

ANÁLISE DAS PERDAS NO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA, SEUS IMPACTOS PARA OS CONSUMIDORES E CONCESSIONARIAS

ANALYSIS OF LOSSES IN THE ENERGY DISTRIBUTION SYSTEM, THEIR IMPACTS ON CONSUMERS AND UTILITIES

ANÁLISIS DE PÉRDIDAS EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA, SUS IMPACTOS EN LOS CONSUMIDORES Y LAS EMPRESAS DE SERVICIOS PÚBLICOS

 <https://doi.org/10.56238/arev7n12-014>

Data de submissão: 03/11/2025

Data de publicação: 03/12/2025

José Francisco Resende da Silva

Doutor

Instituição: Universidade Estadual Paulista (UNESP)

E-mail: jose.resende@unesp.br

André Rodrigues Teodor

Graduando

Instituição: Universidade Estadual Paulista (UNESP)

E-mail: andre.teodoro@unesp.br

Vinny Rafael Rodrigues Godoy

Graduando

Instituição: Universidade Estadual Paulista (UNESP)

E-mail: vinny.godoy@unesp.br

Luciano Cezáro da Silva

Graduando

Instituição: Light SESA

E-mail: luciano.silva7@light.com.br

Bruno de Aguiar Silva Miranda

Pós-graduando

Instituição: Light SESA

E-mail: bruno.miranda@light.com.br

Dicson Soares Rabelo

Mestrando em Eng. Elétrica

Instituição: Light SESA

E-mail: rabelo.dicson@gmail.com

Roberto Farias de Toledo

Doutor em Sistemas de Gestão Sustentáveis

Instituição: Universidade Federal Fluminense (UFF)

E-mail: roberto.toledodsc@gmail.com

Eder Luiz Mello
Graduado
Instituição: Faculdade do Centro Leste (UCL)
E-mail: eder@tracel.com.br

Hugo Villela de Miranda
Mestre
Instituição: Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
E-mail: hugo.miranda@tracel.com.br

Juliana Mesquita Duarte
Graduada
Instituição: Light SESA
E-mail: juliana.mesquita@light.com.br

Kleber Rocha de Oliveira
Doutor em Engenharia
Instituição: Universidade Estadual Paulista (UNESP)
E-mail: kleber.oliveira@unesp.br

RESUMO

As perdas técnicas no setor elétrico nacional representam um desafio significativo para a eficiência e a sustentabilidade do sistema. "De acordo com estudos anteriores (Smith et al., 2019; Silva e Santos, 2020). Este artigo de revisão examina as causas, consequências e estratégias de mitigação das perdas técnicas no contexto do Brasil, considerando sua importância para a confiabilidade do abastecimento de energia, a economia e o meio ambiente. Além disso, destacamos a necessidade de ações coordenadas entre agentes do setor e políticas governamentais para enfrentar esse problema de forma eficaz. Outro fator importante, são as PNT (Perdas Não Técnicas) que incluem perdas de receita devido a fatores como fraudes, erros de medição e inadimplência, um estudo que contribui para metas mais amplas de conservação de recursos e mitigação dos impactos ambientais.

Palavras-chave: Perdas Elétricas. Sistema de Distribuição de Energia. Impactos Econômicos.

ABSTRACT

Technical losses in the national electricity sector represent a significant challenge to the efficiency and sustainability of the system. "According to previous studies (Smith et al., 2019; Silva and Santos, 2020). This review article examines the causes, consequences and mitigation strategies of technical losses in the context of Brazil, considering their importance for the reliability of energy supply, the economy and the environment. In addition, we highlight the need for coordinated actions between industry players and government policies to address this problem effectively. Another important factor is PNT (non-technical losses) which include revenue losses due to factors such as fraud, measurement errors and default, a study that contributes to broader goals of resource conservation and mitigation of environmental impacts.

Keywords: Electrical Losses. Energy Distribution System. Economic Impacts.

