

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

ANDRÉ LUIZ MARTINS CARDOSO

**ESTIMATIVA DE PERDAS NÃO TÉCNICAS DE ÁREAS EM VULNERABILIDADE
SOCIAL E PROPOSIÇÃO DE MITIGAÇÃO COM BASE NO MARCO LEGAL DA
MICROGERAÇÃO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA**

**São Leopoldo
2023**

ANDRÉ LUIZ MARTINS CARDOSO

**ESTIMATIVA DE PERDAS NÃO TÉCNICAS DE ÁREAS EM VULNERABILIDADE
SOCIAL E PROPOSIÇÃO DE MITIGAÇÃO COM BASE NO MARCO LEGAL DA
MICROGERAÇÃO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica, pelo Curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS).

Orientador: Prof. Dr. Lúcio Renê Prade

São Leopoldo

2023

Este trabalho é dedicado à minha avó, Edy Moraes Martins (em memória), por todo amor e carinho. Está sempre presente nas boas lembranças.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por toda luz e esclarecimento.

Aos meus pais e ao meu irmão, por acreditarem que eu poderia fazer a diferença na família.

Aos meus amigos, pelas diferentes formas de apoio nesta jornada.

Às minhas tias, por todo o carinho de sempre.

Aos meus colegas de engenharia, que sempre estiveram presentes enfrentando as dificuldades da graduação.

Ao professor Maicon Coelho Evaldt, pelo apoio em um momento tão difícil. Com seu bom humor, sempre ensinando com alegria.

Ao meu orientador, professor Lúcio Renê Prade, por ter aceitado a orientação deste trabalho na reta final e estar sempre presente e disposto a ajudar.

À UNISINOS, que durante muitos anos foi um segundo lar, e a todos os professores que de alguma forma, transmitiram um pouco de seu conhecimento.

RESUMO

As perdas não técnicas de energia elétrica referem-se às perdas de energia que ocorrem em virtude de fatores não relacionados diretamente à operação técnica do sistema elétrico, podendo ser causadas por furtos, fraudes, erros de medição, inadimplência, entre outros fatores. Elas representam um desafio significativo para as empresas de distribuição, uma vez que impactam diretamente seus resultados financeiros e a qualidade do serviço prestado aos consumidores, onde a maior incidência destas perdas é verificada nas regiões mais vulneráveis dos municípios. Visando o desenvolvimento de um trabalho voltado à mitigação destas perdas, e concomitantemente, contribuindo à população mais vulnerável socialmente, aplicou-se método para estimativa de PNT em três diferentes regiões de Porto Alegre/RS, em graus de alta, média e baixa vulnerabilidade social. Além das estimativas de PNT em kWh, foram analisadas em forma de prejuízo financeiro por região, onde constatou-se valores em R\$ 205.451,19, R\$ 268.758,62 e R\$ 12.631.914,84 anualmente, da região mais vulnerável para a menos vulnerável. Como forma de proposição de mitigação às perdas não técnicas e prejuízos financeiros identificados, foram dimensionados três sistemas fotovoltaicos com base no consumo de energia da moradia típica de cada região, onde as previsões de retornos dos investimentos nestes sistemas ficaram em 13, 12 e 8 anos, das comunidades com alta, média e baixa vulnerabilidade, respectivamente. Por fim, com base na estimativa de PNT e projeção de sistemas fotovoltaicos, foram elencados e discutidos importantes pontos de incentivo a investimentos voltados à regularização elétrica de áreas vulneráveis e mitigação de perdas não técnicas, como a criação de programa social para fornecimento de energia solar fotovoltaica à subclasse residencial baixa renda com base no Programa de Energia Renovável Social da Lei 14.300/2022, e o possível direcionamento de custos de descontos da Tarifa Social de Energia Elétrica para o programa social proposto.

Palavras-chave: energia solar fotovoltaica; perdas não técnicas; programa social; vulnerabilidade social.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fraude em medidores eletrônicos.....	19
Figura 2 - Fraude por desvio de energia antes do medidor.....	20
Figura 3 - Furto por ligação clandestina no ramal de ligação.....	21
Figura 4 - Furto por ligação clandestina na rede de distribuição.....	21
Figura 5 - Matriz de energia elétrica do SIN em 2021.....	31
Figura 6 - Matriz de energia elétrica do SIN em 2022.....	32
Figura 7 - Tecnologias x Expansão da oferta de geração em 2020.....	33
Figura 8 - Cobrança gradual do fio B.....	38
Figura 9 - Detalhamento das etapas de estimativa de gastos e recuperação de PNT	44
Figura 10 - Fluxo de desenvolvimento da estimativa de PNT.....	45
Figura 11 - Visão simplificada da ferramenta desenvolvida.....	51
Figura 12 - Visão simplificada da ferramenta para o dimensionamento fv.....	52
Figura 13 - Vista superior da comunidade Recanto dos Gaudérios.....	54
Figura 14 - Rede de distribuição da Rua Ventura Pinto.....	54
Figura 15 - Rede de distribuição na Rua Ventura Pinto.....	55
Figura 16 - Rede de distribuição na Rua Ventura Pinto.....	55
Figura 17 - Ponto de fornecimento de energia sem medição na Rua Sete.....	56
Figura 18 - Pontos de fornecimento de energia sem medição na Rua Sete.....	56
Figura 19 - Medições de área em moradias na comunidade Recanto dos Gaudérios	57
Figura 20 - Localização geográfica da comunidade Quilombo dos Machado.....	63
Figura 21 - Ponto de fornecimento de energia sem medição e ramal de entrada com possível adulteração.....	64
Figura 22 - Ponto de fornecimento de energia sem medição e ramal de entrada com possível adulteração (ampliada).....	64
Figura 23 - Rede de distribuição improvisada Avenida Rocco Aloise.....	65
Figura 24 - Rede de distribuição com ligações irregulares Rua 25 de Dezembro.....	66
Figura 25 - Rede de distribuição com ligações irregulares Rua 25 de Dezembro.....	66
Figura 26 - Medições de área em moradias na comunidade Quilombo dos Machado	67
Figura 27 - Localização geográfica do bairro Mário Quintana.....	73

Figura 28 - Rede de distribuição com ligações irregulares Acesso Oito	74
Figura 29 - Rede de distribuição com ligações irregulares Acesso Oito	74
Figura 30 - Rede de distribuição com ligações regulares e irregulares Acesso Sete	75
Figura 31 - Rede de distribuição com ligações irregulares Acesso Oito (ampliada)..	75
Figura 32 - Rede de distribuição irregular Vila Safira	76
Figura 33 - Rede de distribuição irregular Rua Elci Leonilda Marcondes	77
Figura 34 - Rede de distribuição irregular Rua Um	77
Figura 35 - Vista superior das Ruas Elci Leonilda Marcondes e Um.....	78
Figura 36 - Medições de área em moradias no bairro Mário Quintana	79

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Relação dos trabalhos estudados com o desenvolvido.....	41
Quadro 2 - Dimensionamento de sistema fotovoltaico Recanto dos Gaudérios.....	61
Quadro 3 - Dimensionamento de sistema fotovoltaico Quilombo dos Machado	71
Quadro 4 - Dimensionamento de sistema fotovoltaico Quilombo dos Machado	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Forma de aplicação do desconto da TSEE	50
Tabela 2 - Forma de aplicação do desconto da TSEE em comunidade quilombola .	50
Tabela 3 - Estimativa de consumo por moradia na comunidade Recanto dos Gaudérios.....	58
Tabela 4 - Estimativa de perda não técnica na comunidade Recanto dos Gaudérios	59
Tabela 5 - Estimativa de prejuízo financeiro na comunidade Recanto dos Gaudérios	60
Tabela 6 - Estimativa de consumo por moradia na comunidade Quilombo dos Machado	68
Tabela 7 - Estimativa de perda não técnica na comunidade Quilombo dos Machado	69
Tabela 8 - Estimativa de prejuízo financeiro na comunidade Quilombo dos Machado	70
Tabela 9 - Estimativa de consumo por moradia no bairro Mário Quintana.....	79
Tabela 10 - Estimativa de perda não técnica no bairro Mário Quintana	80
Tabela 11 - Estimativa de prejuízo financeiro no bairro Mário Quintana	81
Tabela 12 - Comparativo do consumo mensal estimado em kWh por moradia de cada região.....	84
Tabela 13 - Comparativo de PNT em kWh por regiões.....	84
Tabela 14 - Comparativo de prejuízo financeiro por regiões	85
Tabela 15 - Comparativo de retorno financeiro dos possíveis investimentos.....	85

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRADEE	Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
DAT	Distribuição Aérea Transversal
DEM HAB	Departamento Municipal de Habitação
MMGD	Microgeração e Minigeração Distribuída
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PERS	Programa de Energia Renovável Social
PNT	Perda Não Técnica
PRODIST	Procedimentos de Distribuição
PRORET	Procedimentos de Regulação Tarifária
RTA	Reajuste Tarifário Anual
RTP	Revisão Tarifária Periódica
SAC	Serviço de Atendimento ao Consumidor
SCEE	Sistema de Compensação de Energia Elétrica
SEP	Sistema Elétrico de Potência
SIN	Sistema Interligado Nacional
TE	Taxa de Energia
TSEE	Tarifa Social de Energia Elétrica
TUSD	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Problema	12
1.2 Objetivos	13
1.2.1 Objetivo geral	13
1.2.2 Objetivos específicos	13
1.3 Justificativa	14
1.4 Estrutura	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1 Perdas no Sistema Elétrico de Potência	16
2.1.1 Perdas técnicas	16
2.1.2 Perdas não técnicas	18
2.1.3 Medidas de combate e prevenção de perdas não técnicas	21
2.1.4 Aspectos regulatórios	24
2.1.5 Perdas não técnicas em áreas em vulnerabilidade social	26
2.2 Regulações da distribuição	28
2.3 Geração Distribuída	29
2.4 Lei 14.300: Marco Legal da MMGD	34
2.4.1 Regulações anteriores	34
2.4.2 Definições	35
2.4.3 Sistema de Compensação de Energia Elétrica	35
2.4.4 Programa de Energia Renovável Social	37
2.4.5 Regras de transição	37
2.5 Trabalhos correlatos	39
3 METODOLOGIA	43
3.1 Ferramentas	44
3.2 Técnicas e métodos	45
3.2.1 Seleção das regiões	46
3.2.2 Características, mapeamento e levantamento de pontos de PNT	48
3.2.3 Identificação do perfil de consumo das moradias	48
3.2.4 Simulação do consumo de energia por moradia	48
3.2.5 Estimativa de perdas não técnicas e prejuízo financeiro	49
3.2.6 Dimensionamento de sistema fotovoltaico	51

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	53
4.1 Primeira região - Recanto dos Gaudérios	53
4.2 Segunda região - Quilombo dos Machado.....	62
4.3 Terceira região - Mário Quintana	72
4.4 Comparativo entre as regiões	83
4.5 Validação dos resultados	86
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	88
REFERÊNCIAS.....	91

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de energia elétrica são relativamente novos, com pouco mais de cem anos de existência, e não apresentam grandes modificações em sua concepção estrutural, ou seja, em sua forma de trabalho. Em uma estrutura ideal, toda a energia elétrica gerada nestes sistemas deveria ser transmitida e distribuída até o consumidor final, sem perdas. Porém, existem vários fatores que degradam este percurso. As perdas de energia elétrica podem ser divididas em dois tipos: perdas técnicas e perdas não técnicas. O primeiro está relacionado às perdas que ocorrem no sistema por características físicas dos equipamentos, já o segundo tipo está diretamente ligado a fatores comerciais.

1.1 Problema

Grande parte das perdas não técnicas tem origem em cunho social, onde os maiores índices de incidência dão-se em localidades em vulnerabilidade social, como áreas ocupadas irregularmente e domicílios sem titularidade formal, com moradias de baixa renda e população carente de serviços básicos. As perdas não técnicas relacionadas a estas localidades são extremamente difíceis de se resolver, pois a situação exige uma gestão integrada entre o governo e vários entes.

Segundo ABRADÉE (2022), investimentos importantes vêm sendo feitos pelas concessionárias de distribuição para mitigar as suas perdas não técnicas, como inspeções, modernizações e blindagens na rede. Além disso, investimentos em sistemas de inteligência que ajudam na identificação das maiores probabilidades de perdas, fazendo com que as medições fiquem mais eficientes.

Concomitantemente ao problema das perdas, verifica-se a existência de outra problemática, que é a intensificação dos efeitos climáticos e a escassez hídrica enfrentada nos últimos anos. Pesquisas e novas tecnologias vêm sendo desenvolvidas na área de fontes renováveis de energia, objetivando aprimorar e ampliar cada vez mais a utilização da energia fornecida pelo sol, sendo esta umas das principais formas para resolução dos problemas relacionados à geração de energia no Brasil.

Os avanços tecnológicos na área de semicondutores e o aumento na produção de células solares contribuíram para a redução do preço dos sistemas fotovoltaicos,

impulsionando o crescimento deste mercado. Este tipo de energia está inserido no contexto da geração distribuída, que apresenta diversos benefícios aos sistemas elétricos, como o baixo impacto ambiental, a diversificação da matriz energética, a redução das cargas na rede e a diminuição das perdas (IPEA, 2018).

Em 2022 foi aprovada a Lei 14.300, que, além de instituir o marco legal da microgeração e minigeração distribuída e o sistema de compensação de energia elétrica, institui o Programa de Energia Renovável Social (PERS). Visando a aplicação do PERS, já existem projetos de leis para implantação de sistemas de energia fotovoltaica em casas de famílias que recebem o Benefício de Prestação Continuada do Governo. Como a Lei é recente, os projetos estão em fase de desenvolvimento, mas o Ministério de Minas e Energia prevê a utilização do programa para disseminar a geração distribuída entre populações vulneráveis, visando proporcionar acesso à energia renovável de baixo custo, com foco principal na energia solar.

A operacionalização do PERS se dará pela apresentação de plano de trabalho ao Ministério de Minas e Energia e realização pelas distribuidoras de chamadas públicas para credenciar empresas, e chamadas concorrenciais para contratar prestadores de serviços, a fim de implementar as instalações dos sistemas de fontes renováveis (TAUIL e CHEQUER, 2022).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Estimar perdas não técnicas de regiões localizadas em áreas de vulnerabilidade social, e com isto, propor forma de mitigação das perdas com base no Programa de Energia Renovável Social instituído pela Lei 14.300/2022, confrontando os prejuízos técnico e financeiro levantados com possíveis vantagens de implantação de um programa social de regularização das áreas estudadas.

1.2.2 Objetivos específicos

Considerando o contexto do objetivo geral e visando o efetivo desenvolvimento deste trabalho, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- a) desenvolver e aplicar um modelo para identificação e delimitação de regiões em vulnerabilidade social, com foco na identificação de irregularidades em redes de distribuição, pontos críticos de perdas não técnicas e levantamento de perfis de consumo;
- b) definir um modelo para estimar perdas não técnicas de moradias e regiões em vulnerabilidade social, com base no consumo estimado por residências;
- c) desenvolver forma de análise e estimativa de prejuízo financeiro às concessionárias e governos;
- d) aplicar metodologia e aprimorar forma de dimensionamento de sistemas fotovoltaicos destinados às moradias estudadas;
- e) definição de uma metodologia para avaliação de retorno de investimento dos sistemas fotovoltaicos propostos em comparação aos prejuízos financeiros;
- f) propor o desenvolvimento de projetos sociais voltados à regularização das áreas vulneráveis e mitigação das perdas não técnicas, com base no Programa de Energia Renovável Social e na Tarifa Social de Energia Elétrica destinada à subclasse residencial baixa renda.

1.3 Justificativa

As perdas não técnicas reais são apuradas pela diferença das perdas totais, informadas pelas distribuidoras, e das perdas técnicas regulatórias, apuradas pela ANEEL. As concessionárias de grande porte são responsáveis por quase a totalidade dos montantes das perdas não técnicas no Brasil devido ao tamanho do mercado e à maior complexidade de se combater as perdas (ANEEL, 2021).

Ainda, segundo ANEEL (2021), as perdas não técnicas reais no país, utilizando o método da multiplicação dos montantes pelo preço médio da energia nos processos tarifários, sem considerar tributos, representaram um custo de aproximadamente R\$ 8,6 bilhões em 2020. No entanto, as perdas não técnicas regulatórias, que são calculadas conforme a metodologia da ANEEL, considerou um custo de aproximadamente R\$ 5,6 bilhões ao ano, o que representa aos consumidores cerca de 2,9% do valor da tarifa de energia elétrica, variando por distribuidora.

Visando uma possível redução dos altos índices de perdas não técnicas em regiões em vulnerabilidade social, e com isto uma redução do prejuízo financeiro às concessionárias e aos consumidores que pagam pelas perdas não técnicas, a partir

do desenvolvimento e investimento em programas sociais por parte dos governos e das concessionárias de energia elétrica, justifica-se o estudo deste trabalho.

Com foco em estimar perdas não técnicas em determinadas regiões e propor implantação de sistemas fotovoltaicos inseridos na geração distribuída nas localidades estudadas, possíveis investimentos dessa ordem retornariam em dignidade social às famílias abrangidas, além das vantagens de cunho ambiental e econômico.

1.4 Estrutura

Este trabalho está organizado em cinco capítulos. No primeiro capítulo desenvolve-se a introdução, onde é apresentada a definição do problema e a justificativa do estudo, assim como traçados os objetivos geral e específicos.

No segundo capítulo é apresentada a revisão bibliográfica, onde é abordada a fundamentação teórica acerca de Sistema Elétrico de Potência, com foco no setor de distribuição, perdas não técnicas no setor de distribuição, geração distribuída e regulamentação, com estudo mais aprofundado da Lei 14.300/2022. Além disso, apresentados alguns trabalhos correlatos.

O terceiro capítulo refere-se à metodologia, onde descreve-se as ferramentas, os métodos e as técnicas empregadas, buscando-se uma visualização completa sobre como o trabalho foi desenvolvido e aplicado de forma prática.

No quarto capítulo apresenta-se uma análise relacionada aos resultados obtidos do desenvolvimento do trabalho, verificando-se o que foi realizado em cada etapa da metodologia e discussões destas.

No quinto e último capítulo encontram-se as considerações finais, com uma conclusão geral do trabalho desenvolvido.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O presente capítulo tem por objetivo dar sustentação teórica aos assuntos que serão tratados ao longo deste trabalho. Inicialmente, os conceitos fundamentais sobre Perdas de Energia no Sistema Elétrico e Regulações do Sistema Elétrico de Distribuição são apresentados, seguida de conceitos de Geração Distribuída e Lei 14.300/2022. Além disto, traz ao conhecimento o estudo de trabalhos correlatos, visando uma vinculação de técnicas e métodos aplicados por outros autores.

2.1 Perdas no Sistema Elétrico de Potência

Conforme ANEEL (2022b), as perdas referem-se à energia elétrica gerada que passa pelas linhas de transmissão e redes da distribuição, mas que não chega a ser comercializada, seja por motivos técnicos ou comerciais.

Na visão de Penin (2008), o montante de energia entregue regularmente apresenta três destinos possíveis: unidades consumidoras regulares, outras distribuidoras e outros níveis de tensão.

As perdas globais de energia elétrica podem ser classificadas em perdas técnicas e perdas não técnica.

2.1.1 Perdas técnicas

Conforme ANEEL (2022b), as perdas técnicas ocorrem de forma natural nos sistemas elétricos, seja nas linhas de transmissão ou distribuição, devido a ações internas nos equipamentos e componentes, inerentes aos processos de transporte de energia. Estas perdas consistem principalmente na dissipação de energia nos diversos componentes dos sistemas elétricos, como condutores, chaves, transformadores, medidores, dentre outros.

Devido a transformação da energia elétrica em energia térmica nos condutores dos sistemas elétricos, ocorre a Efeito Joule, que é explicado pela relação entre o aquecimento gerado e a corrente elétrica que percorre um condutor em determinado tempo. A Perda Joule é um dos casos mais recorrentes relacionados a perdas técnicas, mas podem ser citadas ainda, as perdas a vazio, perdas dielétricas, efeito

corona, perdas por histerese, correntes de fuga em isoladores e perdas em bancos capacitivos (PENIN, 2008).

As perdas técnicas na transmissão são calculadas pela diferença da energia gerada e entregue nas redes de distribuição. Essas perdas são apuradas mensalmente pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) e o seu custo, que é definido anualmente nos processos tarifários, é rateado em 50% para geração e 50% para os consumidores. Com relação às perdas na distribuição, a ANEEL define os percentuais regulatórios das perdas técnicas e não técnicas das concessionárias na Revisão Tarifária Periódica, que ocorre a cada 4 ou 5 anos. (ANEEL, 2022b).

Ainda, conforme ANEEL (2022b), as perdas técnicas são calculadas conforme as regras definidas no Módulo 7 do PRODIST, onde, de forma resumida, o sistema de distribuição é dividido de acordo com os segmentos de rede (alta, média e baixa tensão), transformadores, ramais de ligação e medidores. Aplicam-se então modelos específicos para cada um desses segmentos, utilizando-se informações simplificadas das redes e equipamentos existentes, como por exemplo, comprimento e bitola dos condutores, potência dos transformadores e energia fornecida às unidades consumidoras. Com base nessas informações, estima-se o percentual de perdas técnicas eficientes relativas à energia injetada na rede.

Além dos segmentos descritos, existem outras perdas que são consideradas como perdas diversas, sendo estimadas como um percentual das perdas técnicas totais calculadas. São elas o efeito corona, as perdas nas conexões, as fugas nos isolamentos dos equipamentos e nas linhas de transmissão e distribuição, perdas nos bancos de capacitores e reguladores de tensão, etc. Pela dificuldade em calculá-las, geralmente recebem um valor estimado entre 5 e 10% do total de perdas técnicas nos outros segmentos (SURIYAMONGKOL, 2002).

Os custos das perdas técnicas são considerados na tarifa de energia elétrica por serem inevitáveis em qualquer rede de distribuição do mundo, representando um custo para o setor elétrico. Os valores regulatórios das perdas técnicas das distribuidoras são calculados pela ANEEL, que observa os níveis eficientes dessas perdas conforme as características da rede elétrica de cada concessionária.

2.1.2 Perdas não técnicas

As perdas não técnicas na distribuição de energia elétrica correspondem a uma parcela das perdas totais que não estão associadas a fatores técnicos durante a operação de suprimento das unidades consumidoras. Em outras palavras, são as perdas por furto de energia, erros de medição ou na geração de faturamento, ausência de equipamentos para medição, entre outros (CHAVES *et al.*, 2020).

Castro, Miranda e Guerra (2019) entendem que em determinadas regiões as perdas não técnicas podem representar a maior parcela de perdas de energia das distribuidoras.

Para Chaves *et al.* (2020), as perdas não técnicas podem ser classificadas em três componentes principais: perdas comerciais, perdas por consumo de ligações clandestinas não acessáveis e outras perdas não técnicas, conforme descrições abaixo.

As perdas comerciais estão relacionadas a unidades consumidoras regulares, ou às que já foram, ocasionadas por problemas na medição de faturamento (medidores de energia, comunicação associada e transformadores para instrumentos), por intervenção fraudulenta ou não dos consumidores de tais unidades, além de outros problemas típicos superáveis pela gestão comercial das distribuidoras (consistência, inexistência de medição, controle de medições por estimativa, etc.).

As perdas por consumo de ligações clandestinas não acessáveis estão relacionadas ao consumo clandestino de energia elétrica, ou seja, aquele derivado de ligações irregulares em que não se caracteriza a relação contratual do fornecimento de energia elétrica, em dimensões tais que impeçam a atuação eficaz da concessionária. Em determinados casos, motivados por invasões de áreas com restrição de ocupação com impedimento para prestação dos serviços pela concessionária.

Ainda, para os autores, as outras perdas não técnicas são originárias da perda técnica provocada pela própria perda não técnica e que pode ser considerada, para fins objetivos, como integrante das demais.

Para ABRADDEE (2022), as duas principais modalidades de perdas não técnicas são furto e fraude de energia. A associação caracteriza o furto como desvio direto de energia da rede elétrica das distribuidoras para o consumidor ilegal, e fraude quando o consumidor é registrado por parte da distribuidora, mas faz adulterações no sistema

de fiações elétricas da sua propriedade, visando pagar por uma parte menor no consumo.

