). Ainda, algoritmos podem ser baseados em dinâmica social e comportamento coletivo para capturar ações fraudulentas, preservando a privacidade dos usuários (GLAUNER et al., 2017; HAN; XIAO, 2017; JOKAR; ARIANPOO; LEUNG, 2016; RAMOS et al., 2012; SALINAS; LI; LI, 2013). Ainda, o uso de

sistemas de informação geográfica em concessionárias permitem técnicas de geoprocessamento para prevenir PNT (VENTURA et al., 2020). Também é essencial monitorar e controlar redes inteligentes com qualidade, utilizando técnicas e algoritmos baseados em métodos como *Support Vector Machines*, *Rule Engine*, *Deep Neural Network* e análises estatísticas (DEPURU et al., 2013; JINDAL et al., 2016; QU et al., 2021; RAMOS et al., 2011a; VIEGAS et al., 2017).

Ahmad et al. (2018), Ahmad (2017), Depuru, Wang e Devabhaktuni (2011), Messinis e Hatziargyriou (2018) e Viegas et al. (2017) apresentam excelentes compilações de métodos não *hardware* para detecção de perdas não técnicas, que podem ser categorizadas em soluções de classificação, estimativa e teoria dos jogos. Os métodos de classificação têm como vantagem o baixo custo e o uso de recursos disponíveis, mas a detecção não é garantida e os dados necessários podem não estar acessíveis (NAGI et al., 2010; RAMOS et al., 2011a; VIEGAS et al., 2017; XIA et al., 2020). Os métodos *State Estimation* têm baixo custo e alta precisão; no entanto, dados substanciais são necessários para alcançar bons resultados (VIEGAS et al., 2017). Os métodos da teoria dos jogos oferecem precisão na estimativa de desempenho, mas precisam fazer fortes suposições sobre o comportamento fraudulento (AMIN et al., 2015; VIEGAS et al., 2017). Apesar das possíveis desvantagens, esses métodos podem auxiliar os setores público e privado a combater as PNT.

As concessionárias de eletricidade tendem a usar cada vez menos métodos físicos para detectar PNT, pois o equipamento necessário usado precisa de manutenção constante para não apresentar defeitos (BALOCH et al., 2019; GHASEMI; GITIZADEH, 2018). Ainda assim, a vulnerabilidade e dificuldade em manter os dispositivos devido a condições climáticas adversas, degradações e adulterações são destacadas (ZHENG et al., 2018). Uma estratégia eficaz para superar essas barreiras é melhorar o sistema de medição de energia por meio de sistemas de monitoramento, leitura e faturamento (GHAJAR; KHALIFE, 2003; GHAJAR; KHALIFE; RICHANI, 2000; NEVER, 2015; SMITH, 2004; VIEGAS et al., 2017). Medidores de energia danificados também poderiam ser substituídos e os novos instalados em locais de difícil acesso, observando a avaliação deles por meio de amostragem de campo, testes de laboratório e análise de medidores removidos localmente (GHASEMI; GITIZADEH, 2018; RAMOS et al., 2018). Além disso, em medidores inteligentes, uma solução simples pode ser protegê-los fisicamente, tornando a violação rastreável (XIAO; XIAO; DU, 2013).

Outra barreira para a detecção de PNT é a ineficiência em verificar a variabilidade dos padrões de consumo de diferentes grupos de consumidores, tornando desafiador analisar dados históricos de clientes (BUZAU et al., 2020; JOKAR; ARIANPOO; LEUNG, 2016; LEÓN et al., 2011b). Devido a essa variação, existe a possibilidade de os métodos serem ineficazes, pois

detectam apenas consumidores com consumo nulo, que são apenas os casos mais aparentes de perdas não técnicas (AHMAD, 2017; MONEDERO et al., 2012; ZHENG et al., 2019). Ainda, alguns usuários mal-intencionados podem ser cautelosos o suficiente para lançar deliberadamente ataques de furto de eletricidade em pequena quantidade, em que as leituras de medidores inteligentes são manipuladas para números um pouco menores do que os valores reais, principalmente para escapar da detecção (XIA et al., 2021). Portanto, compreender os padrões de consumo é uma estratégia fundamental para a correta identificação das PNT, analisando e investigando consumidores com consumo nulo (AHMAD, 2017; AHMAD et al., 2018; BABUTA et al., 2021; GHAJAR; KHALIFE; RICHANI, 2000; GUERRERO et al., 2018; MONEDERO et al., 2012; PUNMIYA; CHOE, 2019) ou com comportamento irregular (GHAJAR; KHALIFE; RICHANI, 2000; GLAUNER et al., 2017; LEÓN et al., 2011b). Isso poderia ser feito por meio de avaliações aleatórias do balanço de energia (GHAJAR; KHALIFE; RICHANI, 2000) e inteligência artificial, que permite às concessionárias analisar perfis de clientes, seus dados e comportamentos irregulares conhecidos, e acionar possíveis inspeções de clientes que apresentam padrões anormais de consumo de energia elétrica (FENG, Z. et al., 2020; GLAUNER et al., 2017).

As bases de dados das concessionárias com o consumo de eletricidade dos usuários são de natureza desequilibrada (AVILA; FIGUEROA; CHU, 2018; JOKAR; ARIANPOO; LEUNG, 2016), dificultando a obtenção e categorização das perdas não técnicas (YORUKOGLU et al., 2016; ZHENG et al., 2019). Também destaca-se a capacidade limitada dos modelos existentes de lidar com dados de alta dimensão nas concessionárias (HU et al., 2021). Assim, existe a necessidade de desenvolver e implementar tecnologias que possam processar uma alta taxa de amostragem sem afetar a privacidade do consumidor (BUZAU et al., 2019; GUERRERO et al., 2018; JOKAR; ARIANPOO; LEUNG, 2016; SALINAS; LI; LI, 2013). Soluções de gestão eficientes, como aumentar a legitimidade da relação comercial com os consumidores (RUFÍN; DE MIRANDA; MOSKOWICZ, 2020), podem ser aplicadas para maximizar a energia faturada e a eletricidade paga de forma a superar esta barreira (IBRAHIM, 2000; SMITH, 2004; VAHABZADEH et al., 2020). Os procedimentos de reengenharia de processos de negócios relacionados a serviços comerciais são úteis para expandir a coleta de informações do consumidor e desenvolver estratégias de faturamento para fraudadores, que podem ser tributados pela eletricidade adicional consumida (DEPURU; WANG; DEVABHAKTUNI, 2011; GHAJAR; KHALIFE; RICHANI, 2000; GLAUNER et al., 2017; OJEDOKUN; DINNE; BUHARI, 2020; SHARMA et al., 2016).

Medidas adicionais poderiam ser tomadas para prevenir as perdas não técnicas em

países com uma população socialmente sensível. Algumas companhias de distribuição tendem a ter índices elevados de PNT em áreas consideradas de risco (VENTURA et al., 2020). Dessa forma, o desligamento dos consumidores fraudulentos identificados é sugerido na literatura (DEGANI, 2017; GHAJAR; KHALIFE; RICHANI, 2000), bem como a regularização das ligações ilegais, principalmente em regiões como favelas (RAMOS et al., 2018). Implementar subsídios na forma de tarifas mais baixas pode ser eficiente (DEPURU; WANG; DEVABHAKTUNI, 2011; KUMAR; PRASAD; SAMIKANNU, 2017; YURTSEVEN, 2015), além de proporcionar treinamento em consumo correto de energia para consumidores de baixa renda de forma a incentivá-los a usar eletricidade de forma genuína (COSTA-CAMPI; DAVIARDERIU; TRUJILLO-BAUTE, 2018; GHASEMI; GITIZADEH, 2018; KUMAR; PRASAD; SAMIKANNU, 2017; RAMOS et al., 2018). Algumas regiões também estão adotando a instalação de sistemas de medidores pré-pagos nas últimas décadas como uma saída para reduzir as perdas não técnicas (BALOCH et al., 2019; DEGANI, 2017; RUFÍN; DE MIRANDA; MOSKOWICZ, 2020). Resultados significativos foram obtidos em países como Ruanda, onde as perdas de energia diminuíram de 26 % em 2004 para 18 % em 2009 (MWAURA, 2012).

No entanto, talvez uma das principais barreiras relacionadas à identificação das PNT seja a corrupção de líderes políticos e funcionários de empresas de serviços públicos, que são subornados para cometer irregularidades nas contas e conspirar com ligações ilegais (BALOCH et al., 2019; CUMMINS; GILLANDERS, 2020; DEGANI, 2017; DEPURU; WANG; DEVABHAKTUNI, 2011; JAMIL, 2018; JAMIL; AHMAD, 2019; KUMAR; PRASAD; SAMIKANNU, 2017; NADEEM; ARSHAD, 2021; OJEDOKUN; DINNE; BUHARI, 2020; SHARMA et al., 2016; SMITH, 2004; SOMUNCU; HANNUM, 2018; XIAO; XIAO; DU, 2013). Na maioria dos casos, o furto de eletricidade é feito com a conivência dos funcionários das distribuidoras e com o aval dos líderes políticos, que intervêm para garantir que amigos e apoiadores não sejam processados (KUMAR; PRASAD; SAMIKANNU, 2017; SMITH, 2004). Por outro lado, o controle da corrupção tem sido uma prioridade para organizações internacionais como o Banco Mundial, Banco Asiático de Desenvolvimento e a Agência Norte-Americana para o Desenvolvimento Internacional nas últimas três décadas (JAMIL, 2018). Para que as concessionárias superem este problema e evitem mais perdas, o fortalecimento dos departamentos anticorrupção e o estímulo da ética profissional e o comprometimento com o trabalho entre seus funcionários é essencial para lidar adequadamente com funcionários corruptos e fraudadores (GHAJAR; KHALIFE; RICHANI, 2000; OJEDOKUN; DINNE; BUHARI, 2020; SHARMA et al., 2016)

Além dos departamentos anticorrupção, leis, políticas e iniciativas públicas devem ser desenvolvidas e aplicadas para evitar que líderes políticos protejam apoiadores que trabalham em concessionárias e consumidores fraudulentos (COSTA-CAMPI; DAVI-ARDERIUS; TRUJILLO-BAUTE, 2018; DEPURU; WANG; DEVABHAKTUNI, 2011; SHARMA et al., 2016). Embora o furto de eletricidade já seja considerado crime em muitos países, a legislação precisa ser ainda mais restritiva para gerar resultados significativos (KUMAR; PRASAD; SAMIKANNU, 2017; SOMUNCU; HANNUM, 2018). Ademais, autoridades devem punir o furto de eletricidade e educar a população sobre os malefícios das PNT e seus impactos econômicos, ambientais e sociais (BRISEÑO; ROJAS, 2020a, 2020b; OJEDOKUN; DINNE; BUHARI, 2020; VENTURA et al., 2020). É necessário analisar as características dos consumidores e funcionários das concessionárias para identificar corretamente as variáveis de controle, formular as políticas mais adequadas (JAMIL; AHMAD, 2019), regularizar as ligações ilegais e mitigar o ônus financeiro do furto de energia (RAMOS et al., 2018). Por fim, a identificação de todas as partes interessadas no processo de fraude é vital para ajudar a reduzir as perdas não técnicas, tornando as políticas desenvolvidas eficazes (VENTURA et al., 2020). As intervenções políticas devem considerar a contribuição de todos esses atores no processo de busca de soluções alternativas para este problema (OJEDOKUN; DINNE; BUHARI, 2020; TASDOVEN; FIEDLER; GARAYEV, 2012).

A compreensão das principais barreiras e estratégias de identificação de perdas não técnicas precisa ser feito de forma analítica e interligada. Às vezes, ações positivas parecem superar problemas na detecção de PNT. Porém, outras vezes essas estratégias acabam criando novas dificuldades (AHMAD, 2017; DOS ANGELOS et al., 2011; GHASEMI; GITIZADEH, 2018; GLAUNER et al., 2017; GUERRERO et al., 2018; HE; MENDIS; WEI, 2017; JINDAL et al., 2016; JOKAR; ARIANPOO; LEUNG, 2016; MONEDERO et al., 2012; RAZAVI et al., 2019; XIAO; XIAO; DU, 2013). Os setores público e privado devem adotar ações conjuntas com base em informações técnico-científicas para combater as perdas não técnicas e mitigar as consequências por elas geradas em todas as esferas. Ainda assim, acertos e erros de outros países e regiões devem ser levados em consideração para evitar soluções desatualizadas e sem resultados práticos. Considerando todas as informações analisadas e discutidas nesta seção, os Resultados 3 e 4 apresentam, respectivamente, a compilação das principais barreiras e estratégias relacionadas à identificação de perdas não técnicas encontradas na literatura.

Resultado 3: As principais barreiras para identificação de perdas não técnicas são relacionadas às características das perdas, à negligência e erros de profissionais das concessionárias, ao alto custo e ao alto tempo para identificação das PNT, a métodos insuficientes e ineficientes para detecção, à ineficiência na verificação de padrões de consumo, à difícil categorização das informações de usuários e à corrupção de líderes políticos e funcionários de distribuidoras. Ainda, destacam-se pontos de vulnerabilidade sujeitos a ataques, como vulnerabilidades de segurança em medidores inteligentes e equipamentos defeituosos e vulneráveis.

Resultado 4: As principais estratégias e ações para identificação de perdas não técnicas são relacionadas à implantação e ao uso de redes inteligentes e *Advanced Metering Infrastructures*, à realização de programas de inspeções *in loco*, ao desenvolvimento de algoritmos eficientes, ao melhoramento do sistema de medição de energia, à implementação de soluções gerenciais eficientes, à compreensão do padrão de consumo dos usuários, à instalação de medidores pré-pagos em regiões socialmente sensíveis, a desconexões de usuários fraudulentos, à implementação de subsídios e treinamentos, ao fortalecimento de departamentos anticorrupção e à formulação de políticas para prevenir as PNT.

3.3.4 Regulações e políticas para reduzir perdas não técnicas

A formulação de regulações e políticas é uma das principais estratégias que os países afetados podem adotar para reduzir as perdas não técnicas. No entanto, essa é uma tarefa complexa, pois há muitos problemas a serem resolvidos. A definição do nível aceitável de perdas, possíveis penalidades para distribuidoras de eletricidade que não reduzam seus níveis de PNT e a decisão sobre se as concessionárias fazem os clientes regulares pagarem pelos custos das perdas são barreiras a serem ponderadas para formular regulações eficazes para mitigar PNT (SMITH, 2004). Para entender como essas estratégias estão sendo desenvolvidas em todo o mundo, esta subseção apresenta os resultados da quinta questão de pesquisa, compilando informações sobre as principais políticas e regulações que os países promovem e usam para mitigar as consequências das PNT.

As medidas regulatórias para reduzir o problema diferem e dependem da realidade de cada país. As causas das perdas não técnicas podem depender de indicadores. Um deles é a Renda Nacional Bruta *per capita*, um indicador que se concentra na renda total dos residentes

de um país (LEQUILLER; BLADES, 2014). De acordo com as Nações Unidas (2020), as nações são agrupadas por seu RNB *per capita*, e esta revisão sistemática identificou artigos com regulamentos e políticas adotadas por países de alta renda (AMIN et al., 2015; COSTA-CAMPI; DAVI-ARDERIUS; TRUJILLO-BAUTE, 2018; GUERRERO et al., 2014; LEÓN et al., 2011b), renda média-alta (BERKTAY et al., 2004; CORTON; ZIMMERMANN; PHILLIPS, 2016; DOS ANGELOS et al., 2011; GHAJAR; KHALIFE; RICHANI, 2000; HENRIQUES et al., 2020; LEITE et al., 2020; SIMÕES et al., 2020; SOMUNCU; HANNUM, 2018; TASDOVEN; FIEDLER; GARAYEV, 2012; VENTURA et al., 2020), renda média-baixa (AHMAD, 2017; JOSEPH, 2010; KUMAR; PRASAD; SAMIKANNU, 2017; MIN; GOLDEN, 2014; OBAFEMI; IFERE, 2013; OJEDOKUN; DINNE; BUHARI, 2020; SHARMA et al., 2016) e baixa renda (MWAURA, 2012; NEVER, 2015; WINTHER, 2012).

Em países de alta renda, onde a taxa de uso de AMI é significativa, há necessidade de imposições regulatórias que possam permitir os níveis desejáveis de eficiência das distribuidoras de eletricidade. A adoção de medidas regulatórias necessárias é essencial para estimular novos investimentos por parte das concessionárias e incluir transparência nas operações de distribuição de eletricidade, a necessidade de investimentos em atualizações de segurança e a correção de estruturas tarifárias distorcidas (AMIN et al., 2015). Para compensar as perdas de energia, países como Áustria, Bélgica, Suíça, França, Polônia, Suécia, Dinamarca e Alemanha responsabilizam os distribuidores pela compra de eletricidade. Por outro lado, em países como Espanha, Grécia e Portugal, a energia elétrica é comprada por fornecedores para compensar perdas associadas ao consumo do usuário final. Em ambos os casos, a eletricidade deve ser adquirida através de procedimentos não discriminatórios, transparentes e baseados no mercado (COSTA-CAMPI; DAVI-ARDERIUS; TRUJILLO-BAUTE, 2018).

O Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia (2019) afirma que, na União Europeia, o nível das tarifas aplicadas aos produtores ou clientes finais deve considerar a extensão das perdas de rede e congestionamentos causados, além dos custos de investimento em infraestrutura. Além disso, as entidades reguladoras devem definir ou aprovar as tarifas de distribuição ou as respectivas metodologias, de acordo com o Artigo 59º da Diretiva 2019/944. Na Grécia, a Autoridade Reguladora de Energia tem diretrizes para garantir o manuseio eficiente e limitar as tentativas de furto de eletricidade e exigir transparência das ações, registrando os resultados antes da intervenção para remover o furto de energia elétrica e armazenamento de todas as evidências (AUTORIDADE REGULATÓRIA DE ENERGIA, 2017). No Reino Unido, o *Office of Gas and Electricity Markets* define uma porcentagem anual para perdas de eletricidade e recompensa ou penaliza concessionárias com base em seus indicadores de desempenho

(COSTA-CAMPI; DAVI-ARDERIUS; TRUJILLO-BAUTE, 2018; SECRETARIADO DE ESTADO DO REINO UNIDO, 2002).

A maioria dos países de alta renda adota penas de prisão e multas para combater o furto de eletricidade. Na Áustria, quem retira energia elétrica de uma central de geração, conversão, fornecimento ou armazenamento está sujeito a multa e pena de prisão até seis meses, podendo chegar a dez anos de prisão em caso de furto de energia superior a 300.000 € (ÁUSTRIA, 2015). Na Suíça, qualquer pessoa que obtenha energia elétrica ilegalmente pode receber uma pena de prisão de no máximo três anos ou multa. Se agir em seu benefício ou em benefício de terceiros, está sujeita a uma pena de prisão não superior a cinco anos (SUÍÇA, 1937). A França trata a fraude energética que resulte em danos a terceiros como furto, e o fraudador pode ser condenado a três anos de prisão e multa de até 45.000 € (FRANÇA, 1994). Na Polônia, o furto de eletricidade pode levar à privação da liberdade de três meses a cinco anos para o fraudador (POLÔNIA, 1997), enquanto na Suécia o crime pode ser punido com multa ou prisão até um ano (SUÉCIA, 2019). Na Dinamarca, o uso ilegal de eletricidade gera uma multa ou pena de prisão de até seis anos (DINAMARCA, 2005). Na Alemanha, pode resultar em multa e prisão por um período não superior a cinco anos (ALEMANHA, 2019). Portugal pune quem impeça ou interrompa o fornecimento de energia elétrica com pena de prisão até cinco anos ou multa até 600 € (PORTUGAL, 2013). A Espanha, por outro lado, prevê uma multa de até 400 € e uma pena de prisão de três meses a um ano para os fraudadores de eletricidade (ESPANHA, 2013).

Na Espanha, em regiões com baixo percentual de perdas, a redução das PNT é considerada uma política ineficiente nos casos em que as empresas não conseguem identificá-las de forma alguma, devido ao alto custo das inspeções *in loco* (LEÓN et al., 2011b). No país, as perdas não técnicas são consideradas um problema administrativo, que é controlado automaticamente pelas comercializadoras de energia e não pelas concessionárias, uma vez que o setor de energia do país é dividido em comercialização e distribuição. Se necessário, uma ordem de serviço é enviada automaticamente para a distribuidora para realizar um corte de energia elétrica ao consumidor (GUERRERO et al., 2014). Na Espanha, o mecanismo de incentivo à redução das perdas de eletricidade baseia-se apenas numa recompensa ou penalização relativa a dados anteriores, ao contrário da Alemanha, onde não existem incentivos financeiros para minimizar as perdas de energia elétrica (COSTA-CAMPI; DAVI-ARDERIUS; TRUJILLO-BAUTE, 2018).

Nos países de renda média-alta, os reguladores enfrentam diferentes desafios em relação às perdas não técnicas, como níveis mais altos de corrupção por parte dos funcionários das distribuidoras em comparação com os mesmos indicadores em países de alta renda. Para o

Líbano, Ghajar, Khalife e Richani (2000) recomendaram que a *Electricité du Liban* (EDL) execute medidas estritas para combater funcionários corruptos e intensifique as políticas para mitigar perdas não técnicas e reduzir esta taxa gerada por clientes que fabricam eletricidade, contadores de adulteração ou subornam funcionários. O Conselho Ministerial do país adotou medidas estratégicas para reduzir o índice de PNT para 12 % até 2021. Para atingir esse objetivo, a agência prorrogou a vigência da Lei nº 288/2014, que confere ao Executivo o direito de conceder licenças para produção de eletricidade para o setor privado, além de solicitar a alocação de pessoal necessário da EDL e também do exército libanês para remover ligações ilegais em todo o território. Além disso, solicitou ao Ministério da Justiça a constituição de um tribunal judicial para agilizar o processamento das denúncias de violação da EDL, aplicando o efeito penal em caso de reincidência (LÍBANO – MINISTÉRIO DA ENERGIA E ÁGUA, 2019). Vale ressaltar que no Líbano quem pratica subterfúgios fraudulentos para suspender ou alterar o serviço público de energia elétrica pode ser punido com pena de prisão até seis meses e multa (LÍBANO, 1943).

Em 2001, a Turquia aprovou a Lei do Mercado de Eletricidade nº 4628 (GRANDE ASSEMBLEIA NACIONAL DA TURQUIA, 2001), emendada pela Lei do Mercado de Eletricidade nº 6446 em 2013 (GRANDE ASSEMBLEIA NACIONAL DA TURQUIA, 2013), abrindo caminho para um mercado livre para geração e distribuição de eletricidade no país. Foi criado um conselho regulador que tem o poder de definir tarifas de energia elétrica, emitir licenças e evitar práticas não competitivas (BERKTAY et al., 2004). No entanto, as PNT são um problema complexo para a agência reguladora, pois muitas questões ainda precisam ser resolvidas. A definição dos níveis de perdas considerados aceitáveis para as concessionárias de distribuição é um desafio, se elas devem repassar as perdas decorrentes das PNT para os consumidores e se devem ser penalizadas caso não cumpram as metas de redução de perdas (SOMUNCU; HANNUM, 2018). Ademais, a estrutura tarifária nacional atualmente implementada na Turquia requer subsídios maciços entre os consumidores no leste e no oeste. Assim, uma mudança para uma estrutura tarifária regional tem sido sugerida na literatura para encorajar as empresas a melhorar sua eficiência e reduzir as PNT (TASDOVEN; FIEDLER; GARAYEV, 2012). Na esfera criminal, há um foco maior nos consumidores industriais e de grande porte. O furto de eletricidade no país pode levar a quem constrói ou continua a operar uma construção com conexão ilegal de eletricidade uma pena um a cinco anos de prisão (TURQUIA, 2004).

No Brasil, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) está ciente das consequências geradas pelas perdas não técnicas, que são responsabilidade do Grupo de Faturamento e Serviços da Superintendência de Regulação dos Serviços de Distribuição (ANEEL, 2015b).

Nos últimos anos, a ANEEL tem focado em soluções estratégicas vinculadas à regulação e gestão relacionadas a *benchmarking*, incentivando práticas de gestão para que as concessionárias descubram novas tecnologias para reduzir perdas e estabelecendo limites de PNT para as empresas (ANEEL, 2015a; DOS ANGELOS et al., 2011; HENRIQUES et al., 2020; LEITE et al., 2020; SIMÕES et al., 2020). Os limites são variáveis de acordo com as particularidades da área de concessão de cada distribuidora. São definidos tendo em consideração a rede de baixa tensão, a complexidade socioeconômica da localização e a continuidade das melhorias ao longo dos ciclos regulatórios (VENTURA et al., 2020). Caso as metas de redução de perdas não sejam atingidas ao final de cada um desses períodos, as compras de energia elétrica pelas concessionárias não serão reconhecidas como custos permitidos, o que reduz o nível de receita da empresa (ANEEL, 2015c; CORTON; ZIMMERMANN; PHILLIPS, 2016; LEITE et al., 2020). A ANEEL continuou buscando melhorias nas regulamentações no que diz respeito ao combate às PNT (SIMÕES et al., 2020) e promoveu a Consulta Pública 029/2020 para reunir informações adicionais sobre alternativas regulatórias para avanços metodológicos no tratamento de perdas de energia (ANEEL, 2020). Além disso, o Código Penal Brasileiro prevê pena de reclusão de um a quatro anos e multa para quem furtar energia elétrica, que pode ir até cinco anos se o furto for realizado durante o repouso noturno (BRASIL, 1940).

Os desafios para a criação de regulamentações eficientes para mitigar perdas não técnicas são ainda maiores nos países de renda média-baixa, considerando que as diversas barreiras socioeconômicas características desses locais aumentam à medida que a renda média diminui. Na Índia, apesar das inúmeras intervenções políticas e reformas regulatórias nos últimos anos, as taxas de perda de linhas em estados como Uttar Pradesh foram mais altas em 2014 do que na década de 1970 (MIN; GOLDEN, 2014). Wong et al. (2021) sugerem que, embora exista um senso de repreensão social no país pelo furto de energia elétrica, a aplicação real desejada de regulações pode permanecer mais relaxada ou suavizada. Isso pode explicar porque, embora agências regulatórias tenham sido criadas em todos os estados, a maioria permanece ineficaz, o que mostra que reformas significativas no setor são essenciais para reduzir as perdas não técnicas (JOSEPH, 2010). O principal marco entre as ações tomadas no país foi a promulgação do *Electricity Act 2003* (MINISTÉRIO INDIANO DA LEI E DA JUSTIÇA, 2003), alterado em 2007 (MINISTÉRIO INDIANO DA LEI E DA JUSTIÇA, 2007), que é uma lei federal indiana que codifica o furto de eletricidade como um crime separado. O código ilustra as várias transgressões desse tipo de crime. Prevê a criação de tribunais especiais para agilizar os julgamentos relacionados ao furto de energia elétrica, além de reconhecer a cooperação dos funcionários do serviço público como crime (SHARMA et al., 2016). Kumar, Prasad e Samijannu

(2017) sugerem que sejam realizadas auditorias energéticas regulares para desestimular os consumidores de praticar qualquer ato ilícito e manipular medidores de energia elétrica, aplicando as penalidades previstas, que correspondem à pena de reclusão até três anos e multa (MINISTÉRIO INDIANO DA LEI E DA JUSTIÇA, 2003).

No Paquistão, é necessário fortalecer o processo regulatório para alcançar a transparência e estimular um mercado de eletricidade aberto e competitivo. No entanto, o governo federal paquistanês não desempenhou um papel vital na aprovação de legislação relativa ao furto de eletricidade (AHMAD, 2017). No país, estão previstas penas de prisão rigorosa de até três anos e multa de até 3.000.000 Rs por violação ou adulteração de conexões elétricas ou instalações de distribuição de eletricidade, furto de eletricidade, interrupção do fornecimento de energia ou distribuição ilegal de energia elétrica (PAQUISTÃO, 2016). A Nigéria, por outro lado, adotou normas que preveem um sistema de dupla medição, com um sistema de coleta pós-pago e um medidor digital pré-pago (OBAFEMI; IFERE, 2013). O Código Penal do país diz que é possível pegar três anos de prisão por desvio fraudulento de energia elétrica derivada de qualquer máquina, dispositivo ou substância que pertença a outra pessoa (NIGÉRIA, 1990). No entanto, Ojedokun, Dinne e Buhari (2020) sugerem que a Comissão Reguladora de Eletricidade da Nigéria analise a pena atual atribuída ao crime porque as sanções atuais não são fortes o suficiente para desencorajar os perpetradores.

Os maiores desafios para a implementação de regulamentações eficazes para mitigar perdas não técnicas ocorrem em países de baixa renda. Devido à possibilidade de alto índice de corrupção por parte dos agentes fiscalizadores, as regras tornam-se menos eficazes. Na Tanzânia, espera-se que a Autoridade de Serviços de Energia e Água monitore as empresas de distribuição, que por sua vez devem desconectar os consumidores que estão ilegalmente conectados à rede e quebrar quaisquer obrigações contratuais (PARLAMENTO DA REPÚBLICA UNIDA DA TANZÂNIA, 2001, 2008). De acordo com Winther (2012), cada residência precisa ser conectada a um interruptor principal, fusível e medidor em Zanzibar. No entanto, a denúncia dos funcionários que fazem a leitura dos medidores pode ser política e pode ser considerada uma forma de controlar os cidadãos locais. Ainda assim, o Código Penal do país prevê pena de prisão até cinco anos para quem desviar energia elétrica de terceiros de forma fraudulenta (TANZÂNIA, 1981).

A Ruanda iniciou a instalação do sistema de medidores de eletricidade pré-pagos em 1995, por meio da Electrogaz. Mwaura (2012) afirma que esta foi uma das principais ferramentas para reduzir as perdas não técnicas no país, também diminuída pela implementação de leis que desestimulam o furto de energia elétrica. Criminalmente, Ruanda prevê penalidades para

clientes e agentes de distribuidoras em caso de furto de eletricidade. A sentença esperada é de seis meses a um ano de prisão, mais uma multa de 1.000.000 FRw a 5.000.000 FRw para clientes e de 5.000.000 FRw a 10.000.000 FRw para funcionários (PARLAMENTO DA RUANDA, 2011, 2018). Enquanto isso, Uganda conseguiu reduzir as PNT desde que a Umeme, a maior distribuidora de energia do país, começou a prevenir o furto de eletricidade com mais rigidez, impondo multas e desconectando os fraudadores (NEVER, 2015). Criminalmente, alguém que furta eletricidade pode ser preso por até cinco anos (UGANDA, 1950). No entanto, Mwaura (2012) argumenta que há necessidade de penas mais rígidas. O valor esperado de uma multa máxima de 100 pontos monetários é baixo se considerar o tempo de uso gratuito de energia elétrica, o porte das entidades envolvidas e a possibilidade de cooperação com funcionários envolvidos em fraudes. Além disso, fatores como alto custo e prazo impedem que as concessionárias de serviços públicos continuem com os processos judiciais para recuperar perdas relacionadas ao furto.

O entendimento das principais regulamentações adotadas para mitigar as perdas não técnicas precisa ser feito analisando o contexto de cada país, levando em consideração as principais consequências causadas e as barreiras e outras estratégias adotadas por cada localidade para combater esse problema. A análise por faixas de renda permite associar as regulamentações adotadas por cada país com sua realidade socioeconômica. Permitirá que legisladores e reguladores olhem para países em situação semelhante e busquem novas estratégias para mitigar as PNT na localidade em que estão inseridos. Portanto, considerando todas as informações analisadas e discutidas nesta seção, o Resultado 5 apresenta a compilação das principais regulamentações relacionadas à mitigação de perdas não técnicas encontradas na literatura.

Resultado 5: As principais regulações, legislações e políticas para mitigação de perdas não técnicas são relacionadas ao estabelecimento de medidas de eficiência e limites permitidos de perdas para distribuidoras de eletricidade, à estruturação tarifária, à definição de responsabilidades na fiscalização das PNT, à desconexão de pontos ilegais de eletricidade, à criação de tribunais especiais para agilizar o julgamento de casos de fraude e furto de energia elétrica, à responsabilização criminal de funcionários de distribuidoras de energia corruptos, à definição da frequência de auditorias energéticas baseadas na análise dos dados de consumo, à adoção de diferentes tecnologias, como o sistema eletrônico de cobrança pré-paga, à aplicação de multas, e à prisão de pessoas envolvidas em furto de eletricidade.

3.4 CONCLUSÕES

As perdas não técnicas são um problema altamente complexo, pois afetam países, concessionárias de distribuição de eletricidade e a sociedade ao mesmo tempo. Publicações científicas na área aumentaram nos últimos anos (SAVIAN et al., 2021), contudo Viegas et al. (2017) expressam a necessidade de compreender como as relações entre as diferentes partes envolvidas afetam a identificação de perdas não técnicas e destaca a necessidade de análises sistemáticas sobre toda a gama de fontes potenciais de PNT. Never (2015) destaca a importância de pesquisas que ajudem a entender as dimensões institucionais e políticas relacionadas ao furto de eletricidade. Assim, a identificação do panorama mundial das perdas não técnicas e dos principais impactos, estratégias e políticas para mitigá-las respondeu a questões previamente estabelecidas e serve de base para futuros estudos na área no âmbito público, privado e de esferas sociais.

Embora muitos estudos apresentem definições de perdas não técnicas, identificou-se que elas se complementam, mas não trazem um entendimento unificado sobre o tema. Assim, é apresentada neste capítulo uma definição que contemplou as referências primárias na área para que todos os pesquisadores analisem o problema sob uma mesma perspectiva e desenvolvam metodologias voltadas para a resolução das principais causas de PNT. Adicionalmente, as perdas não técnicas têm consequências diferentes para os países, concessionárias de distribuição e sociedade. Eles precisam ser interpretados de forma interligada, uma vez que todos são direta ou indiretamente afetados por esse problema, gerando um ciclo de perdas.

A relação entre barreiras e estratégias para mitigar perdas não técnicas é muito próxima. Deve indicar o direcionamento dos esforços e ações de pesquisadores, empresários e agentes reguladores da área. Se os setores público e privado desenvolverem operações conjuntas com base nas barreiras identificadas neste estudo, eles podem obter um maior índice de redução de PNT, visto que podem contemplar em seus planos de ação as principais dificuldades encontradas e relatadas por pesquisadores ao redor do mundo. Ainda, foi possível perceber que todos os países analisados preveem multa e prisão por furto de energia elétrica em seus códigos penais e criminais. No entanto, a severidade com que essas penalidades são aplicadas varia drasticamente, dependendo da realidade socioeconômica do local.

Esta pesquisa tem implicações teóricas, práticas e políticas que permitirão a todos os agentes envolvidos com o tema e com a distribuição de energia elétrica a formularem estratégias de mitigação de redução de perdas não técnicas. Para a teoria, os pesquisadores que se concentram no desenvolvimento de algoritmos e ferramentas podem partir de uma definição unificada do tema e analisar formas de diminuir as consequências geradas pelas PNT na realidade em que

estão inseridos. Além disso, podem adotar as barreiras identificadas neste estudo em seus problemas de pesquisa, complementando as estratégias já apresentadas na literatura. Para pesquisas com enfoque político-social, este capítulo contribui para a compilação dos estudos de maior relevância mundial sobre o assunto, além de trazer para a discussão dos resultados como legislações e regulamentações vigentes nos países por faixa de renda *per capita*.