RESUMEN

As perdas técnicas no setor eléctrico nacional representan un desafío significativo para la eficiencia y la sustentabilidad del sistema. "De acuerdo con estudios anteriores (Smith et al., 2019; Silva e Santos, 2020). Este artículo de revisión examina as causas, consecuencias y estrategias de mitigación de las perdas técnicas en el contexto de Brasil, considerando su importancia para la confiabilidad del abastecimiento de energía, la economía y el medio ambiente. Além disso, destacamos a necessidade de Ações coordenadas entre agentes del sector y políticas gubernamentales para enfrentar este problema de forma eficaz, así como PNT (Perdas Não Técnicas) que incluyen perdas de recepción devida a factores como fraudes, errores de medição e inadimplência, un estudio que contribuye para metas más amplias de conservación de recursos y mitigación de impactos ambientais.

Palavras-chave: Perdas Eléctricas. Sistema de Distribución de Energía. Impactos Económicos.

1 INTRODUÇÃO

Perdas técnicas na área de distribuição de energia elétrica é um fator inevitável, pois inúmeros acontecimentos contribuem para que tal eventualidade ocorra, por sua vez quase que inevitável impedi-las presente em qualquer setor/sistema elétrico.

Em primeira instância é necessário realizar um levantamento e analisar onde elas se encontram e o qual motivo para que estejam ocorrendo. Por tanto, para saná-las é de extrema importância ainda que sejam difíceis de eliminá-las. A fim de atenuar essas perdas e com o objetivo de aumentar a eficiência na distribuição de energia elétrica, algumas estratégias são necessárias para que ocorram tais melhorias, que são elas na parte de infraestrutura realizando investimentos em linhas de transmissão da mais alta qualidade e baixa resistência. São simples trocas que resultam em significativas mudanças reduzindo significativamente as perdas ao longo do sistema.

Ainda sobre melhorias na eficiência pode-se dizer que um fator muito importante a ser considerado é o melhoramento ou implementação de monitoramento e gerenciamento inteligente que em tempo real com o auxílio de sistemas gerenciais inteligentes auxiliam na identificação de perdas e otimização do fluxo de energia. Dentre outras modificações, por último e não menos importantes, o investimento em pesquisa e desenvolvimento sempre é um fator determinante para que a redução das perdas técnicas seja benéfica, sendo uma via de mão dupla que proporciona benefícios tanto às distribuidoras, empresas geradoras e ao consumidor final.

Em se tratando de tempos atuais nota-se que existem escassos sistemas com propostas inovadoras no entanto, podemos citar como referência o artigo "Challenges of the Existing Security Measures Deployed in the Smart Grid Framework" [3], com base neste, pode-se notar uma iniciativa de troca de antigos sistemas de distribuição de energia por sistemas inteligentes, auxiliando as distribuidoras a mitigar PNT.

Um cenário que também deve-se levar em consideração foi a pandemia, onde a pandemia do novo coronavírus agravou e gerou desafios significativos para o cenário econômico do Brasil, resultando em considerável incerteza, nesse contexto de deterioração das condições socioeconômicas, o setor de distribuição de energia elétrica enfrenta desafios adicionais. Além disso, surge um problema mais grave: o aumento das perdas não técnicas de eletricidade (PNT)[4] .

Neste contexto, a busca por estratégias e soluções que contribuam para a redução das perdas não técnicas torna-se essencial não apenas para as concessionárias e o setor elétrico, mas também para o país como um todo. A mitigação dessas perdas não apenas representa um desafio operacional e técnico para as empresas de energia, mas também desempenha um papel fundamental na garantia de um sistema elétrico mais eficiente, sustentável e economicamente viável.

Este estudo propõe analisar e avaliar o uso da variação de frequência e tensão como uma possível abordagem para identificar essas as perdas não técnicas no sistema elétrico brasileiro, servindo para a mitigação dos furtos de energia. Ao explorar essa estratégia, pretende-se compreender sua exequibilidade, impacto e eficácia como uma potencial ferramenta na minimização dos furtos de energia e na melhoria da eficiência do sistema como um todo.

1.1 OBJETIVO

A proposta do presente artigo é a análise das Perdas Não Técnicas em sistemas de distribuição de energia elétrica, vista por diversos autores, e a importância da evolução de métodos que identifiquem e inibam as perdas não técnicas de energia na rede de baixa tensão, como por exemplo a codificação e decodificação criptográficos dos sinais de frequências de cada usuário da rede. Tendo em vista essa problemática, ao final deste artigo será realizado uma breve apresentação de uma pesquisa que visa desenvolver uma tecnologia inovadora a fim de transpor essa barreira das perdas que causam um grande prejuízo à concessionária de energia, em particular o financiador do projeto a Concessionária de Energia Light.