Tendo em vista o foco deste trabalho, em estimar perdas não técnicas em áreas em vulnerabilidade social e relacioná-las à geração distribuída, no intuito de criação de projetos sociais visando mitigação das perdas, destaca-se a seguir os principais tipos de PNT verificadas nas regiões de estudo, que são perdas por fraude e por furto em desvios e ligações clandestinas.

- Perdas por fraude

Os medidores estão intrinsecamente ligados às fraudes, pois eles fazem a ligação entre a empresa distribuidora e o consumidor de energia elétrica.

Neste tipo de fraude, o consumidor é registrado por parte da empresa, mas faz alterações que afetam as marcações do seu medidor de energia. Estas alterações podem ser rústicas, como causar danos propositais ao medidor ou a simples utilização de ímãs para impedir a rotação do disco por interferência magnética, no caso de medidores eletromecânicos. Nas mais sofisticadas, podem operar *by-pass* no medidor, fazendo que este registre consumo zero, e até mesmo possuir cargas em paralelo com o medidor, para que este registre um consumo menor que o real (SAISSE, 2016).

Cita-se também, adulterações como violação de lacres de segurança, manipulação das engrenagens internas e ligação invertida do medidor.

A Figura 1 apresenta itens de um laboratório clandestino que fraudava medidores de energia elétrica em Recife/PE, onde foram apreendidos equipamentos adulterados, lacres e peças para modificações nos medidores.

Figura 1 - Fraude em medidores eletrônicos



Fonte: Cidade Verde (2020).

- Perdas por furto em desvios e ligações clandestinas

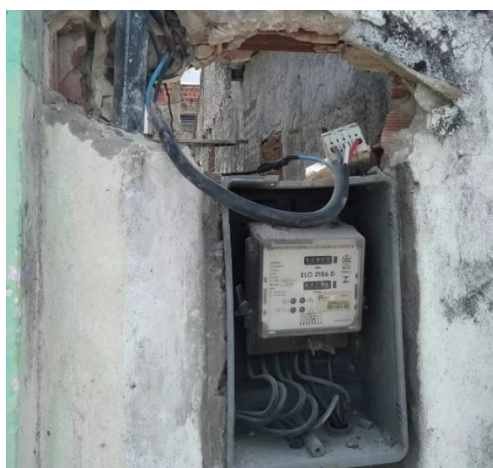
Conforme Cruz (2014), as perdas por ligações clandestinas tratam-se de ligações que não são reconhecidas pela concessionária, onde um indivíduo pode não ter medição em sua casa por diversos motivos, entre eles, o caso em que na região da residência não há rede elétrica próxima. O autor cita casos em que o consumidor pode fazer ligação clandestina para atender uma demanda específica, conforme “necessidade”. Ressalta-se que na execução destas ligações, não há preocupação com os padrões e segurança das instalações.

As ligações clandestinas e os desvios são realizados de diversas formas, como por exemplo, na conexão do ramal de entrada com o padrão de entrada, caso este em que o cliente já esteve regularizado. Outra forma dá-se pela ligação na entrada de serviço de outra unidade consumidora, antes da medição, caso em que o fraudador nunca foi cadastrado pela concessionária. Há também os casos em que as ligações são realizadas diretamente na rede secundária de distribuição.

Oliveira, P. (2022) exemplifica casos de desvio de energia através da instalação de equipamentos de acionamento remoto, onde controla-se a distância o fluxo ilegal de corrente elétrica. O autor cita ainda, o desvio de energia através da perfuração do eletroduto do ramal de entrada, de forma que a energia não passe pelo registro do medidor.

A Figura 2 apresenta um caso de desvio de energia antes do medidor, onde a fraude foi constatada através de inspeção no local. Pode-se observar que além da alteração estrutural na alvenaria, também foi implantado disjuntor para o possível acionamento do desvio de energia.

Figura 2 - Fraude por desvio de energia antes do medidor



Fonte: G1 Pernambuco (2018).

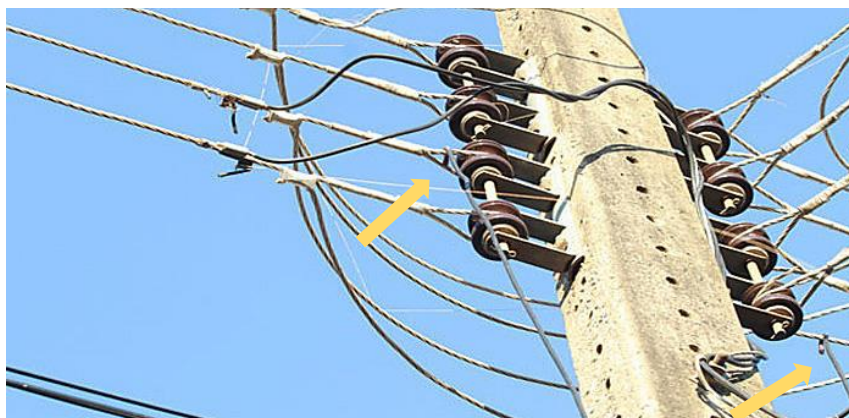
As Figuras 3 e 4 apresentam casos de ligações clandestinas no ramal de ligação e diretamente na rede de distribuição de energia. Observa-se que nos dois casos, as ligações ocorreram de forma bastante rudimentar, apenas com as ligações simples dos fios na rede, propiciando o acontecimento de acidentes.

Figura 3 - Furto por ligação clandestina no ramal de ligação



Fonte: CEMIRIM (2020).

Figura 4 - Furto por ligação clandestina na rede de distribuição



Fonte: Jornal Hora Aghá (2015).

Tendo em vista a abordagem das principais perdas não técnicas verificadas no setor elétrico de distribuição, prossegue-se ao estudo de formas de combate e prevenção destas.

2.1.3 Medidas de combate e prevenção de perdas não técnicas

O combate às perdas não técnicas é voltado à detecção de unidades consumidoras com fraude ou consumo irregular, e envolve técnicas que permitem auxílio às empresas para detecção de prováveis fraudadores. Já os aspectos de

prevenção, referem-se a formas de reduzir ou evitar que as fraudes e furtos de energia aconteçam (PENIN, 2008).

As principais técnicas de prevenção descritas por Penin (2008), são:

- Ações de prevenção baseadas em campanhas de marketing, procurando salientar o caráter criminoso da fraude e/ou furto;
- Ações na rede de distribuição, com implementação de melhorias tecnológicas visando dificultar as ligações diretas em ramais de ligação. Dentro das ações nas redes de distribuição, aborda-se as Smart Grids, que são redes elétricas que podem integrar de forma inteligente e dinâmica as ações de todos os usuários conectados a elas. Dotadas de uma série de automações e tecnologias que objetivam, principalmente, conferir segurança, comodidade e sustentabilidade ao fornecimento de energia, elas auxiliam na prevenção de perdas não técnicas. Ainda, dentro das ações nas redes de distribuição, verifica-se a implantação das Redes de Distribuição Aérea Transversal (DAT), que é uma forma construtiva onde a rede de baixa tensão e a caixa de derivação para ligação de clientes são colocadas na extremidade da cruzeta de sustentação da rede de média tensão. Nas Redes DAT, são utilizados postes de maior comprimento e transformadores de menor potência, tudo isto, visando minimizar as perdas não técnicas.
- Utilização de sistema e tecnologia pré-paga nos medidores, onde o consumidor compra determinada quantidade de créditos e os utiliza até que se esgotem;
- Implementação de sistema de medição remota, onde equipamentos transmitem os dados diretamente à concessionária, ou à concentradores estrategicamente alocados, evitando que o consumidor tenha acesso ao medidor da concessionária. Um exemplo desta implantação é a evolução da Rede DAT, que utiliza de medidores concentrados no alto dos postes, de onde são lidos via telemetria. Desta forma, evita-se que o consumidor tenha acesso ao medidor, dificultando a fraude, tendo na residência apenas um mostrador digital com o consumo acumulado. Através do controle pela rede, é possível fazer o corte dos consumidores inadimplentes ou com tentativa de fraude, diretamente da central da empresa. Os procedimentos de reconexão também são remotos.

- Implementação de programas sociais e educativos nas comunidades, em áreas sujeitas a elevados índices de perdas não técnicas, assim como projetos e ações de eficiência energética e políticas comerciais, com foco na diminuição das contas de energia elétrica e uso consciente e efetivo da energia, servindo de incentivo aos consumidores para que não cometam as fraudes.
- Investimentos em capacitação das equipes que fazem parte da estrutura organizacional voltada à regularização de ligações clandestinas, como técnicos de campo, internos e comerciais.

Do ponto de vista do combate às perdas não técnicas, Reis (2005) considera que a principal forma de combate às perdas comerciais são as inspeções aos consumidores, que consistem na verificação da existência de irregularidades que afetem diretamente o real registro do consumo de energia elétrica no medidor e a situação do cliente junto à empresa.

Para Penin (2008) e Ramos (2014), na leitura mensal dos equipamentos de medição, o leiturista deve verificar o estado da entrada de serviço e o consumo da unidade consumidora, buscando observar pontos de anormalidade, como quebra de lacres, autoreligações, ligações clandestinas e furtos nos ramais de entrada. Nestas inspeções, deve-se realizar uma avaliação de lotes de medidores através de amostragem em campo, com testes em laboratório e análise dos equipamentos retirados. Além disso, proceder com a substituição de medidores com vida útil vencida ou com possíveis falhas técnicas.

A seleção dos consumidores a serem inspecionados é uma tarefa árdua para os especialistas no assunto. As distribuidoras geralmente empregam e investem bastante em um conjunto de metodologias heurísticas para identificar os clientes de baixa tensão suspeitos de estarem cometendo algum tipo de irregularidade, através do uso da inteligência artificial. Todavia, a taxa média de acerto dessas metodologias ainda é bastante inferior ao desejado, ou seja, a maioria dos processos adotados não é eficaz o bastante (RAMOS, 2014).

Para o combate e prevenção das perdas não técnicas, é fundamental que as distribuidoras conheçam profundamente as características de sua área de concessão e como ocorrem as irregularidades. Para isto, as empresas estão investindo cada vez mais em modernidade e inovação tecnológica.

Em 2017, a Companhia Estadual de Energia Elétrica – Distribuição (CEEE-D), atual Equatorial Energia, investiu no Rio Grande do Sul em equipamentos

registradores de alta tecnologia que medem circuitos elétricos e possibilitam fazer o monitoramento de áreas com índices mais significativos de perdas não técnicas, visando ações imediatas por parte da Companhia (CEEE-D, 2017).

A CPFL Energia tem conseguido aumentar a identificação de ligações clandestinas e fraudes através de implementação de tecnologia em medidores inteligentes e o cruzamento de análise de dados. A metodologia de cruzamento inteligente de dados começou a ser aplicada em clientes do Grupo A que já possuem medidores inteligentes instalados, observando-se que nos casos em que esta ferramenta foi utilizada, a distribuidora alcançou um índice de 90% de acerto na identificação de problemas. Dados da Empresa mostram que, somente no ano de 2016, na área de concessão da RGE, foram realizadas 61.866 inspeções. Gravataí, na Região Metropolitana de Porto Alegre, foi onde concentrou-se o maior número de vistorias: 8.594 (CPFL, 2017).

Mesmo com a criação de instrumentos de combate às irregularidades cada vez mais eficazes, as perdas não técnicas continuam causando grandes prejuízos, tanto para as empresas concessionárias de energia, quanto para o consumidor final, motivo que incentiva o contínuo estudo relacionado a este assunto.

2.1.4 Aspectos regulatórios

A ANEEL define que os limites regulatórios de perdas não técnicas sejam calculados conforme as regras do Submódulo 2.6 do PRORET, onde, resumidamente, existe uma metodologia de comparação de desempenho das distribuidoras, observando critérios de eficiência e as características socioeconômicas das áreas de concessão. A referida comparação, essencialmente, é realizada a partir da construção de um ranking de complexidade no combate às perdas não técnicas. Por se tratar de um problema que é, de certa forma, impactado por aspectos socioeconômicos, a comparação envolve a identificação dos principais fatores que diferenciam as empresas.

O método utilizado pela ANEEL para definir o percentual regulatório de perdas e repassar às tarifas, cria incentivos para as concessionárias reduzirem as perdas não técnicas. Isso porque, quando as perdas não técnicas reais forem maiores que as perdas regulatórias, a concessionária terá que arcar com recursos próprios. Além disto, mesmo que a concessionária esteja experimentando atualmente um nível de

perda compatível com o valor regulatório, a comparação com outras distribuidoras a incentiva a reduzir permanentemente seu nível de perda. Caso a distribuidora não consiga reduzir o prejuízo, seus acionistas pagam parte do custo de compra da energia, reduzindo assim seus lucros. Este método utilizado é uma das principais medidas para forçar as concessionárias de distribuição a reduzirem suas perdas não técnicas. Durante o processo de aprovação da revisão tarifária das concessionárias, são estabelecidos custos regulatórios com aquisição de energia elétrica, onde a ANEEL é responsável por definir a cada revisão tarifária um referencial regulatório de perdas, levando em consideração o desempenho da concessionária nos segmentos de perdas que tenha maior gestão (TEIXEIRA, 2020).

Os valores regulatórios das perdas não técnicas, obtidos por critérios de eficiência, são normalmente inferiores aos valores praticados pelas concessionárias de distribuição. A regulação por incentivos adotada pela ANEEL, quando observada ineficiência da gestão da concessionária, limita o repasse das perdas não técnicas para a conta de energia (ANEEL, 2022b).

Existe um regramento regulatório no sentido de alcançar um equilíbrio entre a sustentabilidade financeira da distribuidora e os consumidores honestos, que pagam regularmente suas respectivas faturas. O regime regulatório também atua na redução das tarifas de energia quando há ganhos de produtividade das distribuidoras. (CASTRO; MIRANDA; GUERRA, 2019).

Os processos regulatórios são revistos periodicamente para a realização de ajustes necessários nas tarifas de energia das distribuidoras, onde a ANEEL conta com três procedimentos de revisão e alteração tarifária: a Revisão Tarifária Periódica (RTP), o Reajuste Tarifário Anual (RTA) e a Revisão Tarifária Extraordinária (RTE).

O percentual de perdas não técnicas sobre o mercado de baixa tensão, utilizado no sistema de análise comparativa das empresas, é calculado pela diferença entre as perdas totais na distribuição e o percentual de perdas técnicas calculado pela ANEEL multiplicado pela energia injetada (HUBACK, 2018).

De forma resumida, os valores regulatórios são aqueles que são reconhecidos na tarifa de energia, calculados pela ANEEL, já os valores reais são os que efetivamente ocorreram. Esta diferença de custos entre o valor real e o valor regulatório é de responsabilidade da distribuidora de energia.

Ainda, dentro do campo de estudo das perdas não técnicas, está uma importante problemática, que é o tratamento destas em áreas em vulnerabilidade social, tendo em vista que é onde apresentam os maiores índices de incidência.

2.1.5 Perdas não técnicas em áreas em vulnerabilidade social

As perdas não técnicas são um problema evidenciado em diversos países, sobretudo naqueles com piores índices socioeconômicos. Diversas pesquisas desenvolvidas sobre esta temática, a nível nacional e internacional, apontam a associação das perdas não técnicas com variáveis socioeconômicas, condições de infraestrutura básica e boa governança das áreas de concessão em que as distribuidoras estão inseridas. As variáveis identificadas nestes estudos estão associadas às áreas de educação, trabalho, renda, desigualdade, violência, urbanização, precariedade habitacional, vulnerabilidade social, capacidade financeira dos governos locais e morosidade do judiciário (CHAVES *et al.*, 2020).

Para o Instituto Acende Brasil (2017), uma das características socioeconômicas que geralmente está correlacionada às perdas comerciais e à inadimplência é a informalidade. Consumidores que vivem em domicílios sem titularidade formal da propriedade tendem a apresentar maior propensão a furtar e fraudar energia elétrica. Logo, áreas de concessão com maior proporção de domicílios localizados em áreas ocupadas irregularmente (seja por invasão, loteamento irregular ou clandestino) tendem a ter maiores índices de perdas comerciais e inadimplência. Ainda, segundo o Instituto, a precariedade das moradias, o comprometimento da renda e o grau de inquietação social (percepção de injustiça e desordem da sociedade, que pode ser inferido por uma série de indicadores, tais como: o nível de violência, a frequência e intensidade de manifestações populares e o grau de desigualdade), são fatores relevantes para altos índices de furtos, fraudes e inadimplência em uma determinada região.

As perdas não técnicas relacionadas a condições desfavoráveis, ou seja, aquelas referidas às localidades onde as moradias estão totalmente ilegais, são extremamente difíceis de se resolver, pois não há gestão. Uma das poucas maneiras de se solucionar este problema seria por meio de uma ação conjunta com o governo (MOREIRA, 2015).

Segundo Mello *et al.* (2011), existem práticas nacionais e internacionais para a regularização do fornecimento de energia em comunidades de baixa renda, mas principalmente, é necessário que exista uma revolução cultural que implante uma política eficiente de atendimento à baixa renda, respeitando a capacidade de pagamento desses consumidores. Os pactos sociais entre as comunidades, a concessionária e o poder público local constituem peça chave do sucesso de qualquer programa de combate a perdas não técnicas neste tipo de região, pois possuem o objetivo de normatizar a conduta, não apenas durante a transição, mas também quando o consumo já se encontra regularizado. A distribuidora se compromete a prover um serviço regular, seguro e por um preço que a comunidade possa pagar. Em troca, a comunidade concorda em permitir que a concessionária tenha livre acesso para desempenhar o seu trabalho, e concorda também em pagar pelo consumo. Sistemas de pré-pagamento e programas de acesso ao crédito, eficiência energética e fortalecimento da capacidade de pagamento também são práticas eficientes, reconhecidas internacionalmente, voltadas ao combate de perdas não técnicas de áreas de vulnerabilidade social.

Atualmente, existem diversas tecnologias antifurto desenvolvidas, mas seu elevado custo dificilmente compensaria a sua utilização em todo o sistema de distribuição, tendo em vista que nas comunidades de baixa renda, após a regularização, o consumo tenderia a permanecer baixo. As concessionárias têm que comparar, de um lado, o custo de combater a fraude com alta tecnologia, e de outro, o ganho esperado de receita (MELLO *et al.*, 2011).

Um importante item a ser destacado nesta seção, é o tratamento e combate às perdas não técnicas no cenário pós pandemia de COVID-19, onde os mais afetados economicamente foram as populações de baixa renda. A pandemia trouxe impactos econômicos sobre diversos setores no Brasil e no mundo, aumentando o número de desempregados, e com isto, observando o lado do Setor Elétrico, aumento do nível de inadimplência nas faturas de energia, assim como fraudes e furtos.

Castro *et al.* (2020) em estudo sobre combate às perdas não técnicas no cenário de pandemia, evidenciam uma relação direta e significativa entre o crescimento do desemprego causado pela pandemia e o aumento na dificuldade de combate às PNT. Os autores ressaltam que desdobramentos causados pela pandemia irão permanecer impactando a economia brasileira nos próximos anos, alertando a importância de o segmento de distribuição do Setor Elétrico Brasileiro

estar preparado para lidar com as repercussões, criando mecanismos de compartilhamento de prejuízos e riscos, com a finalidade de garantir a sua estabilidade.

Muitos dos consumidores que entram em dificuldades financeiras e tornam-se inadimplentes perante as concessionárias, acabam fazendo ligações clandestinas. Uma forma de tentar mitigar estas perdas foi a implantação da Tarifa Social de Energia Elétrica (TSEE), que é um desconto na fatura de energia elétrica, fornecido pelo Governo Federal às famílias de baixa renda inscritas no Cadastro Único ou que tenham entre seus membros algum beneficiário do Benefício de Prestação Continuada (BPC). Este benefício foi implantado através da Lei 12.212/2010, sendo o desconto concedido de acordo com o consumo mensal de cada família, que varia de 10% a 65%, até o limite de consumo de 220 kWh.

Para as famílias indígenas e quilombolas inscritas no Cadastro Único que atendam aos requisitos, o desconto é maior, sendo de 100 % até o limite de consumo de 50 kWh/mês, 40 % na faixa de 51 kWh a 100 kWh por mês e 10 % para o consumo entre 101 kWh a 220 kWh por mês.

2.2 Regulações da distribuição

Conforme a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) (2022a), a distribuição de energia elétrica é caracterizada como o segmento do setor elétrico dedicado ao fornecimento da energia elétrica ao consumidor final e a outros usuários, por meio do rebaixamento da tensão proveniente do sistema de transmissão. É um serviço público de competência da União, prestado por concessionárias e permissionárias, chamadas de distribuidoras.

Segundo a Associação Brasileira de Distribuidoras de Energia Elétrica (ABRADEE) (2022), a rede de distribuição primária transporta alta e média tensão, atendendo consumidores de maior porte, como indústrias. Ao passo que a rede de distribuição secundária, após a rede primária passar por transformadores, transporta baixa tensão para atender residências, comércios, iluminação pública, dentre outros.

A Agência Nacional de Energia Elétrica faz tanto a regulação técnica da distribuição, como a regulação econômica.

No campo da regulação técnica, a ANEEL, através da Resolução Normativa ANEEL nº 1.000/2021, estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de

Distribuição de Energia Elétrica. Sendo complementada pelos Procedimentos de Distribuição, a Resolução estabelece os direitos e deveres do consumidor e demais usuários do serviço, tratando de temas como conexão, contratos, tarifa social, medição, faturamento, suspensão, serviço de atendimento ao consumidor (SAC), fornecimento para iluminação pública, ressarcimento de danos, procedimentos irregulares e veículos elétricos.

A Resolução Normativa ANEEL nº 956/2021 estabelece os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica (PRODIST) no Sistema Elétrico Nacional, que normatizam e padronizam as atividades técnicas relacionadas ao funcionamento e ao desempenho dos sistemas de distribuição de energia elétrica. O PRODIST é composto por onze módulos.

Ainda, no campo da regulação técnica, a ANEEL estabelece indicadores de qualidade do serviço e do produto energia elétrica, além de ter implementado a companhia de universalização do acesso à energia elétrica e aplicação a Tarifa Social de Energia Elétrica (TSEE), tendo sido criada pela Lei nº 10.438/2022, onde são concedidos descontos para os consumidores enquadrados na subclasse residencial baixa renda.

A regulação econômica da distribuição é caracterizada por um regime de regulação pelo preço, conhecido como *price cap*, estabelecido pela Lei nº 9.427/1996. Conforme ANEEL (2022a), é um modelo que se caracteriza por dois mecanismos distintos de alteração das tarifas: a Revisão Tarifária Periódica (RTP) e o Reajuste Tarifário Anual (RTA).

A Agência estabelece mecanismos de alteração tarifária através dos Procedimentos de Regulação Tarifária (PRORET), implementados pela Resolução Normativa ANEEL nº 1.003/2022, que consolidam a regulamentação acerca dos processos tarifários, aplicáveis a concessionárias e permissionários de serviços públicos de distribuição, transmissão e geração de energia elétrica.

2.3 Geração Distribuída

No Brasil, o sistema elétrico foi constituído ao longo de décadas a partir de uma matriz energética na qual se priorizou a fonte hidráulica, tendo em vista a abundante disponibilidade de potenciais hidráulicos por todo o território nacional, assim como o custo inferior em comparação a outras tecnologias de geração.

Embora o Brasil possua uma matriz energética majoritariamente limpa, a suscetibilidade dos recursos hídricos somada ao aumento da demanda por energia elétrica trouxe a necessidade de diversificação, principalmente quando se considera que as usinas termoelétricas constituem a segunda fonte de produção mais importante do sistema, mesmo possuindo maiores impactos ambientais e custos econômicos.