As implicações práticas estão diretamente relacionadas às estratégias eficazes que as concessionárias de distribuição podem traçar para minimizar as perdas econômicas e financeiras resultantes das PNT. Este estudo apresenta soluções já adotadas por outras concessionárias ao redor do mundo, principalmente em países onde as distribuidoras são responsáveis pela fiscalização de perdas não técnicas. Essas empresas devem investir em *frameworks* que caracterizem os consumidores à medida que novos dados são coletados, devido à evolução e ao aumento de informações disponíveis (FIGUEIREDO et al., 2005). Dessa forma, as concessionárias podem ter controle efetivo de seus bancos de dados para evitar perdas relacionadas ao mau funcionamento de seus bancos de dados e erros de faturamento. Este capítulo também demonstrou que as inspeções *in loco* podem ser ineficazes se não forem combinadas com métodos de identificação de PNT com altos níveis de assertividade. O investimento nessas tecnologias é fundamental para reduzir os efeitos decorrentes de perdas não técnicas.

Além disso, este capítulo tem implicações políticas relevantes, sendo uma ferramenta para que reguladores, legisladores e formuladores de políticas públicas desenvolvam ações que possam efetivamente reduzir os efeitos das PNT. É preciso considerar que as consequências geradas por esse problema para os países afetam as empresas e a sociedade. Uma das principais estratégias para contornar é a criação e aplicação de regulações e leis rígidas. No entanto, essas ações só serão válidas se os políticos e reguladores tiverem uma compreensão global da questão, e este capítulo se apresenta como um material essencial nesse processo. Ao compreender a definição globalmente aceita de PNT, suas consequências em todos os níveis, suas principais barreiras e estratégias, e regulações e legislações adequadas e adotadas no mundo para contorná-la, políticos e agentes reguladores podem discutir o tema amplamente com a sociedade e com as empresas, criando soluções que beneficiam a todos.

No desenvolvimento desta pesquisa, vale ressaltar que não foram incluídos métodos de identificação de perdas não técnicas, visto que outras pesquisas abordaram este tema (AHMAD, 2017; AHMAD et al., 2018; DEPURU; WANG; DEVABHAKTUNI, 2011; MESSINIS; HATZIARGYRIOU, 2018; VIEGAS et al., 2017). Ainda, destaca-se que, embora não sejam contempladas as particularidades de todos os países, foram contempladas as principais consequências, barreiras, estratégias e regulações em relação às realidades de regiões de diferentes

faixas de RNB *per capita*. A pesquisa ainda permite analogias por parte dos setores público e privado para o desenvolvimento de ações estratégicas para mitigar os efeitos das PNT. Estudos futuros podem aprofundar análises para países em uma dada faixa de RNB *per capita*, considerando suas particularidades. Novas pesquisas também podem ser realizadas relacionando os principais métodos encontrados na literatura às estratégias regulatórias e seus efeitos sobre as consequências e superação de barreiras para a identificação de perdas não técnicas.

Agradecimentos e financiamento da pesquisa: Essa pesquisa foi apoiada pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico [processos nº 308057/2020-1, 142448/2018-4, 310594/2017-0 e 465640/2014-1], Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior [processos nº 88887.486381/2020-00, 88887.486394/2020-00 e 23038.000776/2017-54] e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul [processos nº 17/2551-0000517-1 e 19/2551-0001852-5]. Os autores agradecem ao CPNq, CAPES, FAPERGS e Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia – Geração Distribuída (INCT-GD) por apoiar essa pesquisa.

3.5 REFERÊNCIAS

- AHMAD, Tanveer. Non-technical loss analysis and prevention using smart meters. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 72, p. 573–589, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.100>
- AHMAD, Tanveer *et al.* Review of various modeling techniques for the detection of electricity theft in smart grid environment. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p. 2916–2933, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.040>
- ALEMANHA. **Seção 248c do Código Criminal Alemão**, Alemanha, 2019. Disponível em: <https://www.lewik.org/term/15771/theft-of-electrical-energy-section-248c-german-criminal-code/>
- ALMAZROI, Abdulwahab Ali; AYUB, Nasir. A Novel Method CNN-LSTM Ensembler Based on Black Widow and Blue Monkey Optimizer for Electricity Theft Detection. **IEEE Access**, v. 9, p. 141154–141166, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3119575>
- AMIN, Saurabh *et al.* Game-theoretic models of electricity theft detection in smart utility networks: Providing new capabilities with advanced metering infrastructure. **IEEE Control Systems**, v. 35, n. 1, p. 66–81, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/MCS.2014.2364711>
- ANEEL. **Resolução Normativa nº. 660** Brasil, Brasília - DF, 2015a. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015660.pdf>

ANEEL. **SRD – Superintendência de Regulação de Serviços de Distribuição**, Brasília - DF, 2015b. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/srd>

ANEEL. **Nota Técnica nº. 106/2015-SGT/SRM/ANEEL**. Brasília - DF, 2015c. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/audiencias-publicas-antigas?p_p_id=participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_ideDocumento=7725&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_tipoFaseReuniao=fase&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_jspPage=%2Fhtml%2Fpp%2Fvisualizar.jsp

ANEEL. **Consulta Pública nº. 029/2020**, 2020. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/consultas-publicas>

ARYANEZHAD, Majid. A novel approach to detection and prevention of electricity pilferage over power distribution network. **International Journal of Electrical Power and Energy Systems**, v. 111, p. 191–200, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2019.04.005>

ASLAM, Zeeshan *et al.* A combined deep learning and ensemble learning methodology to avoid electricity theft in smart grids. **Energies**, v. 13, n. 21, p. 5599, 2020a. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en13215599>

ASLAM, Zeeshan. *et al.* An Attention Guided Semi-supervised Learning Mechanism to Detect Electricity Frauds in the Distribution Systems. **IEEE Access**, v. 8, p. 221767-221782, 2020b. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3042636>

ÁUSTRIA. **§ 132 do Código Penal Austríaco**, Áustria, 2015. Disponível em: <https://policehumanrightsresources.org/content/uploads/2016/08/Criminal-Code-Austria-1998.pdf?x19059>

AUTORIDADE REGULATÓRIA DE ENERGIA. **Article 95 from the Management Code of the Electricity Distribution Management Network**. Grécia, 2017. Disponível em <https://www.depa.gr/national-legal-and-regulatory-framework/?lang=en>

AVILA, Nelson Fabian; FIGUEROA, Gerardo; CHU, Chia-Chi. NTL Detection in electric distribution systems using the maximal overlap discrete wavelet-packet transform and random undersampling boosting. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 33, n. 6, p. 7171–7180, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2018.2853162>

BABUTA, Aniket *et al.* Power and energy measurement devices: A review, comparison, discussion, and the future of research. **Measurement**, v. 172, p. 108961, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108961>

BALOCH, Mazhar Hussain *et al.* Hybrid energy sources status of Pakistan: An optimal technical proposal to solve the power crises issues. **Energy Strategy Reviews**, v. 24, p. 132–153, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.02.001>

- BARROS, Rafael; COSTA, Edson Guedes; ARAUJO, Jalberth. Maximizing the Financial Return of Non-Technical Loss Management in Power Distribution Systems. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 37, n. 2, p. 1634-1641, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2021.3107602>
- BARZAMINI, Hamed; GHASSEMIAN, Mona. Comparison analysis of electricity theft detection methods for advanced metering infrastructure in smart grid. **International Journal of Electronic Security and Digital Forensics**, v. 11, n. 3, p. 265–280, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1504/IJESDF.2019.100475>
- BERKTAY, Ali *et al.* Electrical energy prices and losses respect to Turkish social-economic situations. **Energy Exploration and Exploitation**, v. 22, n. 3, p. 195–206, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1260/0144-5987.22.3.195>
- BISWAS, Partha P. *et al.* Electricity Theft Pinpointing through Correlation Analysis of Master and Individual Meter Readings. **IEEE Transactions on Smart Grid**, v. 11, n. 4, p. 3031–3042, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TSG.2019.2961136>
- BLAZAKIS, Konstantinos V.; KAPETANAKIS, Theodoros N.; STAVRAKAKIS, George S. Effective electricity theft detection in power distribution grids using an adaptive neuro fuzzy inference system. **Energies**, v. 13, n. 12, p. 3110, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en13123110>
- BRASIL. **Artigo 155 do Código Penal Brasileiro**, Brasil, 1940. Disponível em: <https://www.tjdft.jus.br/institucional/imprensa/campanhas-e-produtos/direito-facil/edicao-semanal/furto-e-roubo>
- BRETAS, Arturo Suman *et al.* Distribution networks nontechnical power loss estimation: A hybrid data-driven physics model-based framework. **Electric Power Systems Research**, v. 186, p. 106397, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2020.106397>
- BRISEÑO, Hugo; ROJAS, Omar. Factors associated with electricity losses: A panel data perspective. **International Journal of Energy Economics and Policy**, v. 10, n. 5, p. 281–286, 2020a. Disponível em: <https://doi.org/10.32479/ijeep.9599>
- BRISEÑO, Hugo; ROJAS, Omar. Factors associated with electricity theft in Mexico. **International Journal of Energy Economics and Policy**, v. 10, n. 3, p. 250–254, 2020b. Disponível em: <https://doi.org/10.32479/ijeep.9002>
- BUZAU, Madalina-Mihaela *et al.* Detection of non-technical losses using smart meter data and supervised learning. **IEEE Transactions on Smart Grid**, v. 10, n. 3, p. 2661–2670, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TSG.2018.2807925>
- BUZAU, Madalina-Mihaela *et al.* Hybrid Deep Neural Networks for Detection of Non-Technical Losses in Electricity Smart Meters. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 35, n. 2, p. 1254–1263, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2019.2943115>
- CALVO, Albert *et al.* Knowledge-Based Segmentation to Improve Accuracy and Explainability in Non-Technical Losses Detection. **Energies**, v. 13, n. 21, p. 5674, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en13215674>

CHUWA, Maria Gabriel; WANG, Fei. A review of non-technical loss attack models and detection methods in the smart grid. **Electric Power Systems Research**, v. 199, p. 107415, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2021.107415>

COMA-PUIG, Bernat; CARMONA, Josep. Bridging the gap between energy consumption and distribution through non-technical loss detection. **Energies**, v. 12, n. 9, p. 1748, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en12091748>

COMA-PUIG, Bernat; CARMONA, Josep. Non-technical losses detection in energy consumption focusing on energy recovery and explainability. **Machine Learning**, v. 111, p. 487-517, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10994-021-06051-1>

CORTON, Maria Luisa; ZIMMERMANN, Aneliese; PHILLIPS, Michelle Andrea. The low cost of quality improvements in the electricity distribution sector of Brazil. **Energy Policy**, v. 97, p. 485-493, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.07.052>

COSTA-CAMPI, Maria Teresa; DAVI-ARDERIUS, Daniel; TRUJILLO-BAUTE, Elisa. The economic impact of electricity losses. **Energy Economics**, v. 75, p. 309-322, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.08.006>

CUI, Lei *et al.* Detecting false data attacks using machine learning techniques in smart grid: A survey. **Journal of Network and Computer Applications**, v. 170, p. 102808, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2020.102808>

CUMMINS, Mark; GILLANDERS, Robert. Greasing the Turbines? Corruption and access to electricity in Africa. **Energy Policy**, v. 137, p. 111188, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111188>

DE SOUZA, Matheus Alberto *et al.* Detection and identification of energy theft in advanced metering infrastructures. **Electric Power Systems Research**, v. 182, p. 106258, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2020.106258>

DEGANI, Michael. Modal reasoning in Dar es Salaam's power network. **American Ethnologist**, v. 44, n. 2, p. 300-314, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/amet.12480>

DEPURU, Soma Shekara Sreenadh Reddy *et al.* High performance computing for detection of electricity theft. **International Journal of Electrical Power and Energy Systems**, v. 47, n. 1, p. 21-30, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2012.10.031>

DEPURU, Soma Shekara Sreenadh Reddy; WANG, Lingfeng; DEVABHAKTUNI, Vijay. Electricity theft: Overview, issues, prevention and a smart meter based approach to control theft. **Energy Policy**, v. 39, p. 1007-1015, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.11.037>

DIAHOVCHENKO, Illia M.; OLSEN, Robert G. Electromagnetic compatibility and protection of electric energy meters from strong magnetic fields. **Electric Power Systems Research**, v. 186, p. 106400, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2020.106400>

DINAMARCA. § 193 do Código Criminal Dinamarquês, Dinamarca, 2005. Disponível em: https://www.legislationline.org/download/id/6372/file/Denmark_Criminal_Code_am2005_en.pdf

DOS ANGELOS, Eduardo Werley S. *et al.* Detection and identification of abnormalities in customer consumptions in power distribution systems. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 26, p. 2436–2442, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2011.2161621>

ESPANHA. Artigo 255 do Código Criminal Espanhol, Espanha, 2013. Disponível em: <https://www.conceptosjuridicos.com/codigo-penal-articulo-255/>

FEI, Ke *et al.* Electricity frauds detection in Low-voltage networks with contrastive predictive coding. **International Journal of Electrical Power and Energy Systems**, v. 137, p. 107715, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2021.107715>

FENG, Xiaofeng *et al.* A Novel Electricity Theft Detection Scheme Based on Text Convolutional Neural Networks. **Energies**, v. 13, n. 21, p. 5758, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en13215758>

FENG, Zhiying *et al.* Data mining for abnormal power consumption pattern detection based on local matrix reconstruction. **International Journal of Electrical Power and Energy Systems**, v. 123, p. 106315, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2020.106315>

FERNANDES, Silas Evandro Nachif *et al.* A Probabilistic Optimum-Path Forest Classifier for Non-Technical Losses Detection. **IEEE Transactions on Smart Grid**, v. 10, n. 3, p. 3226–3235, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TSG.2018.2821765>

FERREIRA, Thiago Sonnewend Diniz; TRINDADE, Fernanda Caseño Lima; VIEIRA, José Carlos Melo. Load Flow-Based Method for Nontechnical Electrical Loss Detection and Location in Distribution Systems Using Smart Meters. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 35, n. 5, p. 3671–3681, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2020.2981826>

FIGUEIREDO, Vera *et al.* An electric energy consumer characterization framework based on data mining techniques. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 20, n. 2, p. 596–602, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2005.846234>

FRANÇA. Artigo 311-2 do Código Penal Francês, França, 1994. Disponível em <https://www.legislationline.org/documents/id/15731>

GAO, Yuanqi; FOGGO, Brandon; YU, Nanpeng. A Physically Inspired Data-Driven Model for Electricity Theft Detection With Smart Meter Data. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 15, n. 9, p. 5076–5088, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TII.2019.2898171>

GARLET, Taís Bisognin *et al.* Paths and barriers to the diffusion of distributed generation of photovoltaic energy in southern Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.

111, p. 157–169, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.05.013>

GARZA-REYES, Jose Arturo. Lean and green – a systematic review of the state of the art literature. **Journal of Cleaner Production**, v. 102, p. 18–29, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.064>

GHAJAR, Raymond F.; KHALIFE, Joseph. Cost/benefit analysis of an AMR system to reduce electricity theft and maximize revenues for Électricité du Liban. **Applied Energy**, v. 76, n. 1–3, p. 25–37, 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0306-2619\(03\)00044-8](https://doi.org/10.1016/S0306-2619(03)00044-8)

GHAJAR, Raymond; KHALIFE, Joseph; RICHANI, Brahim. Design and cost analysis of an automatic meter reading system for Electricité du Liban. **Utilities Policy**, v. 9, n. 4, p. 193–205, 2000. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0957-1787\(02\)00004-8](https://doi.org/10.1016/S0957-1787(02)00004-8)

GHAJEMI, Ali Akbar; GITIZADEH, Mohsen. Detection of illegal consumers using pattern classification approach combined with Levenberg-Marquardt method in smart grid. **International Journal of Electrical Power and Energy Systems**, v. 99, p. 363–375, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2018.01.036>

GHORI, Khawaja Moyeezullah *et al.* Performance Analysis of Different Types of Machine Learning Classifiers for Non-Technical Loss Detection. **IEEE Access**, v. 8, p. 16033–16048, 2020a. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2962510>

GHORI, K M U *et al.* Performance analysis of machine learning classifiers for non-technical loss detection. **Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing**, 2020b. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12652-019-01649-9>

GHORI, Khawaja Moyeezullah *et al.* Treating Class Imbalance in Non-Technical Loss Detection: An Exploratory Analysis of a Real Dataset. **IEEE Access**, v. 9, p. 98928–98938, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3095145>

GLAUNER, Patrick *et al.* The challenge of non-technical loss detection using artificial intelligence: A survey. **International Journal of Computational Intelligence Systems**, v. 10, n. 1, p. 760–775, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.2991/ijcis.2017.10.1.51>

GRANDE ASSEMBLEIA NACIONAL DA TURQUIA. **Electricity Market Law (No. 4628)**, Turquia, 2001. Disponível em: <https://www.ecolex.org/details/legislation/electricity-market-law-no-4628-lex-faoc067187/>

GRANDE ASSEMBLEIA NACIONAL DA TURQUIA. **Electricity Market Law (No. 6446)**, Turquia, 2013. Disponível em: <http://www.lawsturkey.com/law/electricity-market-law-6446>

GUERRERO, Juan I. *et al.* Improving Knowledge-Based Systems with statistical techniques, text mining, and neural networks for non-technical loss detection. **Knowledge-Based Systems**, v. 71, p. 376–388, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2014.08.014>

GUERRERO, Juan I. *et al.* Non-Technical Losses Reduction by Improving the Inspections Accuracy in a Power Utility. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 33, n. 2, p. 1209–

1218, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2017.2721435>

HAMDAN, H. A.; GHAJAR, R. F.; CHEDID, R. B. A simulation model for reliability-based appraisal of an energy policy: The case of Lebanon. **Energy Policy**, v. 45, p. 293–303, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.02.034>

HAN, Wenlin; XIAO, Yang. A novel detector to detect colluded non-technical loss frauds in smart grid. **Computer Networks**, v. 117, p. 19–31, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2016.10.011>

HAN, Wenlin; XIAO, Yang. Edge computing enabled non-technical loss fraud detection for big data security analytic in Smart Grid. **Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing**, v. 11, n. 4, p. 1697–1708, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12652-019-01381-4>

HAQ, Ejaz Ul *et al.* A hybrid approach based on deep learning and support vector machine for the detection of electricity theft in power grids. **Energy Reports**, v. 7, p. 349–356, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.08.038>

HE, Youbiao; MENDIS, Gihan J.; WEI, Jin. Real-Time Detection of False Data Injection Attacks in Smart Grid: A Deep Learning-Based Intelligent Mechanism. **IEEE Transactions on Smart Grid**, v. 8, n. 5, p. 2505–2516, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TSG.2017.2703842>

HENRIQUES, Henrique de Oliveira *et al.* Development of adapted ammeter for fraud detection in low-voltage installations. **Measurement: Journal of the International Measurement Confederation**, v. 56, p. 1–7, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2014.06.015>

HENRIQUES, Henrique de Oliveira *et al.* Monitoring technical losses to improve non-technical losses estimation and detection in LV distribution systems. **Measurement**, v. 161, p. 107840, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.107840>

HU, Tianyu *et al.* Nontechnical Losses Detection through Coordinated BiWGAN and SVDD. **IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems**, v. 32, n. 5, p. 1866–1880, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TNNLS.2020.2994116>

HU, Tianyu *et al.* Utilizing Unlabeled Data to Detect Electricity Fraud in AMI: A Semisupervised Deep Learning Approach. **IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems**, v. 30, n. 11, p. 3287–3299, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TNNLS.2018.2890663>

HUANG, Shih-Che; LO, Yuan-Liang; LU, Chan-Nan. Non-technical loss detection using state estimation and analysis of variance. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 28, n. 3, p. 2959–2966, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2012.2224891>

HUANG, Yifan; XU, Qifeng. Electricity theft detection based on stacked sparse denoising autoencoder. **International Journal of Electrical Power and Energy Systems**, v. 125, p. 106448, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2020.106448>

HUSSAIN, Saddam *et al.* A novel feature engineered-CatBoost-based supervised machine learning framework for electricity theft detection. **Energy Reports**, v. 7, p. 4425–4436, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.07.008>

IBRAHEM, Mohamed I. *et al.* Efficient Privacy-Preserving Electricity Theft Detection With Dynamic Billing and Load Monitoring for AMI Networks. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 8, n. 2, p. 1243–1258, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.3026692>

IBRAHIM, Emad S. Management of loss reduction projects for power distribution systems. **Electric Power Systems Research**, v. 55, n. 1, p. 49–56, 2000. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0378-7796\(99\)00073-5](https://doi.org/10.1016/S0378-7796(99)00073-5)

ISMAIL, Muhammad *et al.* Deep Learning Detection of Electricity Theft Cyber-Attacks in Renewable Distributed Generation. **IEEE Transactions on Smart Grid**, v. 11, n. 4, p. 3428–3437, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TSG.2020.2973681>

JAMIL, Faisal. Electricity theft among residential consumers in Rawalpindi and Islamabad. **Energy Policy**, v. 123, p. 147–154, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.04.023>

JAMIL, Faisal. On the electricity shortage, price and electricity theft nexus. **Energy Policy**, v. 54, p. 267–272, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.11.034>

JAMIL, Faisal; AHMAD, Eatzaz. Policy considerations for limiting electricity theft in the developing countries. **Energy Policy**, v. 129, p. 452–458, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.02.035>

JINDAL, Anish *et al.* Decision Tree and SVM-Based Data Analytics for Theft Detection in Smart Grid. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 12, n. 3, p. 1005–1016, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TII.2016.2543145>

JOKAR, Paria; ARIANPOO, Nasim; LEUNG, Victor C. M. Electricity theft detection in AMI using customers' consumption patterns. **IEEE Transactions on Smart Grid**, v. 7, n. 1, p. 216–226, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TSG.2015.2425222>

JOSEPH, Kelli L. The politics of power: Electricity reform in India. **Energy Policy**, v. 38, n. 1, p. 503–511, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.09.041>

KADUREK, Petr *et al.* Theft detection and smart metering practices and expectations in the Netherlands. **IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe, ISGT Europe**, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ISGTEUROPE.2010.5638852>

KHAN, Inam Ullah *et al.* A Stacked Machine and Deep Learning-based Approach for Analysing Electricity Theft in Smart Grids. **IEEE Transactions on Smart Grid**, v. 13, n. 2, p. 1633–1644, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TSG.2021.3134018>

KHARAL, Ammar Yousaf *et al.* A Novel Features-Based Multivariate Gaussian Distribution Method for the Fraudulent Consumers Detection in the Power Utilities of Developing Countries. **IEEE Access**, v. 9, p. 81057–81067, 2021. Disponível em:

<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3085501>

KIM, Jin Young *et al.* Detection for Non-Technical Loss by Smart Energy Theft with Intermediate Monitor Meter in Smart Grid. **IEEE Access**, v. 7, p. 129043–129053, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2940443>

KONG, Xiangyu *et al.* Electricity theft detection in low-voltage stations based on similarity measure and DT-KSVM. **International Journal of Electrical Power and Energy Systems**, v. 125, August 2020, p. 106544, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2020.106544>

KRISHNA, Varun Badrinath; GUNTER, Carl A.; SANDERS, William H. Evaluating Detectors on Optimal Attack Vectors That Enable Electricity Theft and der Fraud. **IEEE Journal on Selected Topics in Signal Processing**, v. 12, n. 4, p. 790–805, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/JSTSP.2018.2833749>

KUMAR V Sampath; PRASAD, Jagdish; SAMIKANNU, Ravi. Overview, issues and prevention of energy theft in smart grids and virtual power plants in Indian context. **Energy Policy**, v. 110, p. 365–374, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.08.032>

LEITE, Daniel *et al.* A stochastic frontier model for definition of non-technical loss targets. **Energies**, v. 13, n. 12, p. 3227, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en13123227>

LEITE, Jônatas Boás; MANTOVANI, José Roberto Sanches. Detecting and locating non-technical losses in modern distribution networks. **IEEE Transactions on Smart Grid**, v. 9, n. 2, p. 1023–1032, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TSG.2016.2574714>

LEÓN, Carlos *et al.* Integrated expert system applied to the analysis of non-technical losses in power utilities. **Expert Systems with Applications**, v. 38, n. 8, p. 10274–10285, 2011a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.02.062>

LEÓN, Carlos *et al.* Variability and trend-based generalized rule induction model to NTL detection in power companies. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 26, n. 4, p. 1798–1807, 2011b. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2011.2121350>

LEQUILLER, François; BLADES, Derek. **Understanding National Accounts**. 2ª Edição: OECD Publishing, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1787/9789264214637-en>

LEWIS, Fabian B. Costly “Throw-Ups”: Electricity Theft and Power Disruptions. **Electricity Journal**, v. 28, n. 7, p. 118–135, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tej.2015.07.009>

LÍBANO. **Artigo 342 do Código Penal Libanês**, Líbano, 1943. Disponível em: https://sherloc.unodc.org/cld/uploads/res/document/lebanon-penal-code_html/Lebanon_Penal_Code_1943.pdf

LÍBANO – MINISTÉRIO DA ENERGIA E ÁGUA. **Updated Policy Paper for the Electricity Sector**, Líbano, 2019. Disponível em https://energyandwater.gov.lb/mediafiles/articles/doc-100516-2019_05_21_04_50_46.pdf

- LO, Chun Hao; ANSARI, Nirwan. CONSUMER: A novel hybrid intrusion detection system for distribution networks in smart grid. **IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing**, v. 1, n. 1, p. 33–44, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TETC.2013.2274043>
- LU, Xiaoquan *et al.* Knowledge embedded semi-supervised deep learning for detecting non-technical losses in the smart grid. **Energies**, v. 12, n. 18, p. 3452, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en12183452>
- MANITO, Allan R. A. *et al.* Technical and non-technical losses calculation in distribution grids using a defined equivalent operational impedance. **IET Generation, Transmission and Distribution**, v. 13, n. 8, p. 1315–1323, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2018.5334>
- MESSINIS, George M.; HATZIARGYRIOU, Nikos D. Review of non-technical loss detection methods. **Electric Power Systems Research**, v. 158, p. 250–266, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2018.01.005>
- MESSINIS, George M.; RIGAS, Alexandros E.; HATZIARGYRIOU, Nikos D. A Hybrid Method for Non-Technical Loss Detection in Smart Distribution Grids. **IEEE Transactions on Smart Grid**, v. 10, n. 6, p. 6080–6091, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TSG.2019.2896381>
- MIN, Brian; GOLDEN, Miriam. Electoral cycles in electricity losses in India. **Energy Policy**, v. 65, p. 619–625, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.09.060>
- MINISTÉRIO INDIANO DA LEI E DA JUSTIÇA. **The Electricity (Amendment) Act, 2007**, Índia, 2007. Disponível em: https://www.iitr.ac.in/wfw/web_ua_water_for_welfare/power/Electricity_Act_2007.pdf
- MINISTÉRIO INDIANO DA LEI E DA JUSTIÇA. **The Electricity Act, 2003**, Índia, 2003. Disponível em: <https://cercind.gov.in/Act-with-amendment.pdf>
- MOHER, David *et al.* Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement, **PloS Med**, v. 6, n. 7, p. 1000097, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
- MONEDERO, Iñigo *et al.* Detection of frauds and other non-technical losses in a power utility using Pearson coefficient, Bayesian networks and decision trees. **International Journal of Electrical Power and Energy Systems**, v. 34, n. 1, p. 90–98, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2011.09.009>
- MONTGOMERY, Scott. Of towers, walls, and fields: perspectives on language in science. **Science (New York, N.Y.)**, v. 303, n. 5662, p. 1333–1335, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.1095204>
- MUJEEB, Sana *et al.* Electricity Theft Detection With Automatic Labeling and Enhanced RUSBoost Classification Using Differential Evolution and Jaya Algorithm. **IEEE Access**, v. 9, p. 128521–128539, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3102643>

- MWAURA, Francis M. Adopting electricity prepayment billing system to reduce non-technical energy losses in Uganda: Lesson from Rwanda. **Utilities Policy**, v. 23, p. 72–79, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jup.2012.05.004>
- NABIL, Mahmoud *et al.* PPETD: Privacy-Preserving Electricity Theft Detection Scheme with Load Monitoring and Billing for AMI Networks. **IEEE Access**, v. 7, p. 96334–96348, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2925322>
- NAÇÕES UNIDAS. **World Economic Situation Prospects**. Nova York - NY: United Nations Publication, 2020. E-book. Disponível em: https://www.un.org/development/desa/dpad/document_gem/global-economic-monitoring-unit/world-economic-situation-and-prospects-wesp-report/
- NADEEM, Ahmad; ARSHAD, Naveed. A data-driven approach to reduce electricity theft in developing countries. **Utilities Policy**, v. 73, p. 101304, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jup.2021.101304>
- NAGI, Jawad *et al.* Nontechnical loss detection for metered customers in power utility using support vector machines. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 25, n. 2, p. 1162–1171, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2009.2030890>
- NASCIMENTO, Felipe Moraes *et al.* Factors for Measuring Photovoltaic Adoption from the Perspective of Operators. **Sustainability**, v. 12, n. 8, p. 3184, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su12083184>
- NEVER, Babette. Social norms, trust and control of power theft in Uganda: Does bulk metering work for MSEs? **Energy Policy**, v. 82, n. 1, p. 197–206, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.03.020>
- NIGÉRIA. **Capítulo 34, Divisão 1, Parte 6 da Lei do Código Penal da Nigéria**, Nigéria: Leis da Federação da Nigéria, 1990. Disponível em: https://jurist.ng/criminal_code_act/part-6/division-1/chapter-34
- PARLAMENTO EUROPEU E CONSELHO DA UNIÃO EUROPEIA. **Article 18 - Regulation (EU) 2019/943 of the European Parliament and of the Council on the internal market for electricity**, União Europeia, 2019. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32019R0943>
- OBAFEMI, Frances Ngozi; IFERE, Eugene Okoi. Non-technical losses, energy efficiency and conservative methodology in the electricity sector of Nigeria: The case of Calabar, cross river state. **International Journal of Energy Economics and Policy**, v. 3, n. 2, p. 185–192, 2013. Disponível em: <https://www.econjournals.com/index.php/ijeep/article/view/451>
- OJEDOKUN, Usman A.; DINNE, Chinedu E.; BUHARI, Maryam T. Social context of energy theft among electricity consumers in Lagos and Ibadan Metropolis, Nigeria. **Security Journal**, v. 34, p. 802-819, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1057/s41284-020-00261-3>
- OTCHERE-APPIAH, Gideon *et al.* The Impact of Smart Prepaid Metering on Non-Technical Losses in Ghana. **Energies**, v. 14, n. 7, 2021. Disponível em:

<https://doi.org/10.3390/en14071852>

NAVANI, P. J. Technical and Non-Technical Losses in Power System and its Economic Consequences in Indian Economy. **International Journal of Electronics and Computer Science Engineering (IJESCE)**, v. 1, n. 2, 2009. Disponível em:

<https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.259.7971&rep=rep1&type=pdf>

PAQUISTÃO. **Lei criminal (emenda) do Código Penal Paquistanês**, Paquistão, 2016.