1.2 SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA

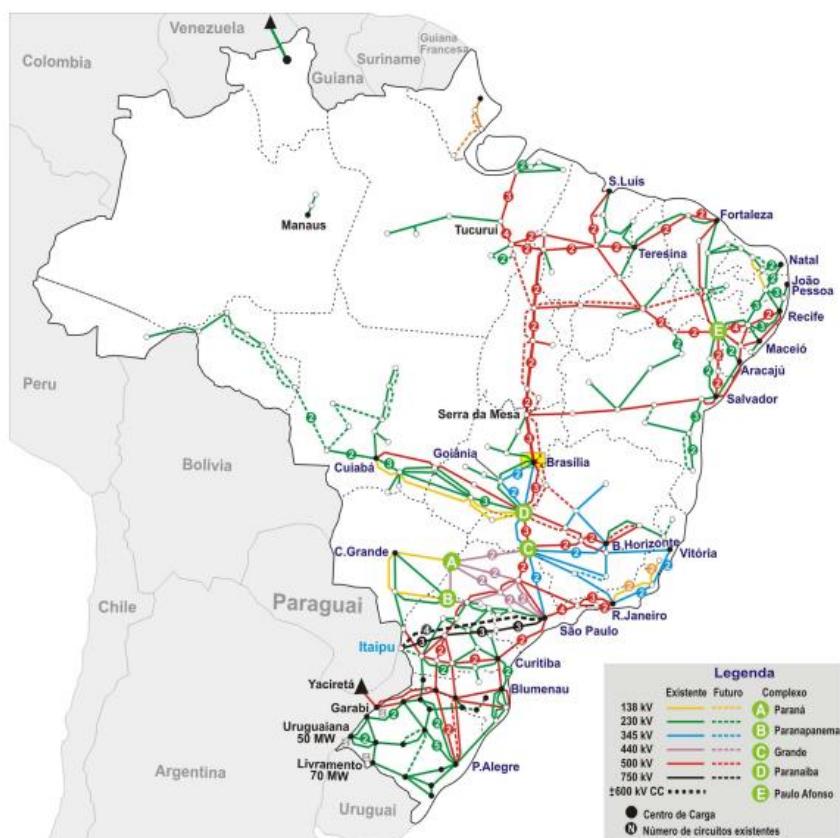
No ano de 2009 precisamente no mês de novembro, o panorama energético brasileiro apresentava um cenário marcado pela presença de aproximadamente 2120 usinas geradoras em operação, contribuindo para uma capacidade instalada total de 105.523 MW. Dentre esse conjunto de usinas, destacavam-se 162 hidrelétricas, 1268 térmicas, 352 Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs), duas nucleares, 300 Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGHs) - usinas com potência instalada igual ou inferior a 1MW -, 35 usinas eólicas e uma usina solar. Esse setor englobava mais de 1052 agentes regulados, incluindo concessionárias de serviço público de geração, comercializadores, autoprodutores e produtores independentes, conforme informações disponibilizadas pela (ANEEL em 2009).

Além disso, o segmento de transmissão no Brasil se caracterizava pela presença de uma extensa rede de mais de 90 mil quilômetros de linhas, operada por 64 concessionárias. A abrangência significativa dessa rede de transmissão estava diretamente relacionada à configuração do setor de geração, que majoritariamente consistia em usinas hidrelétricas localizadas em áreas distantes dos principais centros consumidores.

Uma característica notável desse segmento era a sua divisão em dois blocos principais: o Sistema Interligado Nacional (SIN), que abrangia quase a totalidade do território brasileiro, e os Sistemas Isolados, que tinham sua predominância na região Norte do país.

Segundo a (ANEEL 2009), O mapa do SIN nos representa de maneira clara e objetiva a representatividade do mesmo conforme a figura 1.

Figura 1: Mapa do Sistema Nacional Interligado Nacional - SIN



Fonte: ONS.