Visando modernizar o sistema de geração de energia elétrica e promover o incremento da implantação de energias renováveis no país, em abril de 2012 a ANEEL editou a Resolução Normativa ANEEL nº 482, onde deu-se a possibilidade de o consumidor gerar a sua própria energia elétrica e fornecer o excedente ao mercado. Com o crescimento da implantação da micro e mini geração distribuída, surgiu também a necessidade de um ambiente econômico mais favorável, ou seja, um marco regulatório claro e incentivos diretos. Depois de algumas resoluções e normas, em janeiro de 2022, a ANEEL publicou a Lei nº 14.300, instituindo o Marco Legal da Microgeração e Minigeração Distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS), que será objeto de estudo mais aprofundado no decorrer deste trabalho.

A Geração Distribuída dá-se pela possibilidade de o consumidor poder gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada, inclusive fornecendo o excedente para a rede de distribuição de sua localidade. Trata-se da micro e da minigeração distribuídas de energia elétrica, inovações que aliam economia financeira, consciência socioambiental e autossustentabilidade (ANEEL, 2022c).

Vivenza e Gomes (2022) definem Geração Distribuída (GD) como sendo uma fonte de energia elétrica conectada de forma direta à rede de distribuição, onde a energia é gerada no sítio de consumo ou próximo a ele, sendo válida para diversas fontes de energia renováveis como a energia solar, eólica e hídrica.

Em outubro de 2022, o Brasil alcançou a marca de 14 GW de capacidade em geração distribuída de energia elétrica, atingindo a mesma potência instalada da usina de Itaipu – a maior hidrelétrica em operação no Brasil – responsável por cerca de 10% da energia consumida no país (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GERAÇÃO DISTRIBUIDA, 2022).

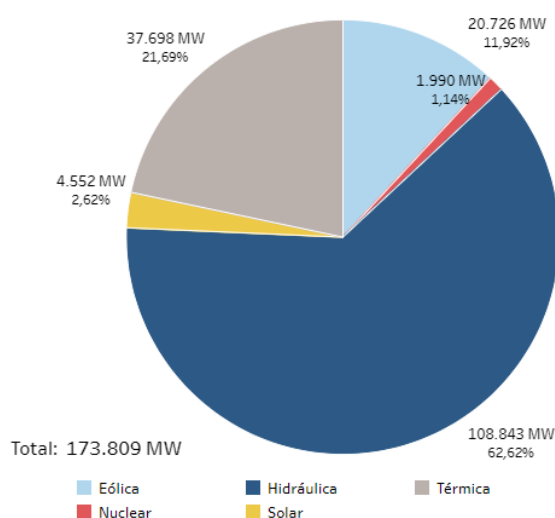
Dentre as principais formas de geração distribuída, está a energia solar fotovoltaica, que ocorre quando a radiação solar é transformada em energia elétrica.

Segundo a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR) (2022), o Brasil tem registrado uma intensa inserção de fontes renováveis, notadamente a solar fotovoltaica, na matriz elétrica nacional, oferecendo uma excelente oportunidade para a geração de empregos formais e, ao mesmo tempo, uma maior arrecadação de impostos e tributos por parte do poder público, contribuindo para o desenvolvimento sustentável da nação. De modo geral, o país apresenta condições diferenciadas para a implantação da fonte solar fotovoltaica.

As Figuras 5 e 6 apresentam a matriz energética do Sistema Interligado Nacional (SIN) nos anos de referência 2021 e 2022, onde pode-se analisar as mudanças relacionadas ao aumento da geração fotovoltaica.

Em 2021, o SIN apresentava um perfil predominantemente hidráulico, sendo esta fonte responsável por 62,62% da capacidade, seguido de energia térmica com 21,69%, energia eólica com 11,92%, energia solar com 2,62% e uma pequena parte de energia nuclear, com 1,14%.

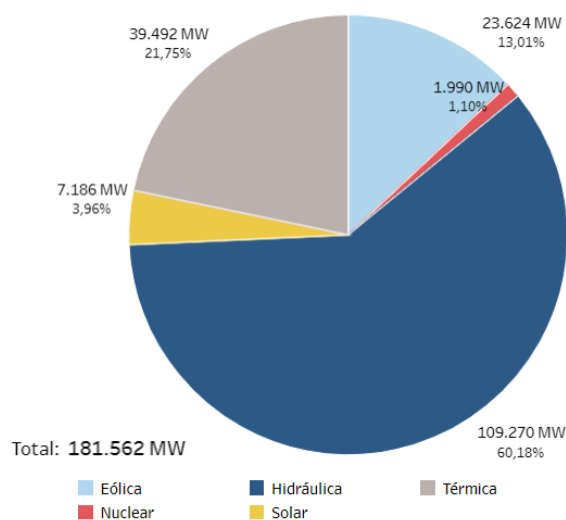
Figura 5 - Matriz de energia elétrica do SIN em 2021



Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) (2023).

Em 2022, o SIN continuou apresentando um perfil predominantemente hidráulico, porém, houve redução desta fonte, apresentando 60,18% da capacidade. Energia térmica e nuclear mantiveram-se próximas ao ano anterior, com 21,75% e 1,10% respectivamente. Houve aumento da utilização de energia eólica, com 13,01% e energia solar com 3,96%.

Figura 6 - Matriz de energia elétrica do SIN em 2022



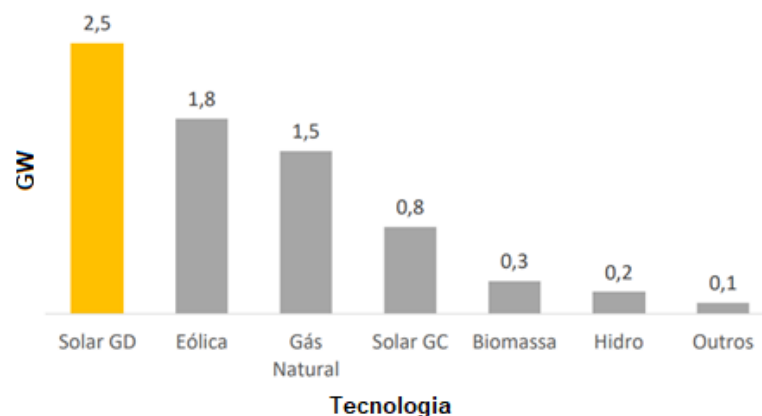
Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) (2023).

O Brasil apresenta uma irradiação média anual bem acima da média da Europa. Em comparação com a Alemanha, verifica-se que este recebe 40% menos radiação do que o lugar menos ensolarado do Brasil e, mesmo assim, é o país em que a tecnologia fotovoltaica já se encontra em estágio muito avançado tanto de pesquisa quanto de instalações, sejam elas de microgeração e minigeração interligadas à rede, sejam elas de maior potência instalada. Outra vantagem do Brasil em relação à Alemanha é a uniformidade quase plena de radiação solar incidente no seu território (MOREIRA JUNIOR; SOUZA, 2020).

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (2021), a micro e a minigeração distribuídas estão se tornando protagonistas na expansão da oferta de eletricidade no Brasil, onde, apenas em 2020, a fonte solar distribuída superou a expansão de todas as fontes centralizadas.

A Figura 7 apresenta dados comparativos das tecnologias pela expansão da oferta de geração de energia elétrica em 2020, observando-se a predominância da fonte solar distribuída em 2,5 GW de entrada em operação.

Figura 7 - Tecnologias x Expansão da oferta de geração em 2020



Fonte: Adaptado de EPE (2021).

Segundo o Plano Decenal de Expansão de Energia da Empresa de Pesquisa Energética, o PDE 2031, cujo principal objetivo é indicar quais são os planos e as perspectivas para o setor energético no Brasil no horizonte dos próximos dez anos (2022 a 2031), é estimado que o segmento de micro e minigeração distribuída alcançará a marca de 37 GW de potência instalada no Brasil em 2031. O estudo destaca que a energia solar vai se manter como a principal fonte no segmento de geração distribuída, respondendo por cerca de 93% de toda a expansão. Ou seja, pouco mais de 34 GW dos 37 GW previstos para toda a modalidade.

Analisando o ponto de vista das vantagens e desvantagens, verifica-se que os sistemas de geração de energia distribuída consistem em centrais compactas de captação e geração de energia e possuem diversas vantagens, como autonomia energética, menor impacto ambiental, estabilidade das linhas de transmissão, baixo custo de manutenção e baixo custo operacional. Porém, o uso de energia descentralizada também traz desvantagens que precisam ser consideradas, como: complexidade da rede de distribuição no caso de aumento da demanda ou expansão do fornecimento de energia para outras regiões, dificuldade de expansão da operação e recuperação do investimento, pois demandam um tempo maior para o retorno do investimento (SIEMENS, 2022).

De acordo com ABSOLAR (2021), a energia solar fotovoltaica traz diversos benefícios econômicos, sociais e ambientais. Dentre as principais vantagens, é possível citar a não poluição da atmosfera, baixa necessidade de manutenção, o baixo custo do sistema, vida útil em torno de 25 anos, a fácil instalação, economia de até

90% da conta de energia, valorização do imóvel, a geração de empregos e a fácil reciclagem do material. Porém, além dos pontos positivos, a Associação aponta algumas desvantagens, como o alto preço de aquisição inicial, a falta de incentivo do governo e a baixa capacidade de armazenamento.

Outro aspecto negativo que se verifica em sistemas fotovoltaicos, é a geração intermitente de energia. Como os módulos fotovoltaicos precisam de luz solar para converter a energia solar em elétrica, estes só geram energia durante as horas do dia em que há irradiação solar. Assim como o tempo nublado e chuvoso também influenciam na quantidade de luz que chega até os painéis, reduzindo a geração.

2.4 Lei 14.300: Marco Legal da MMGD

A Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022, institui o Marco Legal da Microgeração e Minigeração Distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica e o Programa de Energia Renovável Social. Em sua essência, a lei traz regras de transição para cobrança de encargos de uso dos sistemas de distribuição e outras providências, visando conciliar os interesses das distribuidoras de energia, da indústria de energia solar e dos consumidores.

2.4.1 Regulações anteriores

A Lei nº 14.300/2022 é precedida da Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 e suas revisões, assim como complementa-se com a Resolução Normativa ANEEL nº 1.000/2021, que tem como alguns dos objetivos, reduzir os custos e tempo para a conexão da microgeração e minigeração, compatibilizar o Sistema de Compensação de Energia Elétrica com as condições gerais de fornecimento de energia, aumentar o público-alvo e melhorar as informações na fatura.

Por sua vez, no que tange à Geração Distribuída, a Resolução Normativa ANEEL nº 1.000/2021 é complementada pela Resolução Normativa ANEEL nº 956/2021, que estabelece os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, mais especificamente o Módulo 3, que define os requisitos para conexão de microgeração e minigeração distribuída ao sistema de distribuição de energia elétrica.

2.4.2 Definições

Inicialmente, a Lei nº 14.300/2022 apresenta algumas definições importantes, como as modalidades autoconsumo local e autoconsumo remoto, consórcio de consumidores de energia elétrica, consumidor-gerador, crédito de energia elétrica, empreendimento com múltiplas unidades consumidoras, excedente de energia elétrica, fontes despacháveis, geração compartilhada e microrrede.

Abaixo, são detalhadas as definições de mini e microgeração, crédito e excedente de energia elétrica, tendo em vista a importância destes para o presente trabalho.

Microgeração distribuída apresenta potência instalada menor ou igual a 75 kW, utilizando cogeração qualificada ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição de energia elétrica por meio de instalações de unidades consumidoras.

Minigeração distribuída é central geradora de energia elétrica renovável ou de cogeração qualificada que não se classifica como microgeração, e possui potência instalada maior que 75 kW e menor ou igual a 5 MW, para as fontes despacháveis. Para fontes não despacháveis, menor ou igual a 3 MW. Ambas conectadas na rede de distribuição de energia elétrica por meio de instalações de unidades consumidoras.

Crédito de energia elétrica é excedente de energia elétrica não compensado por unidade consumidora participante do Sistema de Compensação de Energia Elétrica, no ciclo de faturamento em que foi gerado, que será registrado e alocado para uso em ciclos de faturamento subsequentes, ou vendido.

Excedente de energia elétrica é a diferença positiva entre a energia elétrica injetada e a energia elétrica consumida por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída.

2.4.3 Sistema de Compensação de Energia Elétrica

De acordo com a Lei nº 14.300/2022, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) é o sistema no qual a energia ativa é injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída na rede da distribuidora local, cedida a título de empréstimo gratuito e posteriormente compensada com o

consumo de energia elétrica ativa ou contabilizada como crédito de energia de unidades consumidoras participantes do sistema.

Podem aderir ao SCEE os consumidores de energia, pessoas físicas ou jurídicas, e suas respectivas unidades consumidoras com microgeração ou minigeração distribuída com geração local ou remota, integrantes de empreendimento com múltiplas unidades consumidoras, com geração compartilhada ou integrantes de geração compartilhada e usuários caracterizados como autoconsumo remoto. Porém, não poderão aderir ao SCEE os consumidores livres que tenham exercido a opção de compra de energia elétrica. Além disto, a Lei veda que sejam alugados ou arrendados terrenos, lotes e propriedades em condições nas quais o valor do aluguel ou do arrendamento se dê em real por unidade de energia elétrica.

A cada ciclo de faturamento, a concessionária de distribuição deve apurar o montante de energia elétrica ativa consumido e o injetado na rede pela unidade consumidora, onde o excedente de um posto tarifário deve ser inicialmente alocado no mesmo posto tarifário e sequencialmente para outros postos tarifários da mesma unidade consumidora que gerou a energia elétrica e, posteriormente, para as seguintes opções:

- a) mesma unidade consumidora que injetou a energia elétrica, para ser utilizado em ciclos de faturamento subsequentes, transformando-se em créditos de energia elétrica;
- b) outras unidades consumidoras do mesmo consumidor-gerador;
- c) outras unidades consumidoras localizadas no empreendimento com múltiplas unidades consumidoras que injetou a energia elétrica; ou
- d) unidades consumidoras de titular integrante de geração compartilhada atendidas pela mesma concessionária ou permissionária de distribuição de energia elétrica.

Com relação aos créditos de energia elétrica, devem ser utilizados sempre os créditos mais antigos da unidade consumidora, sendo que eles expiram em 60 meses após a data do faturamento em que foram gerados, onde o consumidor não faz jus a qualquer forma de compensação após este prazo. As bandeiras tarifárias incidem somente sobre o consumo de energia elétrica ativa a ser faturado e não se aplicam sobre a energia excedente que foi compensada.

2.4.4 Programa de Energia Renovável Social

O Programa de Energia Renovável Social (PERS) é destinado a investimentos na instalação de sistemas fotovoltaicos e de outras fontes renováveis, na modalidade local ou remota compartilhada, aos consumidores da Subclasse Residencial Baixa Renda, sendo garantido pela Lei 14.300/2022.

Embora a Tarifa Social de Energia Elétrica seja um benefício relevante, a sua aplicação não tem sido suficiente para viabilizar o pagamento da fatura mensal. Daí a necessidade de ser utilizado o PERS para ampliar o uso da energia solar fotovoltaica entre os consumidores de baixa renda e reduzir-lhes a conta de energia.

Os recursos financeiros do PERS serão oriundos do Programa de Eficiência Energética (PEE) da ANEEL, de fontes de recursos complementares, ou ainda de outras receitas das atividades exercidas pelas distribuidoras, onde essas deverão apresentar plano de trabalho que contenha, no mínimo, o investimento plurianual, as metas de instalações dos sistemas, as justificativas para classificação do rol de beneficiados, bem como a redução do volume anual do subsídio da Tarifa Social de Energia Elétrica dos consumidores participantes do programa.

Sendo certo que a energia solar fotovoltaica gera uma redução significativa na conta mensal de energia e havendo o PERS para financiar o custo da instalação, caberá aos governantes e às distribuidoras de energia empregar as medidas adequadas para viabilizar a difusão da energia solar aos consumidores de baixa renda, o que deverá ser feito considerando os projetos sociais existentes na área de energia renovável.

2.4.5 Regras de transição

A sanção do Marco Legal da Microgeração e Minigeração Distribuída garantiu para todas as unidades já existentes, ou que protocolarem acesso até janeiro de 2023, a manutenção dos benefícios já obtidos até 2045. Essa situação é definida como “direito adquirido” (BECKER, 2022). A Lei também definiu as regras que serão aplicadas durante e após a transição regulatória.

Projetos que se conectarem entre janeiro e julho de 2023 terão direito a uma transição até 31 de dezembro de 2030. Para as unidades consumidoras que se conectarem após 18 meses da aprovação da Lei, a transição termina em 31 de

dezembro de 2028. Nesses casos, os projetos serão cobrados por alguns componentes tarifários de forma escalonada, a depender das características do sistema.

De forma resumida, as regras totais e definitivas começarão a ser válidas em janeiro de 2029 para os consumidores que protocolarem a solicitação de acesso após julho de 2023. Para aqueles que protocolaram entre janeiro e julho de 2023, o início é em 1º de janeiro de 2031. E para os consumidores com direito adquirido, somente em 1º de janeiro de 2046.

Para Consumidores que não tiverem direito adquirido, o faturamento se dará da seguinte maneira:

a) geração junto à carga, geração compartilhada, empreendimento com múltiplas unidades consumidoras (EMUC) ou autoconsumo menor que 500 kW, o faturamento terá cobrança gradual da Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) fio B (BRASIL, 2022). A Figura 8 apresenta a forma gradual de cobrança definida pela Lei.

Figura 8 - Cobrança gradual do fio B

Geração Junto à Carga Geração Compartilhada EMUC Autoconsumo até 500 kW Fontes Despacháveis - qualquer modalidade - % de pagamento da TUSD fio B						
2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029 (*)
15% do fio B	30% do fio B	45% do fio B	60% do fio B	75% do fio B	90% do fio B	Nova regra

Fonte: Rubim (2022).

b) autoconsumo remoto acima de 500 kW ou geração compartilhada em que um dos consumidores detenha 25% ou mais de participação dos créditos de energia, haverá cobrança de 100 % da TUSD Fio B, 40% da TUSD fio A, 100 % da Taxa de Fiscalização de Serviços de Energia Elétrica (TFSEE) e Pesquisa e Desenvolvimento (P&D). A partir do A partir de 2029, haverá cobrança de todas as componentes tarifárias não associadas ao custo da energia, e abatidos os benefícios da GD à rede. A Aneel deverá valorar esses benefícios segundo as diretrizes do Conselho Nacional de Política Energética (BRASIL, 2022).

2.5 Trabalhos correlatos

O estudo das perdas não técnicas têm sido objeto de análise de diversos pesquisadores, que nos últimos anos vêm desenvolvendo diversas formas de prevenção e combate. Causas e efeitos, comportamento das distribuidoras frente ao problema, assim como tecnologias empregadas e ações de combate são temas abordados em vários trabalhos, como em Santos (2021), que em seu trabalho de conclusão de curso, analisou quatro regiões de ocupações em São Leopoldo/RS, mapeando geograficamente via *software* Google Earth e estimando o consumo por residência, quantificando as perdas não técnicas e estimando o prejuízo financeiro enfrentado pela distribuidora na região observada. Foram estimadas perdas aproximadamente em 769,03 MWh mensalmente, chegando a 9.228,30 MWh anualmente, somando as quatro regiões estudadas. Nos patamares financeiros, o autor projetou um prejuízo médio de aproximadamente R\$ 333.045,50 mil reais por mês, chegando a R\$ 3.996.546,00 milhões de reais anualmente na tarifa de bandeira verde para as regiões estudadas.

Em sua dissertação, Huback (2018) utilizou experiências nacionais e internacionais de importantes distribuidoras, de países como Colômbia, Peru, Jamaica e Filipinas para propor medidas de redução às perdas não técnicas de distribuidoras brasileiras localizadas em áreas que possuem severas restrições à operação. Com base nas experiências das empresas e a partir de projeto de P&D da Light Energia, trabalhou sobre aspectos regulatórios relacionados a perdas não técnicas em áreas com severas restrições operativas. A autora propôs formas alternativas para reduzir as perdas econômicas, como o reconhecimento regulatório diferenciado para as referidas áreas, alterações na Tarifa Social, medição pré-paga, medidas sociais, medição eletromecânica nos transformadores, convênio com a Procuradoria e publicação de fotos dos criminosos em veículos de imprensa.

Frente à crescente evolução da geração distribuída, mais propriamente o emprego da energia solar fotovoltaica, faz-se de extrema necessidade o aprofundamento das pesquisas voltadas à regulamentação deste setor. Silva (2022), em seu trabalho de conclusão, analisou o impacto da nova Lei que estipulou o marco legal da micro e mini geração distribuída, na expectativa de evolução e quantificação das perdas no setor. A autora analisou de forma quantitativa, por meio de *software* de mapeamento geográfico via satélite, a ocupação de telhados e propriedades com

placas solares em uma região no Vale do Rio dos Sinos, com o intuito de determinar dados de consumo e projeção futura do sistema e comparar com os dados da distribuidora que atende. Além disto, realizou pesquisa de perguntas e respostas para identificar a atratividade que as novas regulamentações têm imposto aos consumidores finais.

Penin (2008) embasado sobre um extenso estudo regulatório, estudou o problema das perdas não técnicas a partir de uma abordagem multidisciplinar, analisando experiências de concessionárias no Brasil e no exterior. Discutiu práticas para mitigação das perdas e propôs melhoria nos processos de combate e mitigação, e nos procedimentos legais para recuperação de receita. Além disso, analisou metodologias no ponto de vista do equacionamento do montante de recursos destinados pelas companhias distribuidoras para a adequada redução das perdas de energia. O autor ressalta em seu trabalho, que grande parte das perdas não técnicas tem origem em cunho social, e que o Estado tem o dever de estabelecer políticas para resolução de tais questões, possibilitando a universalização do acesso e subsidiando o fornecimento de energia elétrica àqueles que mais necessitam.

Diante do cenário de maior procura pela multiplicidade da fonte energética brasileira, com a diminuição das chuvas e conseqüentemente redução da energia gerada por hidrelétricas, aumentou-se, significativamente, o preço da energia. E ainda, pela necessidade de explorar recursos renováveis que trazem flexibilidade e sustentabilidade na sua utilização, a energia fotovoltaica tornou-se uma opção para a sociedade. Como as planilhas têm sido presentes nos projetos de sistema solar como um recurso ágil e prático de análise e dimensionamento dessas estruturas, Carvalho e Lage (2019) desenvolveram uma ferramenta de dimensionamento e análise da viabilidade para projetos fotovoltaicos *ongrid* através de planilhas, relacionando métodos utilizados para dimensionamento das placas solares, com uma ferramenta que dimensiona sistemas fotovoltaicos e identifica o ponto ótimo de investimento baseado no prazo de retorno.

O Quadro 1 apresenta de forma resumida, pontos dos principais trabalhos correlatos estudados.

Quadro 1 - Relação dos trabalhos estudados com o desenvolvido

Trabalho correlato	Trabalho desenvolvido
Márcio Juarez Sena dos Santos (2021) - TCC	<ul style="list-style-type: none"> • Estudo de perdas não técnicas; • Análises de regiões em vulnerabilidade social via Google Earth; • Estimativas de consumo de energia elétrica; • Estimativas de PNT e prejuízo financeiro; • Proposições de formas de mitigação de PNT.
Vanessa Barroso da Silva Huback (2018) - Dissertação	<ul style="list-style-type: none"> • Estudos de casos de PNT em distribuidoras nacionais e internacionais; • Proposições de medidas de redução às PNT; • Proposição de reconhecimento regulatório diferenciado para áreas com restrições de operação; • Proposições de alterações na Tarifa Social de Energia Elétrica, medição pré-paga, medidas sociais, dentre outras.
Paula Francine Cavalheiro da Silva (2022) - TCC	<ul style="list-style-type: none"> • Estudo de sistemas fotovoltaicos; • Estudo do impacto que Lei 14.300/2022 causou sobre o mercado de geração distribuída, • Análise quantitativa por meio de <i>software</i> de mapeamento geográfico via satélite de localidades com sistemas solares; • Determinação de dados de consumo e projeção futura dos sistemas;
Carlos Alexandre de Souza Penin (2008) - Tese	<ul style="list-style-type: none"> • Estudo de PNT em concessionárias no Brasil e no exterior; • Discutiu práticas para mitigação de PNT; • Propôs melhoria nos processos de combate e mitigação; • Realizou estudo de cunho social; • Propôs o estabelecimento de políticas públicas para resolução das questões relacionadas a PNT.
Carvalho e Lage (2019) – Artigo científico	<ul style="list-style-type: none"> • Estudo de sistemas fotovoltaicos; • Desenvolvimento de planilha para otimização de dimensionamento de sistemas fotovoltaicos.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir do estudo e compreensão dos trabalhos descritos nesta seção, pôde-se tomar ciência do quão importante é o aprofundamento do conhecimento nesta área. Tendo em vista a fundamentação teórica adquirida pertinente aos sistemas elétricos de potência, as perdas não técnicas de energia na distribuição, a geração distribuída

de energia elétrica no Brasil e a legislação aplicada, juntamente ao estudo da arte, prossegue-se à metodologia, capítulo onde será abordado o desenvolvimento prático deste trabalho, com a descrição das ferramentas, técnicas e métodos utilizados para a estimativa das perdas não técnicas em áreas em vulnerabilidade social e projeção de sistema fotovoltaico como forma de mitigação.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo é apresentada a forma de desenvolvimento do trabalho, abordando prioritariamente as ferramentas, as técnicas e os métodos empregados na aplicação do estudo que foi proposto.