Disponível em: https://www.ilo.org/dyn/natlex/natlex4.detail?p_lang=en&p_isn=104947

PARLAMENTO DA REPÚBLICA UNIDA DA TANZÂNIA. **Energy and Water Utilities Regulatory Authority Act CAP 414** República Unida da Tanzânia, 2001. Disponível em:

https://www.tanzania.go.tz/egov_uploads/documents/EWURA-Act-Cap-41_sw.pdf

PARLAMENTO DA REPÚBLICA UNIDA DA TANZÂNIA. **The Electricity Act, 2008**, República Unida da Tanzânia, 2008. Disponível em:

<https://www.ecolex.org/details/legislation/electricity-act-2008-no-10-of-2008-lex-faoc085322/>

PARLAMENTO DA RUANDA. **Artigo 11, Lei No. 52/2018**, Ruanda, 2018. Disponível em https://rura.rw/fileadmin/Documents/Energy/RegulationsGuidelines/Law_modifying_Electricity_law_of_2011-83-97.pdf

PARLAMENTO DA RUANDA. **Artigo 51, Lei No. 21/2011**, Ruanda, 2011. Disponível em: https://rura.rw/fileadmin/Documents/Energy/RegulationsGuidelines/Law_modifying_Electricity_law_of_2011-83-97.pdf

PASSOS JÚNIOR, Leandro Aparecido *et al.* Unsupervised non-technical losses identification through optimum-path forest. **Electric Power Systems Research**, v. 140, p. 413–423, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2016.05.036>

PEREZ-PEREZ, Marta *et al.* A critical review of manufacturing and supply chain research through co-words analysis: 2004–2014. **2015 International Conference on Logistics, Informatics and Service Sciences (LISS) IEEE**, 2015. p. 1–6. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/LISS.2015.7369624>

POLÔNIA. **Artigo 278 do Código Penal Polonês**, Polônia, 1997. Disponível em: https://www.legislationline.org/download/id/7354/file/Poland_CC_1997_en.pdf

PORTUGAL. **Artigo 204 do Código Penal Português**, Portugal, 2013. Disponível em: https://www.legjur.com/legislacao/art/dcl_00028481940-204

PUNMIYA, Rajiv; CHOE, Sangho. Energy theft detection using gradient boosting theft detector with feature engineering-based preprocessing. **IEEE Transactions on Smart Grid**, v. 10, n. 2, p. 2326–2329, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TSG.2019.2892595>

QU, Zhijian *et al.* A combined genetic optimization with AdaBoost ensemble model for anomaly detection in buildings electricity consumption. **Energy and Buildings**, v. 248, p. 111193, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111193>

RAGGI, Livia M. R. *et al.* Non-Technical Loss Identification by Using Data Analytics and Customer Smart Meters. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 35, n. 6, p. 2700–2710, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2020.2974132>

RAMOS, Caio César Oba *et al.* A new approach for nontechnical losses detection based on optimum-path forest. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 26, n. 1, p. 181–189, 2011a. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2010.2051823>

RAMOS, Caio César Oba *et al.* A novel algorithm for feature selection using Harmony Search and its application for non-technical losses detection. **Computers and Electrical Engineering**, v. 37, n. 6, p. 886–894, 2011b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2011.09.013>

RAMOS, Caio César Oba *et al.* New insights on nontechnical losses characterization through evolutionary-based feature selection. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 27, n. 1, p. 140–146, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2011.2170182>

RAMOS, Caio César Oba *et al.* On the study of commercial losses in Brazil: A binary black hole algorithm for theft characterization. **IEEE Transactions on Smart Grid**, v. 9, n. 2, p. 676–683, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TSG.2016.2560801>

RAZAVI, Rouzbeh. *et al.* A practical feature-engineering framework for electricity theft detection in smart grids. **Applied Energy**, v. 238, p. 481–494, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.076>

RAZAVI, Rouzbeh; FLEURY, Martin. Socio-economic predictors of electricity theft in developing countries: An Indian case study. **Energy for Sustainable Development**, v. 49, p. 1–10, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.esd.2018.12.006>

REDISKE, Graciele *et al.* Determinant factors in site selection for photovoltaic projects: A systematic review. **International Journal of Energy Research**, v. 43, n. 5, p. 1689–1701, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/er.4321>

RUFÍN, Carlos; DE MIRANDA, Murilo; MOSKOWICZ, Maurício. International experiences of criminal violence and delivery of urban basic services: the case of electricity. **Environment and Urbanization**, v. 32, n. 2, p. 599–614, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0956247820919110>

SAJID, Zaman; JAVAID, Asma. A stochastic approach to energy policy and management: A case study of the Pakistan energy crisis. **Energies**, v. 11, n. 9, p. 2424, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en11092424>

SALINAS, Sergio A.; LI, Pan. Privacy-Preserving Energy Theft Detection in Microgrids: A State Estimation Approach. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 31, n. 2, p. 883–894, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2015.2406311>

SALINAS, Sergio A.; LI, Ming; LI, Pan. Privacy-preserving energy theft detection in smart grids: A P2P computing approach. **IEEE Journal on Selected Areas in Communications**, v. 31, n. 9, p. 257–267, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/JSAC.2013.SUP.0513023>

SAMUEL, Omaji *et al.* Leveraging blockchain technology for secure energy trading and least-cost evaluation of decentralized contributions to electrification in sub-Saharan Africa. **Entropy**, v. 22, n. 2, p. 226, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/e22020226>

SANGODE, Pallawi Baldeo; METRE, Sujit G. Power distribution operational risk model driven by FMEA and ISM approach. **International Journal of Quality and Reliability Management**, v. 38, n. 7, p. 1445-1465, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/IJQRM-06-2019-0206>

SANTILIO, Fabrício P. *et al.* Non-technical Losses Detection: An Innovative No-Neutral Detector Device for Tampered Meters. **Journal of Control, Automation and Electrical Systems**, v. 31, n. 2, p. 521–533, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40313-019-00533-3>

SAVIAN, Fernando de Souza *et al.* Non-technical Losses in Electricity Distribution: a Bibliometric Analysis. **IEEE Latin America Transactions**, v. 19, n. 3, p. 359–368, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TLA.2021.9447584>

SCOPUS. **Scopus Content Coverage Guide**, 2017. Disponível em: https://www.elsevier.com/_data/assets/pdf_file/0007/69451/Scopus_ContentCoverage_Guide_WEB.pdf

SECRETARIADO DE ESTADO DO REINO UNIDO. **The Electricity Safety, Quality and Continuity Regulations 2002**, Reino Unido, 2002. Disponível em: https://www.legislation.gov.uk/ukxi/2002/2665/pdfs/ukxi_20022665_en.pdf

SHAH, Abdullah L.; MESBAH, Wessam; AL-AWAMI, Ali T. An Algorithm for Accurate Detection and Correction of Technical and Nontechnical Losses Using Smart Metering. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, v. 69, n. 11, p. 8809–8820, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TIM.2020.2999175>

SHARMA, Tanushree *et al.* Of pilferers and poachers: Combating electricity theft in India. **Energy Research and Social Science**, v. 11, p. 40–52, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.08.006>

SILVA, Lucimário G. de Oliveira; DA SILVA, Albérico A. P.; DE ALMEIDA-FILHO, Adiel Teixeira. Allocation of power-quality monitors using the p-median to identify nontechnical losses. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 31, n. 5, p. 2242–2249, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2016.2555282>

SIMÕES, Paulo Fernando Mahaz *et al.* Analysis and short-term predictions of non-technical loss of electric power based on mixed effects models. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 71, p. 100804, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.seps.2020.100804>

SMITH, Thomas B. Electricity theft: A comparative analysis. **Energy Policy**, v. 32, n. 18, p. 2067–2076, 2004. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(03\)00182-4](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(03)00182-4)

SOMUNCU, Tugba; HANNUM, Christopher. The rebound effect of energy efficiency policy in the presence of energy theft. **Energies**, v. 11, n. 12, p. 3379, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en11123379>

SUÉCIA. **Seção 10 do Código Criminal Sueco**, Suécia, 2019. Disponível em: <https://www.government.se/4b0103/contentassets/7a2dcae0787e465e9a2431554b5eab03/the-swedish-criminal-code.pdf>

SUIÇA. **Artigo 142 do Código Penal Suíço**, Suíça, 1937. Disponível em: https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/54/757_781_799/en

TAKIDDIN, Abdulrahman *et al.* Detecting Electricity Theft Cyber-Attacks in AMI Networks Using Deep Vector Embeddings. **IEEE Systems Journal**, v. 15, n. 3, p. 4189–4198, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/JSYST.2020.3030238>

TAN, Song *et al.* Survey of Security Advances in Smart Grid: A Data Driven Approach. **IEEE Communications Surveys and Tutorials**, v. 19, n. 1, p. 397–422, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/COMST.2016.2616442>

TANZÂNIA. **Artigo 283, Capítulo XXVII do Código Penal Tanzanês**, República Unida da Tanzânia, 1981. Disponível em: <https://www.refworld.org/docid/3ae6b5de0.html>

TARIQ, Muhammad; POOR, H. Vincent. Electricity Theft Detection and Localization in Grid-Tied Microgrids. **IEEE Transactions on Smart Grid**, v. 9, n. 3, p. 1920–1929, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TSG.2016.2602660>

TASDOVEN, Hidayet; FIEDLER, Beth Ann; GARAYEV, Vener. Improving electricity efficiency in Turkey by addressing illegal electricity consumption: A governance approach. **Energy Policy**, v. 43, p. 226–234, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.12.059>

TOLEDO-OROZCO, Marco *et al.* Innovative Methodology to Identify Errors in Electric Energy Measurement Systems in Power Utilities. **Energies**, v. 14, n. 4, p. 958, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en14040958>

TURQUIA. **Seção 184 do Código Criminal Turco**, Turquia, 2004. Disponível em: https://www.legislationline.org/download/id/6453/file/Turkey_CC_2004_am2016_en.pdf

UGANDA. **Artigo 283, Capítulo XVI do Código Penal Ugandês**, Uganda, 1950. Disponível em: <https://old.ulii.org/ug/legislation/consolidated-act/120>

UNAL, Fatih *et al.* Big Data-Driven Detection of False Data Injection Attacks in Smart Meters. **IEEE Access**, v. 9, p. 144313–144326, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3122009>

VAHABZADEH, Alireza *et al.* A fuzzy-SOM method for fraud detection in power distribution networks with high penetration of roof-top grid-connected PV. **Energies**, v. 13, n. 5, p. 1287, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en13051287>

VENTURA, Lucas de Oliveira *et al.* A new way for comparing solutions to non-technical electricity losses in South America. **Utilities Policy**, v. 67, p. 101113, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jup.2020.101113>

VIEGAS, Joaquim. L. *et al.* Solutions for detection of non-technical losses in the electricity grid: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 80, p. 1256–1268, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.193>

VIEGAS, Joaquim L.; ESTEVES, Paulo R.; VIEIRA, Susana M. Clustering-based novelty detection for identification of non-technical losses. **International Journal of Electrical Power and Energy Systems**, v. 101, p. 301–310, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2018.03.031>

VIEIRA, Letícia Canal; AMARAL, Fernando Gonçalves. Barriers and strategies applying Cleaner Production: a systematic review. **Journal of Cleaner Production**, v. 113, p. 5–16, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2015.11.034>

VILLAR-RODRIGUEZ, Esther *et al.* Detection of non-technical losses in smart meter data based on load curve profiling and time series analysis. **Energy**, v. 137, p. 118–128, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.07.008>

WINTHER, Tanja. Electricity theft as a relational issue: A comparative look at Zanzibar, Tanzania, and the Sunderban Islands, India. **Energy for Sustainable Development**, v. 16, n. 1, p. 111–119, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.esd.2011.11.002>

WONG, Jason Chun Yu *et al.* Perceptions and acceptability of electricity theft: Towards better public service provision. **World Development**, v. 140, p. 105301, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.105301>

XIA, Xiaofang *et al.* A Control Chart based Detector for Small-amount Electricity Theft (SET) Attack in Smart Grids. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 9, n. 9, p. 6745–6762, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/JIOT.2021.3113348>

XIA, Xiaofang *et al.* Coded grouping-based inspection algorithms to detect malicious meters in neighborhood area smart grid. **Computers and Security**, v. 77, p. 547–564, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cose.2018.05.004>

XIA, Xiaofang *et al.* GTHI: A Heuristic Algorithm to Detect Malicious Users in Smart Grids. **IEEE Transactions on Network Science and Engineering**, v. 7, n. 2, p. 805–816, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TNSE.2018.2855139>

XIA, Xiaofang; XIAO, Yang; LIANG, Wei. ABSI: An Adaptive Binary Splitting Algorithm for Malicious Meter Inspection in Smart Grid. **IEEE Transactions on Information Forensics and Security**, v. 14, n. 2, p. 445–458, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TIFS.2018.2854703>

XIAO, Zhifeng; XIAO, Yang; DU, David Hung-chang. Non-repudiation in neighborhood area networks for smart grid. **IEEE Communications Magazine**, v. 51, n. 1, p. 18–26, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/MCOM.2013.6400434>

YAKUBU, Osman; BABU, Narendra C.; ADJEI, Osei. Electricity theft: Analysis of the underlying contributory factors in Ghana. **Energy Policy**, v. 123, p. 611–618, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.09.019>

YIP, Sook Chin *et al.* Detection of energy theft and defective smart meters in smart grids using linear regression. **International Journal of Electrical Power and Energy Systems**, v. 91, p. 230–240, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2017.04.005>

YORUKOGLU, Sinan *et al.* The effect of the types of network topologies on nontechnical losses in secondary electricity distribution systems. **IEEE Transactions on Industry Applications**, v. 52, n. 5, p. 3631–3643, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TIA.2016.2582820>

YURTSEVEN, Çağlar. The causes of electricity theft: An econometric analysis of the case of Turkey. **Utilities Policy**, v. 37, p. 70–78, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jup.2015.06.008>

ZANARDO, Rafael Petri *et al.* Energy audit model based on a performance evaluation system. **Energy**, v. 154, p. 544–552, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.04.179>

ZANETTI, Marcelo *et al.* A Tunable Fraud Detection System for Advanced Metering Infrastructure Using Short-Lived Patterns. **IEEE Transactions on Smart Grid**, v. 10, n. 1, p. 830–840, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TSG.2017.2753738>

ZHENG, Kedi *et al.* A Novel Combined Data-Driven Approach for Electricity Theft Detection. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 15, n. 3, p. 1809–1819, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TII.2018.2873814>

ZHENG, Zibin *et al.* Wide and Deep Convolutional Neural Networks for Electricity-Theft Detection to Secure Smart Grids. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 14, n. 4, p. 1606–1615, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TII.2017.2785963>

ZHOU, Yuchen *et al.* A Dynamic Programming Algorithm for Leveraging Probabilistic Detection of Energy Theft in Smart Home. **IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing**, v. 3, n. 4, p. 502–513, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TETC.2015.2484841>

ZYOUD, Shaher H.; FUCHS-HANUSCH, Daniela. A bibliometric-based survey on AHP and TOPSIS techniques. **Expert Systems with Applications**, v. 78, p. 158–181, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2017.02.016>

4 ARTIGO 3 - PERDAS NÃO TÉCNICAS NO BRASIL: VISÃO GERAL, DESAFIOS E DIREÇÕES PARA IDENTIFICAÇÃO E MITIGAÇÃO

Fernando de Souza Savian, Julio Cezar Mairesse Siluk, Taís Bisognin Garlet, Felipe Moraes do Nascimento, José Renes Pinheiro, Zita Vale

Uma versão em inglês deste artigo foi publicada em 18 de maio de 2022 no periódico International Journal of Energy Economics and Policy (Qualis A1; Percentil Scopus: 90%).

Resumo: As perdas não técnicas são diretamente responsáveis por afetar a qualidade do sistema de distribuição de eletricidade e geram problemas econômicos significativos em países em desenvolvimento. No Brasil, houve um avanço nas regulações de combate a esse tipo de perdas nos últimos 15 anos. Contudo, o índice de eletricidade consumida não faturada ainda é alto, impactando na tarifa de energia elétrica e na capacidade de investimento das distribuidoras, e criando dificuldades na formulação de políticas públicas de mitigação do problema. Dessa forma, esse capítulo busca apresentar o panorama do combate às perdas não técnicas no Brasil e propor direcionamentos para as atuações legislativa, regulatória, mercadológica e acadêmica. Para isso, foram realizadas 28 entrevistas semiestruturadas com especialistas, resultando nos principais desafios para identificação e mitigação de perdas não técnicas no Brasil e fatores que auxiliam no combate ao problema. Os resultados demonstram que ações estratégicas coordenadas entre todos *stakeholders* precisam ser desenvolvidas para combater as perdas não técnicas, e que a mudança cultural de aceitação ao furto de eletricidade precisa ser um dos principais focos de atuação no país. A principal contribuição desse capítulo é divulgar informações às autoridades regulatórias e legislativas, governo, concessionárias e pesquisadores de forma que possam desenvolver meios efetivos de mitigação de perdas não técnicas no Brasil.

Palavras-chave: Distribuição de eletricidade. Furto de Eletricidade. Perda Não Técnica. Perspectiva dos *Stakeholders*.

Abreviações:

ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica

CCEE: Câmara de Comercialização de Energia Elétrica

MPF: Ministério Público Federal

PL: Projeto de Lei

PNT: Perda não técnica

PRORET: Procedimentos de Regulação Tarifária

P&D: Pesquisa e Desenvolvimento

4.1 INTRODUÇÃO

A qualidade na distribuição de eletricidade é um fator crucial para a competitividade industrial e para o bem-estar da sociedade (LUQMAN; HAQ; AHMAD, 2021; TEHERO; AKA; ÇOKGEZEN, 2020). Em países em desenvolvimento, a infraestrutura da rede de distribuição tende a ser mais precária e altamente subsidiada, gerando desafios políticos e regulatórios associados à recuperação de investimentos (MORI, 2021). Nesse cenário, uma das maiores metas de desenvolvimento é relacionada a reformas no setor de energia elétrica, de forma a tornar a eletricidade acessível para toda a população (DERTINGER; HIRTH, 2020). Contudo, a capacidade de investimento das distribuidoras e a qualidade da rede são comprometidas porque nem toda eletricidade consumida é faturada (LEWIS, 2015; SMITH, 2004). Essa parcela de energia elétrica corresponde às perdas não técnicas, que podem ser causadas por furto de eletricidade, fraude, inadimplência, erros de faturamento, medidores defeituosos, entre outros (CORTON; ZIMMERMANN; PHILLIPS, 2016; SAVIAN et al., 2021a; ZANETTI et al., 2019)

A crescente demanda por energia elétrica, aliada às condições socioeconômicas de um país de dimensões continentais como o Brasil, gera um cenário complexo para o combate às perdas não técnicas (MACIEL et al., 2020; SIMÕES et al., 2020). Concessionárias, legisladores, pesquisadores, órgãos governamentais e a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) dedicam esforços para minimizar essa parcela de energia perdida. No entanto, as perdas não técnicas (PNT) são causadas por fatores externos ao sistema de distribuição (GHASEMI; GITIZADEH, 2018), e por isso criam desafios para identificação e mitigação que só podem ser solucionados através de políticas públicas, regulações e legislações que tenham a colaboração de todos os *stakeholders* do setor (SAVIAN, 2021a).

Em 2019, as perdas não técnicas no Brasil totalizaram 35,9 TWh, o que corresponde a cerca de US\$ 7,9 bilhões. O repasse tarifário dos níveis eficientes das PNT é previsto nos contratos de concessão das distribuidoras e há compensação nos custos de compra de energia até o limite regulatório estabelecido pela ANEEL (ANEEL, 2015, 2021b). Dessa forma, a parcela das PNT que está dentro do limite regulatório estabelecido pela agência é repassada pela concessionária ao consumidor na tarifa. Ainda, existem mecanismos legais para combater as perdas

não técnicas no país. O furto de eletricidade, que no Brasil corresponde à principal parcela de perdas não técnicas, é considerado crime, passível de multa e prisão (BRASIL, 1940). Essas medidas legais estão em consonância com as adotadas por outros países, porém a sua aplicação depende de fatores como disponibilidade de contingente policial, delegacias especializadas em furto de eletricidade, índice de criminalidade da região e acessibilidade da concessionária em conjunto com a polícia para fazer o flagrante do crime.

Métodos mais eficientes de detecção de perdas não técnicas têm sido desenvolvidos por concessionárias brasileiras. Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) em parceria com acadêmicos de centros de pesquisa e universidades são incentivados pela agência reguladora, e proporcionam avanços para controle do problema a curto, médio e longo prazos (SAVIAN et al., 2021b). Entretanto, destaca-se que as pesquisas precisam compreender o problema de maneira global, considerando variáveis técnicas, sociais, econômicas, culturais e geográficas específicas de cada região de concessão (VENTURA et al., 2020). Analisar o problema sob uma única ótica em um país de grandes dimensões como o Brasil leva à criação de métodos de identificação e estratégias de mitigação de perdas não técnicas menos efetivas. Ainda, informações estratégicas sobre PNT precisam ser pesquisadas e divulgadas para auxiliar reguladores, legisladores e governo a desenvolverem ações concretas que tragam resultados benéficos para todos os setores da sociedade e do mercado. Dessa forma, essa pesquisa teve como objetivo apresentar o panorama do combate às perdas não técnicas no Brasil e propor direcionamentos para a atuação legislativa, regulatória, mercadológica e acadêmica no país. Para isso, esse capítulo buscou identificar os fatores que auxiliam e dificultam na identificação e na mitigação das perdas não técnicas no Brasil através de entrevistas semiestruturadas com 28 especialistas do setor, englobando funcionários e diretores de concessionárias, reguladores, membros do governo, legisladores, policiais e pesquisadores.

Esse estudo expande e complementa a literatura existente sobre perdas não técnicas e política energética ao auxiliar a compreender as dimensões socioeconômicas e político-institucionais do furto de eletricidade em um país em desenvolvimento, seguindo a sugestão de Never (2015). Além disso, reafirma que as causas das perdas não técnicas na distribuição são profundamente enraizadas em questões sociais e na qualidade da governança para serem resolvidas apenas no setor de energia elétrica, em consonância com Dertinger e Hirth (2020). Adicionalmente à conclusão de Sirin e Gonul (2016), de que novas regulamentações devem ter como objetivo aumentar a transparência e a disseminação de informações e reduzir processos burocráticos aos consumidores, salienta-se que o cenário brasileiro depende de regulações baseadas em incentivos às concessionárias e que considerem as diferenças sociais, econômicas, culturais

e geográficas de cada região do país. Os resultados permitem auxiliar na formulação de estratégias regulatórias, legislativas e de desenvolvimento científico-tecnológico para minimizar os impactos negativos das perdas não técnicas nas concessionárias de distribuição de eletricidade e na sociedade.

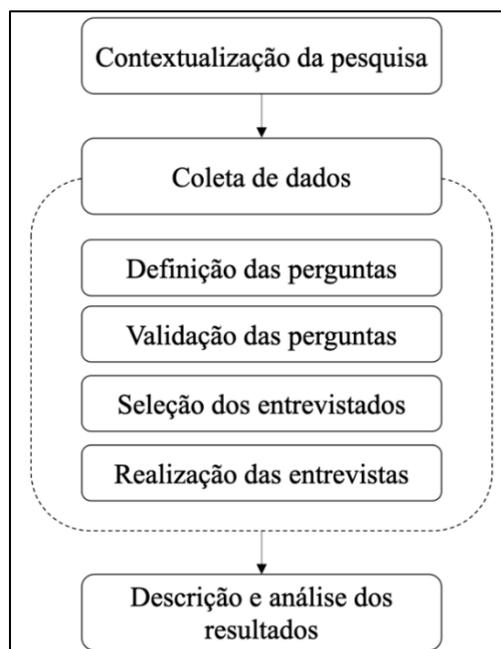
Este capítulo está estruturado em quatro subseções. A subseção 4.2 apresenta o método de pesquisa, descrevendo as etapas necessárias para a realização do estudo qualitativo. A subseção 4.3 apresenta a descrição das entrevistas realizadas e a análise das informações obtidas, enquanto a subseção 4.4 estabelece as considerações finais, enfatizando as implicações do estudo para política.

4.2 MÉTODOS

A metodologia utilizada foi baseada em uma abordagem qualitativa exploratória, e foi organizada em três etapas principais, apresentadas na Figura 6. Para obtenção dos dados, foram realizadas entrevistas semiestruturadas com 28 especialistas da área de forma *online*, através de formulário ou videochamadas, dependendo da disponibilidade dos entrevistados. Entrevistas semiestruturadas são compostas por um guia de entrevista que inclui perguntas direcionadas e abertas, permitindo flexibilidade aos entrevistados para que elaborem suas respostas espontaneamente e criando oportunidades para que novas ideias sejam expressas (AIKENHEAD et al., 2015; GARLET et al., 2019). Pesquisas qualitativas já foram utilizadas em pesquisas relacionadas a perdas não técnicas, possibilitando a obtenção de avanços no tema nos campos teórico, prático e político (NEVER, 2015; YAKUBU; BABU; ADJEI, 2018).

A primeira etapa compreendeu a contextualização teórica da pesquisa relacionada a perdas não técnicas no Brasil, com a identificação das principais pesquisas publicadas e das regulações e legislações vigentes na área. Após a definição das dimensões a serem pesquisadas, a etapa de coleta de dados envolveu a construção dos questionários, a validação das perguntas com especialistas da área, a seleção de respondentes e a condução das entrevistas. Os resultados obtidos foram descritos e analisados na última etapa metodológica da pesquisa. As subseções seguintes detalham as três etapas mencionadas.

Figura 6 – Etapas metodológicas



Fonte: Autor.

4.2.1 Contextualização da pesquisa

A partir da definição da questão e do objetivo da pesquisa, uma revisão da literatura científica sobre perdas não técnicas no Brasil foi realizada na base de dados *Scopus*. A *string* de busca utilizada foi *title-abstract-keywords ("non-technical loss*" OR "electricity theft") AND Brazil*, sem filtro de tempo e idioma, retornando nove artigos relevantes para a pesquisa publicados em *conference proceedings* e *journals*.

Canaes e Grimoni (2012) apresentam o desenvolvimento de um plano de eficiência energética de uma concessionária brasileira com objetivo de reduzir a cultura da inadimplência na região. Simões et al. (2020) estimam, analisam e preveem perdas não técnicas de curto prazo em distribuidoras brasileiras levando em consideração variáveis sociais e econômicas. Arango et al. (2017) analisam como o furto de eletricidade impacta economicamente nas distribuidoras, nos consumidores e na sociedade como um todo, enquanto Bastos et al. (2009) quantificam as fontes de perdas não técnicas e a distribuição regional delas no Brasil.

Corton et al. (2016) identificam que o impacto sobre os custos operacionais do sistema elétrico brasileiro é maior quando as perdas não técnicas aumentam em comparação com o efeito do custo devido ao aumento na duração das interrupções de potência. Boccardo et al. (2010) trazem a avaliação de *software* de medidores inteligentes dentro de uma perspectiva

legal de metrologia no Brasil, enquanto De Araujo et al. (2014) analisam a relação entre as variáveis comportamentais de pagamento e delinquência em um estado brasileiro. Hammerschmitt et al. (2020) buscam clarificar como as perdas não técnicas são caracterizadas e calculadas pela agência regulatória do Brasil, e Leite et al. (2020) apresentam um modelo alternativo ao da Agência Nacional de Energia Elétrica para definição de metas regulatórias.

Quanto às responsabilidades dos agentes públicos no âmbito nacional referente às perdas não técnicas, o Congresso Nacional possui a responsabilidade de propor novas leis que correspondam à pena prevista para casos de furto de eletricidade e demais aspectos legais. À Polícia Civil, cabe a investigação de casos relacionados ao furto e fraude de eletricidade, e ao Ministério Público Federal (MPF) a análise macro do sistema elétrico brasileiro e a verificação da forma de atuação da ANEEL, que é uma autarquia federal em regime especial vinculada ao Ministério de Minas e Energia. Cabe à ANEEL definir todo o cenário regulatório das perdas não técnicas no país, e a cada revisão tarifária definir um referencial regulatório de perdas que leve em consideração o desempenho das concessionárias sobre o tema. As agências reguladoras estaduais são subordinadas à ANEEL, e cumprem principalmente ações de execução a depender das demandas da agência reguladora nacional. Ainda, a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) é responsável por apurar mensalmente as perdas na rede básica, conforme dados de medição de geração e energia entregue às redes de distribuição (MPF, 2019).

Também foram analisadas regulações e legislações brasileiras vigentes e propostas. Nesse contexto, a ANEEL criou em 2011 os Procedimentos de Regulação Tarifária (PRORET), com caráter normativo e para consolidar a regulamentação acerca dos processos tarifários no Brasil (ANEEL, 2011). Os submódulos 2.2 (ANEEL, 2018a) e 2.2A (ANEEL, 2018b), relacionados aos custos operacionais e receitas irrecuperáveis, e o submódulo 2.6 (ANEEL, 2015), relacionado às perdas de energia, regulamentam os processos relacionados às perdas não técnicas no Brasil. O submódulo 2.6 do PRORET estabelece a metodologia a ser utilizada para a definição das perdas de energia regulatórias nas Revisões Tarifárias Periódicas das concessionárias de serviço público de distribuição de eletricidade. Para isso, dispõe de um *ranking* de complexidade socioeconômica das áreas de concessão e estabelece metas de perdas não técnicas regulatórias que são definidas por meio de *benchmarking* entre as concessionárias. É permitido às distribuidoras repassarem as perdas não técnicas que estão dentro dos limites regulatórios aos consumidores através da tarifa de eletricidade (ANEEL, 2015). A melhoria da regulação é periódica, sendo que em 2020 houve consulta pública para obter subsídios para o aprimoramento metodológico do tratamento das perdas de energia e receitas irrecuperáveis (ANEEL, 2020).

Existem Projetos de Lei (PL) relacionados a perdas não técnicas tramitando no Congresso Nacional brasileiro. O PL 5457/2016 dispõe sobre a exclusão da cobrança pela previsão de ligações clandestinas e inadimplência da base de cálculo das contas de energia elétrica, e propõe a limitação em 5% das compensações por perdas técnicas e não técnicas na transmissão e distribuição de energia elétrica (LOPES, 2016). O PL 5324/2019 busca vedar a inclusão das perdas não técnicas nas tarifas de fornecimento de energia elétrica praticadas pelas concessionárias e permissionárias do serviço público de distribuição de energia elétrica no Brasil (MARINHO, 2019). Já o PL 1569/2019 visa obrigar as concessionárias e permissionárias de serviço público de distribuição de energia elétrica a informarem nas faturas de energia a parcela da tarifa de energia elétrica correspondente às perdas não técnicas (RIBEIRO, 2019). Ainda, o Código Penal Brasileiro prevê multa e prisão de um a quatro anos para aqueles que furtarem eletricidade, com possibilidade de a pena ser estendida a cinco anos caso o furto ocorra durante o descanso noturno (BRASIL, 1940).

Através das informações obtidas nos artigos científicos e nos documentos regulatórios e legislativos, foi observado que existem contrastes entre os objetivos das publicações. Dessa forma, de modo a traçar um panorama geral sobre perdas não técnicas no Brasil, optou-se por desenvolver o restante da metodologia dessa pesquisa analisando quatro dimensões: de negócio, sob o ponto de vista das distribuidoras de eletricidade; regulatório, sob o ponto de vista da agência reguladora; legislativo, sob o ponto de vista da formulação e aplicação das leis; e de conhecimento, sob o ponto de vista da pesquisa científica.

4.2.2 Coleta de dados

A partir da verificação da necessidade de abordar o problema sob quatro dimensões, foram desenvolvidos quatro questionários, apresentados nos Apêndices A a D. As perguntas foram desenvolvidas com base no conhecimento obtido através da contextualização teórica da pesquisa. Então, os questionários passaram por processo de validação com especialistas da área, que sugeriram eventuais modificações e novas perguntas, além de verificarem se o que foi proposto seria suficiente para responder à questão e aos objetivos da pesquisa. Sob o ponto de vista de negócios, o questionário foi validado por um mestre em sistemas e processos industriais, que atua como assistente técnico de uma distribuidora de eletricidade há mais de 19 anos. Sob a perspectiva regulatória, o questionário foi validado por um doutor em engenharia elétrica que atua como especialista em regulação de serviços públicos de energia há mais de 15 anos. Na dimensão legislativa, o questionário foi validado por um deputado estadual com dois anos de

atuação. Sob a perspectiva de conhecimento, o questionário foi validado por um doutor em engenharia elétrica, com mais de 11 anos de experiência em pesquisa em uma universidade federal do Brasil, e por uma doutora em engenharia elétrica com mais de 27 anos de experiência em pesquisa na área de energia.

Considerando a característica exploratória da pesquisa, foi utilizada uma abordagem qualitativa por meio de entrevistas semiestruturadas conduzidas através de formulário e videochamadas. A seleção dos respondentes foi feita intencionalmente, buscando incluir profissionais brasileiros com ampla experiência na área de perdas não técnicas. Segundo Never (2015), em uma pesquisa qualitativa o ponto de saturação para entrevistas é geralmente atingido quando entrevistas adicionais não contêm novas informações em assuntos chaves. Dessa forma, a amostra consistiu em 28 entrevistados, sendo 10 na dimensão de Negócios, quatro na dimensão Regulatória, três na dimensão Legislativa e 11 na dimensão de Conhecimento.

A relevância da amostra é verificada em todas as dimensões. Os entrevistados da dimensão de negócios abrangem 41,51 % das concessionárias de distribuição de eletricidade do Brasil, sendo que alguns deles atuam em grupos com mais de uma distribuidora em 17 estados do país: Acre, Alagoas, Amazonas, Maranhão, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Minas Gerais, Pará, Paraíba, Paraná, Piauí, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Rondônia, São Paulo, Sergipe e Tocantins. Essas concessionárias são responsáveis por 46,65 % da energia injetada, 47,68 % do mercado de baixa tensão, 61,77 % das perdas não técnicas e 63,36 % das perdas não técnicas regulatórias do país (ANEEL, 2021a). Três entrevistados da dimensão regulatória atuam ou já atuaram na ANEEL, sendo responsáveis por discussões e metodologias regulatórias que culminaram no modelo em vigor hoje no país. Além disso, um dos entrevistados atua no Ministério Público Federal (MPF) e coordenou pesquisas e estudos técnicos para criação do *“Roteiro de Atuação: Perdas Não Técnicas de Engenharia Elétrica – Volume 4”*, do MPF (MPF, 2019). Na dimensão legislativa, 66 % dos proponentes de projetos de lei em trâmite no Congresso Nacional sobre o tema foram entrevistados, além de um delegado de Polícia Civil com ampla experiência no tema. Ainda, na dimensão de conhecimento, os respondentes possuem índice-h médio de 6,09 na *Scopus* e tempo médio de atuação na área de 7,73 anos, e possuem 36 artigos publicados sobre perdas não técnicas, com 286 citações no total.

O perfil dos respondentes é descrito na Tabela 12. De forma a preservar a identidade dos respondentes e possíveis conflitos de interesse, os códigos “Bi”, “Ri”, “Li” e “Ki” foram utilizados para entrevistados das dimensões de negócio, regulatória, legislativa e de conhecimento, respectivamente.

Tabela 12 – Perfil dos respondentes

(continua)

Código	Perfil
B1	Mestre em Economia, com ênfase em regulação, possui 12 anos de atuação em no setor. Atualmente, é Gerente Corporativo de Regulação da Distribuição e Transmissão em uma grande concessionária de distribuição de eletricidade com abrangência de quatro estados do Brasil.
B2	Engenheiro Eletricista, possui 10 anos de experiência e atuação no controle de perdas não técnicas. Atualmente, é Coordenador de Medição e Combate às Perdas em uma concessionária de distribuição de eletricidade no Brasil.
B3	Engenheiro Eletricista, com um ano e meio de atuação no combate às perdas não técnicas. Atualmente, é Analista de Perdas Comerciais em uma grande concessionária de distribuição de eletricidade, com abrangência de oito estados do Brasil.
B4	Engenheiro Eletricista, com 12 anos de atuação no combate às perdas não técnicas. Atualmente, é Coordenador de Medição e Combate às Perdas, com atuação uma grande concessionária de distribuição de eletricidade, abrangendo 10 estados do Brasil.
B5	Engenheiro Eletricista, com seis anos de experiência e atuação no controle de perdas não técnicas. Atualmente, é Gerente de Serviços de Recuperação de Energia em uma concessionária de abrangência em dois estados do Brasil.
B6	Engenheiro Eletricista, com três meses de atuação em perdas não técnicas. Atualmente, é Coordenador de Recuperação de Energia em uma concessionária de distribuição de eletricidade brasileira.
B7	Engenheiro Eletricista, com 15 anos de atuação no combate às perdas não técnicas. Atualmente, é Engenheiro de Análise de Perdas em uma concessionária de distribuição de eletricidade brasileira.
B8	Engenheiro de Controle e Automação, atua há 15 anos no combate às perdas não técnicas. Atualmente, é Técnico de Medição de Energia em uma concessionária de distribuição de eletricidade brasileira.
B9	Gerente de Inspeções de Perdas Comerciais em uma concessionária de distribuição de eletricidade brasileira, possui 20 anos de atuação no setor.
B10	Engenheiro Eletricista, é Gerente Regional de uma concessionária de distribuição de eletricidade brasileira. Possui 13 anos de atuação no setor.
R1	Economista, é Especialista em Regulação e Diretor no Ministério de Minas e Energia há mais de dois anos.
R2	Mestre em Engenharia Elétrica, atuou como especialista em regulação em agência reguladora do setor por 13 anos.
R3	Economista, é analista e perita em economia do Ministério Público da União.
R4	Doutor em Planejamento Energético, é Especialista em Regulação em agência reguladora do setor. Possui 23 anos de atuação no tema.
L1	Deputado Federal desde 2011, é proponente de um projeto de lei relacionado a perdas não técnicas.
L2	Bacharel em Direito, é Delegado Regional de Polícia Civil há mais de cinco anos. Atua na área há 21 anos.
L3	Senador da República desde 2019, é proponente de um projeto de lei relacionado a perdas não técnicas.

Tabela 12 – Perfil dos respondentes

(conclusão)

Código	Perfil
K1	Doutor em Engenharia Elétrica, é professor e pesquisador de uma universidade norte-americana. Possui 12 anos de atuação em perdas não técnicas.
K2	Doutor em Engenharia Elétrica, faz pós-doutorado em um laboratório de pesquisa e desenvolvimento norte-americano.
K3	Doutor em Ciências da Computação, é pesquisador de pós-doutorado em uma universidade do Brasil.
K4	Doutor em Engenharia Elétrica, é professor e pesquisador em uma universidade federal do Brasil. Possui 15 anos de atuação no setor.
K5	Engenheira Eletricista e mestranda em Sistemas de Energia em uma universidade federal do Brasil. Possui sete anos de experiência no setor.
K6	Mestre em Engenharia Elétrica, é doutorando em sistemas de energia em Sistemas de Energia em uma universidade federal do Brasil. Possui quatro anos de experiência no setor.
K7	Mestre em Engenharia Elétrica, é pesquisador em um centro de pesquisa brasileiro.
K8	Engenheiro Eletricista, é pesquisador em um centro de pesquisas brasileiro. Possui quatro anos de experiência no setor.
K9	Doutor em Engenharia Elétrica, é professor e pesquisador em uma universidade federal do Brasil. Possui seis anos de atuação no setor.
K10	Bacharel em Ciência e Tecnologia, é estudante de Engenharia de Energia e pesquisador em uma universidade federal do Brasil. Possui dois anos de experiência no setor.
K11	Doutor em Engenharia Elétrica, é professor e pesquisador em uma universidade federal do Brasil. Possui 18 anos de atuação no setor.

Fonte: Autor.

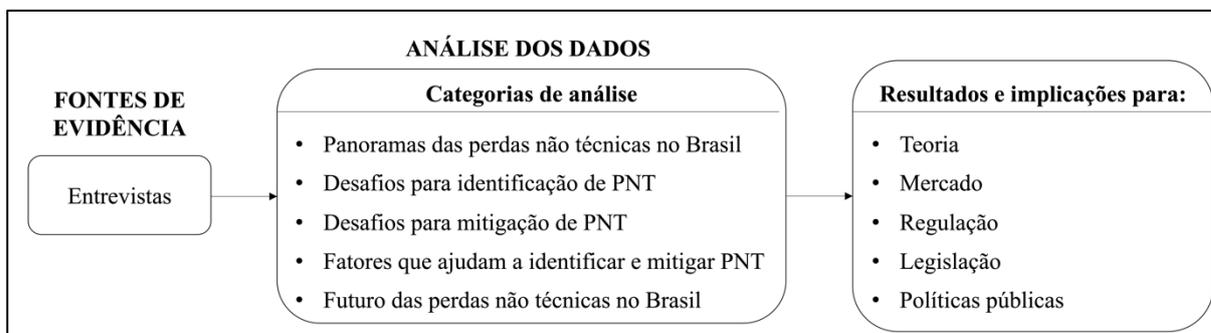
As entrevistas foram realizadas de forma virtual, entre os meses de setembro e dezembro de 2020. Ressalta-se que todas as informações obtidas dos entrevistados representam suas opiniões pessoais, e não institucionais. Os dados foram gravados com o consentimento dos respondentes e posteriormente transcritos e compilados em um documento utilizando o *Microsoft Excel*[®]. Ressalta-se também que na condução do estudo foram utilizadas notas detalhadas das entrevistas, que possibilitam a estabilidade dos resultados frente a diversos analistas dos dados, assegurando a confiabilidade da pesquisa.