2 ANÁLISE DAS PERDAS TÉCNICAS NA REDE ELÉTRICA

As perdas técnicas na rede elétrica representam um desafio significativo para a eficiência dos sistemas de distribuição de energia. Este artigo explora a metodologia de cálculo e a análise dessas perdas.

2.1 METODOLOGIA PARA O CÁLCULO DE PERDAS TÉCNICAS

A metodologia para o cálculo de perdas técnicas envolve a segmentação das perdas em várias partes do sistema de distribuição, incluindo o medidor de energia, ramal de ligação, rede secundária,

transformador de distribuição, rede primária, subestação de distribuição, sistema de alta tensão e outros componentes.

Os cálculos são realizados de forma hierárquica, começando pela seleção de uma subestação específica e calculando as perdas na subestação e em todos os componentes a jusante. As perdas técnicas, em termos de energia e demanda, são obtidas por meio de cálculo elétrico específico para os segmentos envolvidos, utilizando os dados cadastrais da rede, dados de faturamento e curvas de carga típicas por classe de consumidor e tipo de atividade desenvolvida.

2.2 ESTIMAÇÃO E ANÁLISE DAS PERDAS TÉCNICAS

A estimativa de perdas técnicas na distribuição de energia elétrica é um processo complexo que requer uma abordagem cuidadosa. Uma metodologia baseada no valor médio e na variância dos pontos da curva de carga é proposta para estimar as perdas de energia.

Foram desenvolvidos modelos de regressão para estimar as perdas técnicas em redes de distribuição de média e baixa tensão, com o objetivo de utilizar o mínimo de informações possíveis para uma precisão adequada. Além disso, são propostos aprimoramentos na estimativa das perdas em transformadores e ramais de ligação.

2.3 IMPACTOS DAS PERDAS TÉCNICAS E NÃO TÉCNICAS NA REDE ELÉTRICA SOBRE OS CONSUMIDORES: UMA ANÁLISE DETALHADA

As perdas técnicas na rede elétrica podem ter vários impactos nos consumidores,

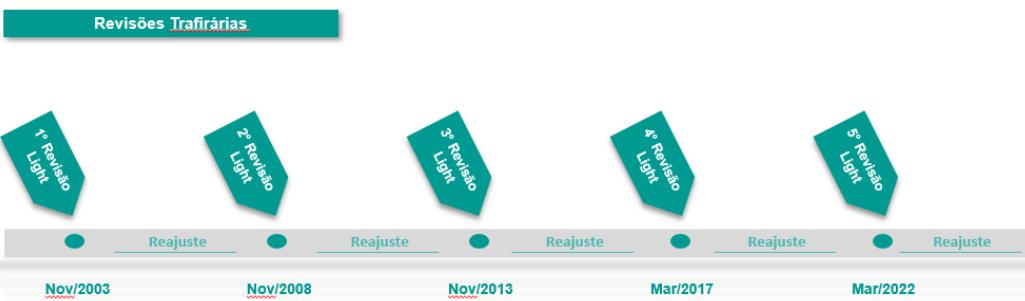
2.4 AUMENTO DOS CUSTOS DE ENERGIA

As perdas de energia são frequentemente repassadas para os consumidores na forma de custos mais altos (CEER, 2024). Isso significa que as ineficiências na rede elétrica podem resultar em tarifas de energia mais altas para os consumidores.

As perdas são repassadas para a tarifa dos clientes, à medida que ultrapassam os valores estabelecidos estes valores depreciam o caixa da empresa, resultado de análise criteriosa de dados históricos e outros que contribuem para que a distribuidora mantenha seu esforço para redução destes impactos. Cabe ressaltar que valores que ultrapassam o estabelecido pelo regulador não recairão sobre a tarifa do consumidor, porém prejudica o equilíbrio econômico e financeiro da distribuidora que poderá em situação extrema, ter um afundamento de caixa e consequentemente dificuldades para executar projetos importantes para sua concessão e para os clientes.

ANEEL(Agência Nacional de Energia Elétrica) é responsável por fixar o valor das tarifas das distribuidoras. Tarifas são alteradas por meio dos processos de revisão tarifária (periódica e extraordinária) e reajuste tarifário, conforme pode ser visto na figura 2.