Do ponto de vista qualitativo, foram analisados dados e informações técnicas de determinadas regiões e suas populações, e do ponto de vista quantitativo, foram criadas situações hipotéticas com o intuito de se encontrar resultados condizentes com a realidade.

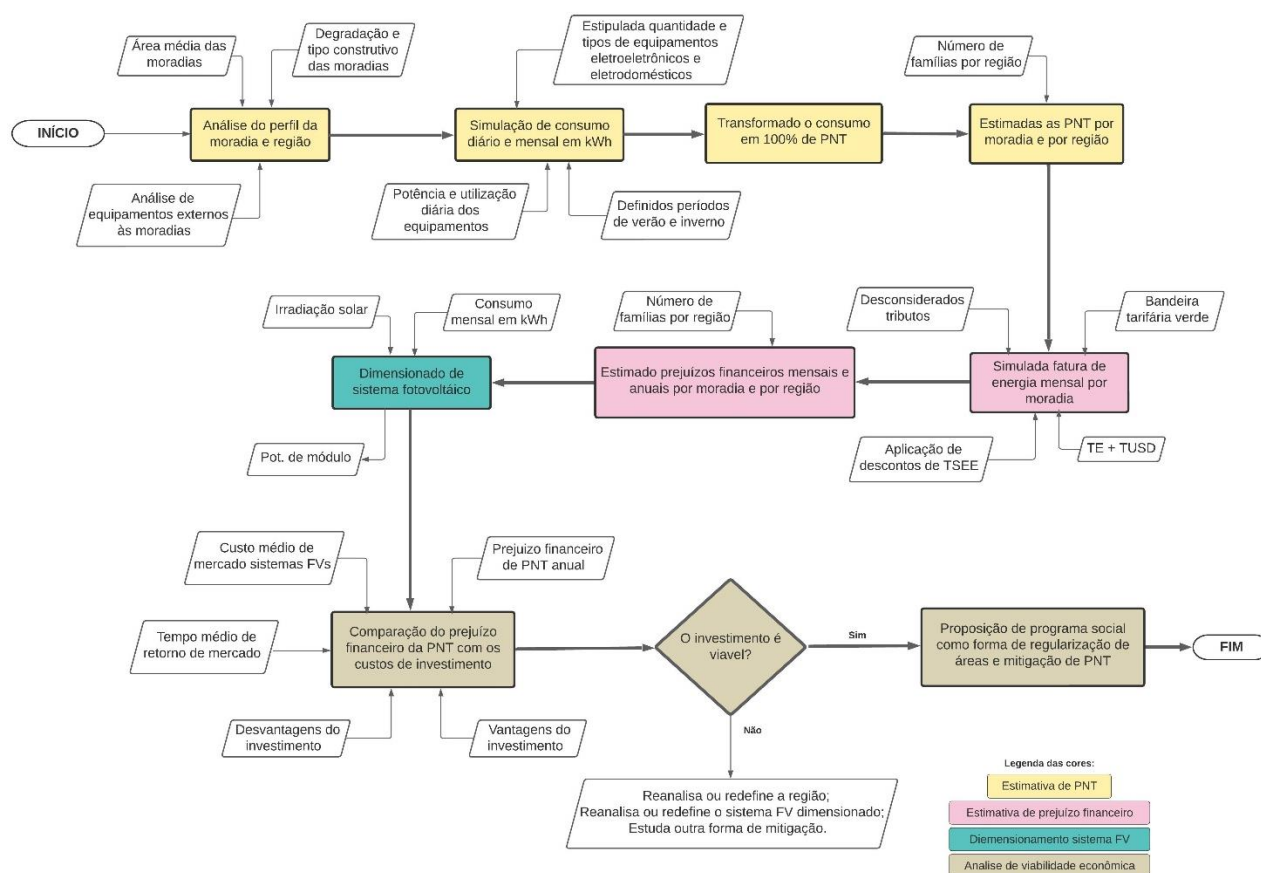
Para o mapeamento das regiões, seleção e apontamento das características das áreas em vulnerabilidade social, levantamento do perfil de consumo das famílias, estimativa de perdas não técnicas e prejuízo financeiro, tomou-se como base a metodologia do estudo de caso desenvolvido por Santos (2021). Visando uma maior precisão, os métodos do referido trabalho foram aprimorados em dois pontos: o consumo mensal das moradias passou a ser estimado para duas épocas do ano, verão e inverno, e não apenas em uma condição geral de utilização, levando a uma maior precisão dos dados finais. Além disto, o cálculo da área média das moradias foi realizado de forma direta pelo Google Earth, e não manualmente.

Para o dimensionamento de sistema fotovoltaico a ser proposto para cada moradia, como forma de mitigação de perdas não técnicas, foi utilizado como base artigo científico de Carvalho e Lage (2019), extraindo-se procedimentos e equações necessárias.

Para discussões e confronto entre os resultados relativos às perdas não técnicas das regiões e a viabilidade econômica para implantação de sistema fotovoltaico nas moradias, tomou-se como base o Programa de Energia Renovável Social instituído pela Lei 14.300/2022, que tem como finalidade o incentivo a investimentos na instalação de sistemas fotovoltaicos e outras fontes renováveis aos consumidores da Subclasse Residencial Baixa Renda.

A partir do fluxograma apresentado pela Figura 9, observa-se de forma detalhada as etapas da metodologia desenvolvida para estimar os gastos e a recuperação das perdas não técnicas.

Figura 9 - Detalhamento das etapas de estimativa de gastos e recuperação de PNT



Fonte: Elaborada pelo autor.

Conforme observa-se, a análise do detalhamento é dividida em quatro blocos principais, iniciando o estudo pela estimativa de PNT, prosseguindo com a estimativa de prejuízo financeiro, passando para o dimensionamento de sistema fotovoltaico como investimento e por fim, a análise de viabilidade econômica como possível programa social.

3.1 Ferramentas

Para a busca e o mapeamento geográfico das regiões em vulnerabilidade social, utilizou-se os sistemas Google Maps e Earth, que são serviços de pesquisa e visualização de mapas e imagens de satélite. Através destes, foram mapeadas as regiões em estudo, identificados prováveis pontos de PNT e levantados os perfis de consumo das moradias, com imagens e medições virtuais.

Para as simulações do consumo elétrico das residências identificadas e mapeadas, utilizou-se a ferramenta Simulador de Consumo de Energia da Light

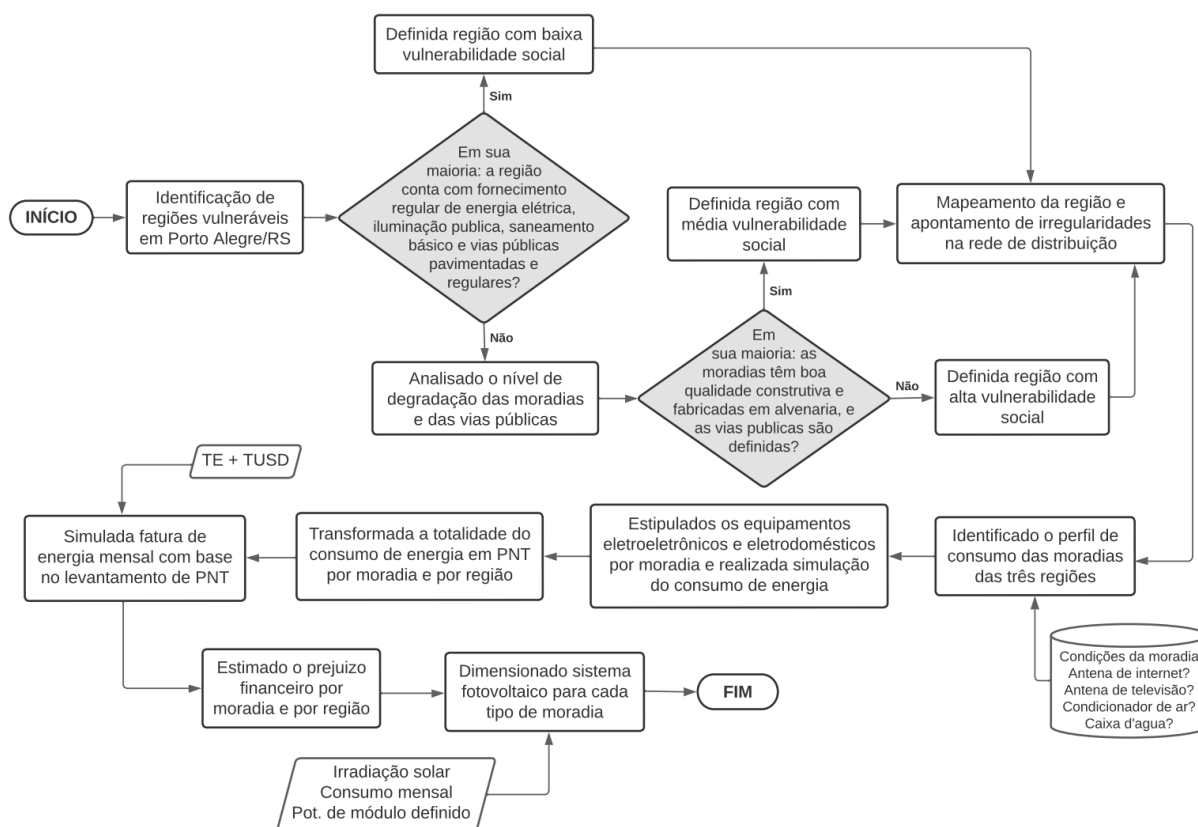
Energia, onde conseguiu-se obter valores aproximados do consumo de energia elétrica em kWh por moradia, assim como processados dados em planilhas eletrônicas do Microsoft Excel.

Para o dimensionamento e projeção do sistema fotovoltaico proposto às moradias em estudo, foi utilizado o Google Maps para identificação das coordenadas geográficas dos locais de instalação, e para o processamento dos dados de entrada e das equações, foi utilizada planilha eletrônica do Microsoft Excel.

3.2 Técnicas e métodos

Conforme a Figura 10, o desenvolvimento da estimativa de perdas não técnicas e projeção de sistema fotovoltaico obedece ao seguinte fluxo:

Figura 10 - Fluxo de desenvolvimento da estimativa de PNT



Fonte: Elaborada pelo autor.

De forma resumida, o fluxo para a estimativa de PNT dá-se inicialmente com a identificação e seleção de regiões em vulnerabilidade social no município de Porto

Alegre/RS, onde após análises, são definidos os graus de vulnerabilidade social de cada uma delas.

Prossegue-se com o levantamento das características gerais das regiões, através de mapeamento geográfico por sistema Google Maps, onde também são identificadas irregularidades na rede de distribuição e possíveis pontos de PNT.

No mapeamento geográfico, através de análise minuciosa das moradias, é identificado o perfil de consumo das famílias e possíveis equipamentos eletroeletrônicos e eletrodomésticos utilizados por estas.

Com informações de potência dos equipamentos e estimativa de utilização por dia, é realizada simulação do consumo de energia elétrica por moradia referência, chegando-se a valores de consumo em kWh por dia e por mês das moradias.

As estimativas de consumo são definidas em perdas não técnicas, e com informações do número de famílias residentes em cada região, encontra-se os valores de consumo/perdas regionais.

Para identificação do prejuízo financeiro, os valores de consumo considerados como PNT são multiplicados pelos encargos de TE e TUSD, obtendo-se valores aproximados do que cada cliente pagaria à concessionária pela energia elétrica consumida.

Por fim, é dimensionado sistema fotovoltaico que atenda a demanda de cada tipo de moradia estudada, e comparado o valor estimado para instalação do sistema com o prejuízo financeiro das perdas não técnicas.

Nas seções que seguem, prossegue-se com o estudo detalhado de cada passo descrito.

3.2.1 Seleção das regiões

Para a primeira etapa do estudo, foram selecionadas regiões em vulnerabilidade social abrangidas pela mesma concessionária de energia elétrica, a Equatorial Energia. A escolha da mesma abrangência dá-se pelo fato de os encargos de Tarifa de Energia - TE e Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição - TUSD serem os mesmos para ambas as regiões.

A definição do município, Porto Alegre/RS, dá-se pelo fato desse possuir diversas localidades passíveis de serem analisadas, incluindo a necessidade de as regiões já terem sido mapeadas pelos serviços de geolocalização. Além disto, leva-se

em consideração a existência mais avançada de projetos e estudos de regularização de áreas em vulnerabilidade social no referido município.

Com relação à quantidade de áreas a serem estudadas, definiu-se um número de três localidades, visando-se obter uma comparação entre os dados destas. Para os três diferentes cenários, levou-se em consideração o grau de vulnerabilidade social de cada região, com alta, média e baixa vulnerabilidade social.

A primeira região, a comunidade Recanto dos gaudérios, possui alta vulnerabilidade social, sendo carente de serviços de infraestrutura básica, em sua maioria irregulares junto à prefeitura, sem demarcações de vias públicas e terrenos, com informalidade elétrica e improvisações na rede de distribuição, com famílias e moradias de extrema baixa renda. A comunidade se instalou em uma área privada, e não há previsão de regularização junto aos órgãos públicos.

A segunda região, a comunidade quilombola Quilombo dos Machado, selecionada apresenta vulnerabilidade social, porém está em um “nível médio”, possuindo alguns tipos de serviços de infraestrutura, como esgoto e saneamento, algumas vias públicas demarcadas, além de possuir certo padrão na rede de distribuição elétrica e moradias simples em alvenaria e madeira. A comunidade se instalou em uma área privada, mas está em processo de finalização da regularização junto aos órgãos públicos municipais.

A terceira região estudada, o bairro Mário Quintana, apresenta vulnerabilidade social em um nível mais baixo, com organizações de bairro, apresentando moradias aparentemente regulares, vias públicas demarcadas, infraestrutura básica de saneamento e esgoto, serviços públicos de saúde e educação, moradias bem construídas em alvenaria. Mesmo assim, a região continua inserida em um cenário de baixa renda e vulnerabilidade social frente aos órgãos públicos. O bairro apresenta algumas áreas irregulares, quanto à instalação de algumas moradias.

Foi realizada solicitação de informações das três áreas ao Departamento Municipal de Habitação (DEM HAB) de Porto Alegre/RS, no intuito de se obter informações técnicas e precisas quanto às regiões em estudo, que retornou confirmando o número estimado de famílias das regiões, assim como algumas informações sociais e de regularidade das áreas.

3.2.2 Características, mapeamento e levantamento de pontos de PNT

Para o mapeamento das regiões, com o auxílio do Google Maps e Earth, foram percorridas as regiões, passando por vias públicas, como ruas, travessas e becos. Foram coletadas imagens das moradias e dos equipamentos instalados/utilizados nas residências, assim como da rede de distribuição, fiações, transformadores, equipamentos elétricos, postes, dentre outros.

Foram identificados pontos visíveis de irregularidades na rede de distribuição elétrica, inclusive com observação de casos de furto e fraude de energia elétrica, evidenciando perdas não técnicas nestas regiões.

Além disto, foram analisados os tipos construtivos das moradias e o nível de degradação destas, buscando-se verificar e caracterizar a predominância das habitações em cada região de estudo.

3.2.3 Identificação do perfil de consumo das moradias

Foram observadas as moradias quanto à forma construtiva e infraestrutura, traçando um perfil geral dos residentes para cada uma das regiões em estudo. Analisou-se as moradias quanto à instalação de equipamentos, como condicionadores de ar, antenas de internet e televisão, caixa d'água, dentre outros possíveis de se observar pelo mapeamento.

Através da ferramenta medir, do Google Earth, foram traçadas linhas de medições nas moradias em pontos aleatórios das regiões em estudo, e encontrados valores de área média (m^2) para as moradias, podendo-se assim estipular a quantidade de cômodos e ambientes das residências.

Através de informações repassadas pelo DEMHAB, foi identificado o perfil geral de atuação profissional dos moradores. Também foram coletados dados das regiões junto à Prefeitura Municipal de Porto Alegre, como índice de vulnerabilidade social e faixa de renda das famílias.

3.2.4 Simulação do consumo de energia por moradia

Visando estimar o consumo médio de energia elétrica em kWh das moradias, e com base nas informações sociais, na análise externa das residências e área média,

foram estipulados os tipos e as quantidades de aparelhos eletroeletrônicos e eletrodomésticos básicos para as moradias de cada região em estudo.

Para a estimativa de utilização média em horas/dia dos equipamentos, foram utilizadas informações do Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética. Os tipos dos equipamentos foram estipulados de acordo com o perfil de cada região, levando-se em conta o poder de compra e o acesso a equipamentos mais atuais ou não, inclusive acesso a programas sociais de eficiência energética e troca de equipamento antigos por mais modernos. A potência dos equipamentos, em Watts (W), foi obtida através da seleção e análise de informações de equipamentos usuais de mercado.

A partir disto, foram inseridos os dados de potência e uso diário no Simulador de Consumo Light Energia e processados em planilhas eletrônicas do Microsoft Excel, obtendo-se os valores estimados em kWh, de consumo diário e mensal por moradia.

Os valores de potência dos equipamentos foram multiplicados pelos dados de utilização diária, e posteriormente, multiplicados pelo período de 30 dias, obtendo-se o consumo mensal.

As análises de consumo de energia foram divididas em dois períodos do ano, um considerando seis meses mais quentes, sendo o verão, onde utiliza-se equipamentos como ventilador e condicionador de ar, e outro considerando seis meses mais frios, sendo o inverno.

3.2.5 Estimativa de perdas não técnicas e prejuízo financeiro

Seguindo a metodologia utilizada por Santos (2021), considerou-se que todas as moradias da região em estudo consomem energia elétrica de forma irregular, ou seja, geram 100% de perda não técnica.

Prosseguiu-se com as análises do consumo mensal, semestral (por período de verão e inverno) e total, levando em consideração as somas dos dois períodos do ano. Ainda, obteve-se uma estimativa por região de estudo, onde os consumos mensais e anuais em kWh foram multiplicados pelo número de famílias residentes, conforme dados obtidos pelo DEMHAB.

Considerando as perdas não técnicas estimadas, procurou-se torná-las em valores aproximados de prejuízo financeiro das distribuidoras, onde simulou-se o gasto mensal de energia elétrica para cada moradia, aplicando aos consumos de

energia os encargos de Tarifa de Energia - TE e Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição - TUSD, do mês de referência abril de 2023 pela Equatorial Energia, no município de Porto Alegre/RS. Para a referida simulação, ressalta-se que os valores de TE e TUSD foram aplicados sem a incidência dos tributos de PIS/COFINS e ICMS, de forma que se pudesse realizar uma comparação equalitária entre todas as Unidades Federativas do Brasil. Desconsiderou-se ainda, o valor de contribuição para iluminação pública. As simulações foram realizadas em situação de bandeira tarifária verde, sem acréscimo de valor adicional à tarifa de energia.

Partindo do princípio de que todas as famílias da região em estudo teriam direito à Tarifa Social de Energia Elétrica em uma possível situação de regularidade, e com os dados de gasto mensal de energia elétrica por moradia, com as devidas divisões de períodos de verão e inverno, aplicou-se nos consumos/valores encontrados os descontos de forma escalonada, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Forma de aplicação do desconto da TSEE

Parcela de consumo mensal de energia elétrica	Desconto
de 0 a 30 kWh	65%
de 31 kWh a 100 kWh	40%
de 101 kWh a 220 kWh	10%
a partir de 221 kWh	0%

Fonte: Adaptado de ANEEL (2023).

Tendo em vista que a segunda região estudada, o Quilombo dos Machados, trata-se de uma comunidade quilombola, os descontos aplicados nas simulações foram maiores, conforme regamento da ANEEL, expostos na Tabela 2.

Tabela 2 - Forma de aplicação do desconto da TSEE em comunidade quilombola

Parcela de consumo mensal de energia elétrica	Desconto
de 0 a 50 kWh	100%
de 51 kWh a 100 kWh	40%
de 101 kWh a 220 kWh	10%
a partir de 221 kWh	0%

Fonte: Adaptado de ANEEL (2023).

Com as simulações de faturas de energia elétrica, encontrou-se valores de prejuízo financeiro mensal, semestral (por período de verão e inverno) e total por

moradia e por região, tendo-se uma visão macro do quanto a distribuidora local estaria deixando de arrecadar anualmente na determinada região. Via de regra, os valores descontados da TSEE seriam arcados pelo poder público.

A Figura 11 apresenta uma visão simplificada da ferramenta desenvolvida, onde insere-se as quantidades e os dados dos equipamentos eletroeletrônicos, os dados financeiros para a projeção da fatura, e obtém-se as estimativas de consumo mensal e prejuízo financeiro para cada tipo de moradia e região.

Figura 11 - Visão simplificada da ferramenta desenvolvida

Equipamento	Ambiente	Utilização/ dia (h)	Potência (W)	Consumo diário (kWh)	Consumo mensal (kWh)	TE+TUSD	x		
Equipamento	Cômodo	x	x	-	-	Divisão TSEE			
Equipamento	Cômodo	x	x	-	-	kWh	Desconto	kWh	
Equipamento	Cômodo	x	x	-	-	0-50	100,00%	x	
Equipamento	Cômodo	x	x	-	-	51-100	40,00%	x	
Equipamento	Cômodo	x	x	-	-	101-220	10,00%	x	
Equipamento	Cômodo	x	x	-	-	Número de Famílias		x	
Equipamento	Cômodo	x	x	-	-	Fatura (R\$)	Fat. c/ TSEE (R\$)	Semestral	Semestral c/ TSEE
Equipamento	Cômodo	x	x	-	-	R\$ -	R\$ -	R\$ -	R\$ -
Equipamento	Cômodo	x	x	-	-	PNT/Região		-	
CONSUMO VERÃO						-			
CONSUMO INVERNO						-			

Fonte: Elaborada pelo autor.

3.2.6 Dimensionamento de sistema fotovoltaico

Esta etapa do estudo deu-se com o dimensionamento de sistema fotovoltaico conectado à rede para as moradias das regiões em estudo. A partir dos dados de consumo de energia das famílias estimados e localização das regiões, seguiu-se com as técnicas e procedimentos conforme Carvalho e Lage (2019).

Foi desenvolvida ferramenta de dimensionamento de sistema fotovoltaico implementada com o auxílio de planilha eletrônica mais automatizado possível, com base em equações de dimensionamento fotovoltaico e dados de entrada. Insere-se as informações de consumo mensal estimados para as moradias das regiões nos períodos de inverno e verão, levantadas em etapas anteriores do trabalho, assim como os dados de irradiação solar das localidades, orientação solar das moradias, disponibilidade do sistema, taxa de rendimento e potência pré-definida de módulos fotovoltaicos. Os valores encontrados foram expressos em potência total dos painéis e número de módulos, e com isto, definiu-se a potência do inversor.

Visando-se o levantamento de custo financeiro dos sistemas fotovoltaicos dimensionados, foi realizada pesquisa de mercado nos principais portais de vendas de sistemas de energia solar, onde foram utilizadas estimativas de preços conforme a potência média dos sistemas.