4.2.3 Descrição e análise dos resultados

Nessa etapa da metodologia, os dados foram analisados e separados em categorias. Como apresenta a Figura 7, as categorias de análise envolvem o panorama das perdas não técnicas no Brasil sob as perspectivas de negócio, regulatória, legislativa e de conhecimento, os

desafios para identificação e mitigação de perdas não técnicas, e os principais fatores que auxiliam no combate às PNT no Brasil.

Figura 7 – Estrutura para análise dos dados



Fonte: Autor.

As informações obtidas por meio das fontes de evidência possuem objetivo de contribuir com a identificação de perspectivas similares em respostas distintas. Dessa forma, fragmentos dos dados foram usados para identificar o panorama geral das perdas não técnicas no Brasil e foram agrupados e apresentados em forma de tabelas e texto. Todas as informações foram contrastadas com a literatura, de modo a apresentar resultados singulares com implicações para teoria e para distribuidoras de eletricidade, além de fornecer direcionamentos para novas regulações, leis e políticas públicas no Brasil.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esse subcapítulo apresenta os resultados obtidos através das entrevistas com os 28 especialistas. Inicialmente, é apresentado o panorama das perdas não técnicas no Brasil sob as perspectivas de negócio, regulatória, legislativa e de conhecimento. Posteriormente, são apontados e discutidos os principais desafios para identificação e mitigação de perdas não técnicas, assim como os fatores que auxiliam no combate às PNT no Brasil. Por fim, são discutidos os cenários futuros relacionados ao tema no país.

4.3.1 Panorama das perdas não técnicas no Brasil

As perdas não técnicas demandam de ações coordenadas de concessionárias, agentes

reguladores, legisladores, aplicadores da lei e pesquisadores para serem controladas com sucesso, principalmente em um país socioeconomicamente complexo como o Brasil. Todos os entrevistados da dimensão de negócio destacam que as concessionárias em que atuam investem intensamente no combate às PNT, que é uma das maiores fontes de perdas econômicas para o setor (LEITE; MANTOVANI, 2018). B2 e B7 salientam que a concessionária em que atuam incentiva a proatividade de seus funcionários para que apresentem novas ideias para solução do problema, e que o setor de pesquisa e desenvolvimento da empresa já desenvolveu vários dispositivos para dificultar as irregularidades. B3 afirma que a empresa realiza campanhas anuais de conscientização da população sobre perdas não técnicas. B4, B5, B6 e B9 destacam que as empresas em que trabalham investem no desenvolvimento de metodologias e metas de inspeção para manter a qualidade na prestação do serviço à população e faturamento expressivo da empresa. B10 salienta que apesar da pandemia de covid-19, que proporcionou redução do número de funcionários em campo, estão mantendo os níveis de PNT pré-pandemia. Ainda, B1 aponta que a empresa em que atua é conhecida por alto índice de *turnarounds*, além de investir forte em P&D e possuir uma infraestrutura robusta para identificação de perdas não técnicas.

A importância da parceria entre pesquisadores e concessionárias é destacada por K2 como crucial no controle às PNT. Os entrevistados da dimensão de conhecimento concordam que a pesquisa pode auxiliar no combate às perdas não técnicas no Brasil através do desenvolvimento de metodologias de identificação, melhor caracterização do sistema de distribuição e aprimoramento do banco de dados das distribuidoras. Todavia, K9 e K10 acrescentam que é difícil obter informações reais das concessionárias, pois os bancos de dados contêm informações pessoais e os consumidores podem se sentir lesados se elas forem divulgadas. Todos os métodos de identificação de perdas não técnicas podem ser classificados em relação à forma de obtenção de dados. Podem ser orientados a dados, orientados à rede ou híbridos (HENRIQUES et al., 2020; MESSINIS; HATZIARGYRIOU, 2018). K1, K2, K3 e K10 destacam que existem métodos orientados a dados bastante promissores na literatura que são ou podem ser usados no Brasil, como *Support Vector Machine* (DEPURU; WANG; DEVABHAKTUNI, 2011b; NAGI et al., 2010), *Optimum Path Forest* (PASSOS JÚNIOR et al., 2016; RAMOS et al., 2011), *deep learning* (BHAT et al., 2017), e algoritmos de clusterização (DOS ANGELOS et al., 2011). K1, K2, K4 e K6 salientam boa eficácia de técnicas orientadas à rede, como *State Estimation* (SALINAS; LI, 2016), *Load Flow* (ARANHA NETO; COELHO, 2013; TARIQ; POOR, 2018), Impedância Operacional (MANITO et al., 2019) e transformador de corrente de supervisor automonitorado (Berquó et al., 2018). K7, K9 e K11, por outro lado, destacam que os métodos híbridos (BRETAS et al., 2020; ROSSONI et al., 2015; TREVIZAN et al., 2015) são

economicamente mais viáveis para a realidade brasileira porque conseguem caracterizar melhor as zonas de concessão.

Contudo, K1, K2, K7 e K11 destacam que existe uma grande oportunidade de pesquisa no país direcionada a questões legislativas, econômicas e regulatórias, e que muitas soluções técnicas só podem ser implementadas através do resultado de pesquisas que englobem todas essas dimensões. Sob o ponto de vista legislativo, L1 e L3 dizem que o Congresso Nacional deve atuar em prol de proposições legislativas que tenham como resultado, no mínimo, a mitigação do risco de elevações tarifárias. L1 entende que é necessário um aprofundamento nas discussões sobre o assunto com entidades técnicas do setor. Entretanto, apesar de existirem projetos de lei relacionados ao tema em tramitação no Congresso Nacional, não há perspectiva de alteração da legislação vigente a curto prazo, tendo em vista demandas relacionadas à pandemia de covid-19 que se tornaram mais urgentes nesse período. Em relação à aplicação da lei, L2 diz que, devido à altíssima demanda, a Polícia Civil atua apenas quando solicitada. No entanto, acredita que a medida que o furto de energia elétrica é combatido, a instituição traz benefícios para toda a sociedade. Ainda, acrescenta que o tamanho da pena não é a solução para o problema, e sim a conscientização da população sobre as consequências das perdas não técnicas.

R3 ressalta que o Ministério Público Federal atua positivamente com abertura de procedimentos administrativos para apuração e acompanhamento das distribuidoras com maior índice de perdas não técnicas (BRASIL, 2019), auxiliando o processo regulatório. R4 afirma que a boa atuação da ANEEL no combate às PNT é destacada pelas distribuidoras. A agência regularmente busca analisar as demandas dos *stakeholders* através de consultas públicas, que são importantes para o regime regulatório pois compensam a assimetria de informações no setor (CORTON; ZIMMERMANN; PHILLIPS, 2016). Além disso, mantém esforços para reduzir a inadimplência e a conta de eletricidade, com ações de eficiência energética e conscientização da população. Sob as perspectivas de R2 e K7, a divulgação de informações sobre perdas não técnicas é adequada e transparente a todos os setores da sociedade, ressaltando que relatórios são publicados anualmente pela ANEEL e que a transparência é um valor dentro da agência. Por outro lado, R1, R3, R4, K1, K2, K3, K4, K5, K6 e K11 apontam que a informação existe e está disponível publicamente, mas é muito técnica e precisa ser divulgada à população com um viés de conscientização sobre os efeitos negativos das PNT na tarifa de eletricidade.

Todos os entrevistados da dimensão regulatória destacam os avanços da regulação brasileira no combate às perdas não técnicas. R3 diz que, a partir do segundo ciclo de revisão, foi adotada a metodologia *Yardstick Competition* (SCHLEIFER, 1985), em que é criado um

ambiente de competição entre concessionárias que atuam em regiões distintas e não disputam clientes. R1 e R3 afirmam que é extremamente relevante considerar as características geográficas e sociais do Brasil para formulação da regulação, além de observar que há um limite natural de redução das PNT. R4 salienta que atualmente é feita a média de três modelos econômicos para tentar representar a melhor realidade de cada região, contudo R2 destaca que eventualmente alguma concessão pode não ter sua complexidade plenamente representada. Nesse sentido, K7 e K9 observam a importância de analisar as correlações com variáveis socioeconômicas comuns em zonas de maior perda. Isso vai de encontro ao exposto por R4, que aponta que existem discussões acerca da proposta de consideração de áreas de risco, cujo acesso é limitado aos agentes das concessionárias devido à alta criminalidade.

R3 concorda ao afirmar que o combate à perda de energia elétrica é muito complexo e, por isso, não depende exclusivamente da concessionária. A segurança pública, a justiça e a apatia social também têm parcela de responsabilidade. Ainda, destaca a importância da regulação brasileira, sendo que antes dos primeiros ciclos a distribuidora podia transferir todas PNT para a conta de eletricidade do consumidor. O repasse parcial das PNT aos consumidores, previsto pelo submódulo 2.6 do PRORET (ANEEL, 2015), representou em 2020 cerca R\$ 5,6 bilhões, correspondente a 2,9 % da tarifa de eletricidade em média (ANEEL, 2021b). R4, K2 e K7 sugerem que o ideal é que parte das perdas não técnicas não fosse repassada aos consumidores, entretanto não seria viável que a concessionária arcasse com todo o prejuízo. K1 ainda ressalta que isso poderia afetar a qualidade do serviço e do sistema de distribuição, informação corroborada por Fernandes et al. (2019) e Joseph (2010). R1, K5, K9 e K11 ressaltam a boa qualidade da regulação vigente, mas destacam que suas atualizações precisam ser sempre baseadas em incentivos regulatórios. Todos os esforços feitos pela ANEEL, pelas concessionárias, pelo parlamento e pelo Estado buscam reduzir o índice médio de perdas não técnicas no Brasil. Os dados mais atualizados apontam que as perdas não técnicas reais do Brasil em 2020 foram de 16,3 %, enquanto o índice de perdas não técnicas regulatórias foi 10,8 % (ANEEL, 2021b). Todos os entrevistados da dimensão de conhecimento dizem que o índice de perdas precisa ser o menor possível, mas K11 aponta que, apesar dos altos investimentos, o nível de perdas não baixa significativamente. Em consonância, K9 afirma que, além do foco em técnicas de combate, é urgente educar a população e desenvolver políticas que incentivem modernização da rede e de eficiência energética. Por fim, K10 e K11 destacam a importância da análise regionalizada em um país de dimensões continentais como o Brasil.

4.3.2 Desafios para identificação de perdas não técnicas no Brasil

O Brasil ocupa a 96^a posição no *ranking* de Produto Interno Bruto *per capita* (THE WORLD BANK, 2021a) e é um dos 10 países com maior índice de desigualdade do mundo (THE WORLD BANK, 2021b). L1 e K9 apontam que o tamanho continental do Brasil proporciona um cenário com regiões com alto nível de perdas não técnicas e outras com um índice menor. Isso pode ser explicado pelo fato de que o país possui características culturais e socioeconômicas muito distintas entre suas regiões (MACIEL et al., 2020). R1, R4, B1, B2, B6 e B9 apontam esses fatores como um desafio à identificação de perdas não técnicas no Brasil, agregando que no país existe uma cultura de aceitação ao furto de eletricidade, mesmo que essa cultura seja marcada por intensidades diferentes a depender da região brasileira em questão. Soma-se a isso o baixo índice de indicadores sociais específicos e regionais disponibilizados pelo governo às concessionárias, conforme aponta K5. Ainda, K1 e K11 apontam que a concentração de grande parte das perdas não técnicas na baixa tensão e as grandes dimensões do sistema de distribuição são fatores que dificultam a identificação das PNT no país.

L2 e K7 apontam que existe um excesso de ligações clandestinas à rede de distribuição em locais com formações habitacionais desordenadas. Mimmi e Ecer (2010) corroboram essa informação, afirmando que o acesso ao furto de eletricidade é facilitado em regiões como favelas devido à proximidade de áreas regularmente atendidas. Ademais, R2 e R3 atentam à precariedade de política de segurança pública nas periferias do país, o que resulta em uma grande dificuldade de acesso da concessionária e de seus funcionários em áreas remotas ou com alto índice de criminalidade, como apontado por B6, L2, K5, K8, K9, K10, e K11. De acordo com L2 e L3, nessas regiões pode existir coação e ameaça aos funcionários das distribuidoras por parte de criminosos. Isso acaba impedindo até mesmo interrupção do fornecimento de eletricidade, conforme previsto nos artigos 168 e 169 da Resolução Normativa nº 414 de 9 de setembro de 2010 da ANEEL (ANEEL, 2010). Contudo, L2 destaca que muitas conexões ilegais acabam sendo rapidamente refeitas quando são interrompidas. Ademais, B2, L2, K4 e K8 apontam que outro fator que dificulta a identificação das PNT é a diversidade e aprimoramento de métodos de fraude e furto de eletricidade, realizados sob oferta de profissionais com conhecimento técnico.

K1, K8 e K10 ressaltam que no Brasil existe a necessidade de um alto número de funcionários para leitura e manutenção de medidores *in loco*. K2 e K4 apontam que a imprecisão e a falta de qualidade de medidores são desafios a serem enfrentados na identificação de PNT, enquanto K5 diz que os erros de faturamento são um problema a ser superado. Além disso, B1,

B3, B5 e R4 afirmam que regiões do Brasil possuem características geográficas desfavoráveis à medição e à manutenção da rede. De acordo com B2 e B8, as equipes de campo precisam de qualificação constante por parte da concessionária para evitar os erros de leitura, fator que é apontado por B5, B7 e K5 e corroborado por Buzau et al. (2019) como um dos grandes desafios relacionados à identificação de perdas não técnicas. Ainda, K11 afirma que pode existir corrupção por parte de leituristas das concessionárias e terceirizados, o que também é apontado por Depuru et al. (2011) e Jamil e Ahmad (2019). Os erros de leitura e faturamento comprometem os bancos de dados das concessionárias, gerando problemas administrativos, apontados por R4, e imprecisão na conta de energia elétrica ao consumidor, sugerido por B5. L1 alega que a falta de detalhamento e fiscalização no cálculo das perdas não técnicas dificulta a sua identificação.

K1 e K11 ressaltam que a atualização e aprimoramento constante da base de dados geram desafios técnicos e econômicos para as concessionárias. B5 e B10 dizem que o baixo volume de dados das distribuidoras é um desafio a ser considerado, e K2 e K4 acrescentam ainda que uma baixa confiabilidade dos dados dificulta ainda mais o processo de identificação de PNT. Essas informações vão de encontro com Passos Júnior et al. (2016), que dizem que obter conjuntos de dados rotulados e orientados à identificação de PNT é geralmente uma tarefa difícil, sendo necessário avaliar técnicas não supervisionadas para resolver o problema. Sob o ponto de vista regulatório, R3 afirma que a assimetria de informações dificulta a atuação da agência reguladora, pois as decisões tomadas por ela estão sujeitas às informações dadas pelos regulados. De acordo com B4, K9 e K11, esses fatores tornam mais difícil a compreensão do perfil dos fraudadores e de seus padrões de consumo. Ademais, B4, B7 e B9 ressaltam que as mudanças dos padrões de consumo nas classes industrial, comercial e residencial prejudicam ainda mais a identificação de perdas não técnicas. Esses fatores são corroborados por León et al. (2011), que diz que os padrões de consumo variam entre diferentes grupos de clientes, fortemente relacionados à atividade econômica e à tarifa contratada.

Embora existam diversos métodos para identificação de perdas não técnicas (AHMAD et al., 2018; MESSINIS; HATZIARGYRIOU, 2018), K11 alega que muitos deles são imprecisos e possuem alguns problemas, informação corroborada por Zheng et al. (2019). Ademais, B2, B6 e B8 apontam para a falta de tecnologias modernas e assertivas, necessárias para atender às demandas de redução de perdas da ANEEL (HENRIQUES et al., 2020), e K2 afirma que em distribuidoras menores e menos organizadas, a ausência de um setor de pesquisa e desenvolvimento pode ser um problema crítico no combate às PNT. B3 e B5 atentam à falta de telemedição em larga escala para combater o problema. A ampla utilização de sistemas inteligentes de medição e análise das informações de consumo e cadastro das concessionárias seria uma solução,

contudo R1, R4, K2, K5, K7, K9 e K11 destacam o alto investimento necessário para implantação dessa tecnologia, em acordo com Bula et al. (2016) e Henriques e Correa (2018).

Os principais desafios à identificação de PNT no Brasil, discutidos nesse subcapítulo, são compilados na Tabela 13.

Tabela 13 – Desafios para identificação de perdas não técnicas no Brasil

(continua)

Dimensão	Desafios para identificação de PNT
Negócio	Cultura de aceitação de furto de eletricidade e características socioeconômicas desfavoráveis
	Baixas condições de segurança em áreas de risco devido à criminalidade
	Diversidade e aprimoramento de métodos de fraude e furto de eletricidade
	Características geográficas desfavoráveis à medição e à manutenção da rede
	Necessidade de qualificação constante das equipes de atuação em campo
	Falhas humanas na medição
	Imprecisão na conta de energia elétrica
	Baixo volume de dados das concessionárias
	Dificuldade de identificação do perfil dos fraudadores
	Mudanças dos padrões de consumo nas classes industrial, comercial e residencial
Regulatória	Falta de tecnologias modernas e assertivas
	Falta de telemedição em larga escala
	Diversidade de contextos socioeconômicos e culturais no Brasil
	Precariedade de política de segurança pública nas periferias do país
	Fatores regionais e geográficos desfavoráveis
	Problemas administrativos das concessionárias
Legislativa	Assimetria de informações sobre as causas das perdas não técnicas
	Baixa utilização de sistemas inteligentes na medição e análise das informações de consumo e cadastro das concessionárias
	Disparidade do índice de perdas não técnicas em diferentes regiões
	Excesso de ligações clandestinas à rede de distribuição
	Formações habitacionais desordenadas
	Coação e ameaça aos funcionários das distribuidoras por parte de criminosos em regiões socialmente sensíveis
	Oferta profissional para fraude em medidores

Tabela 13 – Desafios para identificação de perdas não técnicas no Brasil

(conclusão)

Dimensão	Desafios para identificação de PNT
Legislativa	Falta de detalhamento e fiscalização no cálculo das perdas não técnicas
	Diversidade regional no índice de perdas não técnicas
	Baixo índice de indicadores sociais específicos disponibilizados pelo governo
	Concentração das perdas não técnicas na baixa tensão do sistema de distribuição
	Sistemas de distribuição de grandes dimensões
	Ligações clandestinas à rede de distribuição
	Dificuldade de acesso da concessionária em áreas remotas ou com alto índice de criminalidade
	Fraudes realizadas por profissionais com conhecimento técnico
	Necessidade de alto número de funcionários para verificação de medidores <i>in loco</i>
	Imprecisão e falta de qualidade de medidores
Conhecimento	Erros de faturamento
	Erros de leitura
	Corrupção por parte de leituristas das concessionárias e terceirizados
	Necessidade de atualização e aprimoramento constante da base de dados da concessionária
	Baixa disponibilidade de dados das concessionárias
	Baixa confiabilidade dos dados das concessionárias
	Dificuldade na identificação de padrões de consumo
	Métodos imprecisos de identificação de perdas não técnicas
	Distribuidoras sem setor de P&D
	Necessidade de investimento em infraestruturas de medição inteligente e comunicação

Fonte: Autor.

4.3.3 Desafios para mitigação de perdas não técnicas no Brasil

A compreensão dos desafios à mitigação de perdas não técnicas é um processo fundamental para a formulação de políticas estratégicas de médio e longo prazo no Brasil. Ao analisar o problema por diversos pontos de vista, é possível desenvolver ações concretas para reduzir os impactos nocivos que esse problema causa para a economia do país, distribuidoras de

eletricidade e sociedade. A cultura de aceitação ao furto de eletricidade, já mencionada como um desafio à identificação de perdas não técnicas, também precisa ser considerada para mitigação do problema. De acordo com B2, B3, B4, B6, B10, R3 e R4, é preciso conscientizar a sociedade sobre os prejuízos causados pelo furto de eletricidade com o objetivo de mudar essa cultura a médio e longo prazo. O Brasil é um país complexo, com grande desigualdade social, cultural, geográfica e econômica, e essas diferenças se traduzem nas regiões de concessão para distribuição de eletricidade (VENTURA et al., 2020). Esse cenário retroalimenta a cultura do furto de eletricidade de acordo com B8, K4, K5, K7, K9 e K11. Apesar de a ANEEL basear a regulação das perdas não técnicas em um índice de complexidade socioeconômica para balancear as características não administráveis pelas distribuidoras (ANEEL, 2015; SIMÕES et al., 2020), B5 e B9 alegam que ainda há espaço para melhoria no incentivo regulatório à proteção do sistema elétrico brasileiro.

A regulação brasileira permite que uma parcela das PNT seja diluída na tarifa (ANEEL, 2015; VENTURA et al., 2020). Somada à alta tributação existente no Brasil, a pressão tarifária na conta de eletricidade dos consumidores é apontada por B1, L1, L3 e K1 e corroborada por Henriques et al. (2014) como um dos principais problemas relacionados à mitigação de perdas não técnicas. K5 e K7 ainda apontam para o aumento da inadimplência dos consumidores devido à pressão tarifária e, conseqüentemente, para o crescimento do índice de furto de eletricidade, fatores confirmados por Tasdoven et al. (2012). L1 e L3 afirmam que é crucial uma forte atuação da agência reguladora no combate às perdas não técnicas, enquanto K7 e K11 destacam que a ANEEL tem o desafio de evoluir constantemente a regulação do setor. O uso de incentivo regulatório através de técnicas de *benchmarking* definem as distribuidoras mais eficientes (XAVIER et al., 2015), e a revisão periódica desse processo é apontada por R2 como um fator fundamental para a mitigação das perdas não técnicas no Brasil. Além disso, existe a necessidade de manutenção e criação de regulações por meio de incentivo, e não por custo de serviço, conforme afirma R1 e corroboram Corton et al. (2016).

O controle das perdas não técnicas em regiões de difícil acesso e de menor poder aquisitivo é apontado por R1 como um desafio à mitigação do problema. L2 e L3 complementam dizendo que o Estado precisa atender às demandas sociais, mas B5 afirma que existem áreas irregulares abandonadas por órgãos governamentais no Brasil. B5, B6, R3 e R4 dizem que a ausência do Estado permite a formação de regiões controladas pelo crime organizado, dificultando a atuação da concessionária. Ademais, K1 aponta para um custo político de desconexões em larga escala, mas Razavi e Fleury (2019) dizem que, apesar de o furto de eletricidade ser mais significativo em áreas com maior índice de criminalidade, uma possível solução é a

implementação de medidas preventivas eficazes nessas regiões, como a melhor aplicação da lei e a organização de campanhas de conscientização e programas educacionais por parte do governo.

L2 diz que o controle das perdas não técnicas nessas regiões pode ser intensificado com a consolidação de parcerias entre as distribuidoras e os agentes da lei, em consonância com Otuoze et al. (2020), que afirmam que sessões de treinamento de agentes da distribuidora com a polícia e forças-tarefas locais são gargalos para mitigar o furto de eletricidade. Contudo, B10, K7 e K8 destacam que no Brasil é comum a impunidade legal aos fraudadores, e essa percepção por parte da sociedade é potencializada, pois atos de "distúrbios ou crimes menores" praticados em locais públicos e à vista de toda a população indicam que não há ordem ou segurança pública para contê-los (LOUREIRO; MOREIRA; ELLERY, 2017). R3 e L3 ainda afirmam que pode existir leniência das autoridades públicas de segurança e favorecimento judicial a quem furta eletricidade em detrimento da concessionária. B1, B5, B7 e B10 complementam ao apontar que a regulação brasileira é permissiva e favorece o fraudador. L1 e L3 destacam a necessidade de atuação do parlamento frente a eventuais omissões da agência reguladora e das distribuidoras, contudo R2 e R4 acreditam que falta sintonia entre legisladores e agência reguladora.

L3 afirma que a atuação da concessionária é decisiva na mitigação às perdas não técnicas, e B9 acrescenta a importância do desenvolvimento de ações de inteligência para a obtenção de resultados mais efetivos. Entretanto, algumas distribuidoras não medem a eletricidade de modo preciso devido a negligência técnica ou equipamentos defeituosos (BALOCH et al., 2019). B6 concorda ao apontar que a busca por resultados imediatos e falta de planejamento de longo prazo atrapalha no combate às PNT. Por outro lado, R4 afirma que há um limite de custo-benefício para implementar soluções de mitigação de perdas por parte da distribuidora. De acordo com B9, K2, K4, K7 e K11, o investimento em infraestrutura de medição inteligente, monitoramento e blindagem da rede de baixa tensão pode trazer resultados excelentes, mas seu alto custo pode, conseqüentemente, impactar na tarifa de eletricidade (MACIEL et al., 2020; VENTURA et al., 2020). Ainda, o furto de eletricidade gera preocupação na implementação de redes inteligentes devido aos investimentos em grande escala que podem, por implicação, se traduzir em enormes perdas (OTUOZE et al., 2020). Além disso, R3 diz que é preciso investir em pessoal nas áreas de maior incidência de furto de eletricidade, bem como em tecnologias mais robustas, como afirmam K1, K7, K8, K11. Em consonância, B9 ressalta que também é preciso reduzir o acesso direto dos consumidores aos equipamentos de medição de eletricidade, pois presume-se que usuários maliciosos têm conhecimento parcial da estrutura da rede e conseguem burlar sensores e medidores (MESSINIS; HATZIARGYRIOU, 2018).

A Tabela 14 traz o compilado dos principais desafios para mitigação de perdas não técnicas no Brasil discutidos nesse subcapítulo.

Tabela 14 – Desafios para mitigação de perdas não técnicas no Brasil

(continua)

Dimensão	Desafios para mitigação de PNT
Negócio	Conscientização da sociedade sobre os prejuízos causados pelo furto de eletricidade
	Diferenças socioeconômicas entre as regiões de concessão
	Falta de incentivo regulatório à proteção do sistema elétrico
	Pressão tarifária aliada à redução de renda do consumidor
	Existência de áreas irregulares abandonadas pelos órgãos competentes
	Atuação em áreas controladas pelo crime organizado
	Impunidade legal aos fraudadores
	Regulação permissiva e que favorece o fraudador
	Desenvolvimento de ações de inteligência para combate às perdas não técnicas
	Busca por resultados imediatos e falta de planejamento de longo prazo
Regulatória	Necessidade de alto investimento para blindagem da rede de baixa tensão
	Redução do acesso direto dos consumidores aos equipamentos de medição
	Mudança cultural da sociedade e conscientização sobre os malefícios provocados pelo furto de eletricidade
	Revisão periódica do processo de <i>benchmarking</i> da agência reguladora
	Criação e manutenção de regulamentações por meio de incentivo e não por custo de serviço
	Controle das perdas não técnicas em regiões de difícil acesso e de menor poder aquisitivo
	Ausência do Estado em áreas de elevada criminalidade
	Viés de favorecimento judicial a fraudadores em detrimento da concessionária
	Falta de sintonia entre legisladores e agência reguladora
	Limite de custo-benefício para implementar soluções de mitigação de perdas não técnicas
Legislativa	Investimento em tecnologia e pessoal nas áreas de maior incidência
	Impacto das perdas não técnicas e da tributação na conta de eletricidade dos consumidores
	Forte atuação da agência reguladora no combate às perdas não técnicas
	Atendimento do Estado às demandas sociais

Tabela 14 – Desafios para mitigação de perdas não técnicas no Brasil

(conclusão)

Dimensão	Desafios para mitigação de PNT
Legislativa	Consolidação de parcerias entre a distribuidora e os agentes da lei
	Leniência de autoridades públicas de segurança e do poder judiciário com infratores
	Atuação do parlamento frente a eventuais omissões da agência reguladora e das distribuidoras
	Atuação das concessionárias no combate às perdas não técnicas
Conhecimento	Complexidades social, cultural, geográfica e econômica do Brasil
	Alto índice de inadimplência dos clientes devido à pressão tarifária das perdas não técnicas na conta de eletricidade
	Necessidade de evolução constante da regulação do setor
	Agregação das distorções harmônicas da rede de distribuição às perdas não técnicas no Brasil
	Custo político de desconexões em larga escala
	Impunidade legal aos fraudadores
	Investimento em infraestrutura de medição inteligente, monitoramento e blindagem da rede
Desenvolvimento de tecnologias mais robustas	

Fonte: Autor.

4.3.4 Fatores que auxiliam no combate às perdas não técnicas no Brasil

O combate às perdas não técnicas no Brasil precisa começar por uma transformação cultural em relação ao furto de eletricidade. Campanhas educativas visando toda a sociedade são apontadas por L2 como uma das soluções que proporcionam resultados efetivos a médio e longo prazo. Além disso, R1 defende incentivo econômico aos consumidores que denunciam furto de eletricidade, em consonância com B3, que sugere a criação ou fortalecimento de canais de denúncias anônimas para a população. A Uganda já comprovou a eficácia dessa estratégia através da campanha “Unidos contra o furto de eletricidade”, lançada em 2012 pela *Umeme*, maior distribuidora do país, em conjunto com a *Transparency International*. A ação informou intensamente à sociedade sobre os benefícios de um maior controle do problema por meio de rádio, TV e jornais, prometendo anonimato a quem denunciasse fraudadores (NEVER, 2015). B5 e B9 afirmam que as distribuidoras também precisam do apoio de seus agentes comerciais em campanhas de inspeções para que seja obtido alto índice de assertividade e para que o

intervalo entre as medições seja minimizado, como aponta K2. K11 atenta à importância do controle dos funcionários e terceirizados para evitar ou minimizar o índice de perdas devido à corrupção. Distribuidoras em países como Índia e Líbano possuem ações direcionadas para combater a corrupção dos funcionários, como a criação de departamentos específicos relacionados ao controle de empregados corruptos (SHARMA et al., 2016) e a adoção de medidas estritas em parceria com agências governamentais reguladoras (GHAJAR; KHALIFE; RICHANI, 2000).

O sistema de distribuição é o que sofre os maiores impactos do furto descontrolado de eletricidade (ARYANEZHAD, 2019). Além disso, é muito difícil controlar potenciais causas de perdas não técnicas em países em desenvolvimento devido à infraestrutura precária da rede (DEPURU; WANG; DEVABHAKTUNI, 2011b). Dessa forma, medidas preventivas e de manutenção do sistema de distribuição são classificadas por B4 e B8 como cruciais para mitigação de perdas não técnicas. Ademais, elevam a credibilidade da distribuidora perante mercado e sociedade, fator destacado por B2 e B6 como decisivo para controlar o problema. De acordo com B10, essa credibilidade pode ser construída através do fornecimento de informações confiáveis pela distribuidora sobre a eletricidade faturada e não faturada. K2 e K11 afirmam que a disponibilidade e a confiabilidade dos dados das concessionárias precisa ser alta para que as metodologias de identificação de PNT sejam mais assertivas. Todavia, essas informações não podem ser obtidas apenas de resultados de inspeções, pois nesse caso as previsões se tornam menos confiáveis (GLAUNER et al., 2017). Sendo assim, K4 e K9 afirmam que bancos de dados completos e dinâmicos permitem a identificação do perfil do consumidor sob perspectivas sociais, econômicas, geográficas e financeiras, facilitando o desenvolvimento de métodos de identificação e regulações para mitigação de perdas não técnicas.

B1, B4, B5, B7, B9, K1, K2, K4 e K7 afirmam que o processamento de padrões de dados carece da disponibilidade de tecnologias com atualizações e aprimoramentos constantes, tendo em vista que consumidores ilegais geralmente apresentam rápidas respostas a novos métodos e equipamentos implementados pelas concessionárias (DEPURU; WANG; DEVABHAKTUNI, 2011a). Entretanto, a criação dessas tecnologias é geralmente mais lenta em países em desenvolvimento, e por isso existe a necessidade de incentivo a pesquisas adicionais sobre técnicas mais eficientes de avaliação de PNT (FARIA; MELO; PADILHA-FELTRIN, 2016). O Brasil está atuando corretamente diante desse cenário, pois R4 afirma que as distribuidoras são estimuladas pela ANEEL para realizarem projetos de P&D. K11 aponta que a melhor estratégia envolve a utilização de métodos híbridos de identificação de PNT, e Bretas et al. (2020) confirmam ao dizerem que estratégias envolvendo soluções orientadas a

dados e à parte física do sistema têm sido recentemente apresentadas na literatura. K2 e K7 complementam sugerindo a implantação de medidores eficientes localizados fora da unidade consumidora.

Esse tópico vai de encontro com a proposta de B3, K7 e K11, de implantar medidores inteligentes e dispositivos de segurança na rede. Há uma grande proliferação de medidores inteligentes em sistemas de distribuição emergentes como medida de controle contra a adulteração de medidores tradicionais (VENTURA et al., 2020). No entanto, certos grupos expressam relutância na implantação em larga escala devido a fatores como risco de incêndio, segurança e privacidade de informações do cliente, além de baixa perspectiva de custo-benefício para a concessionária (CHAKRABORTY et al., 2021). Por outro lado, a implementação de *Advanced Metering Infrastructures* surge como uma das tecnologias líderes em redes inteligentes para mitigar e controlar anomalias na rede, através do fornecimento de medição automática e transmissão de leituras de medidores que servem para analisar tendências no consumo de eletricidade e identificar fraudadores com mais facilidade (JOKAR; ARIANPOO; LEUNG, 2016). Essa estratégia naturalmente restringe problemas como adulteração de medidores físicos, furto, desvio e troca de medidores e irregularidades de faturamento (OTUOZE et al., 2020).

Contudo, para a identificação das perdas não técnicas se tornar efetiva e gerar resultados práticos, os fraudadores precisam ser responsabilizados criminalmente, como afirmam L2 e K1. Além disso, L1 e L3 atestam que é necessário existir consonância entre legisladores, reguladores e governo através de um processo de comunicação claro e que permita o desenvolvimento de políticas e proposições legislativas eficazes para o combate às perdas não técnicas sob todas as perspectivas. L2 complementa defendendo que a responsabilização criminal permite educar a população para viver em harmonia, pois à medida que o Estado é permissivo com as transgressões, a cultura do furto de eletricidade é fortalecida. As premissas seguidas pela ANEEL visam idealmente tarifas justas para os consumidores e para as empresas de energia elétrica (MACIEL et al., 2020). Ainda assim, dentro do cenário legislativo, talvez uma das principais ações adicionais para alterar essa cultura a médio e longo prazo seja a especificação do valor referente às PNT na fatura de eletricidade, proposta por L1. Isso permite que seja dado amplo conhecimento à população da responsabilidade que tem em pagar parte da energia elétrica não faturada pelas concessionárias.