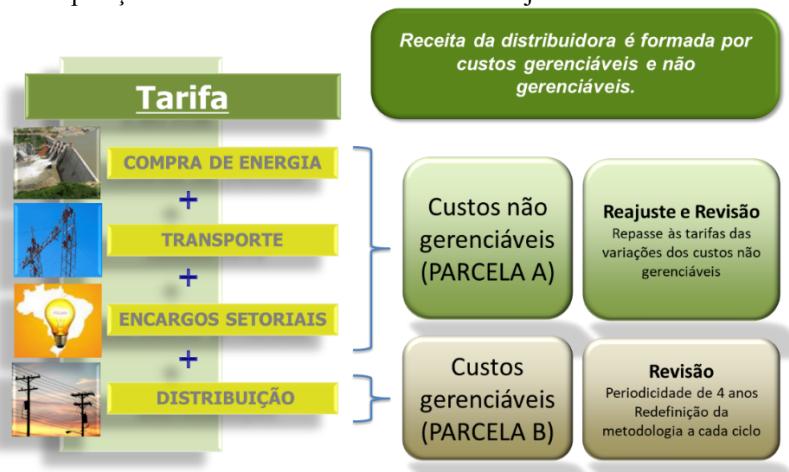
Figura 2: Ciclos de Revisão Tarifária Light



Fonte: Light.

Na figura 3 mostra-se como se compõe a tarifa do setor de Distribuição de Energia.

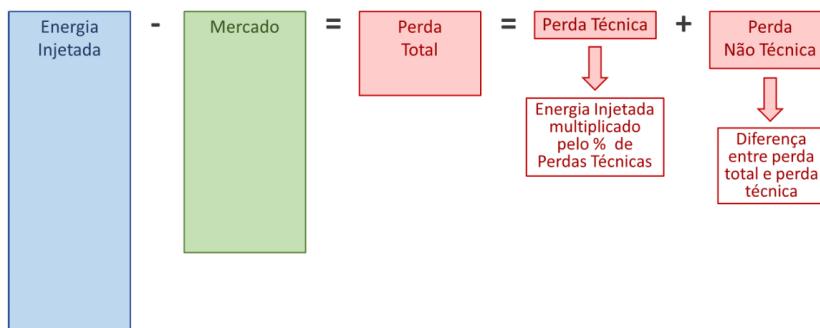
Figura 3: Composição da Tarifa. Ciclos de Revisão e Reajuste de Tarifas de Distribuidoras.



Fonte: Autor.

A figura 4, mostra a metodologia de identificação e quantificação das perdas.

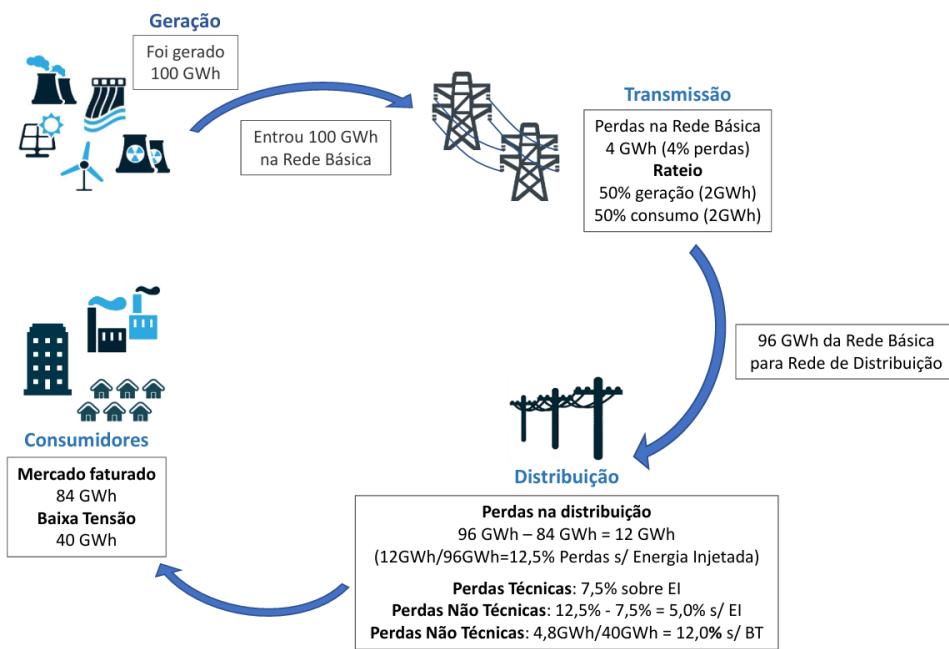
Figura 4: Metodologia de Identificação e Quantificação das perdas Não Técnicas.