De posse dos preços estimados dos sistemas fotovoltaicos dimensionados, e dos dados de prejuízo financeiro estimado relativo às perdas não técnicas por moradia em cada região, consegue-se verificar e projetar em quanto tempo o custo do investimento retornaria à concessionária, confirmando ou não a viabilidade econômica para implantação de um possível programa social direcionado aos consumidores da subclasse residencial baixa renda com base no Programa de Energia Renovável Social.

A Figura 12 apresenta uma visão simplificada da ferramenta desenvolvida para o dimensionamento fotovoltaico, onde insere-se os dados de consumo mensal nos dois períodos, taxa de disponibilidade, irradiação solar e potência definida de módulo.

Figura 12 - Visão simplificada da ferramenta para o dimensionamento fv.

Dimensionamento fotovoltaico		
Consumo Inverno	x	kWh
Consumo Verão	x	kWh
Taxa de Disponibilidade - L	x	kWh
Irradiação solar	x	h/dia
Potencia painel definida	x	W
rendimento (n)	0,804	
Eg	-	kWh/mês
Eg dia	-	kWh/dia
Ptotal paineis	-	kWp
Nm	-	unidades
Pot inv	-	20-20 %

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tendo em vista as etapas de realização elencadas na metodologia, prossegue-se ao quarto capítulo, onde serão apresentados e analisados os resultados obtidos.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo está dividido em três seções, apresentando-se em cada uma delas os dados levantados por região de estudo, iniciando com uma descrição geral da área em questão, seguindo com registros de imagens obtidas no mapeamento, expondo e ressaltando as principais características das regiões, identificando pontos de PNT, identificando o perfil de consumo das famílias residentes, estimando as perdas não técnicas de energia elétrica e o prejuízo financeiro das concessionárias, e por fim, dimensionamento de sistema fotovoltaico específico para o determinado perfil da região como forma de mitigação de perdas não técnicas.

4.1 Primeira região - Recanto dos Gaudérios

- Características, mapeamento e levantamento de pontos de PNT

A comunidade Recanto dos Gaudérios está localizada no Bairro Belém Velho, na zona sul de Porto Alegre/RS, onde sua área tem início na altura do número 305 da Rua Ventura Pinto e se estende por cerca de 10 hectares. Ocupada desde 1997, possui atualmente cerca de 250 famílias que enfrentam muitos desafios, como a falta de infraestrutura básica, água potável e saneamento, além de acesso limitado a serviços públicos, como saúde e educação. A comunidade tem se organizado e lutado por seus direitos e pela preservação de sua identidade cultural, onde têm recebido apoio de organizações não governamentais e de grupos da sociedade civil. A situação irregular da ocupação dificulta a instalação de infraestrutura para as habitações, como abastecimento de água e energia elétrica. Segundo a própria Associação de Moradores da comunidade, por fontes de matérias jornalísticas, a obtenção de água potável e energia elétrica é realizada de forma clandestina pelas famílias. Dentre as três regiões analisadas neste trabalho, é a que apresenta a maior vulnerabilidade social.

Através da Figura 13, apresenta-se uma visão superior da comunidade, encontrando-se próximo à Avenida Belém Velho e Rua do Couto. A comunidade é constituída basicamente de ramificações da Rua Ventura Pinto, com becos e vielas.

Figura 13 - Vista superior da comunidade Recanto dos Gaudérios



Fonte: Extraída de Google Earth (2023).

As Figuras 14, 15 e 16 demonstram a precariedade das instalações da rede de distribuição, onde observar-se uma estrutura improvisada com postes, fiações, e conexões fora do padrão técnico de fornecimento de energia.

Figura 14 - Rede de distribuição da Rua Ventura Pinto



Fonte: Extraída de Google Maps (2023).

Figura 15 - Rede de distribuição na Rua Ventura Pinto



Fonte: Extraída de Portal G1 RS (2023).

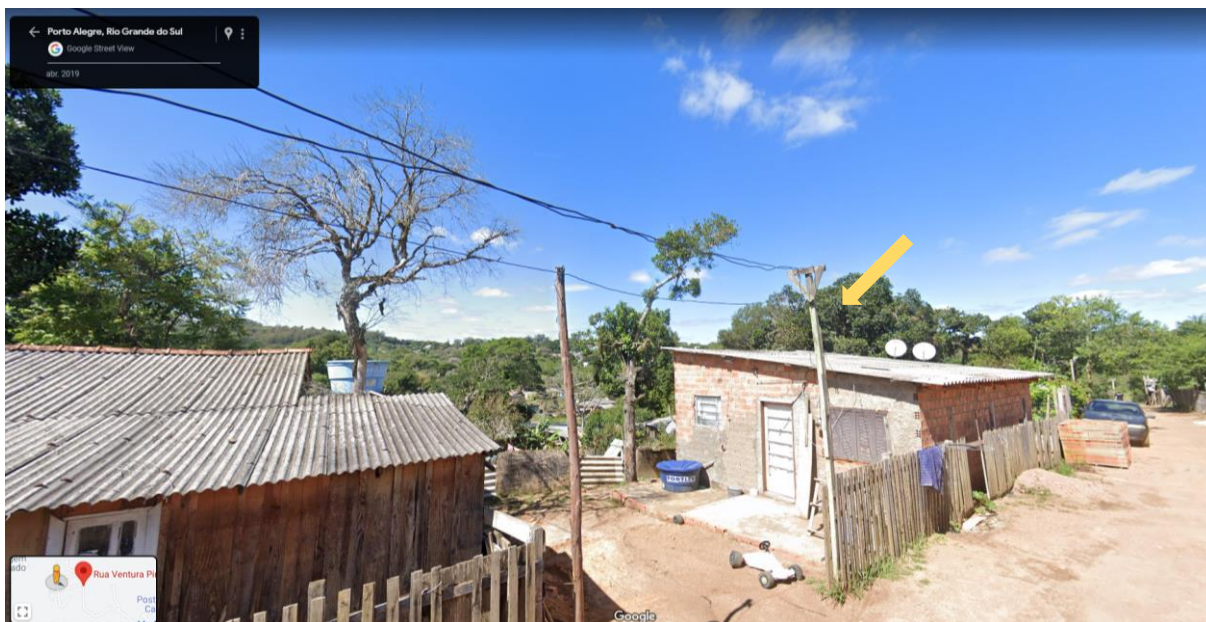
Figura 16 - Rede de distribuição na Rua Ventura Pinto



Fonte: Extraída de Google Maps (2023).

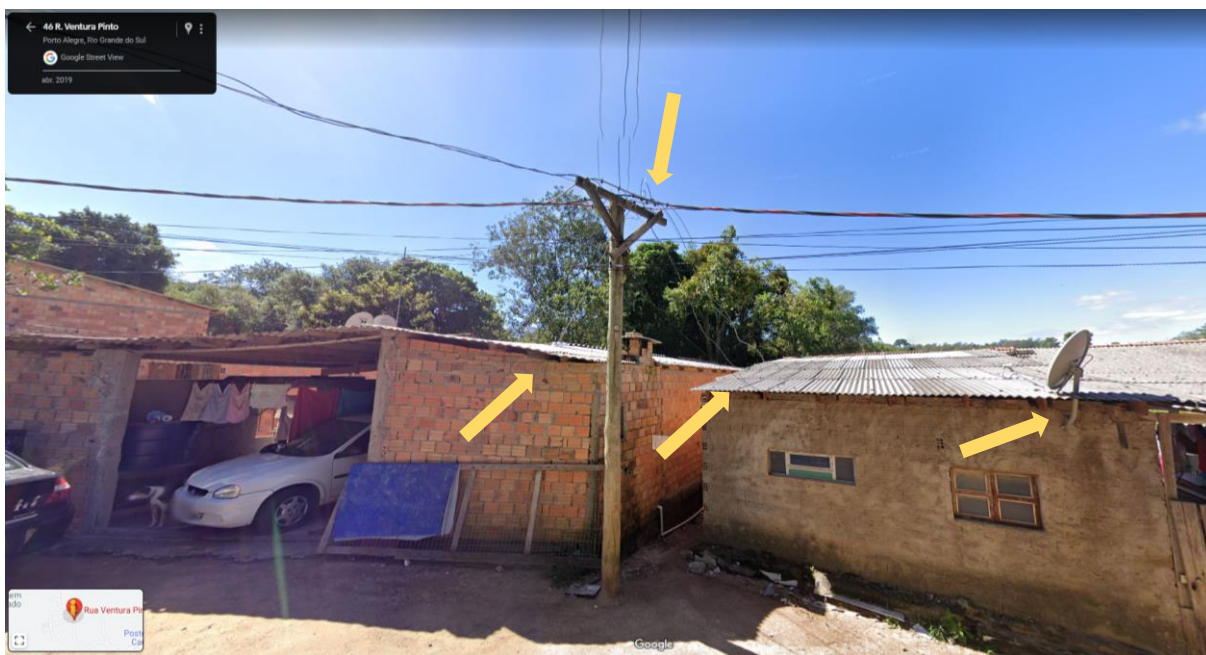
Além da precariedade das instalações, pelas Figuras 17 e 18, verifica-se desvios de energia elétrica através de ligações irregulares diretamente na rede, caracterizando diversos pontos de perdas não técnicas de energia elétrica.

Figura 17 - Ponto de fornecimento de energia sem medição na Rua Sete



Fonte: Extraída de Google Maps (2023).

Figura 18 - Pontos de fornecimento de energia sem medição na Rua Sete



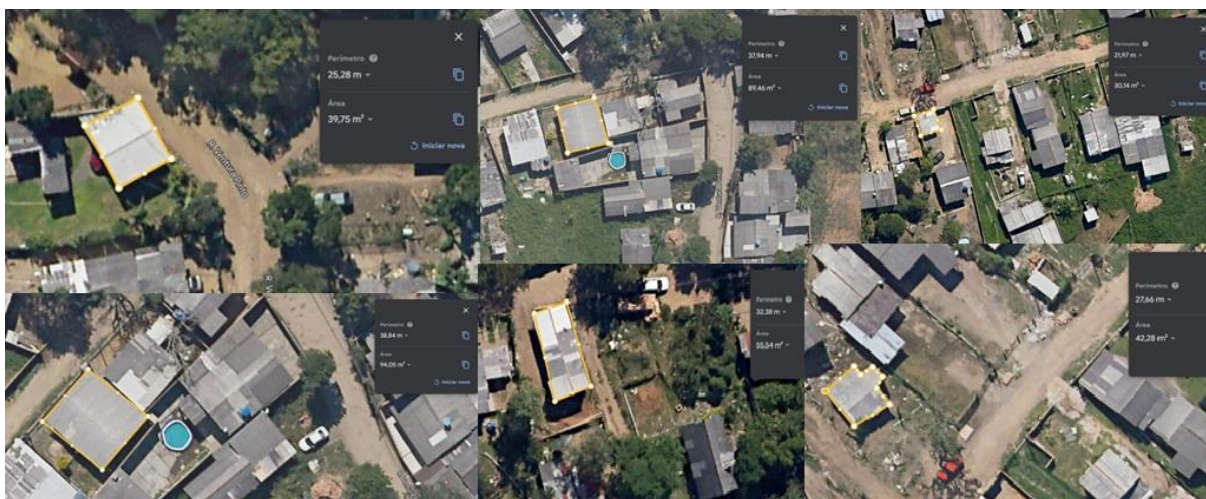
Fonte: Extraída de Google Maps (2023).

- Perfil de consumo

Com relação ao perfil de consumo das famílias, observou-se moradias humildes, com casas em alvenaria em sua maioria sem revestimento de reboco, assim como muitas em madeira, porém, muitas das residências possuem antenas de televisão por satélite e internet via rádio, o que evidenciam a utilização de televisor, celular e até mesmo conexão com internet. Também foram observadas várias moradias com caixa d'água instalada, devido ao problema de abastecimento de água. Não foram observados aparelhos condicionadores de ar. Conforme G1 RS (2017), sabe-se que as famílias desviam água e energia elétrica, logo, estima-se que a maioria possui chuveiro elétrico, refrigerador, lâmpada fluorescente e tanquinho de lavar roupa.

Conforme a Figura 19, foram realizadas medições aleatórias em dez pontos da região estudada, via ferramenta Medir do Google Earth, onde verificou-se uma área média das moradias em 56 m². Com isto, presumiu-se que a maioria das residências da ocupação é composta por sala, cozinha, um quarto e banheiro.

Figura 19 - Medições de área em moradias na comunidade Recanto dos Gaudérios



Fonte: Elaborada pelo autor.

- Simulação do consumo de energia

A Tabela 3 apresenta a estimativa de equipamentos, utilização média diária, potência e consumos diário e mensal por moradia da comunidade Recanto dos Gaudérios, para os períodos de verão e inverno.

Tabela 3 - Estimativa de consumo por moradia na comunidade Recanto dos Gaudérios

Equipamento	Ambiente	Média de utilização/dia (h)	Potência (W)	Consumo diário (kWh)	Consumo mensal (kWh)
Televisor 29" (tubo)	Sala	5,0	80	0,400	12,00
Carregador de celular	Sala	4,0	10	0,040	1,20
Ventilador	Sala	8,0	126	1,008	30,24
Chuveiro elétrico	Banheiro	0,5	3200	1,600	48,00
Refrigerador	Cozinha	24,0	100	2,400	72,00
Lâmpada fluorescente	Sala	5,0	23	0,115	3,45
Lâmpada fluorescente	Cozinha	5,0	23	0,115	3,45
Lâmpada fluorescente	Banheiro	1,0	15	0,015	0,45
Lâmpada fluorescente	Quarto	3,0	23	0,069	2,07
Total do consumo mensal no verão				172,86 kWh	
Total do consumo mensal no inverno				142,62 kWh	

Fonte: Elaborada pelo autor.

Conforme pôde-se observar, encontrou-se valores de consumo mensal de energia elétrica em 172,86 kWh para período de verão, e 142,62 kWh para o de período de inverno.

- Estimativa de perdas não técnicas

Tendo em vista que para o desenvolvimento deste trabalho, todo o consumo das moradias é considerado como perda não técnica, apresenta-se, através da Tabela 4, a estimativa mensal e semestral de perda não técnica em kWh. As análises foram divididas em estudo por moradia e estudo por região, considerando nesta última situação, o número de 250 famílias residentes na comunidade Recanto dos

Gaudérios. No valor total, é considerada a soma de PNT dos seis meses de verão e seis meses de inverno.

Tabela 4 - Estimativa de perda não técnica na comunidade Recanto dos Gaudérios

Moradia		
	Perda não técnica mensal	Perda não técnica semestral
Verão	172,86 kWh	1.037,16 kWh
Inverno	142,62 kWh	855,72 kWh
Total	-	1.892,88 kWh
Região		
	Perda não técnica mensal	Perda não técnica semestral
Verão	43.215 kWh	259.290 kWh
Inverno	35.655 kWh	213.930 kWh
Total	-	473.220 kWh

Fonte: Elaborada pelo autor.

Conforme observa-se, estimou-se uma perda não técnica anual por moradia da comunidade em 1.892,88 kWh, e por região em 473.220 kWh.

- Estimativa do prejuízo financeiro

Para a realização da estimativa de prejuízo financeiro na comunidade Recanto dos Gaudérios, levou-se em consideração os seguintes dados de entrada:

↪ *Consumo mensal de energia no verão* = 172,86 kWh

↪ *Consumo mensal de energia no inverno* = 142,62 kWh

↪ $TE + TUSD = 0,27844 + 0,37712 = 0,65556$

↪ *Bandeira tarifária verde*

↪ *Número de famílias* = 250

Conforme a Tabela 5, foram estimados os prejuízos financeiros mensal e semestral, tanto para o valor de consumo de energia nos seis meses de verão, como para os demais meses de inverno, assim como valores com e sem o desconto da TSEE, por moradia isolada e por região de estudo. No valor total, é considerada a soma financeira dos seis meses de verão e seis meses de inverno.

Tabela 5 - Estimativa de prejuízo financeiro na comunidade Recanto dos Gaudérios

Moradia				
	Prejuízo financeiro mensal	Prejuízo financeiro mensal (TSEE)	Prejuízo financeiro semestral	Prejuízo financeiro semestral (TSEE)
Verão	R\$ 113,32	R\$ 77,40	R\$ 679,92	R\$ 464,43
Inverno	R\$ 93,50	R\$ 59,56	R\$ 560,98	R\$ 357,38
Total	-	-	R\$ 1.240,90	R\$ 821,80
Região				
	Prejuízo financeiro mensal	Prejuízo financeiro mensal (TSEE)	Prejuízo financeiro semestral	Prejuízo financeiro semestral (TSEE)
Verão	R\$ 28.330,03	R\$ 19.351,15	R\$ 169.980,15	R\$ 116.106,89
Inverno	R\$ 23.373,99	R\$ 14.890,72	R\$ 140.243,95	R\$ 89.344,31
Total	-	-	R\$ 310.224,10	R\$ 205.451,19

Fonte: Elaborada pelo autor.

Atenta-se para os valores de prejuízo financeiro total por região, que ficaram em R\$ 310.224,10 e R\$ 205.451,19, sem e com desconto da TSEE, respectivamente. Com estes, têm-se uma visão macro do quanto a distribuidora local estaria deixando de arrecadar anualmente na determinada região. Os valores descontados da TSEE seriam arcados pelo poder público.

- Dimensionamento de sistema fotovoltaico

A partir dos dados traçados e obtidos nas etapas anteriores, prosseguiu-se com o dimensionamento de sistema fotovoltaico direcionado a determinado tipo de família residente na região. Para esta etapa, as principais informações são os valores de consumo mensal de energia elétrica por residência, pois isto determinará a capacidade do sistema a ser dimensionado. Observa-se também a localização da comunidade no município, para a busca do valor de irradiação solar em portais específicos, a orientação solar das moradias e a arborização em torno das moradias, assim como a estrutura das residências e a forma construtiva dos telhados.

Constata-se, pelo mapeamento geográfico, que boa parte da comunidade Recanto dos Gaudérios possui árvores em suas vias públicas, devendo-se ao fato de a comunidade ter se instalado em uma região de mata, onde muitas foram

preservadas. Observa-se que as casas não estão muito próximas das árvores, o que aparentemente, não geraria sombreamento aos módulos fotovoltaicos.

Com relação à estrutura e forma construtiva dos telhados das moradias, observa-se que a maioria é construído em telhas de fibrocimento, em uma ou duas águas no geral, apresentando aparentemente capacidade para suportar a instalação de módulos fotovoltaicos.

A comunidade está inserida em uma região do município predominantemente plana, com boa incidência de luz solar em todos os pontos.

Em planilha eletrônica desenvolvida, foram inseridos os dados de entrada necessários para o dimensionamento básico de um sistema fotovoltaico direcionado à comunidade em estudo, onde foram encontrados os resultados conforme o Quadro 2:

Quadro 2 - Dimensionamento de sistema fotovoltaico Recanto dos Gaudérios

Dados de entrada	Dados obtidos	Preço médio
<ul style="list-style-type: none"> • Consumo mensal de energia no verão: 172,86 kWh; • Consumo mensal de energia no inverno: 142,62 kWh; • Irradiação solar média para a localidade: 4,4 h/dia; • Orientação solar da moradia; • Taxa de disponibilidade do sistema: 30 kWh; • Taxa de rendimento: 0,80; • Potência pré-definida para os módulos fotovoltaicos: 265 W. 	<ul style="list-style-type: none"> • Energia de geração por dia $E_g = 4,258 \text{ kWh/dia}$ • Potência total dos painéis $P_{pico} = 1,2039 \text{ kWp}$ • Quantidade de painéis $N_m = 4,54 \rightarrow 5 \text{ unidades}$ • Potência do inversor $P_{inv} = 1,20 \text{ kWp} \rightarrow 1,5 \text{ kW}$ 	<ul style="list-style-type: none"> • Potência do gerador solar até 2 kWp, preço médio estimado em R\$ 10.840,00.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base na potência necessária ao sistema fotovoltaico projetado para a comunidade Recanto dos Gaudérios, foi realizado levantamento de custo financeiro nos principais portais de vendas de sistemas de energia solar, encontrando-se no Portal Solar (2023) estimativa conforme faixas de potência. Para a potência do gerador solar até 2 kWp, o preço médio estimado ficou em R\$ 10.840,00, incluindo todo o material e serviço de instalação.

De posse do preço estimado do sistema fotovoltaico dimensionado à moradia, e do valor de prejuízo financeiro anual estimado para a mesma por moradia, verifica-se em quanto tempo um possível investimento em sistema fotovoltaico se pagaria.

↪ Investimento por moradia: R\$ 10.840,00

↪ Prejuízo financeiro anual por moradia (já com desconto TSEE): R\$ 821,80

$$Retorno = \frac{Investimento}{Prejuizo\ anual\ por\ moraria} \therefore Retorno = \frac{R\$10.840,00}{R\$821,80} = \mathbf{13,19\ anos}$$

Analisando um cenário levando em consideração o valor sem o desconto da Tarifa Social de Energia Elétrica, tem-se:

↪ Prejuízo financeiro anual por moradia (sem desconto TSEE): R\$ 1.240,90

$$Retorno = \frac{R\$10.840,00}{R\$1.240,90} = \mathbf{8,73\ anos}$$

Observa-se que o retorno de investimento em um sistema fotovoltaico se daria em aproximadamente 13 anos, levando-se em consideração o desconto da Tarifa Social de Energia Elétrica, e aproximadamente 9 anos sem considerar o desconto. Os números parecem altos, porém, quando se considera que em média, para consumidores comuns, o retorno de investimento em um sistema fotovoltaico é de aproximadamente 5 anos, tem-se uma visão favorável quanto à viabilidade econômica para implantação de um possível programa social direcionado aos consumidores da subclasse residencial baixa renda com base no Programa de Energia Renovável Social. O possível programa poderia ser arcado com incentivos do poder público e investimentos da própria concessionária, tendo em vista as vantagens com a regularização. Além disso, existem também a possibilidade de os custos serem arcados pelos consumidores regulares, através de acréscimo nas faturas de energia.

4.2 Segunda região - Quilombo dos Machado

- Características, mapeamento e levantamento de pontos de PNT

A comunidade Quilombo dos Machado situa-se na zona norte de Porto Alegre/RS, no Bairro Sarandi, nas proximidades das Avenidas Sertório e dos

Gaúchos. É uma das onze comunidades quilombolas urbanas do município, tendo iniciado sua ocupação entre as décadas de 1960 e 1970. Atualmente, vivem cerca de 300 famílias na região.

Ações conjuntas de diversos órgãos, como Comissão de Urbanização, Transportes e Habitação da Câmara Municipal de Porto Alegre, Secretaria Municipal de Habitação e Regularização Fundiária de Porto Alegre, Departamento Municipal de Água e Esgotos de Porto Alegre e Equatorial Energia visam implementar diversos direitos à comunidade, como saneamento básico, energia elétrica regular e educação infantil. O fato de a região ocupada ter se instalado em uma área privada dificulta as ações por parte das autoridades, porém existem processos em andamento de regularização fundiária junto aos órgãos competentes, e segundo a Equatorial Energia, a comunidade está totalmente mapeada, com processo de regularização da energia previsto para início no segundo semestre de 2023.

As famílias residentes são humildes, mas por ser uma região ocupada há bastante tempo e contarem com apoio de diversos órgãos, elas possuem mais acesso a serviços essenciais, inclusive programas sociais, emprego e renda, ficando em um nível médio de vulnerabilidade social em comparação às outras duas regiões estudadas.

A Figura 20 apresenta a localização geográfica da comunidade Quilombo dos Machado, situada entre às Avenidas Sertório, Assis Brasil e dos Gaúchos.

Figura 20 - Localização geográfica da comunidade Quilombo dos Machado



Fonte: Extraída de Google Earth (2023).

A Figura 21 expõe casos de fornecimento de energia elétrica aparentemente padrão, porém, com e sem medição, tendo em vista o processo em andamento de regularização do fornecimento de energia elétrica pela Equatorial Energia.

Figura 21 - Ponto de fornecimento de energia sem medição e ramal de entrada com possível adulteração



Fonte: Extraída de Google Maps (2023).