No Brasil, as concessionárias são obrigadas a implementar processos para reduzir sistematicamente as perdas de energia em suas redes, a fim de minimizar prejuízos e manter a qualidade do fornecimento dentro dos padrões e requisitos estabelecidos pela ANEEL (HENRIQUES et al., 2020). Em consonância, B1, B6, R1, R2, R3 e R4 destacam a importância

da regulação por incentivos econômicos para concessionárias eficientes e a penalização às menos eficientes no combate às perdas não técnicas. Nesse cenário, a regulação brasileira é referência na América Latina através de seu processo de *benchmarking* para clusterização das distribuidoras através do índice de complexidade socioeconômica, nível de perdas não técnicas e tamanho da concessionária, conforme apontam R1, R2, R3 e corroboram Corton et al. (2016) e Ventura et al. (2020). R1 ainda destaca que a publicação do *ranking* de eficiência das empresas auxilia nesse processo. R3 afirma que é possível conciliar interesses dos consumidores e das distribuidoras através da constante atualização da regulação vigente. Periodicamente, a ANEEL realiza consultas públicas para considerar as demandas dos *stakeholders* nos processos de atualização da regulação do setor. Na última delas, a Consulta Pública 029/2020 (ANEEL, 2020), R2 destaca que foi sugerida a possibilidade de consideração da criação de "áreas de risco" pela concessionária, que engloba regiões onde a atuação da concessionária é limitada pela forte presença do crime organizado.

Ao compreender os fatores que auxiliam no combate às perdas não técnicas no Brasil, é possível que concessionárias, legisladores, reguladores, formuladores de políticas públicas e pesquisadores tracem estratégias objetivas com maior potencial de resultados eficazes. Dessa forma, a Tabela 15 apresenta a compilação dos fatores discutidos nesse subcapítulo.

Tabela 15 – Fatores que auxiliam no combate às perdas não técnicas no Brasil

(continua)

Dimensão	Fatores que auxiliam no combate às PNT
Negócio	Denúncias anônimas
	Apoio dos agentes comerciais em campanhas de inspeções com alto índice de assertividade
	Medidas preventivas e de manutenção do sistema de distribuição de eletricidade
	Credibilidade da distribuidora perante mercado e sociedade
	Informações confiáveis fornecidas pela distribuidora sobre eletricidade faturada e não faturada
	Evolução tecnológica de <i>softwares</i> e aprimoramento de técnicas para processamento de dados
	Utilização de telemetria para medição de consumo de eletricidade
Regulatória	Estímulo regulatório às distribuidoras para alcance de metas de eficiência
	Incentivo econômico aos consumidores que denunciam furto de eletricidade Estímulo às concessionárias para realização de projetos de P&D visando redução de furto de eletricidade

Tabela 15 – Fatores que auxiliam no combate às perdas não técnicas no Brasil

(conclusão)

Dimensão	Fatores que auxiliam no combate às PNT
Regulatória	Processo regulatório com incentivos econômicos para concessionárias mais eficientes e penalizações para as menos eficientes <i>Benchmarking</i> para clusterização das distribuidoras através do índice de complexidade socioeconômica, nível de perdas não técnicas e tamanho da concessionária
	Publicação de <i>ranking</i> de eficiência das empresas
	Conciliação de interesses do consumidor e da concessionária
Legislativa	Possibilidade de consideração de "áreas de risco" pela concessionária
	Campanhas educativas para mudança cultural em relação ao furto de eletricidade
	Responsabilização criminal por furto de eletricidade
Conhecimento	Políticas públicas e proposições legislativas para combate às perdas não técnicas
	Especificação do valor referente às perdas não técnicas na fatura de eletricidade
	Intervalo curto entre medições
	Total controle dos empregados e terceirizados
	Alta disponibilidade de dados das concessionárias
	Alta confiabilidade dos dados das concessionárias
	Identificação do perfil do consumidor sob perspectivas sociais, econômicas, geográficas e financeiras
	Disponibilidade de tecnologias para processamento de padrões de dados das concessionárias
	Utilização de métodos híbridos de identificação
Medidores eficientes e localizados fora da unidade consumidora	
Implantação de medidores inteligentes e dispositivos de segurança	
Aplicação de leis para combate às perdas não técnicas	

Fonte: Autor.

4.3.5 Futuro das perdas não técnicas no Brasil

As perdas não técnicas no Brasil não podem ser tratadas como um problema simples, que tenha solução com ações isoladas de concessionárias, agência reguladora, governo, legisladores ou agentes da lei. Por ser um problema complexo, que representou um custo de aproximadamente R\$ 8,5 bilhões em 2020 no país (ANEEL, 2021b), demanda soluções integradas

construídas por todos os *stakeholders*. Compreender as diferentes realidades culturais, sociais, econômicas e geográficas em um país de tamanho continental como o Brasil é o ponto de partida para o desenvolvimento de ações de inteligência para mitigação das PNT a médio e longo prazo. Nesse sentido, o governo, o parlamento, a ANEEL e as concessionárias precisam convergir em uma estratégia educacional a nível nacional para alterar a cultura de aceitação ao furto de eletricidade, amplamente conhecido pelo termo “gato” no país. Campanhas precisam ser desenvolvidas e divulgadas massivamente nas mídias tradicionais e nas redes sociais, e potencializadas em regiões com maior foco de PNT. Nesse sentido, destaca-se a importância do PL 1569/2019 (RIBEIRO, 2019), que visa obrigar as distribuidoras a informarem nas faturas a parcela da tarifa de energia elétrica correspondente às perdas não técnicas. A maior parte da população não tem ciência que paga pelas PNT e, portanto, não coíbe quando pessoas próximas furtam eletricidade. Além disso, sugere-se que nessa estratégia educacional abram-se canais exclusivos para denúncias anônimas de fraude na rede elétrica, com incentivos financeiros para denúncias convertidas em desligamento.

Ainda sob uma análise macro do problema, destaca-se a importância da regulação utilizada pela ANEEL em relação às perdas de energia. A disponibilidade da agência em ouvir as demandas dos *stakeholders* através de consultas públicas vai de encontro às soluções propostas pelos especialistas que contribuíram para essa pesquisa. Sugere-se que a ANEEL siga apostando em incentivos regulatórios às concessionárias que consigam adotar medidas para controlar as perdas não técnicas e aprimorar a proteção e qualidade da rede de distribuição. O método de *benchmarking* por meio de *ranking* de complexidade socioeconômica e os modelos econômicos que permitem essa análise precisam ser constantemente melhorados para retratar as realidades de cada zona de concessão. Adicionalmente, o estímulo a projetos de P&D que envolvam variáveis socioeconômicas, regulatórias e legislativas para mitigar as PNT é uma oportunidade no Brasil. A criação das “áreas de risco” nas regiões de concessão, possibilitando compensação às concessionárias impedidas de atuar devido à forte presença do crime organizado, precisa ser estudada com cuidado para não prejudicar o modelo em vigência. A solução para o problema passa não apenas por compensação regulatória, mas pelo fortalecimento de políticas de segurança pública, educacionais e sociais nessas regiões. É necessário um combate coordenado das instituições brasileiras à corrupção, ao crime organizado e às milícias que controlam essas regiões e impactam diretamente nas perdas não técnicas.

Nesse cenário, percebe-se que o repasse de parte do prejuízo causado pelas perdas não técnicas à população não é o ideal, contudo não é viável que a concessionária arque com todo o prejuízo. Existem dois projetos de lei tramitando no Congresso Nacional com o objetivo de

impossibilita esse repasse na tarifa de eletricidade. No entanto, é preciso ressaltar que isso implicaria diretamente na qualidade da rede e do serviço de distribuição de eletricidade no país, prejudicando ainda mais os consumidores. É nítido que a ANEEL busca constantemente soluções para que esse problema seja mais aderente à realidade, mas destaca-se que é essencial a consonância entre ações de legisladores e reguladores no sentido de reduzir o índice de perdas não técnicas no Brasil. Além da importância de soluções coordenadas a nível nacional, é fundamental analisar o problema sob uma perspectiva regionalizada. O Estado deve concentrar esforços em disponibilizar maior variedade de indicadores socioeconômicos regionalizados para facilitar no desenvolvimento de métodos e na atuação de concessionárias para o combate das perdas não técnicas a curto prazo. Adicionalmente ao constante aprimoramento das técnicas de fraude, as regiões de concessão não apresentam características socioeconômicas, geográficas e culturais homogêneas. É crucial o incentivo à troca de experiências entre concessionárias de diferentes regiões, mas com problemas a nível micro similares. Isso precisa ir além da comparação por *benchmarking*, chegando a um nível de colaboração com benefício mútuo entre as distribuidoras. Ressalta-se, por fim, que através dessas medidas integradas entre todos os *stakeholders* do setor, existe boa perspectiva para que no futuro o impacto das perdas não técnicas no Brasil seja minimizado, gerando grandes benefícios para toda a sociedade brasileira.

4.4 CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES POLÍTICAS

As perdas não técnicas são responsáveis por um grande desequilíbrio econômico no Brasil. Os altos níveis de eletricidade não faturada impactam na tarifa e afetam a capacidade de investimento das concessionárias no serviço e na rede de distribuição. Todos os setores da sociedade são prejudicados, visto que a pressão tarifária e a baixa qualidade do sistema de distribuição reduzem a competitividade do setor industrial (ZANARDO et al., 2018), e podem gerar aumento na inadimplência e no índice de furto de eletricidade. Esse ciclo cria um efeito cascata e compromete políticas nacionais de desenvolvimento, de inclusão, energéticas e regulatórias. Nesse cenário, é crucial que legisladores, reguladores, distribuidoras e pesquisadores estejam em sintonia para não apenas identificar o problema, mas também mitigá-lo.

Em um país socioeconomicamente complexo, com diferenças regionais significativas, destaca-se a atuação positiva da Agência Nacional de Energia Elétrica na formulação de regulação baseada em incentivos às concessionárias para que reduzam seus índices de perdas não técnicas. As distribuidoras de energia elétrica no Brasil são estimuladas a investir em pesquisa e desenvolvimento, e nesse cenário ressaltam-se a importância de parcerias com universidades e

centros de pesquisa para desenvolver métodos efetivos de combate às perdas não técnicas. A agência reguladora deve ainda buscar maior sintonia com legisladores, demonstrando que eventuais demandas da população e do parlamento para proibição do repasse de parte da eletricidade não faturada na tarifa poderiam inviabilizar a distribuição de energia elétrica com qualidade à população brasileira.

A principal estratégia sugerida para combater as perdas não técnicas a médio e longo prazo no Brasil é a formulação de políticas educacionais com ações coordenadas entre todos *stakeholders*, com o objetivo de conscientizar a população sobre os impactos negativos das perdas não técnicas. Nesse processo de mudança cultural da sociedade brasileira em relação ao tema, destaca-se a relevância de campanhas informativas e do projeto de lei proposto sobre o impacto da eletricidade não faturada na tarifa (RIBEIRO, 2019), em conjunto com a criação de canais anônimos para denúncia e o fortalecimento da atuação policial e do poder judiciário contra a impunidade no crime de furto de eletricidade. Ainda, o Estado deve disponibilizar maior variedade de indicadores socioeconômicos regionalizados para facilitar o planejamento e a atuação das concessionárias e dos pesquisadores do setor.

Legisladores, reguladores e governo precisam ainda atentar às causas indiretas do alto nível de perdas não técnicas no Brasil. Apesar de a Agência Nacional de Energia Elétrica possuir ferramentas de informação e transparência sobre a conta de eletricidade, é necessário um consenso para reduzir o alto índice de tributação na tarifa de energia elétrica no Brasil, onde são cobrados diferentes encargos e impostos a níveis municipal, estadual e federal. Adicionalmente, o fortalecimento do combate à corrupção e à criminalidade é fundamental, e traz benefícios à população que vão além da identificação e mitigação das perdas não técnicas. Ainda, políticas públicas de inclusão e de geração de empregos fortalecem o poder aquisitivo da população, possibilitando a redução do índice de inadimplência.

Soluções relacionadas à implantação de medidores inteligentes são comprovadamente eficazes na literatura para o combate às perdas não técnicas. Contudo, o custo desses medidores é muito alto, inviabilizando a instalação em larga escala em um curto espaço de tempo no Brasil. Além disso, é necessária uma boa estrutura de telecomunicação, o que demanda ainda mais investimentos. Ainda, considera-se que seriam necessárias regulações e políticas públicas que proporcionassem maior dinamismo na tarifa de eletricidade para que redes inteligentes trouxessem mais benefícios aos consumidores e às concessionárias além da redução das perdas não técnicas. Também destaca-se a existência de diversos métodos utilizados para fraudar medidores inteligentes, afetando ainda mais o retorno sobre o investimento dentro da atual realidade brasileira caso os maiores benefícios fossem relacionados ao controle de perdas não técnicas.

Sendo assim, salienta-se a necessidade de coletar informações de especialistas sob várias perspectivas. Por vezes, soluções técnicas podem apresentar ótimos resultados, mas quando implantadas isoladamente tornam-se menos eficientes. Visto isso, soluções a médio e longo prazos devem considerar também as características sociais, econômicas, regulatórias, legislativas e culturais da região ou país para que seus resultados sejam potencializados.

Os resultados apresentados nesse capítulo servem de base para pesquisas futuras na área, e são úteis para acadêmicos, reguladores, legisladores e concessionárias desenvolverem ações efetivas de combate a perdas não técnicas. Através deles, é possível compreender os principais desafios relacionados à identificação e mitigação e os fatores que auxiliam no combate às perdas não técnicas no Brasil sob as perspectivas de diversos especialistas com grande experiência no setor. Apesar de esse capítulo abordar o cenário brasileiro, os resultados apresentados podem servir como base para novos estudos relacionados ao tema em outras regiões e países com características socioeconômicas, culturais e geográficas similares a do Brasil. Ainda, ressalta-se a possibilidade de estudos que abordem a relação entre a geração distribuída de energia fotovoltaica e o índice de perdas não técnicas e os desafios regulatórios referentes ao tema, tendo em vista que sistemas fotovoltaicos podem reduzir perdas na transmissão e na distribuição (GARLET et al., 2020). Por fim, sugere-se que novas pesquisas utilizem os fatores apresentados nesse capítulo através de métodos quantitativos para propor soluções às concessionárias, e que legisladores, reguladores, analistas políticos e membros do governo usem os resultados desse estudo como ponto de partida para a criação de políticas públicas de mitigação das perdas não técnicas no país.

Agradecimentos e financiamento da pesquisa: Essa pesquisa foi apoiada pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) [processos nº 308057/2020-1, 142448/2018-4, 310594/2017-0 e 465640/2014-1], Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) [processos nº 88887.486381/2020-00, 88887.486394/2020-00 e 23038.000776/2017-54] e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) [processo nº 17/2551-0000517-1]. Esse trabalho recebeu suporte do FEDER Funds através do programa COMPETE e do National Funds através do FCT sob o projeto UIDB/00760/2020. Os autores agradecem ao CPNq, CAPES, FAPERGS e Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia – Geração Distribuída (INCT-GD) por apoiar essa pesquisa.

4.5 REFERÊNCIAS

AHMAD, Tanveer *et al.* Review of various modeling techniques for the detection of electricity theft in smart grid environment. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p. 2916–2933, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.040>

AIKENHEAD, Graham *et al.* Application of process mapping and causal loop diagramming to enhance engagement in pollution prevention in small to medium size enterprises: Case study of a dairy processing facility. **Journal of Cleaner Production**, v. 1, p. 275–284, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.069>

ANEEL. **Perdas de Energia**, 2021a. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiNDAlY2YwNjgtYTZmMC00MjUxLTgzYjAtOWMxYmIwYjUxN2U4IiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOjR9> Acesso em: 30 set. 2021.

ANEEL. **Perdas de Energia Elétrica na Distribuição (01/2021)**. Brasília - DF, 2021b. Disponível em:

<https://www.aneel.gov.br/documents/654800/18766993/Relat%C3%B3rio+Perdas+de+Energia+Edi%C3%A7%C3%A3o+1-2021.pdf/143904c4-3e1d-a4d6-c6f0-94af77bac02a>

ANEEL. **Consulta Pública nº 029/2020**, 2020. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/consultas-publicas> Acesso em: 5 maio 2020.

ANEEL. **Resolução Normativa nº 414, de 9 de Setembro de 2010**, Brasil, 2010. p. 293. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>

ANEEL. **Resolução Normativa nº 435, de 24 de Maio de 2011**, Brasil, 2011. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2011435.pdf>

ANEEL. **Submódulo 2.2 - Custos Operacionais e Receitas Irrecuperáveis**. Brasília - DF, 2018a. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2018806_Proret_Submod_2_2_v3.pdf

ANEEL. **Submódulo 2.2 A - Custos Operacionais e Receitas Irrecuperáveis**. Brasília - DF, 2018b. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2018806_Proret_Submod_2_2A_v2.pdf

ANEEL. **Submódulo 2.6 - Perdas de Energia**. Brasília - DF, 2015. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2015660_Proret_Submod_2_6_V3.pdf

ARANGO, Lucas. G. *et al.* Study of Electricity Theft Impact on the Economy of a Regulated Electricity Company. **Journal of Control, Automation and Electrical Systems**, v. 28, n. 4, p. 567–575, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40313-017-0325-z>

ARANHA NETO, Edison A. C.; COELHO, Jorge. Probabilistic methodology for Technical and Non-Technical Losses estimation in distribution system. **Electric Power Systems Research**, v. 97, p. 93–99, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2012.12.008>

ARYANEZHAD, Majid. A novel approach to detection and prevention of electricity pilferage

over power distribution network. **International Journal of Electrical Power and Energy Systems**, v. 111, p. 191–200, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2019.04.005>

BALOCH, Mazhar Hussain *et al.* Hybrid energy sources status of Pakistan: An optimal technical proposal to solve the power crises issues. **Energy Strategy Reviews**, v. 24, p. 132–153, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.02.001>

BASTOS, Paulo R. F. M.; SOUZA, Benemar A.; FERREIRA, Niraldo. Diagnosis of nontechnical energy losses using bayesian networks. **IET Conference Publications**, n. 550 CP, p. 8–11, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1049/cp.2009.0846>

BERQUÓ, Daniel Ferrer *et al.* Field test results of a self-monitored supervisor current transformer to reduce non-technical losses. **SBSE 2018 - 7th Brazilian Electrical Systems Symposium**, 2018. p. 1–5. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/SBSE.2018.8395695>

BHAT, Rajendra Rana *et al.* Identifying nontechnical power loss via spatial and temporal deep learning. **Proceedings - 2016 15th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications, ICMLA 2016**, 2017. p. 272–279. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ICMLA.2016.0052>

BOCCARDO, Davidson Rodrigo *et al.* Software evaluation of smart meters within a legal metrology perspective: A Brazilian case. **IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe, ISGT Europe**, 2010. Article number 5638881. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ISGTEUROPE.2010.5638881>

BRASIL. **Artigo 155 do Código Penal Brasileiro**, Brasil, 1940. Disponível em: <https://www.tjdft.jus.br/institucional/imprensa/campanhas-e-produtos/direito-facil/edicao-semanal/furto-e-roubo>

BRASIL. **Roteiro de Atuação: Perdas não técnicas de energia elétrica - Volume 4**. Brasília - DF, 2019. Disponível em: http://www.mpf.mp.br/atuacao-tematica/ccr3/documentos-e-publicacoes/roteiros-de-atuacao/06_19_roteiro_atuacao_perda_energia_eletrica_online.pdf

BRETAS, Arturo Suman *et al.* Distribution networks nontechnical power loss estimation: A hybrid data-driven physics model-based framework. **Electric Power Systems Research**, v. 186, p. 106397, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2020.106397>

BULA, Ines *et al.* Minimizing non-technical losses with point-to-point measurement of voltage drop between “SMART” meters. **IFAC-PapersOnLine**, v. 49, n. 29, p. 206–211, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.11.103>

BUZAU, Madalina Mihaela *et al.* Detection of non-technical losses using smart meter data and supervised learning. **IEEE Transactions on Smart Grid**, v. 10, n. 3, p. 2661–2670, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TSG.2018.2807925>

CANAES, José Edmilson; GRIMONI, José Aquiles. Analysis and development of sustainable solutions for the inclusion of low-income customers in the electric power network. **Lecture Notes in Engineering and Computer Science**, 2012. p. 1104–1108. Disponível em:

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84867453396&partnerID=40&md5=f20d46536e26f733eb581d2a7552c546>

CHAKRABORTY, Soham *et al.* Smart meters for enhancing protection and monitoring functions in emerging distribution systems. **International Journal of Electrical Power and Energy Systems**, v. 127, Outubro 2020, p. 106626, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2020.106626>

CORTON, Maria Luisa; ZIMMERMANN, Aneliese; PHILLIPS, Michelle Andrea. The low cost of quality improvements in the electricity distribution sector of Brazil. **Energy Policy**, v. 97, p. 485–493, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.07.052>

DE ARAUJO, Renata Valente; MARTINEZ, Luciana; MOREIRA, Fernando Augusto. Statistical analysis of the relationship between payment behavior variables and delinquency in electricity consumption. **2014 IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition, PES T and D-LA 2014 - Conference Proceedings**, Outubro, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TDC-LA.2014.6955247>

DEPURU, Soma Shekara Sreenadh Reddy; WANG, Lingfeng; DEVABHAKTUNI, Vijay. Electricity theft: Overview, issues, prevention and a smart meter based approach to control theft. **Energy Policy**, v. 39, p. 1007–1015, 2011a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.11.037>

DEPURU, Soma Shekara Sreenadh Reddy; WANG, Lingfeng; DEVABHAKTUNI, Vijay. Support vector machine based data classification for detection of electricity theft. **2011 IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition, PSCE 2011**. Phoenix, AZ, USA: IEEE, 2011b. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/PSCE.2011.5772466>

DETINGER, Andrea; HIRTH, Lion. Reforming the electric power industry in developing economies evidence on efficiency and electricity access outcomes. **Energy Policy**, v. 139, Janeiro, p. 111348, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111348>

DOS ANGELOS, Eduardo Werley S. *et al.* Detection and identification of abnormalities in customer consumptions in power distribution systems. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 26, p. 2436–2442, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2011.2161621>

FARIA, Lucas Teles; MELO, Joel David; PADILHA-FELTRIN, Antonio. Spatial-Temporal Estimation for Nontechnical Losses. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 31, n. 1, p. 362–369, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2015.2469135>

FERNANDES, Silas Evandro Nachif *et al.* A Probabilistic Optimum-Path Forest Classifier for Non-Technical Losses Detection. **IEEE Transactions on Smart Grid**, v. 10, n. 3, p. 3226–3235, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TSG.2018.2821765>

GARLET, Taís Bisognin *et al.* Paths and barriers to the diffusion of distributed generation of photovoltaic energy in southern Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 111, p. 157–169, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.05.013>

GARLET, Taís Bisognin *et al.* Value chain in distributed generation of photovoltaic energy

and factors for competitiveness: A systematic review. **Solar Energy**, v. 211, p. 396–411, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.09.040>

GHAJAR, Raymond; KHALIFE, Joe; RICHANI, Brahim. Design and cost analysis of an automatic meter reading system for Electricité du Liban. **Utilities Policy**, v. 9, n. 4, p. 193–205, 2000. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0957-1787\(02\)00004-8](https://doi.org/10.1016/S0957-1787(02)00004-8)

GHASEMI, Ali Akbar; GITIZADEH, Mohsen. Detection of illegal consumers using pattern classification approach combined with Levenberg-Marquardt method in smart grid. **International Journal of Electrical Power and Energy Systems**, v. 99, p. 363–375, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2018.01.036>

GLAUNER, Patrick *et al.* Is big data sufficient for a reliable detection of non-technical losses? **2017 19th International Conference on Intelligent System Application to Power Systems, ISAP 2017**, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ISAP.2017.8071420>

HAMMERSCHMITT, Bruno Knevitz *et al.* Non-Technical Losses Review and Possible Methodology Solutions. **2020 6th International Conference on Electric Power and Energy Conversion Systems (EPECS)**. Istanbul, Turkey, 2020. p. 64–68. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/epecs48981.2020.9304525>

HENRIQUES, Henrique de Oliveira *et al.* Development of adapted ammeter for fraud detection in low-voltage installations. **Measurement: Journal of the International Measurement Confederation**, v. 56, p. 1–7, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2014.06.015>

HENRIQUES, Henrique de Oliveira *et al.* Monitoring technical losses to improve non-technical losses estimation and detection in LV distribution systems. **Measurement**, v. 161, p. 107840, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.107840>

HENRIQUES, Henrique de Oliveira; CORREA, R.L.S. Use of Smart Grids to Monitor Technical Losses to Improve Non-technical Losses Estimation. **2018 Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos (SBSE)**. Niterói - RJ: IEEE, 2018. p. 1–6. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/SBSE.2018.8395924>

JAMIL, Faisal; AHMAD, Eatjaz. Policy considerations for limiting electricity theft in the developing countries. **Energy Policy**, v. 129, p. 452–458, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.02.035>

JOKAR, Paria; ARIANPOO, Nasim; LEUNG, Victor C. M. Electricity theft detection in AMI using customers' consumption patterns. **IEEE Transactions on Smart Grid**, v. 7, n. 1, p. 216–226, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TSG.2015.2425222>

JOSEPH, Kelli L. The politics of power: Electricity reform in India. **Energy Policy**, v. 38, n. 1, p. 503–511, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.09.041>

LEITE, Daniel *et al.* A stochastic frontier model for definition of non-technical loss targets. **Energies**, v. 13, n. 12, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en13123227>

LEITE, Jônatas Boás; MANTOVANI, José Roberto Sanches. Detecting and locating non-technical losses in modern distribution networks. **IEEE Transactions on Smart Grid**, v. 9,

n. 2, p. 1023–1032, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TSG.2016.2574714>

LEÓN, Carlos *et al.* Variability and trend-based generalized rule induction model to NTL detection in power companies. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 26, n. 4, p. 1798–1807, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2011.2121350>

LEWIS, Fabian B. Costly “Throw-Ups”: Electricity Theft and Power Disruptions. **Electricity Journal**, v. 28, n. 7, p. 118–135, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tej.2015.07.009>

LOPES, Edio. **PL 5457/2016**. Brasília - DF, 2016. Disponível em: https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra;jsessionid=node01378757sp4srzvidusb8thzfu5265043.node0?codteor=1463206&filename=PL+5457/2016

LOUREIRO, Paulo R. A.; MOREIRA, Tito Belchior Silva; ELLERY, Roberto. The relationship between political parties and tolerance to criminality: A theoretical model and empirical evidences for Brazil. **International Journal of Social Economics**, v. 44, n. 12, p. 1871–1891, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/IJSE-04-2016-0115>

LUQMAN, Muhammad; HAQ, Mirajul; AHMAD, Iftikhar. Power outages and technical efficiency of manufacturing firms: Evidence from selected South Asian countries. **International Journal of Energy Economics and Policy**, v. 11, n. 2, p. 133–140, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.32479/ijeep.10584>

MACIEL, Leticia dos Santos Benso *et al.* Evaluating public policies for fair social tariffs of electricity in Brazil by using an economic market model. **Energies**, v. 13, n. 18, p. 4811, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en13184811>

MANITO, Allan R. A. *et al.* Technical and non-technical losses calculation in distribution grids using a defined equivalent operational impedance. **IET Generation, Transmission and Distribution**, v. 13, n. 8, p. 1315–1323, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2018.5334>

MARINHO, Zequinha. **PL 5325/2019**. Brasília - DF, 2019. Disponível em: <https://legis.senado.leg.br/sdleg-getter/documento?dm=8019111&ts=1594036987729&disposition=inline>

MESSINIS, George M.; HATZIARGYRIOU, Nikos D. Review of non-technical loss detection methods. **Electric Power Systems Research**, v. 158, p. 250–266, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2018.01.005>

MIMMI, Luisa M.; ECER, Sencer. An econometric study of illegal electricity connections in the urban favelas of Belo Horizonte, Brazil. **Energy Policy**, v. 38, n. 9, p. 5081–5097, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.04.037>

MORI, Raul Jimenez. It’s not price; It’s quality. Satisfaction and price fairness perception. **World Development**, v. 139, p. 105302, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.105302>

MPF. **Roteiro de Atuação - Perdas Não Técnicas de Energia Elétrica**. Brasília - DF, 2019.

Disponível em: <http://www.mpf.mp.br>

NAGI, Jawad *et al.* Nontechnical loss detection for metered customers in power utility using support vector machines. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 25, n. 2, p. 1162–1171, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2009.2030890>

NEVER, Babette. Social norms, trust and control of power theft in Uganda: Does bulk metering work for MSEs? **Energy Policy**, v. 82, n. 1, p. 197–206, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.03.020>

OTUOZE, Abdulrahman Okino *et al.* Penalization of electricity thefts in smart utility networks by a cost estimation-based forced corrective measure. **Energy Policy**, v. 143, p. 111553, Março 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111553>

PASSOS JÚNIOR, Leandro Aparecido *et al.* Unsupervised non-technical losses identification through optimum-path forest. **Electric Power Systems Research**, v. 140, p. 413–423, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.epr.2016.05.036>

RAMOS, Caio César Oba *et al.* A new approach for nontechnical losses detection based on optimum-path forest. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 26, n. 1, p. 181–189, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2010.2051823>

RAZAVI, Rouzbeh; FLEURY, Martin. Socio-economic predictors of electricity theft in developing countries: An Indian case study. **Energy for Sustainable Development**, v. 49, p. 1–10, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.esd.2018.12.006>

RIBEIRO, Aureo. **PL 1569/2019**. Brasília - DF, 2019. Disponível em: https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=1720547&filenome=PL+1569/2019

ROSSONI, Aquiles *et al.* Hybrid formulation for technical and non-technical losses estimation and identification in distribution networks: application in a Brazilian power system. **Cired**, 2015. p. 15–18. Disponível em: <http://ewh.ieee.org/soc/pes/dsacom>

SALINAS, Sergio A.; LI, Pan. Privacy-Preserving Energy Theft Detection in Microgrids: A State Estimation Approach. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 31, n. 2, p. 883–894, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2015.2406311>

SAVIAN, Fernando de Souza *et al.* Non-technical losses: A systematic contemporary article review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 147, p. 111205, 2021a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111205>

SAVIAN, Fernando de Souza *et al.* Non-technical Losses in Electricity Distribution: a Bibliometric Analysis. **IEEE Latin America Transactions**, v. 19, n. 3, p. 359–368, 2021b. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TLA.2021.9447584>

SCHLEIFER, Andrei. A Theory of Yardstick Competition. **Rand Journal of Economics**, v. 16, n. 3, p. 319–327, 1985. Disponível em: <https://scholar.harvard.edu/shleifer/publications/theory-yardstick-competition>

SHARMA, Tanushree *et al.* Of pilferers and poachers: Combating electricity theft in India. **Energy Research and Social Science**, v. 11, p. 40–52, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.08.006>

SIMÕES, Paulo Fernando Mahaz *et al.* Analysis and short-term predictions of non-technical loss of electric power based on mixed effects models. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 71, May 2019, p. 100804, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.seps.2020.100804>

SIRIN, Selahattin Murat; GONUL, Mustafa Sinan. Behavioral aspects of regulation: A discussion on switching and demand response in Turkish electricity market. **Energy Policy**, v. 97, p. 591–602, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.08.005>

SMITH, Thomas B. Electricity theft: A comparative analysis. **Energy Policy**, v. 32, n. 18, p. 2067–2076, 2004. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(03\)00182-4](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(03)00182-4)

TARIQ, Muhammad; POOR, H. Vincent. Electricity Theft Detection and Localization in Grid-Tied Microgrids. **IEEE Transactions on Smart Grid**, v. 9, n. 3, p. 1920–1929, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TSG.2016.2602660>

TASDOVEN, Hidayet; FIEDLER, Beth Ann; GARAYEV, Vener. Improving electricity efficiency in Turkey by addressing illegal electricity consumption: A governance approach. **Energy Policy**, v. 43, p. 226–234, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.12.059>

TEHERO, Remy; AKA, Emmanuel Brou; ÇOKGEZEN, Murat. Drivers of the quality of electricity supply. **International Journal of Energy Economics and Policy**, v. 10, n. 5, p. 183–195, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.32479/ijeep.9378>

THE WORLD BANK. **GDP per capita (current US\$)**, 2021a. Disponível em: https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.CD?most_recent_value_desc=true Acesso em: 2 fev. 2021.

THE WORLD BANK. **Gini index (World Bank estimate)**, 2021b. Disponível em: https://data.worldbank.org/indicator/SI.POV.GINI?most_recent_value_desc=true Acesso em: 2 fev. 2021.

TREVIZAN, Rodrigo Daniel *et al.* Non-technical losses identification using Optimum-Path Forest and state estimation. **2015 IEEE Eindhoven PowerTech, PowerTech 2015**, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/PTC.2015.7232685>

VENTURA, Lucas de Oliveira *et al.* A new way for comparing solutions to non-technical electricity losses in South America. **Utilities Policy**, v. 67, Outubro 2019, p. 101113, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jup.2020.101113>

XAVIER, S. S. *et al.* How Efficient are the Brazilian Electricity Distribution Companies? **Journal of Control, Automation and Electrical Systems**, v. 26, n. 3, p. 283–296, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40313-015-0178-2>

YAKUBU, Osman; BABU, Narendra C.; ADJEI, Osei. Electricity theft: Analysis of the underlying contributory factors in Ghana. **Energy Policy**, v. 123, p. 611–618, 2018.

Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.09.019>

ZANARDO, Rafael Petri *et al.* Energy audit model based on a performance evaluation system. **Energy**, v. 154, p. 544–552, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.04.179>

ZANETTI, Marcelo *et al.* A Tunable Fraud Detection System for Advanced Metering Infrastructure Using Short-Lived Patterns. **IEEE Transactions on Smart Grid**, v. 10, n. 1, p. 830–840, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TSG.2017.2753738>

ZHENG, Kedi *et al.* A Novel Combined Data-Driven Approach for Electricity Theft Detection. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 15, n. 3, p. 1809–1819, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TII.2018.2873814>

APÊNDICES DO ARTIGO 3

APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO PARA PROFISSIONAIS DA DIMENSÃO DE NEGÓCIO

1. Panorama das perdas não técnicas no Brasil
 - 1.1. Quais os principais desafios relacionados à identificação de perdas não técnicas no Brasil?
 - 1.2. Quais os principais desafios relacionados à mitigação de perdas não técnicas no Brasil?
 - 1.3. Quais fatores auxiliam no combate às perdas não técnicas sob o ponto de vista de negócio?
 - 1.4. Como você considera a atuação da [distribuidora] no combate às perdas não técnicas?
 - 1.5. A [distribuidora] utiliza métodos específicos para identificação de perdas não técnicas?
 - 1.6. A [distribuidora] investe em pesquisa e desenvolvimento (P&D) para aumentar a assertividade na identificação de perdas não técnicas?
 - 1.7. A empresa/organização que você trabalha possui um planejamento específico para identificação e mitigação de perdas não técnicas?
2. Identificação
 - 2.1. Nome
 - 2.2. Função do respondente na organização
 - 2.3. Há quanto tempo você trabalha na organização?

APÊNDICE B - QUESTIONÁRIO PARA PROFISSIONAIS DA DIMENSÃO REGULATÓRIA

1. Panorama das perdas não técnicas no Brasil
 - 1.1. Quais os principais desafios relacionados à identificação de perdas não técnicas no Brasil?
 - 1.2. Quais os principais desafios relacionados à mitigação de perdas não técnicas no Brasil?
 - 1.3. Quais fatores auxiliam no combate às perdas não técnicas sob o ponto de vista regulatório?

- 1.4. Como você considera a atuação da [instituição] no combate às perdas não técnicas?
 - 1.5. As regulações existentes no Brasil são eficientes no combate às perdas não técnicas?
 - 1.6. Você considera que a informação/divulgação de informações sobre perdas não técnicas é adequada e transparente a todos os setores na sociedade?
 - 1.7. Você considera que a regulação que limita o valor de PNT a ser repassado ao consumidor está adequada?
 - 1.8. Você entende que a regulação que prevê valores regulatórios de perdas não técnicas diferenciados por distribuidora é adequada?
2. Identificação
 - 2.1. Nome
 - 2.2. Função do respondente na organização
 - 2.3. Há quanto tempo você trabalha na organização?