Fonte: Relatório de Perdas EPE.

Mostra-se na figura 5 o impacto das perdas não técnicas vistos no Relatório Perdas de Energia Elétrica na Distribuição de 2024 (Ref. 2023) – (Fonte: Relatório de Perdas EPE).

Figura 5: impacto das perdas não técnicas mostrados no Relatório Perdas de Energia Elétrica na Distribuição de 2024 (Ref. 2023)



Fonte: EPE, 2024.

O repasse tarifário dos níveis eficientes das perdas está previsto nos contratos de concessão e essas perdas são contempladas nos custos com compra de energia até o limite regulatório estipulado pela ANEEL. As perdas técnicas e não técnicas regulatórias são estabelecidas nos processos de revisão tarifária periódica de cada distribuidora, que ocorre em ciclos de 3 a 5 anos, mediante a fixação de percentuais regulatórios nas Resoluções Homologatórias da ANEEL.

Segundo auditoria do TCU (Tribunal de Contas da União) para analisar o impacto das perdas de energia elétrica no Brasil, o consumidor paga 5% a mais na tarifa devido a prejuízos causados por

furtos, falhas operacionais. Por causa das perdas, o País deixa de receber cerca de R\$ 10 bilhões por ano em impostos.

2.5 QUALIDADE DA ENERGIA

Um aumento na resistência dos condutores com o aumento da temperatura pode levar a um aumento correspondente nas perdas de tensão e um aumento nas perdas de energia nos cabos, bem como uma diminuição na tensão nos terminais dos consumidores de eletricidade (Springer, Cham). Isso pode afetar a qualidade da energia fornecida aos consumidores.

2.6 PROBLEMAS DE FORNECIMENTO DE ENERGIA

Se o consumo de energia em uma região aumenta para um nível em que a demanda média excede a classificação de transformadores ou outros equipamentos elétricos, isso pode levar a problemas de qualidade de energia, como colapso de tensão ou sobrecarga de transformador, que poderiam resultar em interrupções de carga (MDPI, 2024).

2.7 INTERRUPÇÕES DE ENERGIA

Uma perda técnica pode causar um apagão, assim como uma perda não técnica não controlada pode resultar em uma grande perda de receita que poderia ter sido canalizada para fortalecer a rede elétrica contra interrupções frequentes de energia (IJSER, 2024).

Portanto, é crucial para as empresas de energia minimizarem as perdas técnicas para manter a qualidade e a confiabilidade do fornecimento de energia e evitar custos adicionais para os consumidores (SciELO, 2024).

3 ANEEL SOBRE LEGISLAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE FURTO DE ENERGIA ELÉTRICA

A atuação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) é de suma importância para o panorama energético do Brasil. Como entidade vinculada ao Ministério de Minas e Energia e situada no Distrito Federal, Criada pela Lei nº 9.427/96 durante o governo do Presidente Fernando Henrique Cardoso. [Ela opera como uma agência reguladora, desempenha uma série de atribuições conforme previsto na Lei nº 9.427/96, tais como:

- Implementar as políticas governamentais relacionadas à exploração da energia elétrica e aos potenciais hidráulicos.

- Promover licitações para novas concessões de geração, transmissão e distribuição de energia.
- Gerenciar os contratos de concessão ou permissão de serviços públicos de energia elétrica e fiscalizar as operações.
- Resolver divergências entre empresas do setor elétrico e entre essas empresas e os consumidores.
- Estabelecer critérios e arbitrar valores para as Tarifas de Uso dos Sistemas Elétricos de Transmissão e Distribuição (TUST e TUSD) e preços de transporte de combustíveis fósseis e gás natural destinados à geração de energia elétrica.
- Autorizar mudanças no controle acionário das empresas de energia e estabelecer restrições para garantir concorrência e impedir concentração econômica.