Observa-se em uma visão ampliada, através da Figura 22, que há um possível caso de adulteração na medição, pois verifica-se um disjuntor aparentemente em uma ligação *by pass*, desviando energia elétrica antes da medição.

Figura 22 - Ponto de fornecimento de energia sem medição e ramal de entrada com possível adulteração (ampliada)



Fonte: Extraída de Google Maps (2023).

Ainda, dentre as vias da comunidade Quilombo dos Machado, a Figura 23 expõe uma rede de distribuição de energia completamente improvisada, com postes e fiações fora do padrão, interligando várias residências de uma mesma quadra. Ressalta-se para o risco de acidentes e sobrecarga dos transformadores da região. Observou-se que em muitas residências, apesar de simples, havia equipamentos condicionadores de ar instalados, como no caso abaixo, sendo um possível sinal de falta de medição no local, pois pressupõe-se que famílias carentes não tenham condições de pagar uma fatura de energia elétrica mais alta devido a um condicionador de ar.

Figura 23 - Rede de distribuição improvisada Avenida Rocco Aloise



Fonte: Extraída de Google Maps (2023).

A Figura 24 apresenta diversos pontos de ligações irregulares diretamente na rede de baixa tensão, provavelmente inseridos pelos próprios moradores, evidenciando perdas não técnicas de energia elétrica. Estima-se pelas imagens, que cada ligação irregular alimenta diversas moradias no interior da quadra.

Figura 24 - Rede de distribuição com ligações irregulares Rua 25 de Dezembro



Fonte: Extraída de Google Maps (2023).

A Figura 25 evidencia o fornecimento irregular de energia no ponto de entrada da moradia, com postes e fiações fora do padrão e sem medição.

Figura 25 - Rede de distribuição com ligações irregulares Rua 25 de Dezembro



Fonte: Extraída de Google Maps (2023).

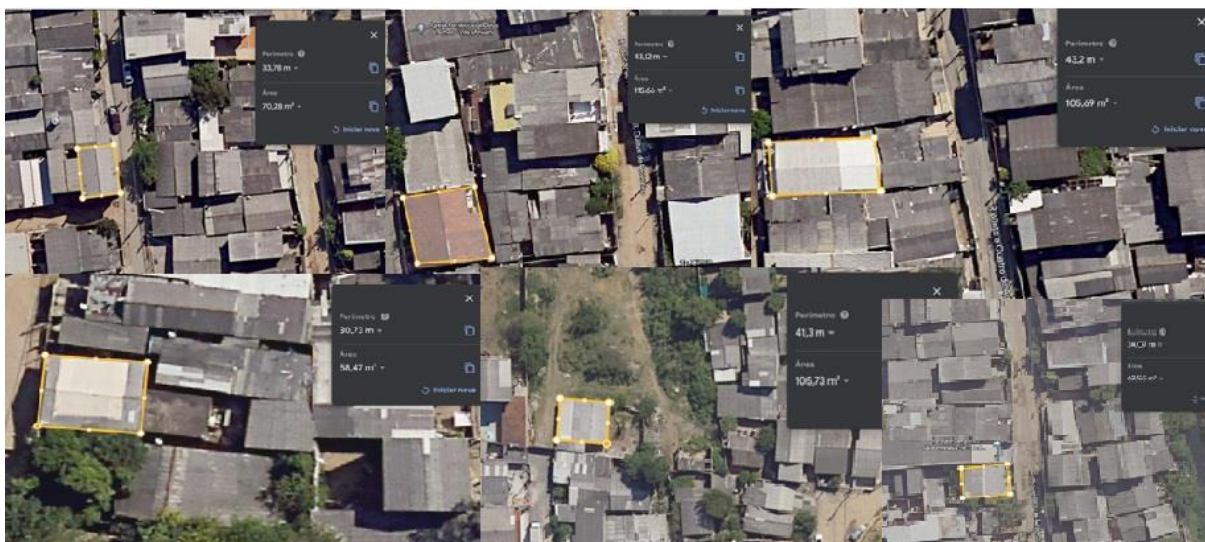
- Perfil de consumo
Constata-se que boa parte das famílias da comunidade Quilombo dos Machado desempenham atividades laborais, possuem acesso a programas sociais e são

assistidas por órgãos públicos e privados. Logo, estima-se que a maioria possui o básico em aparelhos eletrodomésticos e eletroeletrônicos.

Com relação ao perfil das moradias, observou-se um maior número de casas em alvenaria, com relação às construídas em madeira. Com telhados em fibrocimento, muitas possuem grades e muros de proteção. Algumas vias públicas da comunidade possuem calçamento, levando a considerar que as residências têm acesso a saneamento básico. A comunidade conta com boas extensões de rede de distribuição regular, com iluminação pública e fornecimento de serviços de comunicação. Com isto, pressupõe-se que os moradores têm acesso à internet e equipamentos eletroeletrônicos como televisor, computador e carregador de celular. Estima-se ainda, que a maioria possui chuveiro elétrico, refrigerador, lâmpada fluorescente, ventilador e máquina de lavar roupa.

Conforme a Figura 26, foram realizadas medições aleatórias em dez pontos da região estudada, via ferramenta Medir do Google Earth, onde verificou-se uma área média das moradias em 76 m². Com isto, presumiu-se que a maioria das residências da comunidade é composta por sala, cozinha, dois quartos e banheiro.

Figura 26 - Medições de área em moradias na comunidade Quilombo dos Machado



Fonte: Elaborada pelo autor.

- Simulação do consumo de energia

A Tabela 6 apresenta os dados obtidos, onde foi estimado o consumo para cada moradia da comunidade Quilombo dos Machado, encontrando-se os valores mensais de 208,32 kWh no verão, e 178,08 kWh no inverno.

Tabela 6 - Estimativa de consumo por moradia na comunidade Quilombo dos Machado

Equipamento	Ambiente	Média de utilização/dia (h)	Potência (W)	Consumo diário (kWh)	Consumo mensal (kWh)
Televisor LED 32"	Sala	5,0	100,0	0,500	15,00
Modem de internet	Sala	24,0	12,0	0,288	8,64
Computador	Sala	8,0	120,0	0,960	28,80
Carregador de celular	Sala	4,0	10,0	0,040	1,20
Ventilador	Sala	8,0	126	1,008	30,24
Chuveiro elétrico	Banheiro	0,5	5500,0	2,750	82,50
Máquina de lavar roupa	Banheiro	1,0	187,0	0,187	5,61
Refrigerador	Cozinha	24,0	34,5	0,828	24,84
Lâmpada fluorescente	Sala	5,0	23,0	0,115	3,45
Lâmpada fluorescente	Cozinha	5,0	23,0	0,115	3,45
Lâmpada fluorescente	Banheiro	1,0	15,0	0,015	0,45
Lâmpada fluorescente	Quarto	3,0	23,0	0,069	2,07
Lâmpada fluorescente	Quarto	3,0	23,0	0,069	2,07
Total do consumo mensal no verão				208,32 kWh	
Total do consumo mensal no inverno				178,08 kWh	

Fonte: Elaborada pelo autor.

- Estimativa de perdas não técnicas

Tendo em vista que para o desenvolvimento deste trabalho, todo o consumo das moradias é considerado como perda não técnica, apresenta-se, através da Tabela 7, a estimativa mensal e semestral de perda não técnica em kWh. As análises foram divididas em estudo por moradia e estudo por região, considerando nesta última situação, o número de 300 famílias residentes na comunidade Quilombo dos Machado. No valor total, é considerada a soma de PNT dos seis meses de verão e seis meses de inverno.

Tabela 7 - Estimativa de perda não técnica na comunidade Quilombo dos Machado

Moradia		
	Perda não técnica mensal	Perda não técnica semestral
Verão	208,32 kWh	1.249,92 kWh
Inverno	178,08 kWh	1.068,48 kWh
Total	-	2.318,4 kWh
Região		
	Perda não técnica mensal	Perda não técnica semestral
Verão	62.496 kWh	374.976 kWh
Inverno	53.424 kWh	320.544 kWh
Total	-	695.520 kWh

Fonte: Elaborada pelo autor.

Conforme observa-se, estimou-se uma perda não técnica anual por moradia da comunidade em 2.318,4 kWh, e por região 695.520 kWh.

- Estimativa do prejuízo financeiro

Para a realização da estimativa de prejuízo financeiro na comunidade Quilombo dos Machado, levou-se em consideração os seguintes dados de entrada:

↪ *Consumo mensal de energia no verão = 208,32 kWh*

↪ *Consumo mensal de energia no inverno = 178,08 kWh*

↪ $TE + TUSD = 0,27844 + 0,37712 = 0,65556$

↪ *Bandeira tarifária verde*

↪ *Número de famílias = 300*

Conforme a Tabela 8, foram estimados os prejuízos financeiros mensal e semestral, tanto para o valor de consumo de energia nos seis meses de verão, como para os demais meses de inverno, assim como valores com e sem o desconto da TSEE, por moradia isolada e por região de estudo. No valor total, é considerada a soma financeira dos seis meses de verão e seis meses de inverno.

Tabela 8 - Estimativa de prejuízo financeiro na comunidade Quilombo dos Machado

Moradia				
	Prejuízo financeiro mensal	Prejuízo financeiro mensal (TSEE)	Prejuízo financeiro semestral	Prejuízo financeiro semestral (TSEE)
Verão	R\$ 136,57	R\$ 83,58	R\$ 819,40	R\$ 501,46
Inverno	R\$ 116,74	R\$ 65,73	R\$ 700,45	R\$ 394,41
Total	-	-	R\$ 1.519,85	R\$ 895,86
Região				
	Prejuízo financeiro mensal	Prejuízo financeiro mensal (TSEE)	Prejuízo financeiro semestral	Prejuízo financeiro semestral (TSEE)
Verão	R\$ 40.969,88	R\$ 25.072,81	R\$ 245.819,27	R\$ 150.436,86
Inverno	R\$ 35.022,64	R\$ 19.720,29	R\$ 210.135,82	R\$ 118.321,76
Total	-	-	R\$ 455.955,09	R\$ 268.758,62

Fonte: Elaborada pelo autor.

Atenta-se para os valores de prejuízo financeiro total por região, que ficaram em R\$ 455.955,09 e R\$ 268.758,62, sem e com desconto da TSEE, respectivamente. Com estes, têm-se uma visão macro do quanto a distribuidora local estaria deixando de arrecadar anualmente na determinada região. Os valores descontados da TSEE seriam arcados pelo poder público.

- Dimensionamento de sistema fotovoltaico

A partir dos dados traçados e obtidos nas etapas anteriores, prosseguiu-se com o dimensionamento de sistema fotovoltaico direcionado a determinado tipo de família residente na região. Para esta etapa, as principais informações são os valores de consumo mensal de energia elétrica por residência, pois isto determinará a capacidade do sistema a ser dimensionado. Observa-se também a localização da comunidade no município, para a busca do valor de irradiação solar em portais específicos, a orientação solar das moradias e a arborização em torno das moradias, assim como a estrutura das residências e a forma construtiva dos telhados.

Observou-se pelo mapeamento geográfico, que a comunidade Quilombo dos Machados possui poucas árvores plantadas em suas vias públicas e nos terrenos das moradias. Logo, é baixa a probabilidade de problema de sombreamento nos módulos fotovoltaicos.

Com relação à estrutura e forma construtiva dos telhados das moradias, observa-se que a maioria é construído em telhas de fibrocimento, em uma ou duas águas no geral, apresentando aparentemente capacidade para suportar a instalação de módulos fotovoltaicos.

A comunidade está inserida em uma região do município predominantemente plana, com boa incidência de luz solar em todos os pontos.

Em planilha eletrônica desenvolvida, foram inseridos os dados de entrada necessários para o dimensionamento básico de um sistema fotovoltaico direcionado à comunidade em estudo, onde foram encontrados os resultados conforme o Quadro 3:

Quadro 3 - Dimensionamento de sistema fotovoltaico Quilombo dos Machado

Dados de entrada	Dados obtidos	Preço médio
<ul style="list-style-type: none"> Consumo mensal de energia no verão: 208,32 kWh; Consumo mensal de energia no inverno: 178,08 kWh; Irradiação solar média para a localidade: 4,4 h/dia; Orientação solar da moradia; Taxa de disponibilidade do sistema: 30 kWh; Taxa de rendimento: 0,80; Potência pré-definida para os módulos fotovoltaicos: 265 W. 	<ul style="list-style-type: none"> Energia de geração por dia $E_g = 5,44 \text{ kWh/dia}$ Potência total dos painéis $P_{pico} = 1,5381 \text{ kWp}$ Quantidade de painéis $N_m = 5,804 \rightarrow 6 \text{ unidades}$ Potência do inversor $P_{inv} = 1,53 \text{ kWp} \rightarrow 1,5 \text{ kW}$ 	<ul style="list-style-type: none"> Potência do gerador solar até 2 kWp, preço médio estimado em R\$ 10.840,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base na potência necessária ao sistema fotovoltaico projetado para a comunidade Quilombo dos Machado, foi realizado levantamento de custo financeiro nos principais portais de vendas de sistemas de energia solar, encontrando-se no Portal Solar (2023) estimativa conforme faixas de potência. Para a potência do gerador solar até 2 kWp, o preço médio estimado ficou em R\$ 10.840,00, incluindo todo o material e serviço de instalação.

De posse do preço estimado do sistema fotovoltaico dimensionado à moradia, e do valor de prejuízo financeiro anual estimado para a mesma por moradia, verifica-se em quanto tempo um possível investimento em sistema fotovoltaico se pagaria.

↪ Investimento por moradia: R\$ 10.840,00

↪ Prejuízo financeiro anual por moradia (já com desconto TSEE): R\$ 895,56

$$\text{Retorno} = \frac{\text{Investimento}}{\text{Prejuízo anual por moradia}} \quad \therefore \text{Retorno} = \frac{R\$10.840,00}{R\$895,86} = \mathbf{12,10 \text{ anos}}$$

Analisando um cenário levando em consideração o valor sem o desconto da Tarifa Social de Energia Elétrica, tem-se:

↪ Prejuízo financeiro anual por moradia (sem desconto TSEE): R\$ 1.519,85

$$\text{Retorno} = \frac{R\$10.840,00}{R\$1.519,85} = \mathbf{7,13 \text{ anos}}$$

Observa-se que o retorno de investimento em um sistema fotovoltaico se daria em aproximadamente 12 anos, levando-se em consideração o desconto da Tarifa Social de Energia Elétrica. O retorno neste período pode ser alto, mas quando se considera todos os benefícios que um investimento social como este poderia trazer à comunidade e também para a concessionária, tem-se uma visão favorável quanto à viabilidade econômica.

Ao analisar o investimento sem levar em consideração o desconto de TSEE, o período de retorno em aproximadamente 7 anos está próximo da média geral dos consumidores comuns deste tipo de serviço.

O possível programa poderia ser arcado com incentivos do poder público e investimentos da própria concessionária, tendo em vista as vantagens com a regularização. Além disso, existem também a possibilidade de os custos serem arcados pelos consumidores regulares, através de acréscimo nas faturas de energia.

4.3 Terceira região - Mário Quintana

- Características, mapeamento e levantamento de pontos de PNT

Bairro populoso de Porto Alegre/RS, localizado na região nordeste da cidade, é composto por várias vilas, como Chácara da Fumaça, Valneir Antunes, Safira Velha, Safira Nova, Batista Flores, Wenceslau Fontoura, Timbaúva, Jardim do Verde, Jardim Protásio Alves, Passo Dorneles e Athemis. Muitas das famílias residentes no bairro são provindas de ações de desocupação de outras regiões da cidade, que ao longo

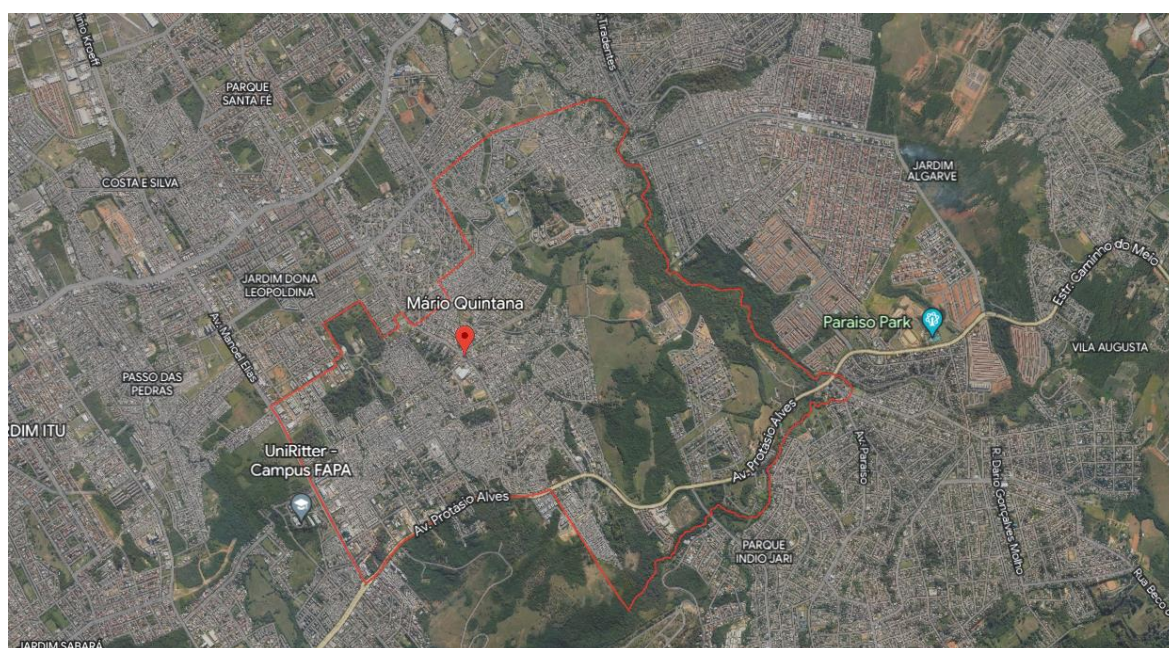
das últimas décadas foram removidas pela prefeitura e contribuíram para o surgimento do bairro. Atualmente, estima-se que vivam em torno de 6.000 famílias no bairro.

Região populosa, representa cerca de 2,7 % da população do município. Com uma área de 7,507 km², possui uma taxa de analfabetismo de 5,6% e rendimento médio dos responsáveis por domicílio de 1,54 salários-mínimos. Entre a força de trabalho do bairro, 60,24% possuem emprego de carteira assinada, e 27,30% dos trabalhadores completaram o ensino médio. O Índice de Vulnerabilidade Social é de 0,346, valor considerado como média vulnerabilidade. Com base em todos os indicadores sociais, o bairro tem um valor de prosperidade social considerado médio.

Em grande parte do bairro existe fornecimento de água e energia elétrica regulares, assim como serviços públicos de saúde, educação e lazer. Porém, muitas das regiões ainda estão na ilegalidade, principalmente nas extremidades do bairro. É caso da Vila Athemis, onde os próprios moradores relatam viver na clandestinidade e reivindicam regularização quanto ao fornecimento de energia elétrica. Além disso, observa-se que muitas residências ainda possuem da cultura do “gato de luz”.

A Figura 27 apresenta a localização geográfica do bairro Mário Quintana, situado ao norte da Avenida Protásio Alves, entre os bairros Alto Petrópolis e Jardim Dona Leopoldina, fazendo divisa com o município de Alvorada/RS.

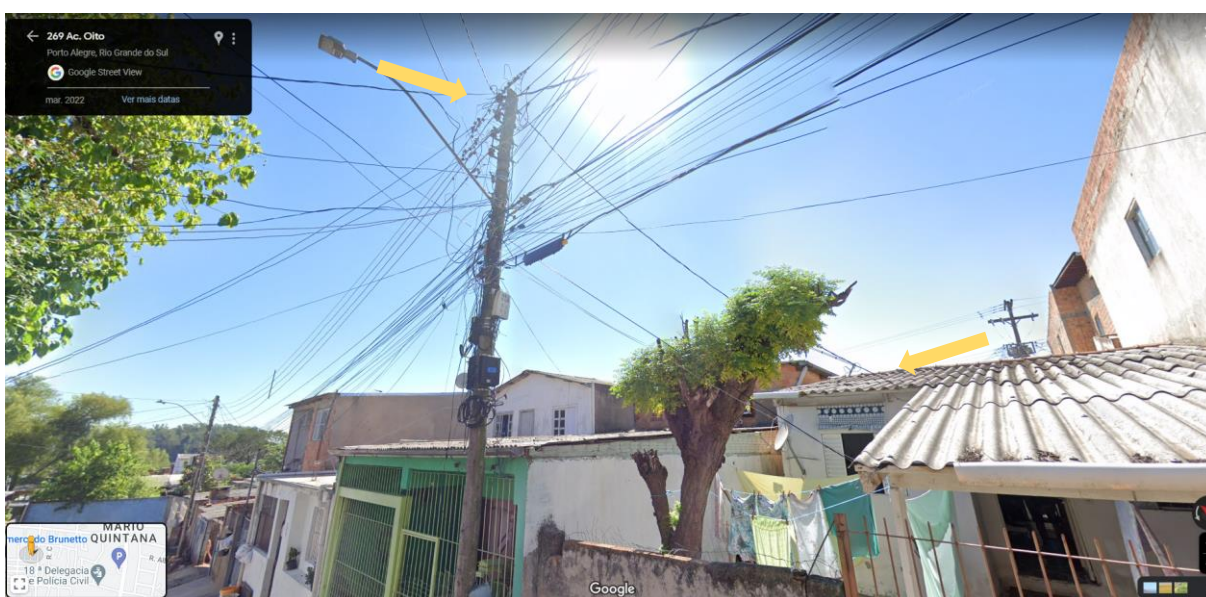
Figura 27 - Localização geográfica do bairro Mário Quintana



Fonte: Extraída de Google Earth (2023).

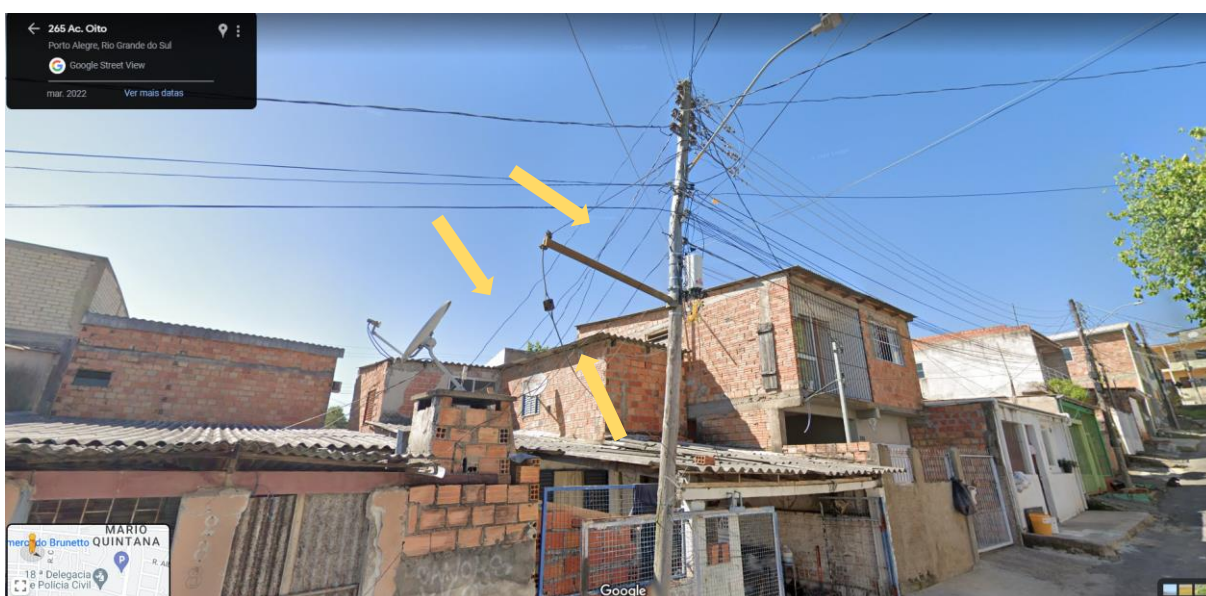
As Figuras 28 e 29 mostram a realidade do bairro, onde há fornecimento regular de energia elétrica em boa parte, porém, com diversos pontos de ligações irregulares diretamente da rede de baixa tensão, causando além das perdas não técnicas, sobrecarga à rede e riscos de acidente. Observa-se que as ligações alimentam, além das casas adjacentes às ruas, moradias mais adentro às quadras, pois muitas são construídas em desordem, coladas umas nas outras.