APÊNDICE C - QUESTIONÁRIO PARA PROFISSIONAIS DA DIMENSÃO LEGISLATIVA

1. Panorama das perdas não técnicas no Brasil
 - 1.1. Quais os principais desafios relacionados à identificação de perdas não técnicas no Brasil?
 - 1.2. Quais os principais desafios relacionados à mitigação de perdas não técnicas no Brasil?
 - 1.3. Quais fatores auxiliam no combate às perdas não técnicas sob o ponto de vista legislativo?
 - 1.4. Como você considera a atuação da [instituição] no combate às perdas não técnicas?
 - 1.5. Existe alguma perspectiva de alteração na legislação existente para o combate às perdas não técnicas?
2. Identificação
 - 2.1. Nome
 - 2.2. Função do respondente na organização
 - 2.3. Há quanto tempo você trabalha na organização?

APÊNDICE D - QUESTIONÁRIO PARA PROFISSIONAIS DA DIMENSÃO DE CONHECIMENTO

1. Panorama das perdas não técnicas no Brasil
 - 1.1. Quais os principais desafios relacionados à identificação de perdas não técnicas no Brasil?
 - 1.2. Quais os principais desafios relacionados à mitigação de perdas não técnicas no Brasil?
 - 1.3. Quais fatores auxiliam no combate às perdas não técnicas sob o ponto de vista de conhecimento?
 - 1.4. Como você considera que a pesquisa pode auxiliar no combate às perdas não técnicas no Brasil?
 - 1.5. Qual é o direcionamento da pesquisa sobre perdas não técnicas no país?
 - 1.6. Quais métodos/família de métodos para identificação de perdas não técnicas possuem maior potencial de assertividade?
 - 1.7. Você considera que a informação/divulgação de informações sobre perdas não técnicas é adequada e transparente a todos os setores na sociedade?
 - 1.8. Você considera que a regulação que limita o valor de PNT a ser repassado ao consumidor está adequada?
 - 1.9. Você entende que a regulação que prevê valores regulatórios de perdas não técnicas diferenciados por distribuidora é adequada?
 - 1.10. Em sua opinião, qual seria um percentual aceitável para perdas não técnicas no Brasil?
2. Identificação
 - 2.1. Nome
 - 2.2. Função do respondente na organização
 - 2.3. Há quanto tempo você trabalha na organização?

5 ARTIGO 4 – PERDAS NÃO TÉCNICAS NA DISTRIBUIÇÃO DE ELETRICIDADE: MODELO PARA TOMADA DE DECISÃO ESTRATÉGICA EM CONCESSIONÁRIAS BRASILEIRAS

Fernando de Souza Savian, Julio Cezar Mairesse Siluk, Taís Bisognin Garlet,
José Renes Pinheiro, Zita Vale, Arturo Suman Bretas, Henrique de Oliveira Henriques

Uma versão em inglês deste artigo foi submetida no dia 25 de junho de 2022 para o periódico Utilities Policy (Qualis A1; Fator de Impacto JCR 2021: 3.247; Percentil Scopus: 91%) e encontra-se com status Under Review.

Resumo: As perdas não técnicas geram consequências para empresas distribuidoras de eletricidade, que incluem impactos econômicos e financeiros negativos com consequente redução da capacidade de investimento para melhoria da rede, desequilíbrio da relação entre oferta e demanda e redução da qualidade e confiabilidade da rede. Buscando mitigar esses problemas, são publicados anualmente na literatura dezenas de métodos para identificação de perdas não técnicas. Entretanto, esses métodos não se adequam da mesma maneira a todas as regiões de concessão, pois elas possuem características específicas, que envolvem indicadores técnicos, socioeconômicos e culturais. Dessa forma, esse capítulo buscou desenvolver um modelo para seleção dos melhores métodos de identificação de perdas não técnicas de acordo com as características das zonas de concessão de distribuição de eletricidade brasileiras. Para isso, foram utilizados fatores caracterizadores da região de concessão e o método de análise de decisão multicritério ELECTRE TRI. O modelo foi aplicado em três regiões de concessão de uma *holding* de distribuição de eletricidade brasileira. Os resultados apontaram quais métodos de identificação de perdas não técnicas possuem maior potencial de obtenção de bons resultados para cada região de concessão, com destaque aos orientados a dados e híbridos. Eles demonstram a viabilidade de aplicação do modelo em maior escala. Esse capítulo contribui para a teoria e para o setor de distribuição de eletricidade ao propor um modelo inédito que auxilia no combate às perdas não técnicas e que acelera e otimiza o processo de tomada de decisão das empresas distribuidoras de energia elétrica.

Palavras-chave: Distribuição de eletricidade; Furto de eletricidade; Perda Não Técnica; ADMC.

Abreviações:

ADMC: Análise de Decisão Multicritério

ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica

ELECTRE: *Élimination et Choix Traduisant la Réalité*

IDH: Índice de Desenvolvimento Humano

P&D: Pesquisa e Desenvolvimento

PIB: Produto Interno Bruto

PNT: Perda não técnica

5.1 INTRODUÇÃO

Perdas operacionais são comuns na distribuição de eletricidade e podem ser divididas em técnicas e não técnicas (DEPURU; WANG; DEVABHAKTUNI, 2011). Perdas técnicas envolvem perdas na subestação, no transformador e na linha, e incluem perdas resistivas dos alimentadores primários, do transformador de distribuição, perdas resistivas em redes secundárias e em quedas de serviço, e na medição de kWh (NIZAR; DONG; WANG, 2008). Perdas não técnicas (PNT) consistem em toda energia elétrica consumida e não faturada pela concessionária e envolvem furto de eletricidade, manipulação fraudulenta e defeitos em medidores, inadimplência e erros na contabilidade e manutenção de registros (AHMAD, 2017; SAVIAN et al., 2021a; VIEGAS et al., 2017; ZANETTI et al., 2019). O controle das perdas não técnicas é um desafio para concessionárias, pois gera aumento nos custos e perda de receita, o que impacta diretamente na aplicação de novos investimentos na rede de distribuição e limita o desenvolvimento e a expansão do sistema (JAMIL; AHMAD, 2019; LEWIS, 2015).

As PNT podem gerar sobrecarga no sistema de distribuição e reduzir a vida útil dos equipamentos (ARYANEZHAD, 2019). Além disso, dificultam a compensação de VAR devido à falta de informações precisas sobre o fluxo de demanda (RAZAVI; FLEURY, 2019). Todos esses fatores levam à diminuição da qualidade e confiabilidade da rede (GLAUNER et al., 2017), impactando direta e indiretamente consumidores residenciais, industriais, comerciais e rurais através de interrupções parciais ou completas no fornecimento de eletricidade (ARYANEZHAD, 2019; YORUKOGLU et al., 2016), possíveis danos em aparelhos e equipamentos (XIA et al., 2018) e gerando aumento na tarifa de eletricidade (HENRIQUES et al., 2014; SALINAS; LI, 2016). Em países em desenvolvimento, essas consequências afetam ainda mais a competitividade das concessionárias, gerando interesse no desenvolvimento de métodos e dispositivos para controlar as perdas não técnicas (DEPURU; WANG; DEVABHAKTUNI,

2011).

Muitos métodos para identificação de perdas não técnicas vêm sendo publicados na literatura, e existe uma tendência de crescimento na pesquisa sobre o tema (SAVIAN et al., 2021b). Algoritmos ou métodos de detecção de fraude possuem vantagens e desvantagens e apresentam características que permitem agrupá-los em três categorias: orientados a dados, orientados à rede ou híbridos (HENRIQUES et al., 2020; MESSINIS; HATZIARGYRIOU, 2018). No entanto, os métodos publicados na literatura apresentam índices de assertividade que podem ser variáveis de acordo com as características da região, da concessionária e da quantidade e qualidade dos dados disponíveis.

Artigos são publicados na literatura frequentemente propondo novas metodologias de identificação de perdas não técnicas (BRETAS et al., 2020; FERNANDES et al., 2019; HENRIQUES et al., 2020; PASSOS JUNIOR et al., 2016) e contendo revisões de métodos já publicados (AHMAD et al., 2018; HAMMERSCHMITT et al., 2020; MESSINIS; HATZIARGYRIOU, 2018). Por outro lado, métodos de Análise de Decisão Multicritério (ADMC) são particularmente adequados para auxílio à tomada de decisões na área de gestão de energia devido à natureza de múltiplos critérios desses tipos de problemas (ATICI; ULUCAN, 2011). Lima, Clemente e Almeida (2016) propõem um modelo multicritério de priorização de locais para instalação de reguladores de tensão em uma rede de distribuição de energia elétrica, levando em consideração critérios técnicos, regulatórios, econômicos e sociais. Gouveia et al. (2015) discutem métodos para integrar a análise de risco e o suporte à decisão multicritério sob incerteza na gestão de ativos do sistema de distribuição de eletricidade, enquanto Barbosa et al. (2018) avaliam o desempenho de concessionárias de distribuição de eletricidade com a utilização de um único índice global baseado em ADMC, de modo a classificar a qualidade do serviço nas dimensões de continuidade do fornecimento, conformidade com a tensão e satisfação do cliente.

No Brasil, um cenário de certa estabilidade vem sendo observado nos níveis de perdas não técnicas sobre o mercado de baixa tensão faturado desde 2012. Contudo, os níveis de PNT diferem significativamente entre os estados brasileiros, sendo altos em estados como Amazonas, Amapá, Pará, Rio de Janeiro, Alagoas, Rondônia e Roraima, e baixos em estados como Rio Grande do Norte, Santa Catarina, Goiás, Sergipe, Paraíba, Paraná e Tocantins (ANEEL, 2021). Essa diferença entre os níveis de perdas não técnicas entre as regiões pode ser explicada pelas características socioeconômicas, geográficas e culturais complexas do país (MACIEL et al., 2020). A regulação baseada em incentivos aplicada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) auxilia nesse processo, pois considera metas de redução de perdas diferenciadas

para cada região de concessão (ANEEL, 2015). Ainda, a agência reguladora realiza consultas públicas para compreender as demandas dos *stakeholders* e compensar a assimetria de informações no setor (CORTON; ZIMMERMANN; PHILLIPS, 2016). Entretanto, para aproveitar os incentivos da ANEEL, as concessionárias precisam considerar os fatores específicos de suas zonas de concessão que interferem na identificação e mitigação de PNT, de forma a fundamentar o desenvolvimento e utilização de novas metodologias que sejam efetivas e assertivas nesse combate.

Apesar de as pesquisas atuais contemplarem a formulação de novos métodos e estratégias gerenciais para otimização dos processos no sistema de distribuição de eletricidade, é necessário avançar na temática para identificar como os métodos de identificação de PNT se ajustam às características diversas e complexas das regiões de concessão no Brasil. Desse modo, este capítulo teve como objetivo desenvolver um modelo para seleção dos melhores métodos de identificação de perdas não técnicas de acordo com as características das zonas de concessão de distribuição de eletricidade brasileiras. Com isso, pretende-se auxiliar no processo de tomada de decisão das concessionárias, visando minimizar os efeitos adversos das perdas não técnicas. O estudo utilizou o método quantitativo *Élimination et Choix Traduisant la Réalité* (ELECTRE) TRI, análises da literatura e documental e entrevistas com profissionais de concessionárias, de forma a apontar como essas distribuidoras podem se tornar ainda mais efetivas no combate às perdas não técnicas.

Este capítulo está estruturado em cinco subseções. A subseção 5.2 apresenta a estruturação do problema, descrevendo os conjuntos de métodos e fatores a serem avaliados e o tipo de avaliação buscada. A subseção 5.3 apresenta os métodos e as contribuições metodológicas desse estudo. A subseção 5.4 apresenta os resultados, exemplifica e discute a aplicação da metodologia. Por fim, a subseção 5.5 traz as considerações finais, enfatizando as implicações do estudo e sugerindo pesquisas futuras motivadas por essa pesquisa.

5.2 ESTRUTURAÇÃO DO PROBLEMA

Problemas de decisão que envolvem critérios conflitantes precisam ser estruturados para serem resolvidos de maneira mais eficaz. Portanto, é necessário identificar o objetivo da análise, listando quais critérios serão relevantes para condução do estudo (WINTERFELDT; FASOLO, 2009). Para estruturar o problema, três questões principais foram levantadas:

- a) Quais são os fatores que influenciam na identificação de perdas não técnicas nas zonas de concessão brasileiras sob as perspectivas das concessionárias e de pesquisadores?

- b) Que métodos de identificação de perdas não técnicas publicados na literatura serão avaliados?
- c) Que tipo de resultado de avaliação é almejado?

Os principais fatores que influenciam positiva e negativamente na identificação de perdas não técnicas no Brasil foram levantados através de entrevistas semiestruturadas com 10 profissionais de concessionárias e 11 pesquisadores (SAVIAN et al., 2022). Esses fatores foram analisados e compilados conforme apresenta-se a seguir:

- *F1: Características socioeconômicas e culturais.* Relaciona-se a indicadores socioeconômicos, como Produto Interno Bruto (PIB), renda *per capita*, Coeficiente de Gini, Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), nível de desemprego e oferta de serviços públicos essenciais da região de concessão. Além disso, considera a cultura de aceitação ao furto de eletricidade no local e o índice de indicadores sociais específicos disponibilizados pelo governo, de modo a compreender a diversidade regional no índice de perdas não técnicas;
- *F2: Caracterização física da unidade consumidora e do sistema de distribuição.* Relaciona-se à acessibilidade da concessionária em regiões nas quais medição, manutenção e proteção da rede de distribuição são dificultadas por questões geográficas ou de insegurança. Compreende a possibilidade de existência de zonas com alto índice de criminalidade, em que a entrada de leituristas é impedida ou ameaçada, prejudicando a coleta de dados. Ainda se consideram regiões nas quais funcionários podem ser coagidos, de modo que prejudiquem a confiabilidade dos dados reportados à empresa. Verifica-se se a região possui ligações clandestinas à rede de distribuição. Além disso, engloba a dimensão e as medidas de blindagem e proteção do sistema de distribuição;
- *F3: Judicialização dos fraudadores.* Relaciona-se à responsabilização legal dos fraudadores após o flagrante, e considera-se também a postura da concessionária em relação a judicializações em casos de furto de eletricidade. Também se consideram a possibilidade de corrupção por parte de leituristas das concessionárias e terceirizados e a existência de eventuais empecilhos para desconexões ilegais em larga escala;
- *F4: Disponibilidade de equipes de inspeção qualificadas.* Relaciona-se às qualificações e treinamentos ofertados às equipes de campo, se recebem treinamentos

periódicos e se são qualificadas para identificar diversos tipos de fraude e realizar leituras corretas. Ainda, considera-se a quantidade de funcionários treinados disponíveis para inspeções e manutenções na região de concessão.

- *F5: Disponibilidade de dados confiáveis e atualizados.* Refere-se à confiabilidade e ao volume e qualidade dos bancos de dados dos clientes e se possuem informações precisas e obtidas com intervalos de tempo regulares. Verifica-se se os bancos de dados possuem atualização e aprimoramento constante e permitem a identificação de padrões de consumos. Considera-se se há falhas humanas na medição, imprecisões frequentes nas contas de eletricidade dos clientes.
- *F6: Infraestrutura de medição inteligente e comunicação.* Refere-se ao nível de investimento da concessionária em medição inteligente e se a infraestrutura de comunicação na região de concessão é robusta o suficiente para transmissão confiável de dados de consumo. Verifica-se se já existe telemedição e em qual escala.
- *F7: Eficiência e localização dos medidores.* Refere-se à localização onde os medidores são instalados e seus níveis de eficiência. Considera-se a instalação de medidores em locais cujo acesso não seja facilitado a potenciais fraudadores;
- *F8: Índice de inadimplência.* Refere-se ao índice de consumidores com atraso ou falta de pagamento na região de concessão e ao impacto causado pela inadimplência na concessionária.

Esses fatores apresentam características existentes em maior ou menor nível em todas as regiões de concessão de distribuição de eletricidade no Brasil. Nesse sentido, a percepção das concessionárias acerca do cenário no qual estão inseridas é fundamental para a escolha estratégica dos melhores métodos de identificação de perdas não técnicas. Cada método possui características únicas que respondem de maneira diferente a cada um dos fatores apresentados.

Os grupos de métodos listados a seguir foram compilados e apresentados através da revisão sistemática publicada por Messinis e Hatzargyriou (2018). Os autores fazem uma revisão de 66 métodos de detecção de perdas não técnicas, dividindo-os de acordo com suas características. Métodos orientados a dados são aqueles que fazem uso apenas de dados relacionados ao consumidor (consumo de energia, tipo de consumidor, entre outros), utilizando unicamente técnicas de análise de dados e aprendizado de máquina. Em geral possuem um desempenho inferior, entretanto são mais baratos e podem fazer uso de dados presentes na concessionária. Métodos orientados à rede são aqueles que fazem uso de dados da rede de distribuição

(topologia e medidas da rede, entre outros) e de sensores da rede de distribuição (medidores inteligentes, medidores observadores, etc.). Tendem a ser mais precisos, mas sua implementação é mais cara. Métodos híbridos são aqueles que reúnem características de métodos orientados a dados e orientados à rede. A seguir, são descritas as subcategorias desses métodos. O Apêndice E contém as descrições dos grupos de métodos apresentadas aos entrevistados.

- A1.1: Métodos orientados a dados – supervisionados;
- A1.2: Métodos orientados a dados – não supervisionados;
- A2.1: Métodos orientados à rede – abordagem de fluxo de carga;
- A2.2: Métodos orientados à rede – abordagem de estimador de estados;
- A2.3: Métodos orientados à rede – abordagem de rede de sensores;
- A3: Métodos híbridos.

Além disso, foi definido que o tipo de resultado de avaliação não deve ser um *ranking* de métodos mais adequados para cada região de concessão, mas um agrupamento de métodos de acordo com seu potencial de eficácia para a concessionária. Essa definição parte do princípio de que mais de um método de identificação de perdas não técnicas pode ser utilizado concomitantemente, visto que as regiões de concessão podem ter suas próprias especificidades quanto a cada um dos fatores apresentados nesse capítulo. No entanto, é possível ordenar os métodos dentro de cada categoria caso seja interessante para a concessionária. Dessa forma, quatro categorias de resultados possíveis foram criadas:

- *C¹: Não implementar.* As características do método não permitem obter bons resultados na identificação de perdas não técnicas para a zona de concessão;
- *C²: Considerar não implementar.* É provável que o método não leve à obtenção de bons resultados na identificação de perdas não técnicas para essa zona de concessão;
- *C³: Considerar implementação.* O método pode ser considerado de acordo com as necessidades e análise de custo-benefício pela concessionária;
- *C⁴: Implementar.* O método é adequado às características da zona de concessão e possui alto potencial de auxiliar no combate às perdas não técnicas.

5.3 MÉTODO

O método foi baseado em uma abordagem quantitativa de análise de decisão multicritério. O ELECTRE TRI foi utilizado com o propósito de alocar os grupos de métodos nas categorias C¹ a C⁴. O ajuste dos cálculos necessários e a programação das equações do método foram realizadas utilizando o Microsoft Excel 2021[©]. A planilha foi estruturada para receber dados referentes à caracterização da região de concessão e do nível de adequação dos grupos de métodos para resolução de problemas relacionados aos fatores F1 a F8. Além disso, foi feito um banco de dados com todos os métodos de identificação de PNT compilados na revisão de Messinis e Hatzirygiou (2018), contendo os algoritmos utilizados e suas categorizações, com informações sobre os tipos de dados, *features*¹, tamanho do conjunto de dados, métricas utilizadas e tempo de resposta de cada método.

5.3.1 Construindo o modelo ELECTRE TRI

Para atingir os objetivos da pesquisa, foi utilizado um método de análise de decisão multicritério de classificação que seja adequado para obter resultados a partir de dados qualitativos. O método ELECTRE TRI possibilita estabelecer relações de sobreclassificação com relações de preferência e requer que sejam elencados parâmetros, como pesos, limiares e limites de categoria, para construir o modelo de tomada de decisão (MOUSSEAU; SLOWINSKI, 1998). Pesquisas que utilizam métodos ADMC podem ser encontrados na literatura. Oliveira, Dias e Neves (2020) exploram o potencial de fomentar o desenvolvimento de redes inteligentes no Brasil usando ELECTRE TRI, enquanto Dias et al. (2018) fazem a categorização de políticas energéticas de fomento à inovação tecnológica no setor elétrico brasileiro utilizando ELECTRE TRI e Delphi. Terrados, Almonacid e Pérez-Higueras (2009) propõem uma metodologia envolvendo PROMETHEE para o estabelecimento de estratégias necessárias para alcançar, a longo prazo, um sistema energético mais sustentável e baseado principalmente em recursos naturais espanhóis. Dessa forma, percebe-se a efetividade da utilização de metodologias de análise multicritério para auxiliar no processo de tomada de decisão estratégica. Contudo, destaca-se que

¹ É comum que os métodos de detecção PNT orientados a dados (e às vezes híbridos) usem não apenas dados brutos, mas também recursos extraídos desses dados. Esses recursos são chamados de *features*, e são quase sempre calculados a partir de dados de séries temporais de nível de consumidor e mais especificamente de curvas de consumo de energia ativa. Messinis e Hatzirygiou (2018) compilam e descrevem essas *features* e as associam a tipos de dados e algoritmos.

apesar de possuírem embasamento na literatura, esses métodos nunca foram aplicados em conjunto para seleção e classificação de métodos relacionados à identificação de perdas não técnicas.

O método ELECTRE TRI foi proposto por Yu (1992). No entanto, a variação do método utilizada nessa pesquisa mescla os conceitos matemáticos desenvolvidos em Dias et al. (2002), Dias et al. (2018) e Mousseau e Dias (2004), tendo em vista seus aprimoramentos e características técnicas que se adequam às necessidades do estudo. Três conjuntos finitos representando os dados iniciais do modelo foram definidos: de alternativas (representando os grupos de métodos); de critérios de avaliação (representando os fatores da região de concessão); e de perfis que definem um conjunto de k categorias, $\{C^1, \dots, C^k\}$ ², conforme apresentado nas equações 2, 3 e 4, respectivamente.

$$A = \{a_1, \dots, a_i\}; i = 1, \dots, 6 \quad (2)$$

$$F = \{g_1(\cdot), \dots, g_j(\cdot)\}; j = 1, \dots, 8 \quad (3)$$

$$B = \{b^0, \dots, b^h\}; h = 0, \dots, 3 \quad (4)$$

A construção da relação de superação S no ELECTRE TRI permite validar ou invalidar que um grupo de métodos a_i supere um perfil b^h , ou seja, aSb , (" a é pelo menos tão bom quanto b "). Essa comparação é baseada nos vetores de avaliação das alternativas a e b , ou seja, $g_j(a_i)$ e $g_j(b^h)$, e em informações adicionais sobre as preferências do tomador de decisões. Para validar a afirmação aSb , duas condições básicas devem ser verificadas: concordância e não discordância (ou não-veto) (MOUSSEAU; DIAS, 2004). De forma a considerar uma transição gradual de não concordância para concordância total, são definidos limiares de preferência ($p_j(g_j(a_i))$) e indiferença ($q_j(g_j(a_i))$), apresentados respectivamente nas equações 5 e 6. Os limiares de preferência e indiferença foram definidos iguais para todos os critérios j seguindo os preceitos de Dias et al. (2018). Com os limiares definidos, o índice de concordância concorda totalmente que a_i é pelo menos tão bom quanto o desempenho de b^h , concorda parcialmente se o desempenho de a_i é um ou dois níveis abaixo do desempenho de b^h e não concorda se o desempenho

² Cada categoria C^h ($h=1, \dots, k$) é definida através de dois perfis de referência: um limite inferior b^{h-1} e um superior b^h .

de a_i está três níveis abaixo do desempenho de b^h , o que corresponde aos limiares estabelecidos na Tabela 16. O índice v_j , apresentado na equação 7, denota o limiar de veto para $g_j(a_i)$. Se um grupo de métodos é muito pior do que o perfil de referência, este critério veta a conclusão de que aSb .

$$p_j(g_j(a_i)) = p_j = 2,5; \forall j = 1, \dots, 8 \quad (5)$$

$$q_j(g_j(a_i)) = q_j = 0,5; \forall j = 1, \dots, 8 \quad (6)$$

$$v_j(g_j(a_i)) = v_j \quad (7)$$

O ELECTRE TRI permite calcular um índice de concordância c_j para um único critério, definido com base em $g_j(a_i)$ e $g_j(b^h)$ e nas duas funções p_j e q_j ($0 < q_j < p_j$). O índice $c_j(a_i, b^h)$, apresentado na equação 8, representa o grau em que a alternativa a_i supera (é pelo menos tão boa quanto) b^h (MOUSSEAU; DIAS, 2004).

$$c_j(a_i, b^h) = \begin{cases} 0, & \text{se } g_j(a_i) - g_j(b^h) < -p_j \\ \frac{g_j(a_i) - g_j(b^h) + p_j}{p_j - q_j}, & \text{se } -p_j \leq g_j(a_i) - g_j(b^h) < -q_j \\ 1, & \text{se } g_j(a_i) - g_j(b^h) \geq -q_j \end{cases} \quad (8)$$

O índice de concordância global $C(a_i, b^h)$ (equação 9) representa o nível de maioria entre os critérios a favor da afirmação " a é pelo menos tão bom quanto b ". Ao calcular esse nível de maioria, cada critério $g_j(\cdot)$ tem um peso $w_j \geq 0$. Nessa pesquisa, considerou-se a normalização dos pesos percentuais dos fatores resultantes das atribuições de especialistas, de forma que $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ (DIAS et al., 2002; MOUSSEAU; DIAS, 2004).

$$C(a_i, b^h) = \sum_{j=1}^n w_j \cdot c_j(a_i, b^h) \quad (9)$$

O ELECTRE TRI constrói um índice de discordância d_j , apresentada na equação 10, que é restrita a um único critério g_j . Ela indica se o desempenho em g_j veta a afirmação de que

a_i supera b^h (MOUSSEAU; DIAS, 2004). Para $p_j < v_j$,

$$d_j(a_i, b^h) = \begin{cases} 0, & \text{se } g_j(a_i) - g_j(b^h) > -p_j \\ 1 - \frac{g_j(a_i) - g_j(b^h) + v_j}{v_j - p_j}, & \text{se } -v_j < g_j(a_i) - g_j(b^h) \leq -p_j \\ 1, & \text{se } g_j(a_i) - g_j(b^h) \leq -v_j \end{cases} \quad (10)$$

Com base em d_j , é possível estabelecer como a relação de discordância valorada $ND_j(a_i, b^h)$ representa o grau em que os critérios de minoria (ou seja, critérios que expressam uma preferência a favor de b sobre a) opõem coletivamente um veto à afirmação " a é pelo menos tão bom quanto b ". A equação 11 apresenta $ND_j(a_i, b^h)$, sendo que $ND_j(a, b) = 1$ significa que nenhum dos critérios opõe um veto a aSb . A equação 12 apresenta uma relação de não discordância geral, a qual o produto considera cada critério j .

$$ND_j(a_i, b^h) = \begin{cases} 1, & \text{se } d_j(a_i, b^h) \leq C(a_i, b^h) \\ \frac{1 - d_j(a_i, b^h)}{1 - C(a_i, b^h)} > C(a_i, b^h) \end{cases} \quad (11)$$

$$ND(a_i, b^h) = \prod_{j=1}^n ND_j(a_i, b^h) \quad (12)$$

As relações de concordância e discordância são então combinadas na equação 13, resultando na relação de superação valorada $S(a_i, b^h)$.

$$S(a_i, b^h) = C(a_i, b^h) \cdot ND(a_i, b^h) \quad (13)$$

A partir da relação de superação valorada $S(a_i, b^h)$, é possível definir em qual categoria C^k cada grupo de métodos a_i é classificado a partir da comparação com os níveis de corte λ_{max} e λ_{min} . Eles foram estabelecidos a partir de discussões e análises acadêmicas como sendo $\lambda_{min} = 7/8$ e $\lambda_{max} = 8/8$, ou $\lambda \in [0,875;1]$ (DIAS et al., 2002). Sendo assim, como apresentado na equação 14, a_i é classificado na categoria C^k se:

$$S(a_i, b^{h-1}) \geq \lambda_{max} \wedge S(a_i, b^h) < \lambda_{min} \quad (14)$$

5.3.2 Aplicação do modelo

De forma a testar a aplicabilidade do modelo, uma *holding* de distribuidoras de eletricidade com ampla atuação no Brasil foi contatada. O modelo foi exposto a diretores da empresa por meio de uma videochamada em novembro de 2021, demonstrando o potencial de resultados e as entregas previstas. Na ocasião, foi solicitado à diretoria que destacasse especialistas em perdas não técnicas para participação da pesquisa. A amostra selecionada pela diretoria consistiu em sete entrevistados. A pedido da empresa, os dados coletados corresponderam a três regiões de concessão de distribuição. Nesse capítulo, são analisados os dados referentes a cinco entrevistas, correspondentes a uma única região de concessão que representou cerca de 6,5 % das perdas não técnicas do Brasil em 2020 (ANEEL, 2021). Os resultados gerados pelas outras duas aplicações do modelo nas outras duas regiões encontram-se como Material Complementar 1³ desta tese. Destaca-se ainda que o nome da *holding* de concessionárias e a identificação das regiões de concessão são preservadas nesta tese de forma a garantir a confidencialidade das informações acordada entre pesquisadores e empresa.

Os questionários foram validados por três pesquisadores doutores com ampla experiência na área de perdas não técnicas e aplicados entre janeiro e março de 2022. Considerando a característica exploratória da pesquisa, foram realizadas entrevistas estruturadas através de formulário *online*. Em um primeiro momento, foram apresentados aos entrevistados os fatores descritos no subcapítulo 5.2. Eles foram questionados acerca da relevância de cada fator para a sua região de concessão. Dessa forma, foi adotada a seguinte escala qualitativa: 0 = “fator não é relevante na região de concessão”; 1 = “fator é muito pouco relevante na região de concessão”; 2 = “fator é pouco relevante na região de concessão”; 3 = “fator possui relevância moderada na região de concessão”; 4 = “fator é relevante na região de concessão”; 5 = “fator é muito relevante na região de concessão”. O percentual dos valores de resposta para cada fator foi considerado e os pesos foram normalizados de forma a se tornarem adequados ao cálculo do ELEC-TRE TRI.

A relevância potencial dos grupos de métodos selecionados para cada um dos oito fatores foi atribuída pelos especialistas através da escala apresentada na Tabela 16, baseada em Dias et al. (2018). Os grupos de métodos foram apresentados com descrições de até 200 palavras cada, expostas no Apêndice E, destacando suas principais características e aplicações. Então, a seguinte pergunta foi feita aos entrevistados: “O quanto você acredita que esse conjunto de

³ O Material Complementar 1 encontra-se no seguinte *hiperlink*: [Material Complementar 1](#).

métodos se adequa a resolver problemas relacionados a cada um dos fatores descritos, considerando a sua região de concessão?”. Foram utilizadas as médias dos valores de resposta para a aplicação no modelo ELECTRE TRI.

Tabela 16 - Escala de mensuração da adequação de cada conjunto de métodos a_i em um fator g_j e enquadramento das categorias de resultados (C^k)

Nível de impacto	Enquadramento nas categorias
+5 → é perfeitamente adequado	Limite inferior para C^4 (b^3)
+4 → é extremamente adequado	
+3 → é muito adequado	Limite inferior para C^3 (b^2)
+2 → é pouco adequado	
+1 → é levemente adequado	Limite inferior para C^2 (b^1)
0 → indiferente	
-1 → é levemente inadequado	
-2 → é pouco inadequado	
-3 → é muito inadequado	
-4 → é extremamente inadequado	
-5 → é totalmente inadequado	Limite inferior para C^1 (b^0)

Fonte: Adaptado de Dias et al. (2018).

O ELECTRE TRI permite aos entrevistados utilizarem uma variável de veto. Dessa forma, eles foram questionados: “Você consideraria que, se algum conjunto de métodos fosse muito pouco adequado a um fator em sua zona de concessão, justificaria não o implementar mesmo que esse conjunto de métodos fosse muito adequado aos outros fatores?” Em caso negativo, o limiar de veto considerado é +3, que representa o limite inferior (b^2) para a categoria C^3 (considerar implementação). Em caso positivo, solicita-se aos entrevistados, com base nos valores da Tabela 16: “Indique para cada fator quais níveis de adequação você consideraria baixos o suficiente para descartar a implementação.”. Os valores então são ajustados com base no valor de referência de b^2 .

Por fim, os entrevistados foram questionados sobre as *features* calculadas e que a concessionária tem disponibilidade de calcular a partir dos dados brutos de consumo coletados. Também se questionou sobre o tamanho do conjunto de dados de clientes na região de concessão e sobre a resolução dos dados, ou seja, com que frequência a concessionária obtém

atualizações de consumo.

5.3.3 Descrição e análise dos resultados

Nessa etapa da metodologia, os resultados do modelo multicritério foram analisados, observando a categoria na qual cada conjunto de métodos foi inserido. Os resultados foram discutidos, analisados e apresentados em forma de tabelas e texto a fim de compreender quais efeitos positivos e limitações os métodos selecionados podem gerar para a concessionária. A partir dos resultados da pesquisa, foi possível levantar quais métodos enquadrados no grupo selecionado nas categorias C^3 e C^4 possuem potencial de bom resultado na identificação de perdas não técnicas na região de concessão analisada. Por fim, foi elaborado um relatório técnico que foi enviado à empresa com os resultados da pesquisa.

5.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esse subcapítulo apresenta os resultados obtidos através da aplicação do modelo proposto com especialistas que atuam em uma região de concessão atendida por uma empresa distribuidora de eletricidade brasileira. Inicialmente, são demonstrados os resultados iniciais gerados pelo modelo ELECTRE TRI. Posteriormente, é descrita a análise específica dos resultados das entrevistas, gerando os achados que foram entregues à empresa em formato de relatório técnico. Por fim, são exploradas as relações que alguns grupos de métodos em questão possuem com os fatores que representam a região de concessão.

5.4.1 Resultados gerados pelo modelo ELECTRE TRI

Os resultados descritos nesse subcapítulo foram obtidos a partir das entrevistas com cinco especialistas em perdas não técnicas de uma concessionária brasileira, que possuem tempo médio aproximado de atuação na empresa de cinco anos. Eles foram selecionados pelos gestores da distribuidora para participação na pesquisa. Na primeira etapa, os entrevistados elencaram o quanto cada um dos oito fatores descritos no subcapítulo 5.2 possui relevância para a região de concessão e de atuação da concessionária. O percentual de respostas para cada um dos fatores foi compilado e apresentado na Tabela 17. Os resultados demonstram que nessa região de concessão as características socioeconômicas e culturais e a caracterização física da unidade consumidora possuem maior importância. Nota-se que a distribuidora mantém

indicadores socioeconômicos atualizados e utiliza-os no combate às PNT, além de considerá-los para compreender a diversidade regional no índice de perdas não técnicas. Ainda, existe um esforço da empresa em relação à acessibilidade em regiões nas quais medição, manutenção e proteção da rede de distribuição são dificultadas por questões geográficas ou de insegurança. Apesar do destaque a esses dois fatores, todos os demais possuem certa relevância para a região de concessão, sendo que nenhum deles obteve respostas relacionadas aos níveis 0 a 2.

Tabela 17 – Definição do peso dos fatores da zona de concessão

Nível	F1 (g_1)	F2 (g_2)	F3 (g_3)	F4 (g_4)	F5 (g_5)	F6 (g_6)	F7 (g_7)	F8 (g_8)
0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
1	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
3	0%	0%	20%	20%	20%	20%	40%	20%
4	40%	40%	60%	40%	40%	60%	60%	40%
5	60%	60%	20%	40%	40%	20%	0%	40%

Fonte: Autor.