4 MÉTODOS PARA DETECÇÃO

Os métodos que buscam detectar as perdas causadas por tal circunstância no setor, são variados e levam como classificações duas principais abordagens: Métodos indiretos e diretos:

4.1 MÉTODOS INDIRETOS

Esse método se baseia nas estimativas de perdas comerciais a partir das perdas técnicas da rede. Em suma, é feito a partir do cálculo das perdas comerciais, subtraindo-se da parcela correspondente das perdas técnicas fornecida total. Para que a precisão seja alta, é necessário que os dados do sistema sejam completos: curva de carga e parâmetros elétricos da rede. E quantos essas informações são limitadas, essas perdas podem ser calculadas por métodos alternativos.

4.2 MÉTODOS DIRETOS

Ao contrário do método descrito acima, os métodos diretos dependem das perdas técnicas para a detecção das perdas comerciais, e podem ser divididas em diversas categorias.

Métodos baseados em informações históricas: Analisam registros históricos de energia para identificar padrões irregulares em várias categorias de unidades consumidoras. Baseiam-se em medições em tempo real ou próximo ao real para analisar possíveis perdas, podendo-se incluir a utilização de tecnologias de medição avançadas como, medidores inteligentes, que fornecem dados precisos e em tempo real sobre o consumo da unidade.

5 EXEMPLOS DE MÉTODOS DE IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DE PERDAS NÃO TÉCNICAS

5.1 REDUÇÃO DE PERDAS NÃO TÉCNICAS COM O USO DA MEDIÇÃO INTELIGENTE DE ENERGIA ELÉTRICA

Como destacado por George M. Messinis e Nikos D. Hatzigaryiou em seu artigo de revisão sobre detecção de perdas não técnicas na medição de energia elétrica, não há uma metodologia comum seguida para detectar fraudes nesse contexto. Os pesquisadores adotam métodos de diferentes campos do conhecimento, sendo os mais comuns a aprendizagem de máquina, detecção de anomalias, cibersegurança e análise de redes de distribuição elétrica.

Os esquemas de detecção de PNT são organizados em três grandes categorias: orientados a dados, orientados a redes e híbridos. A distinção entre métodos orientados a dados e orientados a redes reside no uso de dados da rede elétrica, como topologia ou medições da rede, pelos métodos orientados a redes, enquanto os métodos orientados a dados fazem uso apenas de dados relacionados aos consumidores, como consumo de energia, tipo de consumidor, etc. Os métodos híbridos utilizam dados de ambas as categorias.

Os métodos orientados a dados podem ser subdivididos em supervisionados e não supervisionados. Os supervisionados utilizam rótulos (classes conhecidas de fraudes e não fraudes) para treinamento, enquanto os não supervisionados não usam rótulos. Já os métodos orientados a redes geralmente negligenciam rótulos, pois se baseiam na análise da rede elétrica e nas regras físicas que a descrevem. Esses métodos são categorizados de acordo com o conceito ou algoritmo principal utilizado, como estimativa de estado, fluxo de carga ou sensores especiais para detectar fraudes.

Os métodos híbridos combinam conceitos das categorias mencionadas anteriormente. Por exemplo, um método de estimativa de estado pode ser usado em nível de média tensão (MT) para detectar PNT no nível do transformador MT/baixa tensão (BT). Após a detecção de partes da rede com PNT, um método de classificação supervisionado pode ser usado para localizar PNT no nível do consumidor.

Os parâmetros comuns encontrados nos artigos de detecção de PNT incluem categoria e conceito, algoritmos utilizados, tipo(s) de dados necessários, tamanho do conjunto de dados, características, métricas de desempenho e tempo de resposta. Esses parâmetros são fundamentais para compreender a eficácia e a adequação dos métodos de detecção de perdas não técnicas na medição de energia elétrica.