Figura 28 - Rede de distribuição com ligações irregulares Acesso Oito



Fonte: Extraída de Google Maps (2023).

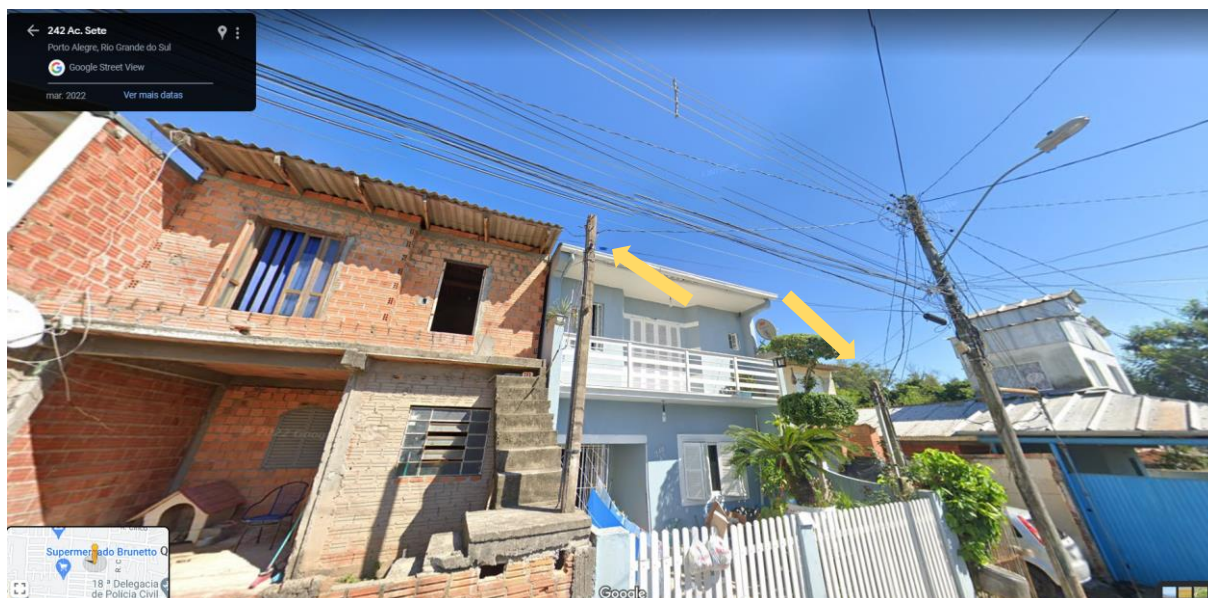
Figura 29 - Rede de distribuição com ligações irregulares Acesso Oito



Fonte: Extraída de Google Maps (2023).

As Figuras 30 e 31 expõem um flagrante caso de perda não técnica, onde uma construção conta com fornecimento de energia elétrica de forma irregular, sem medição, e fora dos padrões técnicos, ao lado de uma residência, aparentemente regular quando ao fornecimento de energia.

Figura 30 - Rede de distribuição com ligações regulares e irregulares Acesso Sete



Fonte: Extraída de Google Maps (2023).

Figura 31 - Rede de distribuição com ligações irregulares Acesso Oito (ampliada)

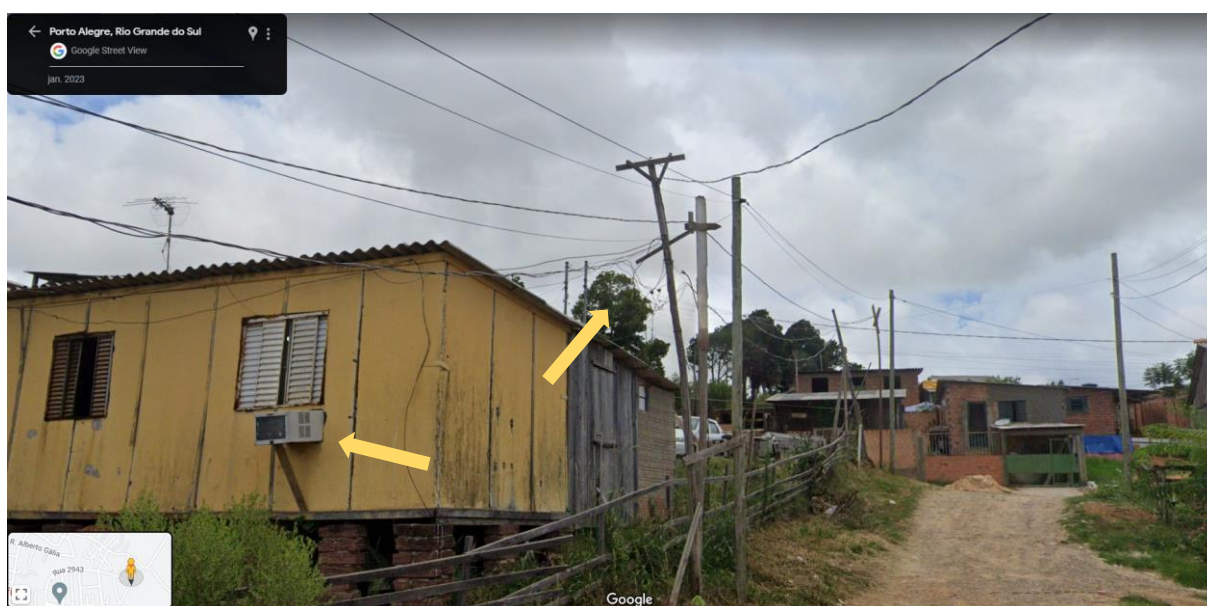


Fonte: Extraída de Google Maps (2023).

Pela Figura 31, percebe-se que o local já foi unidade consumidora regular, contando com poste de concreto e estrutura para ligações, porém, atualmente há uma ligação que se ramifica em duas, sendo uma para a moradia superior e outra para a inferior.

A Figura 32 mostra outra realidade do bairro, onde em uma localidade da Vila Safira, a rede de distribuição de energia elétrica é totalmente improvisada e fora dos padrões técnicos, com fornecimento irregular, observando-se a inexistência de medidores.

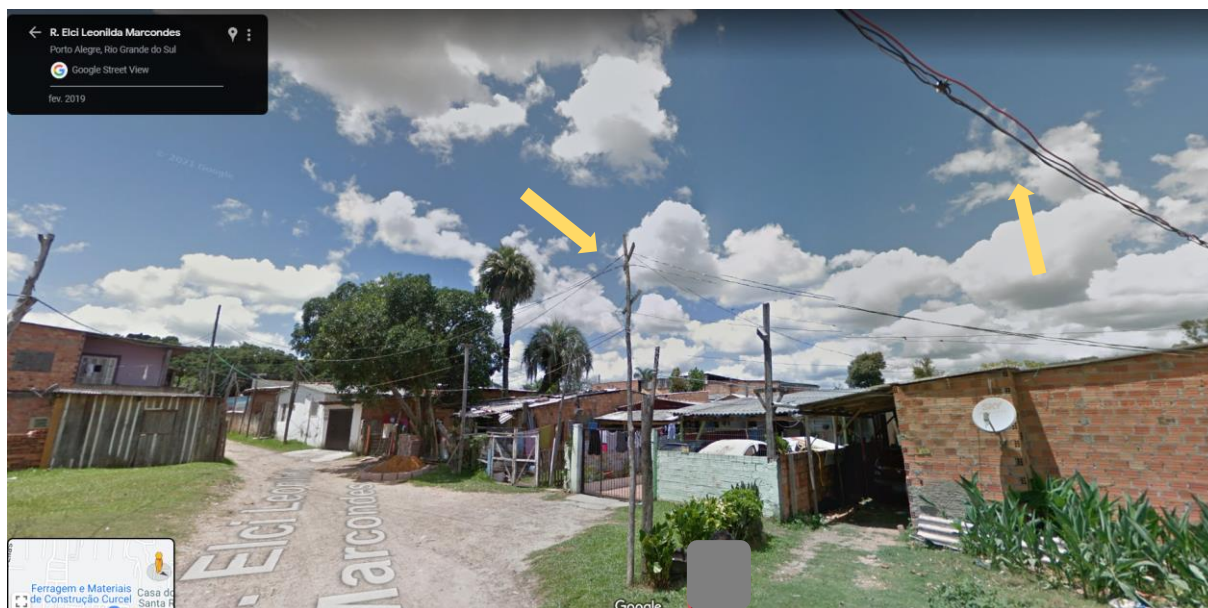
Figura 32 - Rede de distribuição irregular Vila Safira



Fonte: Extraída de Google Maps (2023).

As Figuras 33 e 34 também mostram uma rede de distribuição de energia elétrica improvisada e fora dos padrões técnicos, com fornecimento irregular e inexistência de medidores. Ressalta-se que a alimentação desta região é provinda apenas de um ponto, o que causa uma alta sobrecarga nos transformadores da localidade, causando com isto, as perdas técnicas provenientes de perdas não técnicas.

Figura 33 - Rede de distribuição irregular Rua Elci Leonilda Marcondes



Fonte: Extraída de Google Maps (2023).

Figura 34 - Rede de distribuição irregular Rua Um



Fonte: Extraída de Google Maps (2023).

A Figura 35 apresenta a vista superior da referida área, onde todas as moradias indicadas são alimentadas pelo mesmo ramal de fornecimento de energia.

Figura 35 - Vista superior das Ruas Elci Leonilda Marcondes e Um



Fonte: Extraída de Google Earth (2023).

- Perfil de consumo

Como ressaltado anteriormente, o bairro é misto, com várias divisões em vilas. Observou-se casas em alvenaria em sua maioria bem fabricadas, com calçadas para pedestres e vias públicas com calçamento e asfalto.

O bairro conta com boas extensões de rede de distribuição regular de energia elétrica, com iluminação pública e fornecimento de serviços de comunicação. Com isto, pressupõe-se que os moradores têm acesso à internet e equipamentos eletroeletrônicos como televisor, computador e carregador de celular. Estima-se ainda, que muitas famílias possuem chuveiro elétrico, refrigerador, lâmpada de led, ventilador, máquina de lavar roupa, forno micro-ondas e condicionador de ar.

Por ser uma região mais populosa, foram realizadas medições aleatórias em 20 pontos da região estudada, via ferramenta Medir do Google Earth, onde verificou-se uma área média das moradias em 102 m². Com isto, presumiu-se que a maioria das residências da comunidade é composta por sala, cozinha, dois quartos, banheiro e área de serviço. A Figura 36 mostra algumas das medições realizadas em regiões do bairro.

Figura 36 - Medições de área em moradias no bairro Mário Quintana



Fonte: Elaborada pelo autor.

- Simulação do consumo de energia

A Tabela 9 apresenta os dados obtidos, onde foi estimado o consumo para cada moradia no bairro Mário Quintana, encontrando-se os valores mensais de 460,77 kWh no verão, e 190,53 kWh no inverno.

Tabela 9 - Estimativa de consumo por moradia no bairro Mário Quintana

Equipamento	Ambiente	Média de utilização/dia (h)	Potência (W)	Consumo diário (kWh)	Consumo mensal (kWh)
Televisor LED 32"	Quarto	3,0	100,0	0,300	9,00
Modem de internet	Sala	24,0	12,0	0,288	8,64
Computador	Sala	8,0	120,0	0,960	28,80
Carregador de celular	Sala	8,0	10,0	0,080	2,40
Ventilador	Sala	8,0	126,0	1,008	30,24
Condicionador de ar	Quarto	8,0	1000,0	8,000	240,00
Chuveiro elétrico	Banheiro	0,5	5500,0	2,750	82,50
Máquina de lavar roupa	Área serv.	1,0	187,0	0,187	5,61
Refrigerador	Cozinha	24,0	34,5	0,828	24,84
Forno micro-ondas	Cozinha	0,5	1150,0	0,575	17,25
Lâmpada fluorescente	Sala	5,0	23,0	0,115	3,45
Lâmpada fluorescente	Cozinha	5,0	23,0	0,115	3,45
Lâmpada fluorescente	Banheiro	1,0	15,0	0,015	0,45
Lâmpada fluorescente	Quarto	3,0	23,0	0,069	2,07
Lâmpada fluorescente	Quarto	3,0	23,0	0,069	2,07
Total do consumo mensal no verão				460,77 kWh	
Total do consumo mensal no inverno				190,53 kWh	

Fonte: Elaborada pelo autor.

- Estimativa de perdas não técnicas

Tendo em vista que para o desenvolvimento deste trabalho, todo o consumo das moradias é considerado como perda não técnica, apresenta-se, através da Tabela 10, a estimativa mensal e semestral de perda não técnica em kWh. As análises foram divididas em estudo por moradia e estudo por região, considerando nesta última situação, o número de 6.000 famílias residentes no bairro Mário Quintana. No valor total, é considerada a soma de PNT dos seis meses de verão e seis meses de inverno.

Tabela 10 - Estimativa de perda não técnica no bairro Mário Quintana

Moradia		
	Perda não técnica mensal	Perda não técnica semestral
Verão	460,77 kWh	2.764,62 kWh
Inverno	190,53 kWh	1.143,18 kWh
Total	-	3.907,8 kWh
Região		
	Perda não técnica mensal	Perda não técnica semestral
Verão	2.764.620 kWh	16.587.720 kWh
Inverno	1.143.180 kWh	6.859.080 kWh
Total	-	23.446.800 kWh

Fonte: Elaborada pelo autor.

Conforme observa-se, estimou-se uma perda não técnica anual por moradia da comunidade em 3.907,8 kWh, e por região 23.446.800 kWh.

- Estimativa do prejuízo financeiro

Para a realização da estimativa de prejuízo financeiro na comunidade Recanto dos Gaudérios, levou-se em consideração os seguintes dados de entrada:

↪ *Consumo mensal de energia no verão* = 460,77 kWh

↪ *Consumo mensal de energia no inverno* = 1190,53 kWh

↪ $TE + TUSD = 0,27844 + 0,37712 = 0,65556$

↪ *Bandeira tarifária verde*

↪ *Número de famílias* = 6.000

Conforme a Tabela 11, foram estimados os prejuízos financeiros mensal e semestral, tanto para o valor de consumo de energia nos seis meses de verão, como para os demais meses de inverno, assim como valores com e sem o desconto da TSEE, por moradia isolada e por região de estudo. No valor total, é considerada a soma financeira dos seis meses de verão e seis meses de inverno.

Tabela 11 - Estimativa de prejuízo financeiro no bairro Mário Quintana

Moradia				
	Prejuízo financeiro mensal	Prejuízo financeiro mensal (TSEE)	Prejuízo financeiro semestral	Prejuízo financeiro semestral (TSEE)
Verão	R\$ 302,06	R\$ 263,06	R\$ 1.812,37	R\$ 1.578,34
Inverno	R\$ 124,90	R\$ 87,83	R\$ 749,42	R\$ 526,98
Total	-	-	R\$ 2.561,80	R\$ 2.105,32
Região				
	Prejuízo financeiro mensal	Prejuízo financeiro mensal (TSEE)	Prejuízo financeiro semestral	Prejuízo financeiro semestral (TSEE)
Verão	R\$ 1.812.374,29	R\$ 1.578.339,37	R\$ 10.874.245,72	R\$ 9.470.036,20
Inverno	R\$ 749.423,08	R\$ 526.979,77	R\$ 4.496.538,48	R\$ 3.161.878,64
Total	-	-	R\$ 15.370.784,21	R\$ 12.631.914,84

Fonte: Elaborada pelo autor.

Atenta-se para os valores de prejuízo financeiro total por região, que ficaram em R\$ 15.370.784,21 e R\$ 12.631.914,84, sem e com desconto da TSEE, respectivamente. Com estes, têm-se uma visão macro do quanto a distribuidora local estaria deixando de arrecadar anualmente na determinada região. Os valores descontados da TSEE seriam arcados pelo poder público.

- Dimensionamento de sistema fotovoltaico

A partir dos dados traçados e obtidos nas etapas anteriores, prosseguiu-se com o dimensionamento de sistema fotovoltaico direcionado a determinado tipo de família residente na região. Para esta etapa, as principais informações são os valores de consumo mensal de energia elétrica por residência, pois isto determinará a capacidade do sistema a ser dimensionado. Observa-se também a localização da comunidade no município, para a busca do valor de irradiação solar em portais

específicos, a orientação solar das moradias e a arborização em torno das mesmas, assim como a estrutura das residências e a forma construtiva dos telhados.

Constata-se, pelo mapeamento geográfico, que o bairro foi se desenvolvendo no entorno de uma região de mata, mas poucas vias públicas e residências possuem árvores plantadas, reduzindo as chances de sombreamento nos módulos.

Com relação à estrutura e forma construtiva dos telhados das moradias, observa-se que a maioria é construído em telhas de fibrocimento, em uma ou duas águas no geral, apresentando aparentemente capacidade para suportar a instalação de módulos fotovoltaicos.

A comunidade está inserida em uma região plana do município, mas com alguns desníveis. De qualquer forma, não há problema de incidência de luz solar nos pontos do bairro.

Em planilha eletrônica desenvolvida, foram inseridos os dados de entrada necessários para o dimensionamento básico de um sistema fotovoltaico direcionado à comunidade em estudo, onde foram encontrados os resultados conforme o Quadro 4:

Quadro 4 - Dimensionamento de sistema fotovoltaico Quilombo dos Machado

Dados de entrada	Dados obtidos	Preço médio
<ul style="list-style-type: none"> Consumo mensal de energia no verão: 190,53 kWh; Consumo mensal de energia no inverno: 460,77 kWh; Irradiação solar média para a localidade: 4,4 h/dia; Orientação solar da moradia; Taxa de disponibilidade do sistema: 30 kWh; Taxa de rendimento: 0,80; Potência pré-definida para os módulos fotovoltaicos: 265 W. 	<ul style="list-style-type: none"> Energia de geração por dia $E_g = 9,855 \text{ kWh/dia}$ Potência total dos painéis $P_{pico} = 2,786 \text{ kWp}$ Quantidade de painéis $N_m = 10,51 \rightarrow 11 \text{ unidades}$ Potência do inversor $P_{inv} = 2,78 \text{ kWp} \rightarrow 3 \text{ kW}$ 	<ul style="list-style-type: none"> Potência do gerador solar até 4 kWp, preço médio estimado em R\$ 17.560,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base na potência necessária ao sistema fotovoltaico projetado para o bairro Mário Quintana, foi realizado levantamento de custo financeiro nos principais portais de vendas de sistemas de energia solar, encontrando-se no Portal Solar (2023) estimativa conforme faixas de potência. Para a potência do gerador solar até 4 kWp,

o preço médio estimado ficou em R\$ 17.560,00, incluindo todo o material e serviço de instalação.

De posse do preço estimado do sistema fotovoltaico dimensionado à moradia, e do valor de prejuízo financeiro anual estimado para a mesma por moradia, verifica-se em quanto tempo um possível investimento em sistema fotovoltaico se pagaria.

↪ Investimento por moradia: R\$ 17.560,00

↪ Prejuízo financeiro anual por moradia (já com desconto TSEE): R\$ 2.105,32

$$Retorno = \frac{Investimento}{Prejuizo\ anual\ por\ moraria} \therefore Retorno = \frac{R\$17.560,00}{R\$2.105,32} = \mathbf{8,32\ anos}$$

Analisando um cenário levando em consideração o valor sem o desconto da Tarifa Social de Energia Elétrica, tem-se:

↪ Prejuízo financeiro anual por moradia (sem desconto TSEE): R\$ 2.561,80

$$Retorno = \frac{R\$17.560,00}{R\$2.561,80} = \mathbf{6,85\ anos}$$

Para as duas situações de investimento analisadas, levando em consideração o desconto de TSEE e não levando em consideração, o retorno de investimento em um sistema fotovoltaico mostrou-se viável. Na primeira hipótese, o retorno se daria em aproximadamente 8 anos, e na segunda, em aproximadamente 7 anos, sendo períodos próximos do praticado no mercado de consumidores comuns.

Ressalta-se que um programa social direcionado aos consumidores da subclasse residencial baixa renda com base no Programa de Energia Renovável Social traria inúmeros benefícios, tanto às concessionárias, como governo e população abrangida. O possível programa poderia ser arcado com incentivos do poder público e investimentos da própria concessionária, tendo em vista as vantagens com a regularização. Além disso, existem também a possibilidade de os custos serem arcados pelos consumidores regulares, através de acréscimo nas faturas de energia.

4.4 Comparativo entre as regiões

Com o objetivo de apresentar uma visão geral dos principais resultados encontrados neste capítulo, prossegue-se com as análises comparativas abaixo.

A Tabela 12 apresenta um comparativo dos valores de consumo mensal de energia em kWh estimado por moradia, comparando as três regiões em estudo. Ressalta-se que o valor total descrito, é uma soma dos períodos mensais de verão e inverno, multiplicados por seis meses cada.

Tabela 12 - Comparativo do consumo mensal estimado em kWh por moradia de cada região

	Recanto dos Gaudérios	Quilombo dos Machado	Mário Quintana
Verão	172,86 kWh	208,32 kWh	460,77 kWh
Inverno	142,62 kWh	178,08 kWh	190,53 kWh
Total anual	1.892,88 kWh	2.318,4 kWh	3.907,8 kWh

Fonte: Elaborada pelo autor.

Verifica-se que as previsões de consumo em alta, média e baixa vulnerabilidade social se consolidaram, onde cada tipo de moradia das regiões apresentou consumo total anual de 1.892,88 kWh, 2.318,4 kWh e 3.907,8 kWh, respectivamente. A moradia da comunidade Recanto dos Gaudérios, que possui maior vulnerabilidade social, apresentou menor consumo mensal de energia elétrica, em contraponto a moradia do bairro Mário Quintana, que apresentou mais que o dobro de consumo.

Prosseguindo com a estipulação de consumo estimado em perda não técnica, a Tabela 13 apresenta um comparativo dos valores de PNT em kWh mensal por períodos de verão e inverno, e valor total, comparados por regiões, onde apresenta-se o valor multiplicado pelo número total de famílias residentes (Recanto dos Gaudério - 250 famílias, Quilombo dos Machado - 300 famílias e Mário Quintana - 6.000 famílias). Ressalta-se que o valor total descrito, é uma soma dos períodos mensais de verão e inverno, multiplicados por seis meses cada.

Tabela 13 - Comparativo de PNT em kWh por regiões

	Recanto dos Gaudérios	Quilombo dos Machado	Mário Quintana
Verão	43.215 kWh	62.496 kWh	2.764.620 kWh
Inverno	35.655 kWh	53.424 kWh	1.143.180 kWh
Total anual	473.220 kWh	695.520 kWh	23.446.800 kWh

Fonte: Elaborada pelo autor.

Pelos valores totais, verifica-se que a região que menos gera perda não técnica anualmente é a comunidade Recanto dos Gaudérios, com um consumo anual regional de 473.220 kWh, sendo a que possui maior vulnerabilidade social, evidenciando o menor acesso a equipamentos domésticos e serviços em geral.

Após conversão das PNT em valores financeiros, observa-se pela Tabela 14 um comparativo mensal do prejuízo financeiro estimado por períodos de verão e inverno, e valor total, com a soma destes, por regiões, onde já apresenta o valor multiplicado pelo número total de famílias residentes. Para esta análise, já estão sendo considerados os descontos da Tarifa Social de Energia Elétrica.

Tabela 14 - Comparativo de prejuízo financeiro por regiões

	Recanto dos Gaudérios	Quilombo dos Machado	Mário Quintana
Verão	R\$ 19.351,15	R\$ 25.072,81	R\$ 1.578.339,37
Inverno	R\$ 14.890,72	R\$ 19.720,29	R\$ 526.979,77
Total anual	R\$ 205.451,19	R\$ 268.758,62	R\$ 12.631.914,84

Fonte: Elaborada pelo autor.