A média das respostas dos cinco questionários foi utilizada para verificar a adequação dos conjuntos de métodos à resolução de problemas relacionados a cada um dos oito fatores. Os resultados, apresentados na Tabela 18, apontam que, para determinados fatores, há indícios de um melhor desempenho dos métodos orientados a dados, pertencentes ao grupo A1, e um pior desempenho dos métodos orientados à rede, pertencentes ao grupo A2. Entretanto, essa análise prévia não é conclusiva, sendo necessário avaliar esses dados com relação aos indicadores de relevância estabelecidos a cada um dos fatores nessa região de concessão, de modo a categorizá-los corretamente.

Tabela 18 – Desempenho dos grupos de métodos por fator (média das respostas)

(continua)

	F1 (g_1)	F2 (g_2)	F3 (g_3)	F4 (g_4)	F5 (g_5)	F6 (g_6)	F7 (g_7)	F8 (g_8)
A1.1	4,0	4,2	3,0	4,4	3,6	3,6	3,2	3,0
A1.2	3,0	3,6	3,0	3,8	4,0	3,2	3,2	2,6

Tabela 19 – Desempenho dos grupos de métodos por fator (média das respostas)

(conclusão)

	F1 (g_1)	F2 (g_2)	F3 (g_3)	F4 (g_4)	F5 (g_5)	F6 (g_6)	F7 (g_7)	F8 (g_8)
A2.1	3,6	3,4	0,8	3,0	3,0	3,2	3,0	1,2
A2.2	3,0	3,0	0,8	3,0	3,2	3,8	3,6	1,6
A2.3	2,4	2,4	0,8	2,4	2,6	3,2	3,0	1,0
A3	3,2	2,8	2,6	3,0	3,2	3,8	2,6	3,0

Fonte: Autor.

Após serem feitos os cálculos a partir das equações 8 a 13, foram obtidos os valores das relações de superação valoradas, demonstradas na Tabela 19. Percebe-se que os métodos dos grupos A1 e A3 possuem valor 1 para superar b^1 e b^2 , enquanto os métodos do grupo A2 não superam b^2 . Aplicando-se a relação exposta na Equação 14, considerando o nível de corte $\lambda \in [0,875; 1]$, os grupos de métodos foram categorizados conforme descrito na Tabela 20.

Tabela 20 – Relação de Superação Valorada

	$S(a_i, b^1)$	$S(a_i, b^2)$	$S(a_i, b^3)$
A1.1	1	1	0,57395210
A1.2	1	1	0,40209581
A2.1	1	0,81646707	0
A2.2	1	0,84161677	0
A2.3	1	0,78383234	0
A3	1	1	0,26497006

Fonte: Autor.

Tabela 21 – Categorização dos grupos de métodos propostos

(continua)

Grupos de métodos	Categorização
A1.1 – Métodos orientados a dados supervisionados	Considerar implementação (C^3)
A1.2 – Métodos orientados a dados não supervisionados	Considerar implementação (C^3)
A2.1 – Métodos orientados à rede – abordagem de fluxo de carga	Considerar não implementar (C^2)

Tabela 22 – Categorização dos grupos de métodos propostos

(conclusão)

Grupos de métodos	Categorização
A2.2 – Métodos orientados à rede – abordagem de estimador de estados	Considerar não implementar (C^2)
A2.3 – Métodos orientados a dados – abordagem de rede de sensores	Considerar não implementar (C^2)
A3 – Métodos híbridos	Considerar implementação (C^3)

Fonte: Autor.

Os cálculos realizados por meio do modelo ELECTRE TRI sugerem que métodos orientados a dados e métodos híbridos sejam considerados para implementação na região de concessão analisada. Por outro lado, métodos orientados à rede não se mostram adequados a essa região. Essa análise inicial auxilia no processo de escolha dos métodos que podem ser utilizados pela distribuidora, eliminando diversas possibilidades e limitando o processo de seleção dos métodos de identificação de perdas não técnicas apenas àqueles com maior potencial de resultados positivos para a empresa.

5.4.2 Escolha dos métodos de identificação de perdas não técnicas

Após verificar-se a indicação de utilização de métodos orientados a dados e métodos híbridos para identificação de perdas não técnicas na região de concessão analisada, foram consideradas informações acerca do tamanho e da resolução dos dados de consumo da distribuidora, além de *features* que são possíveis de ser calculadas a partir dos dados brutos dos consumidores. A revisão de métodos de identificação de perdas não técnicas feita por Messinis e Hatzigryriou (2018) indica 23 artigos com métodos orientados a dados supervisionados, 13 com métodos orientados a dados não supervisionados, três com métodos orientados a dados mistos (com características de métodos supervisionados e não supervisionados) e 10 com métodos híbridos, acumulando um total de 49 possibilidades de artigos a serem indicados à distribuidora.

Os especialistas relataram que o tamanho do banco de dados é grande, ou seja, maior do que 1000 consumidores, e que a resolução dos dados depende da microrregião dentro da área de concessão da distribuidora, podendo ser baixa (medições de energia ativa/reactiva com resolução de tempo com mais de um mês), média (medições de energia ativa/reactiva com resolução de tempo entre 15 minutos e uma hora) ou alta (medições de energia ativa/reactiva com resolução

de tempo menor do que 10 minutos). Dessa forma, foram filtrados artigos elencados por Mes-sinis e Hatzargyriou (2018) cujos métodos necessitam de dados de baixa ou média resolução, ou seja, que possam ser mais versáteis para utilização da distribuidora. Não foram filtrados artigos com relação ao tamanho do conjunto de dados.

Os respondentes foram apresentados a descrições de 20 *features* conceituadas por Mes-sinis e Hatzargyriou (2018), para as quais precisaram assinalar uma das seguintes opções: “Sim, possuímos esses dados calculados”, “Não, mas possuímos as ferramentas necessárias para realizar esses cálculos”, “Não possuímos esses dados” ou “Não sei informar”. Foram então selecionados artigos que usam *features* em seus métodos de identificação de perdas não técnicas que a distribuidora possui calculadas ou que possui ferramentas e dados necessários para calculá-las. Após a aplicação desses filtros, restaram 10 artigos com métodos orientados a dados supervisionados, sete com métodos orientados a dados não supervisionados, dois com métodos orientados a dados mistos e quatro com métodos híbridos, acumulando um total de 23 possibilidades de artigos a serem indicados à distribuidora. Foi realizada uma análise qualitativa dos artigos, verificando-se os resultados apresentados, os algoritmos utilizados, o tempo de resposta dos métodos e em quais regiões eles foram aplicados. Foram selecionados para entrega à concessionária os artigos descritos na Tabela 21.

Os artigos apresentados na Tabela 21 foram descritos em formato de relatório técnico, encaminhado para os gestores da distribuidora. As entregas dessa e das outras duas regiões de concessão analisadas podem ser encontradas no Material Suplementar 2⁴ desta tese.

5.4.3 Relação dos grupos de métodos com os fatores de caracterização da região de concessão

Alguns fatores elencados no subcapítulo 5.2., compilados a partir dos resultados de Savian et al. (2022), não possuem relações diretas com as características dos métodos de identificação de perdas não técnicas encontrados na literatura. Nesses casos, um estudo aprofundado com o modelo proposto nesse capítulo da tese se torna especialmente relevante, proporcionando às distribuidoras uma análise com maior potencial de resultados positivos na busca por métodos de identificação de perdas não técnicas que se adequem à realidade de sua região de concessão. Entretanto, alguns métodos para identificação de PNT possuem características que podem ser relacionadas a determinados fatores que são relevantes para uma região de concessão. Tais

⁴ O Material Complementar 2 encontra-se no seguinte hiperlink: [Material Complementar 2](#).

relações, apresentadas nesse subcapítulo, podem ser inferidas por meio da análise das características dos dados que cada método necessita. Essa relação, desenvolvida a partir dos resultados dessa pesquisa e de um vasto estudo da literatura, pode ser um ponto de partida para distribuidoras que possuam um dos oito fatores muito mais relevantes do que os outros em sua região de concessão.

As características socioeconômicas e culturais da região de concessão podem gerar indicadores importantes para o combate às perdas não técnicas. Diversos métodos propostos pela literatura utilizam dados não técnicos do consumidor e da área. Essas informações compreendem o comportamento do consumidor e permitem caracterizar a área de um ponto de vista social e econômico, como as atividades econômicas desenvolvidas no local, o número médio de residentes, o percentual de residências com acesso a água e saneamento, índice de imóveis alugados na região, entre outros (MESSINIS; HATZIARGYRIOU, 2018).

Tabela 23 – Artigos sugeridos para implementação à distribuidora

Artigo	Tipo de método	Algoritmos	Tipos de dados	Conjunto de dados	Features	Tempo de resposta
(NAGI et al., 2010)	Orientado a dados supervisionado	<i>Support Vector Machine</i>	Dados de baixa resolução; dados não técnicos do consumidor	Grande	Média de consumo	Ano
(PEREIRA et al., 2013)	Orientado a dados supervisionado	<i>Artificial Neural Network</i>	Dados de média resolução; dados técnicos do consumidor	Grande	Consumo max/min; fator de carga; fator de potência	Meses
(DOS ANGELOS et al., 2011)	Orientado a dados não supervisionado	<i>Clustering</i>	Dados de baixa resolução; dados não técnicos do consumidor; consumo médio da área	Grande	Média de consumo; consumo max/min; desvio padrão	Meses
(PASSOS JUNIOR et al., 2016)	Orientado a dados não supervisionado	<i>Optimum-Path Forest; Clustering; Multivariate Gaussian Distribution</i>	Dados de média resolução; dados técnicos do consumidor	Grande	Consumo max/min; fator de potência; fator de carga	Meses
(GLAUNER et al., 2016)	Orientado a dados misto	<i>Support Vector Machine; Expert Systems</i>	Dados de baixa resolução; dados não técnicos do consumidor	Grande	Média de consumo; declive da curva de consumo	Ano
(JINDAL et al., 2016)	Híbrido	<i>Support Vector Machine; Decision Tree; Observer Meter</i>	Dados de média resolução; dados técnicos do consumidor; dados não técnicos do consumidor; dados do medidor observador; dados ambientais; topologia da rede	Médio	kWh previsto	Meses

Fonte: Autor.

Sendo assim, empresas distribuidoras que atuam em regiões de concessão nas quais esse fator é muito relevante podem partir de métodos como os propostos por Dos Angelos et al. (2011), Faria, Melo e Padilha-Feltrin (2016), Glauner et al. (2016) e Nagi et al. (2010).

Algumas concessionárias atuam intensamente para ampliar sua acessibilidade em regiões nas quais medição, manutenção e proteção da rede de distribuição são dificultadas por questões geográficas ou de insegurança. Nessas regiões, também são consideradas a dimensão e as medidas de blindagem e proteção do sistema de distribuição. Quando a concessionária dedica esforços intensos para uma melhor caracterização física da unidade consumidora e do sistema de distribuição, informações como os dados técnicos do consumidor e da área se tornam relevantes. Esses dados consideram indicadores como demanda contratada, potência instalada, número de fases, percentual de consumidores irregulares por transformador, número de transformadores na área, entre outros (MESSINIS; HATZIARGYRIOU, 2018). Nesses casos, métodos como os propostos por Passos Junior et al. (2016), Pereira et al. (2013, 2016), Ramos et al. (2011, 2012, 2018) se tornam possíveis soluções por parte da distribuidora para identificação de perdas não técnicas.

A disponibilidade de equipes de inspeção qualificadas e treinadas é diretamente relacionada à disponibilidade de dados confiáveis e atualizados. Com coletas de dados realizadas a intervalos de tempo regulares, as informações de padrões de consumo se tornam mais confiáveis e precisas. Dessa forma, é possível que as distribuidoras considerem indicadores como índice de inadimplência e tomem medidas como a judicialização dos fraudadores identificados, sejam eles consumidores, leituristas das concessionárias ou terceirizados. Em regiões de concessão com uma extensa base de informações, métodos orientados a dados supervisionados ou não supervisionados podem auxiliar na identificação de perdas não técnicas. Métodos como os propostos por Chen et al. (2015), Dos Angelos et al. (2011), Glauner et al. (2016), Guerrero et al. (2014), Krishna, Iyer e Sanders (2016), Lin et al. (2014), Nagi et al. (2010) Passos Júnior et al. (2016), Pereira et al. (2013), Trevizan et al. (2015) e Yap et al. (2012) contêm essas características e se encaixam dentro do perfil desejado por distribuidoras que possuem desempenho satisfatório nesses fatores.

Em regiões de concessão nas quais existe infraestrutura de medição inteligente e comunicação, com medidores eficientes e bem localizados, as concessionárias enfrentam dificuldades relacionadas à proteção dos medidores. O custo para a concessionária proteger fisicamente todos os medidores de rede inteligente que podem ser acessados fisicamente é alto (HENRIQUES et al., 2020). Contudo, apesar do alto investimento nas blindagens e na proteção desses equipamentos, distribuidoras que possuem infraestruturas de medição e comunicação robustas

podem utilizar métodos orientados à rede para identificação de perdas não técnicas, como aqueles propostos por Silva, Da Silva e De Almeida-Filho (2016), Henriques et al. (2020), Lo e Ansari (2013), Luan et al. (2016), Salinas e Li (2016), Tariq e Poor (2018) e Zhou et al. (2015).

Distribuidoras que possuem uma extensa base de dados e estrutura de medição inteligente e telecomunicação em suas regiões de concessão podem recorrer a métodos híbridos, que possuem características de métodos orientados a dados e orientados à rede. Esses métodos tendem a gerar resultados satisfatórios na identificação de perdas não técnicas e são uma tendência no setor por apresentarem índices de assertividade significativos. Em regiões de concessão que dispõem de indicadores de consumo e dados de medição inteligente, métodos como os propostos por Huang, Lo e Lu (2013), Jindal et al. (2016), Jokar, Arianpoo e Leung (2016); Spiric et al. (2014), Su, Lee e Wen (2016) e Trevizan et al. (2015) podem se tornar uma alternativa interessante.

5.5 CONCLUSÕES

Distribuidoras precisam superar algumas barreiras para selecionar métodos que sejam realmente eficientes no combate às perdas não técnicas. Uma das principais relaciona-se à caracterização da região de concessão, de modo a considerar fatores que influenciam o processo de identificação de PNT. Sendo assim, o modelo apresentado nesse capítulo teve como ponto de partida a compilação dos fatores propostos por Savian et al. (2022). Além disso, utilizou-se o método de análise de decisão multicritério ELECTRE TRI, que já havia sido aplicado com sucesso no setor elétrico, mas que nunca havia sido utilizado em pesquisas relacionadas a perdas não técnicas.

A escolha correta dos algoritmos de detecção de fraudes pode auxiliar as concessionárias a reduzir as principais consequências decorrentes das perdas não técnicas, apresentadas por Savian et al. (2021a). Sendo assim, esse modelo permite que distribuidoras reduzam impactos econômicos e financeiros negativos sobre os lucros e receitas, ampliem a capacidade de investimento para melhoria da rede, compensem o desequilíbrio da relação entre oferta e demanda devido a dificuldades na estimação de carga, evitem sobrecarga do sistema de distribuição, obtenham informações precisas sobre o fluxo de demanda para facilitar a compensação de VAR e ampliem a eficiência, a vida útil, a qualidade e a confiabilidade da rede.

O ambiente competitivo no qual se posicionam as empresas distribuidoras brasileiras pode ser influenciado e dinamizado por elas através da implementação de métodos inovadores como o proposto neste capítulo. O modelo de *benchmarking* utilizado pela ANEEL permite que

a cada ciclo regulatório novos limites máximos de perdas não técnicas sejam estabelecidos para as concessionárias que atuam no Brasil (ANEEL, 2015). Portanto, as ações das distribuidoras referentes à utilização de inovações competitivas levam o ambiente para um estado longe do equilíbrio, corroborando a teoria apresentada por Beinhocker (2006). Desse modo, o ambiente competitivo das concessionárias regulado pela ANEEL acaba por demandar delas mais inovações, confirmando o exposto por Prim et al. (2008), que traz a inovação como um objetivo fundamental para as organizações da atualidade.

A aplicação do modelo apresentado nesse artigo demonstra a sua viabilidade e a possibilidade de que seja aplicado em maior escala, com maior número de especialistas e em outras regiões ou microrregiões de concessão. Os resultados entregues à concessionária em formato de relatório técnico nesse capítulo são considerados relevantes e podem auxiliá-la no processo de combate às perdas não técnicas. No entanto, destaca-se a importância de que o setor de pesquisa e desenvolvimento (P&D) da empresa se dedique no desenvolvimento e na aplicação de alguns dos métodos propostos para obtenção de resultados práticos de redução de PNT nas regiões de concessão analisadas. Na região cujos resultados foram descritos no subcapítulo 5.4, cinco especialistas responderam ao questionário submetido. Contudo, apenas um especialista respondeu ao instrumento de coleta de dados em cada uma das regiões de concessão analisadas e descritas no Material Complementar 1. Conclui-se, portanto, que os resultados para esses cenários destacam apenas a aplicabilidade do modelo, não sendo tão confiáveis quanto aquele que foi apresentado no subcapítulo 5.4. Apesar disso, representam um ponto de partida para o setor de P&D da distribuidora nessas áreas. Destaca-se que a aplicação refletiu um teste em ambiente relevante e operacional, e que, quanto maior o número de especialistas da concessionária participantes da pesquisa, mais confiáveis tendem a ser os resultados.

Pesquisas futuras podem abordar outros métodos além daqueles apresentados por Messinis e Hatziargyriou (2018). Essa pesquisa limitou-se a analisar e sugerir artigos compilados por esses autores tendo em vista a relevância e qualidade da pesquisa em questão e as informações que são apresentadas acerca dos algoritmos, *features*, métricas, tipos de dados, tamanho do conjunto de dados necessário e tempo de resposta dos artigos desse compêndio. Ainda, pesquisas futuras podem considerar a análise de outras regiões de concessão e desenvolver modelos que utilizem outros modelos de análise de decisão multicritério de classificação, como AHPSort (ISHIZAKA; PEARMAN; NEMERY, 2012), PROMSORT (ARAZ; OZKARAHAN, 2007) ou UTADIS (GRECO; MOUSSEAU; SŁOWIŃSKI, 2010).

5.6 REFERÊNCIAS

- AHMAD, Tanveer. Non-technical loss analysis and prevention using smart meters. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 72, p. 573–589, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.100>
- AHMAD, Tanveer *et al.* Review of various modeling techniques for the detection of electricity theft in smart grid environment. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p. 2916–2933, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.040>
- ANEEL. **Perdas de Energia Elétrica na Distribuição (01/2021)**. Brasília - DF, 2021. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/documents/654800/18766993/Relat%C3%B3rio+Perdas+de+Energia+_Edi%C3%A7%C3%A3o+1-2021.pdf/143904c4-3e1d-a4d6-c6f0-94af77bac02a
- ANEEL. **Submódulo 2.6 - Perdas de Energia**. Brasília - DF, 2015. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2015660_Preret_Submod_2_6_V3.pdf
- ARAZ, Ceyhun; OZKARAHAN, Irem. Supplier evaluation and management system for strategic sourcing based on a new multicriteria sorting procedure. **International Journal of Production Economics**, v. 106, n. 2, p. 585–606, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.08.008>
- ARYANEZHAD, Majid. A novel approach to detection and prevention of electricity pilferage over power distribution network. **International Journal of Electrical Power and Energy Systems**, v. 111, p. 191–200, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2019.04.005>
- ATICI, Kazim Baris; ULUCAN, Aydin. A multiple criteria energy decision support system / Energetikos daugiakriterinė sprendimų paramos sistema. **Technological and Economic Development of Economy**, v. 17, n. 2, p. 219–245, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.3846/20294913.2011.580563>
- BARBOSA, Ailson de Souza *et al.* A multi-criteria decision analysis method for regulatory evaluation of electricity distribution service quality. **Utilities Policy**, v. 53, February, p. 38–48, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jup.2018.06.002>
- BEINHOCKER, Erick D. **The origin of wealth: Evolution, complexity, and the radical re-making of economics**. Boston: Harvard Business School Press, 2006.
- BRETAS, Arturo Suman *et al.* Distribution networks nontechnical power loss estimation: A hybrid data-driven physics model-based framework. **Electric Power Systems Research**, v. 186, p. 106397, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2020.106397>
- CHEN, Shi-Jaw. *et al.* Nontechnical loss and outage detection using fractional-order self-synchronization error-based fuzzy petri nets in micro-distribution systems. **IEEE Transactions on Smart Grid**, v. 6, n. 1, p. 411–420, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TSG.2014.2345780>

CORTON, Maria Luisa; ZIMMERMANN, Aneliese; PHILLIPS, Michelle Andrea. The low cost of quality improvements in the electricity distribution sector of Brazil. **Energy Policy**, v. 97, p. 485–493, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.07.052>

DEPURU, Soma Shekara Sreenadh Reddy; WANG, Lingfeng; DEVABHAKTUNI, Vijay. Electricity theft: Overview, issues, prevention and a smart meter based approach to control theft. **Energy Policy**, v. 39, p. 1007–1015, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.11.037>

DIAS, Luis C. *et al.* A multi-criteria approach to sort and rank policies based on Delphi qualitative assessments and ELECTRE TRI: The case of smart grids in Brazil. **Omega**, v. 76, p. 100–111, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2017.04.004>

DIAS, Luís *et al.* An aggregation/disaggregation approach to obtain robust conclusions with ELECTRE TRI. **European Journal of Operational Research**, v. 138, n. 2, p. 332–348, 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(01\)00250-8](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(01)00250-8)

DOS ANGELOS, Eduardo Werley S. *et al.* Detection and identification of abnormalities in customer consumptions in power distribution systems. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 26, p. 2436–2442, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2011.2161621>

FARIA, Lucas Teles; MELO, Joel David; PADILHA-FELTRIN, Antonio. Spatial-Temporal Estimation for Nontechnical Losses. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 31, n. 1, p. 362–369, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2015.2469135>

FERNANDES, Silas Evandro Nachif *et al.* A Probabilistic Optimum-Path Forest Classifier for Non-Technical Losses Detection. **IEEE Transactions on Smart Grid**, v. 10, n. 3, p. 3226–3235, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TSG.2018.2821765>

GLAUNER, Patrick *et al.* Large-scale detection of non-technical losses in imbalanced data sets. **2016 IEEE Power and Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference, ISGT 2016**, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ISGT.2016.7781159>

GLAUNER, Patrick *et al.* The challenge of non-technical loss detection using artificial intelligence: A survey. **International Journal of Computational Intelligence Systems**, v. 10, n. 1, p. 760–775, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.2991/ijcis.2017.10.1.51>

GOUVEIA, M. C. *et al.* Benchmarking of maintenance and outage repair in an electricity distribution company using the value-based DEA method. **Omega**, v. 53, p. 104–114, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2014.12.003>

GRECO, Salvatore; MOUSSEAU, Vincent; SŁOWIŃSKI, Roman. Multiple criteria sorting with a set of additive value functions. **European Journal of Operational Research**, v. 207, n. 3, p. 1455–1470, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2010.05.021>

GUERRERO, Juan I. *et al.* Improving Knowledge-Based Systems with statistical techniques, text mining, and neural networks for non-technical loss detection. **Knowledge-Based Systems**, v. 71, p. 376–388, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2014.08.014>

HAMMERSCHMITT, Bruno Knevez *et al.* Non-Technical Losses Review and Possible Methodology Solutions. **2020 6th International Conference on Electric Power and Energy Conversion Systems (EPECS)**. Istanbul, Turkey, 2020. p. 64–68. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/epecs48981.2020.9304525>

HENRIQUES, Henrique de Oliveira *et al.* Development of adapted ammeter for fraud detection in low-voltage installations. **Measurement: Journal of the International Measurement Confederation**, v. 56, p. 1–7, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2014.06.015>

HENRIQUES, Henrique de Oliveira *et al.* Monitoring technical losses to improve non-technical losses estimation and detection in LV distribution systems. **Measurement**, v. 161, p. 107840, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.107840>

HUANG, Shih-Che; LO, Yuan-Liang; LU, Chan-Nan. Non-technical loss detection using state estimation and analysis of variance. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 28, n. 3, p. 2959–2966, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2012.2224891>

ISHIZAKA, Alessio; PEARMAN, Craig; NEMERY, Philippe. AHPSort: an AHP-based method for sorting problems. **International Journal of Production Research**, v. 50, n. 17, p. 4767–4784, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00207543.2012.657966>

JAMIL, Faisal; AHMAD, Eatjaz. Policy considerations for limiting electricity theft in the developing countries. **Energy Policy**, v. 129, p. 452–458, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.02.035>

JINDAL, Anish *et al.* Decision Tree and SVM-Based Data Analytics for Theft Detection in Smart Grid. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 12, n. 3, p. 1005–1016, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TII.2016.2543145>

JOKAR, Paria; ARIANPOO, Nasim; LEUNG, Victor C. M. Electricity theft detection in AMI using customers' consumption patterns. **IEEE Transactions on Smart Grid**, v. 7, n. 1, p. 216–226, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TSG.2015.2425222>

KRISHNA, Varun Badrinath; IYER, Ravishankar K.; SANDERS, William H. ARIMA-based modeling and validation of consumption readings in power grids. **Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)**, v. 9578, p. 199–210, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-319-33331-1_16

LEWIS, Fabian B. Costly “Throw-Ups”: Electricity Theft and Power Disruptions. **Electricity Journal**, v. 28, n. 7, p. 118–135, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tej.2015.07.009>

LIMA, Marcelo Artur Xavier de; CLEMENTE, Thárcylla Rebecca Negreiros; ALMEIDA, Adiel Teixeira. Prioritization for allocation of voltage regulators in electricity distribution systems by using a multicriteria approach based on additive-veto model. **International Journal of Electrical Power and Energy Systems**, v. 77, p. 1–8, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2015.11.006>

- LIN, Chia-Hung *et al.* Non-cooperative game model applied to an advanced metering infrastructure for non-technical loss screening in micro-distribution systems. **IEEE Transactions on Smart Grid**, v. 5, n. 5, p. 2468–2469, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TSG.2014.2327809>
- LO, Chun Hao; ANSARI, Nirwan. CONSUMER: A novel hybrid intrusion detection system for distribution networks in smart grid. **IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing**, v. 1, n. 1, p. 33–44, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TETC.2013.2274043>
- LUAN, Wenpeng *et al.* Energy theft detection via integrated distribution state estimation based on AMI and SCADA measurements. **Proceedings of the 5th IEEE International Conference on Electric Utility Deregulation, Restructuring and Power Technologies, DRPT 2015**, 2016. p. 751–756. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/DRPT.2015.7432350>
- MACIEL, Leticia dos Santos Benso *et al.* Evaluating public policies for fair social tariffs of electricity in Brazil by using an economic market model. **Energies**, v. 13, n. 18, p. 4811, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en13184811>
- MESSINIS, George M.; HATZIARGYRIOU, Nikos D. Review of non-technical loss detection methods. **Electric Power Systems Research**, v. 158, p. 250–266, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2018.01.005>
- MOUSSEAU, Vincent; DIAS, Luis. Valued outranking relations in ELECTRE providing manageable disaggregation procedures. **European Journal of Operational Research**, v. 156, n. 2, p. 467–482, 2004. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00120-6](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00120-6)
- MOUSSEAU, Vincent; SLOWINSKI, R. Inferring an ELECTRE TRI Model from Assignment Examples. **Journal of Global Optimization**, v. 12, n. 2, p. 157–174, 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1008210427517>
- NAGI, Jawad *et al.* Nontechnical loss detection for metered customers in power utility using support vector machines. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 25, n. 2, p. 1162–1171, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2009.2030890>
- NIZAR, Anisah Hanim; DONG, Zhao Yang; WANG, You-Yi. Power utility nontechnical loss analysis with extreme learning machine method. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 23, n. 3, p. 946–955, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2008.926431>
- OLIVEIRA, Gabriela; DIAS, Luís C; NEVES, Luís. Chapter 3.4 - Preference elicitation approaches for energy decisions. *In*: LOPES, Marta; ANTUNES, Carlos Henggeler; JANDA, Kathryn B (org.). **Energy and Behaviour**: Academic Press, 2020. p. 353–388.
- PASSOS JUNIOR, Leandro Aparecido *et al.* Unsupervised non-technical losses identification through optimum-path forest. **Electric Power Systems Research**, v. 140, p. 413–423, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2016.05.036>
- PEREIRA, Luís Augusto Martins *et al.* Multilayer perceptron neural networks training through charged system search and its Application for non-technical losses detection. **2013**

IEEE PES Conference on Innovative Smart Grid Technologies, ISGT LA 2013, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ISGT-LA.2013.6554383>

PEREIRA, Danillo R. *et al.* Social-Spider Optimization-based Support Vector Machines applied for energy theft detection. **Computers and Electrical Engineering**, v. 49, p. 25–38, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2015.11.001>

PRIM, Carlos Henrique *et al.* A Teoria das Organizações e a Evolução do Pensamento Científico. **XXXII Encontro da ANPAD**. Rio de Janeiro, RJ, 2008. p. 1–16. Disponível em: <http://www.anpad.org.br/admin/pdf/EOR-A631.pdf>

RAMOS, Caio César Oba *et al.* A new approach for nontechnical losses detection based on optimum-path forest. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 26, n. 1, p. 181–189, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2010.2051823>

RAMOS, Caio César Oba *et al.* New insights on nontechnical losses characterization through evolutionary-based feature selection. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 27, n. 1, p. 140–146, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2011.2170182>

RAMOS, Caio César Oba *et al.* On the study of commercial losses in Brazil: A binary black hole algorithm for theft characterization. **IEEE Transactions on Smart Grid**, v. 9, n. 2, p. 676–683, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TSG.2016.2560801>

RAZAVI, Rouzbeh; FLEURY, Martin. Socio-economic predictors of electricity theft in developing countries: An Indian case study. **Energy for Sustainable Development**, v. 49, p. 1–10, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.esd.2018.12.006>

SALINAS, Sergio A.; LI, Pan. Privacy-Preserving Energy Theft Detection in Microgrids: A State Estimation Approach. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 31, n. 2, p. 883–894, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2015.2406311>

SAVIAN, Fernando de Souza *et al.* Non-technical losses: A systematic contemporary article review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 147, p. 111205, 2021a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111205>.

SAVIAN, Fernando de Souza *et al.* Non-technical Losses in Electricity Distribution: a Bibliometric Analysis. **IEEE Latin America Transactions**, v. 19, n. 3, p. 359–368, 2021b. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9447584>.

SAVIAN, Fernando de Souza *et al.* Non-technical losses in Brazil: overview, challenges and directions for identification and mitigation. **International Journal of Energy Economics and Policy**, v. 12, n. 3, p. 93-107, 2022. Disponível em: <http://doi.org/10.32479/ijeep.12614>

SILVA, Lucimário G. de Oliveira; DA SILVA, Albérico A. P.; DE ALMEIDA-FILHO, Adiel Teixeira. Allocation of power-quality monitors using the p-median to identify nontechnical losses. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 31, n. 5, p. 2242–2249, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2016.2555282>

SPIRÍĆ, Josif V. *et al.* Using the rough set theory to detect fraud committed by electricity customers. **International Journal of Electrical Power and Energy Systems**, v. 62, p. 727–

734, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2014.05.004>

SU, Chun-Lien; LEE, Wei-Hung; WEN, Chao-Kai Electricity theft detection in low voltage networks with smart meters using state estimation. **Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology**, 2016. p. 493–498. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ICIT.2016.7474800>

TARIQ, Muhammad; POOR, H. Vincent. Electricity Theft Detection and Localization in Grid-Tied Microgrids. **IEEE Transactions on Smart Grid**, v. 9, n. 3, p. 1920–1929, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TSG.2016.2602660>

TERRADOS, J; ALMONACID, G; PÉREZ-HIGUERAS, P. Proposal for a combined methodology for renewable energy planning. Application to a Spanish region. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, n. 8, p. 2022–2030, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.01.025>

TREVIZAN, Rodrigo Daniel *et al.* Non-technical losses identification using Optimum-Path Forest and state estimation. **2015 IEEE Eindhoven PowerTech, PowerTech 2015**, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/PTC.2015.7232685>

VIEGAS, Joaquim. L. *et al.* Solutions for detection of non-technical losses in the electricity grid: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 80, p. 1256–1268, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.193>

WINTERFELDT, Detlof von; FASOLO, Barbara. Structuring decision problems: A case study and reflections for practitioners. **European Journal of Operational Research**, v. 199, n. 3, p. 857–866, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.01.063>

XIA, Xiaofang *et al.* Coded grouping-based inspection algorithms to detect malicious meters in neighborhood area smart grid. **Computers and Security**, v. 77, p. 547–564, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cose.2018.05.004>

YAP, K. S. *et al.* Comparison of supervised learning techniques for non-technical loss detection in power utility. **International Review on Computers and Software**, v. 7, n. 2, p. 626–636, 2012. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Comparison-of-Supervised-Learning-Techniques-for-in-Yap-Tiong/2aa43020e5eabb7fa3d892c9b06757778e5d3391>

YORUKOGLU, Sinan *et al.* The effect of the types of network topologies on nontechnical losses in secondary electricity distribution systems. **IEEE Transactions on Industry Applications**, v. 52, n. 5, p. 3631–3643, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TIA.2016.2582820>

YU, Wei. **Aide multicritère à la décision dans le cadre de la problématique du tri : concepts, méthodes et applications**, 1992. Disponível em: <http://www.theses.fr/1992PA090032>

ZANETTI, Marcelo *et al.* A Tunable Fraud Detection System for Advanced Metering Infrastructure Using Short-Lived Patterns. **IEEE Transactions on Smart Grid**, v. 10, n. 1, p. 830–840, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TSG.2017.2753738>

ZHOU, Yuchen *et al.* A Dynamic Programming Algorithm for Leveraging Probabilistic Detection of Energy Theft in Smart Home. **IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing**, v. 3, n. 4, p. 502–513, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TETC.2015.2484841>

APÊNDICES DO ARTIGO 4

APÊNDICE E – DESCRIÇÕES DOS GRUPOS DE MÉTODOS APRESENTADAS AOS ENTREVISTADOS

As descrições a seguir são baseadas em informações obtidas em Messinis e Hatziar-gyriou (2018).

A1: Métodos orientados a dados. Os métodos orientados a dados usam apenas dados relacionados ao consumidor.

Tipos de dados utilizados: Dados que descrevem o comportamento do consumidor (observações de inspeção, área geográfica, atividade econômica, etc.) e dados que disponibilizam características técnicas dos consumidores (demanda contratada (kW), potência instalada (kW), transformador de potência (kVA), nível de tensão, número de fases, número de aparelhos, etc.).

Resolução dos dados: Baixa (medidas de energia ativa/reactiva com intervalo de um mês ou mais) ou média (medidas de energia ativa/reactiva com intervalo entre 15 minutos e uma hora).

Tamanho do conjunto de dados: Grandes (acima de 1000 consumidores), mas alguns métodos dessa família conseguem operar com conjuntos de dados médios (de 100 a 1000 consumidores).

Outros requisitos: Podem demandar dados estatísticos para um período de tempo específico, como média, níveis máximo e mínimo de consumo e desvio padrão, fator de potência e fator de carga.