Nesta análise, ressalta-se que a comunidade Quilombo dos Machado, mesmo consumindo mais energia do que a comunidade Recanto dos Gaudérios, apresenta prejuízo financeiro próximo, com uma diferença de R\$ 63.307,43 devido ao maior desconto por comunidade quilombola da Tarifa Social de Energia Elétrica. O bairro Mário Quintana apresenta prejuízo financeiro anual mais elevado que as outras regiões, em R\$ 12.631.914,84, devido ao maior número de famílias residentes e também a maior estimativa de posse de equipamentos eletroeletrônicos e eletrodomésticos.

Visando uma comparação do tempo de retorno financeiro frente a possíveis investimentos em programas sociais de implantação de sistemas fotovoltaicos nas comunidades, a Tabela 15 apresenta uma análise comparativa entre as três regiões estudadas, do tempo aproximado de retorno financeiro dos possíveis investimentos.

Tabela 15 - Comparativo de retorno financeiro dos possíveis investimentos

	Recanto dos Gaudérios	Quilombo dos Machado	Mário Quintana
Potência do sistema	1,20 kWp	1,53 kWp	2,78 kWp
Investimento	R\$ 10.840,00	R\$ 10.840,00	R\$ 17.560,00
Tempo aprox. de retorno	13 anos	12 anos	8 anos

Fonte: Elaborada pelo autor.

O tempo de retorno apresentado acima foi calculado com base em um consumo mensal de energia elétrica por moradia, já com a aplicação do desconto da Tarifa Social de Energia Elétrica. O tempo de retorno do investimento encontrado para as comunidades Recanto dos Gaudérios e Quilombo dos Machado, em 13 e 12 anos respectivamente, é alto devido a baixa utilização de equipamentos pelas famílias das comunidades, porém, elenca-se diversos benefícios técnicos com a criação de um projeto social desses, como a regularização de áreas vulneráveis, eliminação de perdas não técnicas geradas por falta de medições, redução de perdas técnicas causadas por perdas não técnicas que sobrecarregam os transformadores, assim como uma possível inserção de energia elétrica no sistema, com a geração de energia excedente pelas moradias. Além disto, no campo social, ressalta-se que um programa social deste tipo levaria dignidade às famílias abrangidas, incentivando inclusive a eliminação de perdas não técnicas por fraude e adulterações nas medições de unidades consumidoras cadastradas.

4.5 Validação dos resultados

Visando-se validar os resultados encontrados, verificou-se que conforme Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2032 da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (2022), o consumo médio por unidade residencial no Brasil, nos anos de 2019, 2020 e 2021 ficou em 162 kWh/mês, 165 kWh/mês e 165 kWh/mês, respectivamente, onde a perspectiva é de que o consumo médio por unidade consumidora alcance 197 kWh/mês até 2023.

Tendo em vista os dados de consumo médio por unidade residencial apresentados pela EPE, ao se realizar uma comparação com o consumo médio mensal em kWh por moradia para um mês de inverno em 142,62 kWh, 178,08 kWh e 190,53 kWh, para Recanto dos Gaudérios, Quilombo dos Machado e Mário Quintana, respectivamente, constata-se que os valores estimados são condizentes, encontrando-se próximos a uma faixa média dos valores da EPE.

A partir da verificação de que os valores de consumo mensal estimados por moradia das regiões são válidos e estão dentro do esperado, pressupõe-se que as estimativas e simulações realizadas posteriormente, de perda técnica e prejuízo financeiro, são válidas, pois as mesmas têm como base informações validadas de

número de famílias residentes por comunidade e encargos de energia elétrica da empresa local.

No dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos, foram utilizados dados e informações técnicas de acordo o padrão. Para as projeções de retorno financeiro da implantação dos sistemas, em comparação às PNT, foram utilizados valores reais praticados no mercado de energia solar. Verificou-se que possíveis investimentos deste tipo dariam retorno às concessionárias em no máximo 13 anos, para as comunidades com menor consumo de energia em kWh, e 8 anos para àquelas com o maior consumo. A partir disto, constata-se que há viabilidade econômica para estes possíveis investimentos, tendo em vista que conforme o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) (2018), estudos de retorno deste tipo de investimento geralmente consideram os horizontes de tempo de dez, quinze e vinte anos. Ainda, ao analisar a viabilidade econômica, ressalta-se que apesar do valor elevado dos sistemas fotovoltaicos, eles têm longa vida útil, podendo chegar a mais de 25 anos de funcionamento pleno.

Tendo em vista o contexto dos resultados validados e da viabilidade econômica verificada, visando subsidiar a proposição de mitigação, pode-se utilizar ainda os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas, que visam acabar com a pobreza, proteger o meio ambiente e o clima e garantir que as pessoas, em todos os lugares, possam desfrutar de paz e de prosperidade. Para isto, cita-se principalmente os objetivos (01) Erradicação da pobreza, (07) Energia limpa e acessível, (10) Redução das desigualdades, (11) Cidades e comunidades sustentáveis, (12) Consumo e produção responsáveis, (13) Ação contra a mudança global do clima e (17) Parcerias e meios de implementação.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da realização de efetiva revisão teórica acerca de sistema elétrico de distribuição e suas perdas não técnicas, geração distribuída, legislação aplicável e trabalhos correlatos, foi possível empregar os conhecimentos na aplicação e desenvolvimento da metodologia utilizada para estimativa de perdas não técnicas, no dimensionamento de sistema fotovoltaico e na proposição de formas de mitigação de perdas não técnicas.

Conseguiu-se delimitar regiões em vulnerabilidade social no município de Porto Alegre/RS, e através de mapeamento geográfico, foi possível identificar e levantar informações técnicas das redes de distribuição. Foram identificados inúmeros pontos críticos nas redes, constatando-se uma alta precariedade das instalações da distribuição, assim como várias situações de prováveis perdas não técnicas por falta de medição e por adulterações na rede.

Com os consumos mensais de energia elétrica em kWh estimados por moradia e por região de estudo, e transformados em valores de PNT e prejuízo financeiro, foi possível concluir que a região com maior vulnerabilidade social, a comunidade Recanto dos Gaudérios, apresenta uma perda não técnica de 473.220 kWh por ano, o que leva a um prejuízo financeiro de R\$ 205.451,19 anualmente. A região com grau médio de vulnerabilidade social, a comunidade Quilombo dos Machado, apresentou perda não técnica de 695.520 kWh por ano, o que leva a um prejuízo financeiro de R\$ 268.758,62 anualmente. O bairro Mário Quintana, que encontra-se em um grau de baixa de vulnerabilidade social comparado às outras duas regiões, apresentou perda não técnica de 23.446.800 kWh por ano, o que significa um prejuízo financeiro estimado de R\$ 12.631.914,84 anualmente à concessionária.

Como possível forma de proposição de mitigação às perdas não técnicas e prejuízos financeiros identificados, foram dimensionados três sistemas fotovoltaicos com base no consumo de energia da moradia típica de cada região. Para as comunidades Recanto dos Gaudérios e Quilombo dos Machado, um sistema fotovoltaico com potência de 2 kWp atenderia o consumo mensal das moradias de ambas as regiões e eliminaria o consumo irregular de energia elétrica pelas famílias, onde o valor do investimento foi estimado em R\$ 10.840,00, o que se pagaria em aproximadamente 13 e 12 anos, respectivamente. Com relação ao bairro Mário Quintana, para atender o consumo mensal de energia das moradias, seria necessário

um sistema fotovoltaico com potência de 3 kWp, o que levaria à cessação das PNT. O valor estimado para este sistema é de R\$ 17.560,00, retornando o valor do investimento em aproximadamente 8 anos.

Visando a proposição de formas de mitigação às PNT, faz-se necessário ressaltar que as estimativas de prejuízo financeiro foram realizadas com base em faturas de energia já com descontos de Tarifa Social de Energia Elétrica. Via de regra, esta diferença descontada do consumidor da subclasse Residencial Baixa Renda é custeada pela Conta de Desenvolvimento Energético com recursos do Orçamento Geral da União, onde a distribuidora é ressarcida na exata medida do benefício concedido. Além deste programa, o Governo Federal também instituiu o Programa de Energia Renovável Social, através da Lei 14.300/2022, destinado a investimentos na instalação de sistemas fotovoltaicos e de outras fontes renováveis, na modalidade local ou remota compartilhada, aos consumidores da Subclasse Residencial Baixa Renda. Logo, a partir da existência de programas sociais e recursos existentes e sendo aplicados, conclui-se que é viável e possível a instituição de um programa direcionado à implantação de sistemas fotovoltaicos para comunidades em vulnerabilidade social, como forma de levar regularidade às instalações elétricas e mitigação de perdas não técnicas.

Sabe-se que transformar regiões e moradias irregulares em consumidores regularizados não é tarefa fácil, pois existem inúmeras questões sociais e culturais envolvidas na regularização do consumo de energia elétrica. Porém, é uma questão que deve estar sempre sendo tratada pelos órgãos responsáveis. Muitas vezes, a implantação de tecnologias para o combate das perdas não técnicas não é o suficiente, ou até mesmo, não é um investimento que retorne o desejado.

Mesmo frente às desvantagens do combate às perdas não técnicas, é necessário que órgãos como a ANEEL trabalhem fortemente em investimentos para formalização de consumidores irregulares, trazendo dignidade às populações mais vulneráveis. As concessionárias de energia elétrica também têm papel fundamental neste campo, pois é preciso haver uma maior interação junto às comunidades envolvidas. Promoção de programas de eficiência energética e criação de linhas de crédito para compra de equipamentos eletroeletrônicos e eletrodomésticos mais modernos e eficientes são exemplos de ações que podem ser implantadas visando proporcionar condições favoráveis aos consumidores, de forma que saindo da irregularidade, não voltem ao erro.

Visando proposições de continuidade deste trabalho, ressalta-se a possibilidade de estudo relacionado à análise mais aprofundada dos benefícios que a inserção de vários sistemas fotovoltaicos proporcionariam à rede de distribuição de regiões estudadas, assim como análise das desvantagens que poderiam ocorrer. Poderiam ser simuladas em *softwares* específicos, partes regulares das redes de distribuição mapeadas e projetadas as inserções de GD nestas redes.

Com base no mapeamento das regiões, poderia ser desenvolvido um trabalho onde se projetasse em softwares específicos o que fosse mapeado, e assim proceder com as estimativas de perdas não técnicas para se chegar em informações sobre: avaliação do carregamento da rede BT e Transformadores alvos das ligações irregulares conhecidas; avaliação/estimativa do impacto nas PT dessas ligações; avaliação da adequação das instalações elétricas no aspecto de segurança das instalações considerando a implementação do sistema de geração.

Outra proposição de continuidade deste trabalho, seria o desenvolvimento de um *software*, ou código de linguagem que realizasse toda a estimativa de perdas não técnicas e projeção de sistema fotovoltaico apenas com base em alguns dados de entrada.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Geração distribuída**. Brasília: Ministério de Minas e Energias, 2022c. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida>. Acesso em: 20 out. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Perdas de energia**. Brasília: Ministério de Minas e Energias, 2022b. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/distribuicao/perdas-de-energia>. Acesso em: 05 out. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Relatório de perdas de energia elétrica na distribuição**. Brasília: Ministério de Minas e Energias, 2021. Disponível em: https://antigo.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#:~:text=Em%20montantes%20de%20energia%2C%20as,37%2C9%20TWh%20em%202020. Acesso em: 30 jun. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Saiba mais sobre regulação técnica e econômica do segmento de distribuição de energia elétrica**. Brasília: Ministério de Minas e Energias, 2022a. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/distribuicao/regulacao>. Acesso em: 01 out. 2022.

ÁGUA clandestina, esgoto a céu aberto e 'gatos' de luz marcam ocupação na Zona Sul de Porto Alegre. *In*: G1 Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 15 dez. 2017. Disponível em: <https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/agua-clandestina-esgoto-a-ceu-aberto-e-gatos-de-luz-marcam-ocupacao-na-zona-sul-de-porto-alegre.ghtml>. Acesso em: 15 abr. 2023.

AMARO, Rodrigo; COELHO, Aurélio. Análise dos efeitos da integração da geração distribuída na proteção de sobrecorrente de um sistema teste de distribuição. **IEEE International Conference on Industry Applications (INDUSCON)**, [s.l.], 14. ed. p. 1078-1085, 2021. DOI: 10.1109/INDUSCON51756.2021.9529864 Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9529864>. Acesso em: 10 nov. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA (ABRAEE). **Segmento de distribuição**. Brasília. Disponível em: <https://www.abradee.org.br/setor-de-distribuicao/>. Acesso em: 05 set. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GERAÇÃO DISTRIBUIDA (ABGD). **Geração própria de energia elétrica alcança 14 GW de capacidade e iguala usina de Itaipu**. São Paulo. Disponível em: <https://www.abgd.com.br/portal/geracao-propria-de-energia-eletrica-alcanca-14-gw-de-capacidade-e-igual-a-usina-de-itaipu/>. Acesso em: 20 out. 2022.

BECKER, Márcia. Lei institui marco legal da micro e minigeração de energia. *In*: AGÊNCIA CÂMARA DE NOTÍCIAS DO SENADO FEDERAL. Brasília, 10 jan. 2022.

Disponível em: [https://www.camara.leg.br/noticias/843782-lei-institui-marco-legal-da-micro-e-minigeracao-de-energia/#:~:text=O%20presidente%20Jair%20Bolsonaro%20sancionou,sexta%2Dfeira%20\(7\)](https://www.camara.leg.br/noticias/843782-lei-institui-marco-legal-da-micro-e-minigeracao-de-energia/#:~:text=O%20presidente%20Jair%20Bolsonaro%20sancionou,sexta%2Dfeira%20(7).). Acesso em: 20 out. 2022.

BRASIL. **Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022**. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis nº s 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2022. Disponível em: <https://in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.300-de-6-de-janeiro-de-2022-372467821>. Acesso em: 09 set. 2022.

CARVALHO, Fernanda Santos de; LAGE, Eduardo Gouveia Santiago. Método de análise e dimensionamento do sistema fotovoltaico ongrid. **Technology Science**, v.1, n.2, p.24-36, 2019. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2674-6425.2019.002.0004>. Disponível em: <https://www.sapientiae.com.br/index.php/technologysciences/article/view/CBPC2674-6425.2019.002.0004>. Acesso em: 21 maio 2023.

CASTRO, Nivalde de *et al.* O desafio do combate às perdas não técnicas de eletricidade no cenário de pandemia. **Informativo Eletrônico do Setor Elétrico**, Rio de Janeiro: GESEL-UFRJ, 2020.

CASTRO, Nivalde; MIRANDA, Murilo; GUERRA, Matheus. Perdas não técnicas: origens e possíveis soluções – o Caso Light. **Informativo Eletrônico do Setor Elétrico**, Rio de Janeiro: GESEL-UFRJ, 2019.

CEEE investe em tecnologia para reduzir perdas no sistema. *In: CEEE Distribuição Equatorial*. Porto Alegre, 09 mar. 2017. Disponível em: <https://ceee.equatorialenergia.com.br/noticias/ceee-investe-em-tecnologia-para-reduzir-perdas-no>. Acesso em: 13 out. 2022.

CENTRO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (PROCEL). **Dicas de economia e energia**. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BE6BC2A5F-E787-48AF-B485-439862B17000%7D#>. Acesso em: 15 mai. 2023.

CHAVES, Ana Carolina *et al.* **As perdas não técnicas no setor de distribuição brasileiro**: uma abordagem regulatória. Rio de Janeiro: GESEL-UFRJ, 2020.

COMBATE ao furto de energia. *In: CEMIRIM*. Mogi Mirim, 15 jul. 2020. Disponível em: <https://cemirim.com.br/combate-ao-furto-de-energia/>. Acesso em: 12 out. 2022.

CRUZ, Karlos Eduardo Arcanjo da. Impacto de variáveis socioeconômicas sobre as perdas comerciais de energia elétrica. **Revista Brasileira de Economia de Empresas**, Brasília, p. 31-52, 2014.

DORNELLAS, Carlos; SAUAIA, Rodrigo; KOLOSZUK, Ronaldo. As tarifas de transmissão e o desenvolvimento da fonte solar. *In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA (ABSOLAR)*. São Paulo, 08 ago. 2022a.

Disponível em: <https://www.absolar.org.br/artigos/as-tarifas-de-transmissao-e-o-desenvolvimento-da-fonte-solar/>. Acesso em: 25 out. 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2030**. Brasília: Ministério de Minas e Energias, 2021.

Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-490/topico-522/Caderno%20MMGD%20Baterias%20-%20PDE%202030%20Rev.pdf>. Acesso em: 22 out. 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) 2031**. Brasília: Ministério de Minas e Energias, 2022. Disponível em:

https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/PDE%202031_RevisaoPosCP_rvFinal_v2.pdf. Acesso em: 22 out. 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) 2032**. Brasília: Ministério de Minas e Energias, 2022. Disponível em:

<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2032>. Acesso em: 21 maio 2023.

ENERGIA Distribuída: vantagens e desvantagens. *In*: SIEMENS Brasil. [S. l., 2022?].

Disponível em: <https://www.siemens.com/br/pt/empresa/stories/energia/vantagens-desvantagens-sistema-descentralizado.html>. Acesso em: 25 out. 2022.

ENERGIA solar fotovoltaica: como funciona, vantagens, desvantagens e principais desafios para o futuro. *In*: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA (ABSOLAR). São Paulo, 12 nov. 2021. Disponível em:

<https://www.absolar.org.br/noticia/energia-solar-fotovoltaica-como-funciona-vantagens-desvantagens-e-principais-desafios-para-o-futuro/>. Acesso em: 26 out. 2022.

EQUATORIAL ENERGIA. **Tarifas e custos**. Porto Alegre, 2023. Disponível em: <https://ceee.equatorialenergia.com.br/tarifas-e-custos>. Acesso em: 18 maio 2023.

HUBACK, Vanessa Barroso da Silva. **Medidas ao combate a perdas elétricas não técnicas em áreas com severas restrições à operação de sistemas de distribuição de energia elétrica**. Orientador: Roberto Schaeffer. 2018. 180 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

INSTITUTO ACENDE BRASIL. **Perdas comerciais e inadimplência no setor elétrico**. 18. ed., São Paulo, p. 40, 2017.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos no Brasil e possíveis efeitos no setor elétrico**. Rio de Janeiro, 2018. ISSN 1415-4765. Disponível em:

https://portalantigo.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/TDs/td_2388.pdf. Acesso em: 01 jun. 2023.

MACEDO, Valmir. Polícia estoura pela 4ª vez laboratório que fraudava medidores de energia. *In: CIDADE verde*. Teresina, 28 jan. 2020. Disponível em: <https://cidadeverde.com/noticias/316813/policia-estoura-pela-4-vez-laboratorio-que-fraudava-medidores-de-energia>. Acesso em: 13 out. 2022.

MELLO, Marina *et al.* Combate a perdas não-técnicas nas comunidades de baixa renda ocupadas por Unidades de Polícia Pacificadora. *In: CONGRESSO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM ENERGIA ELÉTRICA*, 6., 2011, Fortaleza. **Anais [...]**. Brasília: PPD/ANEEL, 2011.

MOREIRA JUNIOR, Orlando; SOUZA, Celso Correia de. Aproveitamento fotovoltaico, análise comparativa entre Brasil e Alemanha. **Scientific Electronic Library Online (SciELO)**, Campo Grande, v. 21, n. 2, p. 379-387, abr./jun. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.20435/inter.v21i2.1760>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/inter/a/t7NryC6KdCmwL4RXL4pjVfN/?lang=pt#>. Acesso em: 20 out. 2022.

MOREIRA, Bruno. Concessionárias temem o aumento de furtos e fraudes. *In: O SETOR elétrico*. São Paulo, 26 ago. 2015. Disponível em: <https://www.osetoreletrico.com.br/concessionarias-temem-o-aumento-de-furtos-e-fraudes/>. Acesso em: 12 out. 2022.

OLIVEIRA, Punaro Bley Adão de. Fraudes mais comuns na medição de energia elétrica. *In: PURANO Bley*. Disponível em: <https://sites.google.com/site/punarobley/fraudes-mais-comuns-na-medicao-de-energia-eletrica>. Acesso em: 05 out. 2022.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS). **Matriz de energia elétrica do SIN**. Brasília: ANEEL, 2023. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros>. Acesso em: 01 maio 2023.

PAYE, Juan Carlos Huaquisaca. **Cálculo de perdas técnicas e não técnicas nas redes de distribuição de energia elétrica usando a definição de impedância equivalente de perdas**. Orientador: Ubiratan Holanda Bezerra. 2018. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.

PENIN, Carlos Alexandre de Souza. **Combate, prevenção e otimização das perdas comerciais de energia elétrica**. Orientador: Carlos Márcio Vieira Tahan. 2008. 227 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

PIÚMA: descoberto furto de energia elétrica em fábrica de sorvete. *In: HORA Aghá*. Guarapari, 03 dez. 2015. Disponível em: <https://www.horaagha.com.br/piuma-descoberto-furto-de-energia-eletrica-em-fabrica-de-sorvete/>. Acesso em: 11 out. 2022.

PULITA, Guilherme. CPFL Energia: inovação em tecnologia aumenta efetividade contra ligações irregulares. *In: CONSUMIDORRS*. Porto Alegre, 23 fev. 2017. Disponível em:

<http://www.consumidorrs.com.br/2013/inicial.php?case=2&idnot=46860>. Acesso em: 13 out. 2022.

RAMOS, Caio César Oba. **Caracterização de perdas comerciais em sistemas de energia através de técnicas inteligentes**. Orientador: André Nunes de Souza. 2014. 144 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

RUBIM, Bárbara. Lei 14.300: o que você precisa saber sobre o marco legal da geração própria. 2022. Disponível em: <https://barbararubim.com.br/oficinadoconhecimento-2/>. Acesso em: 10 nov. 2022.

SAISSE, Raphael Wenz. **Detecção de perdas não técnicas em redes de distribuição radiais utilizando estimação de estado**. Orientador: Djalma Mosqueira Falcão. 2016. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

SANTOS, Márcio Juarez Sena dos. **Análise de perdas não técnicas em ocupações: quantificação de prejuízo e identificação de ações adequações/regularizações**. Orientador: Maicon Coelho Evaldt. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2021.

SILVA, Paula Francine Cavalheiro da. **Impactos das novas regulamentações na expectativa de evolução e quantificação de perdas na geração distribuída: o que a Lei 14.300/22 projeta para o setor**. Orientador: Maicon Coelho Evaldt. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2022.

SURIYAMONGKOL, Dan. **Non-technical losses in electric power systems**. 2002. 97 f. Tese (Mestrado em Ciência) – Universidade de Ohio, Ohio, 2002.

TAUIL & CHEQUER Advogados associados. **Informativo energia elétrica**. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://www.mayerbrown.com/-/media/files/perspectives-events/publications/2022/01/informativo-do-setor-eletrico--lei-n-14300-de-2022--marco-legal-da-gd.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2023.

TEIXEIRA, Jordana Ramos Lino. **Perdas não técnicas: uma análise do setor de distribuição de energia elétrica no Estado de Goiás no período de 2009 a 2019**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Econômicas) – Escola de Gestão e Negócios, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2020.

TRÊS estabelecimentos comerciais são autuados por furto de energia elétrica avaliado em R\$ 800 mil, no Recife. *In*: G1 Pernambuco. Recife, 18 out. 2018. Disponível em: <https://g1.globo.com/pe/pernambuco/noticia/2018/10/18/tres-estabelecimentos-comerciais-sao-autuados-por-furto-de-energia-eletrica-avaliado-em-r-800-mil-no-recife.ghtml>. Acesso em: 12 out. 2022.

VIVENZA, Stefano Dutra; GOMES, Magno Federici. Energia, geração distribuída e o princípio da segurança jurídica. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 11,

n. 1, p. e2111123417, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i1.23417. Disponível em:
<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/23417>. Acesso em: 20 out. 2022.