A1.1: Métodos orientados a dados – supervisionados. Utilizam classes conhecidas de positivo/fraude e negativo/não fraude. Os algoritmos mais utilizados são Máquina de Vetor de Suporte (SVM), Rede Neural Artificial (ANN), Floresta de Caminhos Ótimos (OPF), *Rule Induction* (RI) e Árvores de Decisão (DT). Em geral, os dados requeridos por esses métodos são de baixa resolução (medidas de energia ativa/reactiva com intervalo de um mês ou mais) ou média resolução (medidas de energia ativa/reactiva com intervalo entre 15 minutos e uma hora). Além disso, usam dados que disponibilizam características técnicas dos consumidores [demanda contratada (kW), potência instalada (kW), transformador de potência (kVA), nível de tensão, número de fases, número de aparelhos, etc.], e dados que descrevem o comportamento do consumidor (observações de inspeção, área geográfica, atividade econômica, etc.). Exigem grandes conjuntos de dados (acima de 1000 consumidores). Podem demandar dados estatísticos para um período de tempo específico, como média, níveis máximo e mínimo de consumo e desvio

padrão, fator de potência e fator de carga. Os tempos de resposta desses algoritmos geralmente são altos, variando de alguns meses a um ano. São treinados para detectar tipos específicos de fraude, portanto tendem a ter pior desempenho caso surjam novos tipos de fraude que não façam parte do conjunto de treinamento.

A1.2: Métodos orientados a dados – não supervisionados. Não utilizam rótulos de classe ou utilizam apenas uma classe conhecida de positivo/fraude ou negativo/não fraude. Os algoritmos mais utilizados são *Clustering*, Controle Estatístico e Modelos de Regressão. Normalmente, os dados requeridos por esses métodos são de média resolução (medidas de energia ativa/reactiva com intervalo entre 15 minutos e uma hora) e baixa resolução (medidas de energia ativa/reactiva com intervalo de um mês ou mais). Ademais, usam dados que descrevem o comportamento do consumidor (observações de inspeção, área geográfica, atividade econômica, etc.). São versáteis quanto ao tamanho dos conjuntos de dados, que podem ser grandes (acima de 1000 consumidores), médios (de 100 a 1000 consumidores) ou pequenos (menos de 100 consumidores). Podem demandar dados estatísticos para um período de tempo específico, como média, níveis máximo e mínimo de consumo e desvio padrão, e erros dinâmicos de ordem fracionada (*features* que expressam a diferença entre o uso de um medidor com perfil e uma série de tempo de consumo em tempo real). Os tempos de resposta desses algoritmos normalmente são mais baixos, variando de algumas horas a meses. Podem ser aplicados com desempenho mais baixo, caracterizando uma taxa de falso positivo (FPR) mais alta. São resilientes em dias de zero ataque.

A2: Métodos orientados à rede. Os métodos orientados à rede usam dados da rede (por exemplo dados de topologia da rede ou medições de rede).

Tipos de dados analisados: Podem analisar o balanço energético da rede ou de parte dela, fazer uso de dados de rede de medidor inteligente (como tensão, corrente, resistência de linha e alarmes), de unidades técnicas remotas (como corrente, tensão e potência dos RTUs instalados nas redes de baixa e média tensão) e de topologia da rede de baixa ou média tensão.

Resolução dos dados: Média (medidas de energia ativa/reactiva com intervalo entre 15 minutos e uma hora) ou alta (medidas de energia ativa/reactiva com intervalo menor ou igual a 15 minutos).

Tamanho do conjunto de dados: Pequenos (menos de 100 consumidores) ou médios (de 100 a 1000 consumidores).

Tempo de resposta: Geralmente são baixos, de alguns minutos a alguns dias.

Outros requisitos: Alguns métodos dessa família requerem um medidor que monitora o lado BT do transformador de distribuição (medidor observador). Em geral, é necessário o uso de medidores inteligentes e de sensores dedicados na rede de distribuição.

A2.1: Métodos orientados à rede – abordagem de fluxo de carga. Analisam o balanço energético da rede ou de parte dela. Em geral, requerem um medidor que monitora o lado BT do transformador de distribuição (medidor observador). Esse medidor permite obter medidas de tensão, corrente e potência do alimentador e também analisar a incompatibilidade entre a entrada e saída de energia dada uma porcentagem de perdas técnicas, que precisa ser bastante precisa. Esses métodos permitem detectar as perdas não técnicas no nível secundário da subestação, contudo indivíduos suspeitos podem não ser identificados. A resolução dos dados geralmente precisa ser média (medidas de energia ativa/reactiva com intervalo entre 15 minutos e uma hora). Podem fazer uso de dados de rede de medidor inteligente (como tensão, corrente, resistência de linha e alarmes) e da topologia da rede de baixa ou média tensão. Requerem conjuntos de dados pequenos (menos de 100 consumidores) ou médios (de 100 a 1000 consumidores). Os tempo de resposta desses algoritmos geralmente são baixos, em torno de algumas horas. São mais populares dentre os métodos orientados à rede devido à sua simplicidade e aplicabilidade em redes de baixa tensão.

A2.2: Métodos orientados à rede – abordagem de estimador de estados. Usam dados de medidores inteligentes para tornar a rede observável. Têm sido usados principalmente para redes de média tensão, portanto perdas não técnicas só podem ser detectadas no nível da subestação. As perdas não técnicas podem ser expressas como *bad data* (geralmente ocorrem de maneira isolada e aleatória) ou *false data injection* (que podem incluir diversas interações de *bad data* e são mais complexas de detectar). Podem fazer uso de dados de rede de medidor inteligente (como tensão, corrente, resistência de linha e alarmes), de unidades técnicas remotas (como corrente, tensão e potência dos RTUs instalados nas redes de baixa e média tensão) e de topologia da rede de baixa ou média tensão. Geralmente, requerem conjuntos de dados pequenos (menos de 100 consumidores). Os tempos de resposta desses algoritmos geralmente são baixos, de alguns minutos a algumas horas. Apresentam maior complexidade dentre os métodos orientados à rede, especialmente se aplicados a grandes redes de baixa tensão. Por outro lado, performam melhor que os demais.

A2.3: Métodos orientados à rede – abordagem de rede de sensores. Compreendem a instalação de sensores dedicados na rede de distribuição, com o objetivo de encontrar o número e posição ótimos dos sensores (RTUs) de modo a melhor detectar e localizar perdas não técnicas, enquanto minimiza custos de infraestrutura. Requerem conhecimento preciso de topologia da rede e são fortemente conectados à teoria de estimação de estados, pois quase todos métodos buscam aumentar a observabilidade da rede. Medidores observadores e caixas de inspeção são instaladas antes dos medidores inteligentes dos consumidores. Os medidores de inspeção trocam dados com os medidores inteligentes dos consumidores, comparando medições de consumo. Diferenças indicam possível fraude. Geralmente, requerem conjuntos de dados médios (de 100 a 1000 consumidores) ou pequenos (menos de 100 consumidores). Os tempos de resposta desses algoritmos geralmente são baixos, de algumas horas a alguns dias.

A3: Métodos híbridos. Os métodos híbridos adotam combinação de algoritmos e técnicas utilizados por métodos orientados a dados e orientados à rede, de modo a detectar perdas não técnicas com maior precisão.

Tipos de dados analisados: Podem analisar o balanço energético da rede ou de parte dela, fazer uso de dados de rede de medidor inteligente (como tensão, corrente, resistência de linha e alarmes), de unidades técnicas remotas (como corrente, tensão e potência dos RTUs instalados nas redes de baixa e média tensão) e de topologia da rede de baixa ou média tensão.

Resolução dos dados: Baixa (medidas de energia ativa/reactiva com intervalo de um mês ou mais) ou média (medidas de energia ativa/reactiva com intervalo entre 15 minutos e uma hora).

Tamanho do conjunto de dados: Grandes (acima de 1000 consumidores), mas alguns métodos dessa família conseguem operar com conjuntos de dados menores.

Tempo de resposta: Geralmente são altos (em torno de alguns meses), contudo alguns podem ser mais rápidos (obtendo resultados de alguns minutos a alguns dias).

Outras observações: Apresentam performance intermediária, a depender da escolha do modelo subjacente. Seu custo varia de acordo com o custo do componente orientado à rede.

6 CONCLUSÕES

As perdas não técnicas na distribuição de eletricidade geram consequências significativas para sociedade, concessionárias e países de todas as faixas de renda nacional bruta *per capita*, afetando a competitividade de negócios nos setores industriais, comerciais e agropecuários. Com a crescente demanda por eletricidade no Brasil e no resto do mundo e considerando-se os prejuízos causados por esse tipo de perda, identificou-se como essencial uma pesquisa que proponha soluções para identificação e mitigação do problema. Portanto, desde a sua concepção essa tese considerou a importância do desenvolvimento de estratégias regulatórias e políticas públicas sólidas que possibilitem beneficiar e auxiliar a sociedade brasileira a superar as perdas não técnicas. Também ponderou como as concessionárias podem analisar o contexto e as características de suas regiões de concessão para identificar quais métodos da literatura possuem maior potencial de assertividade dentro de sua realidade.

Os níveis de perdas não técnicas dependem de fatores socioeconômicos que não são gerenciáveis pela concessionária de distribuição (SIMÕES et al., 2020). Nesse contexto, as origens culturais, incluindo as características sociais e econômicas dos clientes, afetam a sustentabilidade das concessionárias, principalmente no que se refere ao padrão de consumo de energia elétrica, renda e educação formal e informal (PURWANTO; AFIFAH, 2016). Ainda, diversos métodos que estudam e buscam soluções para as perdas não técnicas focam apenas no lado da oferta, deixando de considerar fatores ligados ao comportamento e à realidade dos consumidores. Sendo assim, a literatura é bastante escassa sobre os fatores socioeconômicos, políticos e de governança que podem causar o furto de energia elétrica (JAMIL, 2018).

Dentro desse contexto, foi desenvolvida nessa tese uma abordagem que permite auxiliar concessionárias brasileiras de distribuição de eletricidade no processo de tomada de decisão para identificação e mitigação de perdas não técnicas, considerando as diversas características de suas regiões de concessão. Para validar o modelo em ambiente relevante e operacional, ele foi aplicado em uma *holding* de concessionárias de distribuição brasileira com sucesso, demonstrando o seu potencial de aplicabilidade em maior escala. A singularidade dessa abordagem foi complementada com informações cruciais levantadas e compiladas pela primeira vez na literatura, considerando o panorama mundial e nacional do combate às perdas não técnicas e analisando temas estratégicos e regulatórios que permitem aos *stakeholders* mitigar e enfrentar o problema.

De forma a atingir os objetivos geral e específicos dessa tese, foram desenvolvidos quatro artigos. Primeiramente, o Artigo 1 possibilitou identificar publicações de qualidade e

indicadores essenciais que permitiram obter uma visão geral sobre perdas não técnicas em anais de conferências, que possuem a característica de divulgar trabalhos científicos de maneira mais ágil e, assim, demonstrar tendências e redes colaborativas de publicação. Paralelamente, o Artigo 2 permitiu compreender o panorama mundial das perdas não técnicas, trazendo uma definição única sobre o tema, apresentando suas principais consequências para países, concessionárias e sociedade, discutindo as principais barreiras e estratégias para identificação de PNT e dando luz a regulações, legislações e políticas públicas utilizadas em diversos países do mundo para mitigar esse tipo de perda.

Os dois primeiros artigos sustentaram a elaboração do Artigo 3, que buscou analisar os fatores que influenciam a identificação e mitigação de perdas não técnicas no Brasil sob as perspectivas de pesquisa, regulatória, legislativa e de mercado. Foram realizadas entrevistas com 28 especialistas do setor, que contribuíram para o mapeamento do panorama atual e das perspectivas futuras das PNT no Brasil e para o levantamento de 43 desafios para identificação, 36 desafios para mitigação e 29 fatores que auxiliam no combate às perdas não técnicas no país. Os fatores relacionados à identificação de PNT sob as perspectivas de mercado e de pesquisa foram compilados e deram sustentação ao Artigo 4, que utilizou um método ADMC para desenvolver um modelo para seleção dos melhores métodos de identificação de perdas não técnicas baseado nas características da região de concessão analisada. Para validação em ambiente relevante e operacional, o modelo foi aplicado em três regiões de concessão de uma *holding* de distribuidoras de eletricidade do Brasil, e os resultados foram entregues à empresa através de relatórios técnicos que possibilitam aos seus setores de pesquisa e desenvolvimento buscarem fontes confiáveis e desenvolverem métodos sólidos para o combate às PNT.

Através dos estudos descritos, esta tese respondeu às questões de pesquisa e atendeu aos objetivos geral e específicos propostos, trazendo contribuições singulares nos âmbitos acadêmico, de mercado, político e regulatório e constituindo-se como um projeto original e de relevância para pesquisadores, acadêmicos, formuladores de políticas públicas, reguladores e empresários do setor de distribuição de eletricidade. Destaca-se que não foi encontrado na literatura um modelo similar que permita a seleção de métodos de perdas não técnicas considerando as características das regiões de concessão brasileiras ou de quaisquer outros países, destacando a singularidade dessa pesquisa.

6.1 CONTRIBUIÇÕES ACADÊMICAS

As perdas não técnicas trazem desafios que constantemente são abordados na literatura

acadêmica. Os prejuízos gerados pelas PNT incentivam organizações de fomento a investir em pesquisas que auxiliem as concessionárias a identificar essas perdas, que afetam países como um todo em um setor que é básico à população. Por meio de quatro artigos acadêmicos, essa tese contribuiu para a literatura em diversos pontos. Inicialmente, destaca-se o levantamento bibliométrico acerca de perdas não técnicas em anais de conferência, que indica um crescente interesse no tema de pesquisa. Esta tese apresenta e incentiva a criação de redes colaborativas de pesquisa, demonstrando quais pesquisadores atuam na vanguarda do setor em todo o mundo e quais universidades, centros de pesquisa e países são referência no tema.

As pesquisas publicadas anualmente em periódicos e anais de conferências trazem definições diversas de perdas não técnicas. Pela primeira vez na literatura acadêmica, é apresentada uma definição completa que abrange as principais referências do tema, possibilitando que pesquisadores partam de um significado único para desenvolver suas pesquisas em consonância com o que as perdas não técnicas representam. Ainda, a revisão sistemática da literatura apresentada nesta tese compila as consequências das PNT para países, concessionárias e sociedade, além das principais barreiras e estratégias para sua identificação em todo o mundo. Essas informações são cruciais para que pesquisadores saibam quais obstáculos superar ao desenvolver novas metodologias de identificação de perdas não técnicas.

O Brasil é um dos países que mais pesquisa sobre PNT. Sendo assim, os fatores que dificultam e auxiliam na identificação e mitigação de perdas não técnicas no país sob a perspectiva de pesquisa servem como ponto de partida para que novos estudos obtenham resultados que contemplem a realidade brasileira e auxiliem concessionárias e governo a combater esse problema. Esses fatores foram utilizados como base para o desenvolvimento da última etapa desta pesquisa, que trouxe uma nova aplicação e expandiu os estudos acerca do método de análise de decisão multicritério ELECTRE TRI.

O modelo desenvolvido para seleção dos melhores métodos para identificação de perdas não técnicas baseado na caracterização das regiões de concessão brasileiras não tem precedentes na literatura. No entanto, outros estudos publicados na literatura abordam esse tipo de perdas sob perspectivas que vão além do âmbito puramente técnico do problema. Ventura et al. (2020) comparam soluções implementadas na América do Sul para reduzir perdas não técnicas. Os autores também apresentam um novo indicador que auxilia a analisar as PNT, chamado de taxa efetiva de perdas de energia realizada pelo consumidor final. Os resultados apresentam que o indicador é uma boa alternativa para analisar as ações de redução de perdas não técnicas. Simões et al. (2020) estimam, analisam e preveem as perdas não técnicas de curto prazo de empresas brasileiras de serviços de energia com base em diferentes premissas para a estrutura

de covariância dos erros e controlando para variáveis socioeconômicas de confusão. Os resultados sugerem que a abordagem pode ser implementada satisfatoriamente em análises estatísticas de perdas não técnicas. Barros, Costa e Araújo (2021) apresentam uma abordagem que maximiza o retorno financeiro das concessionárias na seleção de consumidores para inspeções de campo. Os resultados obtidos pelos autores mostram um aumento de até 11,5 vezes no retorno financeiro das inspeções de campo ao aplicar a abordagem proposta. Ao analisar tais publicações, verifica-se que os *stakeholders* do setor no Brasil podem utilizar o modelo proposto nessa tese em conjunto com outros já existentes visando a maximização de resultados positivos no combate às perdas não técnicas. Destaca-se, portanto, a importância da aproximação das concessionárias com pesquisadores que atuam com o objetivo de mitigar perdas não técnicas, de forma a obter resultados positivos que permitam minimizar as consequências geradas por esse problema.

Os resultados possibilitaram deduzir que distribuidoras que implementam técnicas distintas para identificação de perdas não técnicas (como o modelo desta tese), novas tecnologias (como medidores inteligentes e dispositivos de proteção da rede) e outras estratégias internas (como as levantadas nos capítulos 3 e 4) podem obter vantagens competitivas decisivas em relação a outras empresas desse setor. Essa análise vai de encontro à teoria da visão baseada em recursos da empresa (*Resource-based View of the Firm*), que estabelece que a vantagem competitiva se relaciona às diferenças internas entre as empresas de um mesmo segmento. A teoria proposta por Barney (1991) diz que, como os gestores são limitados em sua habilidade de manipular todos atributos e características da empresa, essa limitação torna alguns recursos do negócio potencialmente fontes de vantagem competitiva sustentada. Corroborando o exposto, as inovações propostas por essa tese atendem às condições básicas propostas por Barney (1991): possuem valor e são relevantes; são raras e escassas; são difíceis de imitar; e são difíceis de substituir.

A abordagem baseada em recursos da empresa pode complementar a abordagem baseada em instituições, de modo a sustentar melhores práticas de gestão (FERRAZ; SANTANA, 2014). Assim como é discutido nessa teoria, as distribuidoras são fortemente influenciadas pelo ambiente no qual estão inseridas, sofrendo influências regulatórias da ANEEL. Dessa forma, as distribuidoras dependem de regulações que influenciam suas forças competitivas, e sua sobrevivência depende dos resultados alcançados a cada ciclo regulatório (DIMAGGIO; POWELL, 1983). Sendo assim, esta tese vai de encontro à abordagem baseada em instituições, estabelecendo direcionamentos regulatórios e legislativos para atuação de pesquisadores e de concessionárias na mitigação de perdas não técnicas.

6.2 CONTRIBUIÇÕES PRÁTICAS

Esta tese gera uma série de contribuições para o desenvolvimento do setor elétrico no âmbito do combate às perdas não técnicas. Os quatro artigos trazem entregas únicas que podem ser utilizadas por diversos *stakeholders* da área, como gestores e corpo técnico de concessionárias e agência reguladora, legisladores e formuladores de políticas públicas.

Empresas distribuidoras de eletricidade podem utilizar a compilação de informações presente nesse estudo para verificar quais são as principais instituições financiadoras de pesquisa na área, com o objetivo de buscar investimentos para estímulo aos seus setores de P&D na criação de novas técnicas de combate às perdas não técnicas. Ainda, agentes governamentais podem identificar quais as principais universidades e instituições de pesquisa que desenvolvem estudos relacionados a perdas não técnicas, facilitando a alocação de recursos estratégicos para mitigação do problema.

As estratégias, legislações e regulações compiladas no capítulo 3 desta tese correspondem a ações desenvolvidas com sucesso em diversos países do mundo para combate às perdas não técnicas. Agentes reguladores e legisladores podem analisar que ações de combate às PNT são desenvolvidas em países na mesma faixa de Renda Nacional Bruta *per capita* de seu país, implementando os ajustes necessários à realidade local e ampliando o incentivo público à redução dos impactos desse tipo de perda para a sociedade. No cenário brasileiro, foram elencados fatores que auxiliam e dificultam no combate às perdas não técnicas no país sob as perspectivas regulatória, legislativa e mercadológica. Essas informações podem auxiliar concessionárias e agentes públicos em uma melhor caracterização das regiões de concessão brasileiras, de forma a potencializar ações estratégicas específicas para cada região analisada no país. Além disso, uma das principais conclusões dessa tese é que um país de dimensões continentais como o Brasil precisa trabalhar as perdas não técnicas de uma maneira regionalizada, e isso passa pela disponibilização de indicadores sociais e econômicos regionais por parte do governo federal. Ainda, é preciso investir em uma estratégia interligada a nível nacional para a alteração da cultura de aceitação ao furto de eletricidade presente no país. Essas ações precisam ser tomadas em parceria por governo, formuladores de políticas públicas, reguladores, legisladores e concessionárias para que tenham resultados efetivos no combate às perdas não técnicas.

O modelo apresentado no capítulo 5 desta tese possui potencial de aplicação em todas as empresas distribuidoras de eletricidade brasileiras. Os resultados demonstram que é possível compilar métodos de identificação de perdas não técnicas publicados em periódicos e conferências de alto nível no mundo inteiro que possuam maior potencial de assertividade a depender

das características da região ou da microrregião de concessão. Dessa forma, as empresas podem otimizar recursos financeiros, de mão-de-obra qualificada e de tempo no processo de identificação de perdas não técnicas, proporcionando aos usuários um aumento na qualidade e confiabilidade da rede de distribuição.

6.3 LIMITAÇÕES E OPORTUNIDADES PARA PESQUISAS FUTURAS

Dentre as principais limitações para o desenvolvimento dessa pesquisa, destaca-se a dificuldade em obter respondentes nas entrevistas para levantamento dos fatores que dificultam e auxiliam no combate às perdas não técnicas no Brasil. Dos 72 profissionais contatados nas quatro dimensões analisadas, 28 responderam à pesquisa, o que corresponde a um índice de 38,89 %. Isso se explica, principalmente, por se tratar de um tema que é estratégico à grande parte dos *stakeholders* e porque a pesquisa priorizou profissionais de alta experiência de atuação em perdas não técnicas. Pesquisas futuras podem adotar abordagens aprimoradas para seleção de participantes, com o objetivo de conseguir um maior número de entrevistados. Nesse mesmo sentido, a última etapa da pesquisa apresentou dificuldade similar, tendo em vista que em duas das três regiões de concessão analisadas foi obtida apenas uma resposta. A região que teve participação de cinco especialistas gerou resultados satisfatórios para uma versão de teste em ambiente relevante e operacional. No entanto, quanto maior o número de respostas qualificadas, maior tende a ser a precisão do modelo em suas indicações de métodos para identificação de perdas não técnicas.

Pesquisadores de outros países podem desenvolver pesquisas seguindo o procedimento metodológico utilizado nessa tese, elencando fatores que influenciam na identificação de perdas não técnicas nas regiões de concessão em questão e aplicando o modelo junto a distribuidoras para otimizar o processo de tomada de decisão dessas empresas no combate às PNT. Ainda, sugere-se que pesquisas futuras façam uso do modelo de análise de decisão multicritério utilizado nessa tese com o objetivo de auxiliar na seleção de propostas de regulação providas de chamadas públicas feitas pela agência reguladora no Brasil a cada ciclo regulatório. Destaca-se que, para essa finalidade, o modelo ELECTRE TRI também é adequado, por agrupar as alternativas em categorias de implementação.

Salienta-se que os resultados referentes à aplicação do modelo por parte da empresa distribuidora demandam tempo para serem medidos, tendo em vista que os métodos sugeridos precisam ser analisados pela equipe de P&D e implementados nas regiões de concessão específicas. Após essa etapa, serão necessários meses ou até mesmo alguns anos para que os

resultados possam ser colhidos e comparados com escolhas aleatórias de métodos de identificação de perdas não técnicas. Sugere-se que essas etapas sejam objeto de estudo futuro.

Outras metodologias podem ser utilizadas para estudar o impacto das perdas não técnicas para a sociedade e para o setor de eletricidade como um todo. Modelos que analisam o comportamento humano e como a cultura de aceitação ao furto de eletricidade impacta em possíveis ações de combate às perdas não técnicas são sugeridos como estudos futuros. Modelos a serem considerados precisam mensurar a reação dos consumidores às várias medidas de mitigação e, nesse caso, é possível utilizar metodologias como a teoria dos jogos. Assim, é possível verificar quais ações podem ser mais efetivas para combater tipos específicos de comportamentos de consumidores legais e ilegais de eletricidade.

REFERÊNCIAS

- AHMAD, Tanveer *et al.* Review of various modeling techniques for the detection of electricity theft in smart grid environment. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p. 2916–2933, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.040>
- ANEEL. **Nota Técnica N° 46/2020-SRM/SGT/ANEEL**. Brasília - DF, 2020.
- ANEEL. **Perdas de Energia Elétrica na Distribuição (01/2021)**. Brasília - DF, 2021. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/documents/654800/18766993/Relat%C3%B3rio+Perdas+de+Energia+Edi%C3%A7%C3%A3o+1-2021.pdf/143904c4-3e1d-a4d6-c6f0-94af77bac02a>
- ANEEL. **Submódulo 2.6 - Perdas de Energia**. Brasília - DF, 2015. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2015660_Proret_Submod_2_6_V3.pdf
- ARANGO, Lucas. G. *et al.* Impact of electricity theft on power quality. **Proceedings of International Conference on Harmonics and Quality of Power, ICHQP**, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ICHQP.2016.7783346>
- BARNEY, Jay. Firm resources and sustained competitive advantage. **Journal of Management**, v. 17, n. 1, p. 99–120, 1991. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/014920639101700108>.
- BARROS, Rafael; COSTA, Edson Guedes; ARAUJO, Jalberth. Maximizing the Financial Return of Non-Technical Loss Management in Power Distribution Systems. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 37, n. 2, p. 1634–1641, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2021.3107602>
- BRASIL. **Artigo 155 do Código Penal Brasileiro**, Brasil, 1940. Disponível em: <https://www.tjdft.jus.br/institucional/imprensa/campanhas-e-produtos/direito-facil/educacao-semanal/furto-e-roubo>
- COMA-PUIG, Bernat; CARMONA, Josep. Bridging the gap between energy consumption and distribution through non-technical loss detection. **Energies**, v. 12, n. 9, p. 1748, 2019. <https://doi.org/10.3390/en12091748>
- CORTON, Maria Luisa; ZIMMERMANN, Aneliese; PHILLIPS, Michelle Andrea. The low cost of quality improvements in the electricity distribution sector of Brazil. **Energy Policy**, v. 97, p. 485–493, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.07.052>
- DEPURU, Soma Shekara Sreenadh Reddy; WANG, Lingfeng; DEVABHAKTUNI, Vijay. Electricity theft: Overview, issues, prevention and a smart meter based approach to control theft. **Energy Policy**, v. 39, p. 1007–1015, 2011a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.11.037>
- DIAS, Luis C. *et al.* A multi-criteria approach to sort and rank policies based on Delphi qualitative assessments and ELECTRE TRI: The case of smart grids in Brazil. **Omega (United Kingdom)**, v. 76, p. 100–111, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2017.04.004>

DIMAGGIO, Paul J.; POWELL, Walter W. The Iron Cage Revisited: Institutional Isomorphism and Collective Rationality in Organizational Fields. **American Sociological Review**, v. 48, n. 2, p. 147–160, 1983. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/2095101>.

DOS ANGELOS, Eduardo Werley S. *et al.* Detection and identification of abnormalities in customer consumptions in power distribution systems. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 26, p. 2436–2442, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2011.2161621>

FERRAZ, Risia Kaliane Santana de Souza; SANTANA, Murilo Barreto. Visões da Indústria, em Recursos e das Instituições e o Fenômeno de Sobrevivência de Pequenas Empresas de Varejo de Alimentos. **XXXVIII Encontro da ANPAD**. Rio de Janeiro, RJ, p. 1–11, 2014. Disponível em: http://www.anpad.org.br/diversos/down_zips/73/2014_EnANPAD_EOR1946.pdf.

GARLET, Taís Bisognin *et al.* Paths and barriers to the diffusion of distributed generation of photovoltaic energy in southern Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 111, p. 157–169, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.05.013>

GHORI, Khawaja Moyeez Ullah *et al.* Performance analysis of machine learning classifiers for non-technical loss detection. **Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing**, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12652-019-01649-9>

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6ªed. São Paulo - SP: Atlas, 2018.

GUERRERO, Juan Ignacio *et al.* Non-Technical Losses Reduction by Improving the Inspections Accuracy in a Power Utility. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 33, n. 2, p. 1209–1218, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2017.2721435>

IBRAHIM, Emad S. Management of loss reduction projects for power distribution systems. **Electric Power Systems Research**, v. 55, n. 1, p. 49–56, 2000. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0378-7796\(99\)00073-5](https://doi.org/10.1016/S0378-7796(99)00073-5)

JAMIL, Faisal. Electricity theft among residential consumers in Rawalpindi and Islamabad. **Energy Policy**, v. 123, December, p. 147–154, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.04.023>

JAMIL, Faisal; AHMAD, Eatnaz. Policy considerations for limiting electricity theft in the developing countries. **Energy Policy**, v. 129, p. 452–458, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.02.035>

KONG, Xiangyu *et al.* Electricity theft detection in low-voltage stations based on similarity measure and DT-KSVM. **International Journal of Electrical Power and Energy Systems**, v. 125, February 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2020.106544>

KUMAR, Sampath V.; PRASAD, Jagdish; SAMIKANNU, Ravi. Overview, issues and prevention of energy theft in smart grids and virtual power plants in Indian context. **Energy Policy**, v. 110, p. 365–374, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.08.032>

LEITE, Jônatas Boás; MANTOVANI, José Roberto Sanches. Detecting and locating non-technical losses in modern distribution networks. **IEEE Transactions on Smart Grid**, v. 9, n. 2, p. 1023–1032, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TSG.2016.2574714>

LEÓN, Carlos *et al.* Variability and trend-based generalized rule induction model to NTL detection in power companies. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 26, n. 4, p. 1798–1807, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2011.2121350>

LOPES, Edio. **PL 5457/2016**. Brasília - DF, 2016. Disponível em: https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra;jsessionid=node01378757sp4srzvidusb8thzfu5265043.node0?codteor=1463206&filename=PL+5457/2016

LUQMAN, Muhammad; HAQ, Mirajul; AHMAD, Iftikhar. Power outages and technical efficiency of manufacturing firms: Evidence from selected South Asian countries. **International Journal of Energy Economics and Policy**, v. 11, n. 2, p. 133–140, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.32479/ijeep.10584>

MACIEL, Leticia dos Santos Benso *et al.* Evaluating public policies for fair social tariffs of electricity in Brazil by using an economic market model. **Energies**, v. 13, n. 18, p. 4811, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en13184811>

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 8ª ed. São Paulo - SP: Atlas, 2019.

MARINHO, Zequinha. **PL 5325/2019**. Brasília - DF, 2019. Disponível em: <https://legis.senado.leg.br/sdleg-getter/documento?dm=8019111&ts=1594036987729&disposition=inline>

MASSAFERRO, Pablo; MARTINO, J. Matias Di; FERNANDEZ, Alicia. Fraud Detection in Electric Power Distribution: An Approach That Maximizes the Economic Return. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 35, n. 1, p. 703–710, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2019.2928276>

MESSINIS, George M.; HATZIARGYRIOU, Nikos D. Review of non-technical loss detection methods. **Electric Power Systems Research**, v. 158, p. 250–266, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2018.01.005>

MONEDERO, Iñigo *et al.* Detection of frauds and other non-technical losses in a power utility using Pearson coefficient, Bayesian networks and decision trees. **International Journal of Electrical Power and Energy Systems**, v. 34, n. 1, p. 90–98, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2011.09.009>

MORI, Raul Jimenez. It's not price; It's quality. Satisfaction and price fairness perception. **World Development**, v. 139, p. 105302, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.105302>

NASCIMENTO, Felipe Moraes *et al.* Factors for Measuring Photovoltaic Adoption from the Perspective of Operators. **Sustainability**, v. 12, n. 8, p. 3184, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su12083184>

PASSOS JÚNIOR, Leandro Aparecido *et al.* Unsupervised non-technical losses identification through optimum-path forest. **Electric Power Systems Research**, v. 140, p. 413–423, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2016.05.036>

PAZI, Sisa; CLOHESSY, Chantelle M.; SHARP, Gary D. A framework to select a classification algorithm in electricity fraud detection. **South African Journal of Science**, v. 116, n. 9–10, p. 1–7, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.17159/sajs.2020/8189>

PURWANTO, Widodo Wahyu; AFIFAH, Nok. Assessing the impact of techno socio-economic factors on sustainability indicators of microhydro power projects in Indonesia: A comparative study. **Renewable Energy**, v. 93, August, p. 312–322, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.02.071>

RAMOS, Caio César Oba. **Caracterização de Perdas Comerciais em Sistemas de Energia Através de Técnicas Inteligentes**. 2014. 128 p. - Universidade de São Paulo, 2014.

RAMOS, Caio César Oba *et al.* On the study of commercial losses in Brazil: A binary black hole algorithm for theft characterization. **IEEE Transactions on Smart Grid**, v. 9, n. 2, p. 676–683, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TSG.2016.2560801>

RIBEIRO, Aureo. **PL 1569/2019**. Brasília - DF, 2019. Disponível em: https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=1720547&filename=PL+1569/2019

SAEED, Muhammad Salman *et al.* Detection of non-technical losses in power utilities—A comprehensive systematic review. **Energies**, v. 13, n. 18, p. 1–25, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en13184727>

SAVIAN, Fernando de Souza *et al.* Non-technical Losses in Electricity Distribution: a Bibliometric Analysis. **IEEE Latin America Transactions**, v. 19, n. 3, p. 359–368, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TLA.2021.9447584>

SCHLEIFER, Andrei. A Theory of Yardstick Competition. **Rand Journal of Economics**, v. 16, n. 3, p. 319–327, 1985. Disponível em: <https://scholar.harvard.edu/shleifer/publications/theory-yardstick-competition>

SHARMA, Tanushree *et al.* Of pilferers and poachers: Combating electricity theft in India. **Energy Research and Social Science**, v. 11, p. 40–52, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.08.006>

SIMÕES, Paulo Fernando Mahaz *et al.* Analysis and short-term predictions of non-technical loss of electric power based on mixed effects models. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 71, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.seps.2020.100804>

SMITH, Thomas B. Electricity theft: A comparative analysis. **Energy Policy**, v. 32, n. 18, p. 2067–2076, 2004. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(03\)00182-4](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(03)00182-4)

TASDOVEN, Hidayet; FIEDLER, Beth Ann; GARAYEV, Vener. Improving electricity efficiency in Turkey by addressing illegal electricity consumption: A governance approach.

Energy Policy, v. 43, p. 226–234, 2012. Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.12.059>

VENTURA, Lucas de Oliveira *et al.* A new way for comparing solutions to non-technical electricity losses in South America. **Utilities Policy**, v. 67, 2020. Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/j.jup.2020.101113>

VIEGAS, Joaquim L. *et al.* Solutions for detection of non-technical losses in the electricity grid: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 80, p. 1256–1268, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.193>

VILLAR-RODRIGUEZ, Esther *et al.* Detection of non-technical losses in smart meter data based on load curve profiling and time series analysis. **Energy**, v. 137, p. 118–128, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.07.008>

VLASA, Ilie *et al.* Smart metering systems optimization for non-technical losses reduction and consumption recording operation improvement in electricity sector. **Sensors (Switzerland)**, v. 20, n. 10, p. 2947, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s20102947>

YAKUBU, Osman; BABU, Narendra C.; ADJEI, Osei. Electricity theft: Analysis of the underlying contributory factors in Ghana. **Energy Policy**, v. 123, p. 611–618, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.09.019>

YORUKOGLU, Sinan *et al.* The effect of the types of network topologies on nontechnical losses in secondary electricity distribution systems. **IEEE Transactions on Industry Applications**, v. 52, n. 5, p. 3631–3643, 2016. Disponível em:
<https://doi.org/10.1109/TIA.2016.2582820>

ZANARDO, Rafael Petri *et al.* Energy audit model based on a performance evaluation system. **Energy**, v. 154, p. 544–552, 2018. Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.04.179>