Smart Metering possibilitam a captura de dados em tempo real sobre o consumo dos usuários. Com esses dados, é possível, por um lado, identificar áreas críticas na rede onde ocorrem perdas

elétricas, o que direciona campanhas de fiscalização de forma mais eficaz. Por outro lado, esses dados são fundamentais para o planejamento de estratégias de controle de demanda e para a configuração das redes de distribuição, otimizando seu uso em tempo real. Um ponto essencial é que um "Smart meter" sem coleta e análise de dados é meramente um medidor convencional disfarçado. Os sistemas de Edge Computing, associados aos Smart Meters, viabilizam a coleta e análise de grandes volumes de dados para identificar perdas elétricas na rede de distribuição. Esses sistemas descentralizados distribuem a capacidade computacional ao longo da rede, utilizando eficientemente os Smart Meters e tecnologias de comunicação avançadas. Um aspecto crítico para seu funcionamento é a interoperabilidade, que demanda a integração confiável de diferentes protocolos e tecnologias. A rede de distribuição está evoluindo para um componente ativo, enfrentando desafios complexos no planejamento e na operação em tempo real devido a avanços como reléadores automáticos, geração distribuída e sistemas inteligentes de medição e controle. Ferramentas avançadas de análise de redes, utilizando técnicas de inteligência artificial e heurísticas, juntamente com o aumento da capacidade computacional, oferecem soluções robustas. No futuro, espera-se uma otimização contínua da rede para garantir fornecimento de energia com alta qualidade e confiabilidade, adaptando-se dinamicamente às demandas em tempo real. O evento proporcionou uma oportunidade significativa para o intercâmbio de experiências, com a participação de representantes das principais concessionárias de energia do Brasil, Equador e República Dominicana. A redução de perdas elétricas é agora vista como um desafio social, visando promover acesso universal e seguro à energia, além de melhorar a viabilidade financeira das concessionárias. Os financiadores desempenham um papel crucial na busca por soluções e na disseminação de melhores práticas na região. A adaptação dos marcos regulatórios é essencial para incentivar a adoção de novas tecnologias e assegurar a sustentabilidade do setor energético, um tema que merece uma análise mais profunda em publicações futuras (NEY et, 2018).

5.2 MODELO DE CÁLCULO DE FLUXO DE POTÊNCIA NO SOFTWARE OPENDSS

No contexto do trabalho conduzido por Críciele Castro Martins, foi proposto um modelo de cálculo de fluxo de potência empregando o software OpenDSS. Esse modelo incorpora um estimador de estados utilizando o Método de Quadrados Mínimos Ponderados (MQP). O objetivo principal dessa abordagem é identificar consumidores com comportamento irregular na rede elétrica. A técnica atua ao minimizar a soma dos quadrados das diferenças entre os valores observados e os valores estimados pela função linear. Em outras palavras, ela busca encontrar os coeficientes da função linear que melhor se ajustam aos dados, de modo a minimizar o erro quadrático médio. Comparativamente à forma de

redistribuição das Perdas Não Técnicas (PNT) estabelecida pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a aplicação desse estimador de estados revela uma coerência no comportamento do sistema. Mais especificamente, essa metodologia proposta se alinha de forma eficiente com o comportamento real do sistema elétrico. Essa congruência resulta em melhorias notáveis na eficiência do cálculo iterativo utilizado para estimar as perdas não técnicas.

6 MÉTODOS ORIENTADOS A DADOS E MÉTODOS ORIENTADOS A REDE

Na perspectiva de Guarda et al. (2022), é possibilidade de dividir em três categorias de estudo de perda PNT, Métodos orientados à dados, Métodos orientados à rede e Métodos híbridos.

Métodos Orientados a Dados podem ser entendidos como a comparação de informações de usuários. O consumo de energia elétrica varia devido a diversos fatores, como a época do ano. Por exemplo, no verão, tende-se a gastar mais energia, pois é época em que se utiliza mais equipamentos como ar-condicionado e ventiladores, que têm grande influência na conta de energia. Com essas informações, é possível analisar e comparar esses dados com usuários de perfil semelhante, através de algoritmos, redes neurais, entre outros. Caso haja um perfil com discrepância nessa análise, isso pode ser um fator indicativo de PNT (Perdas Não-Técnicas).

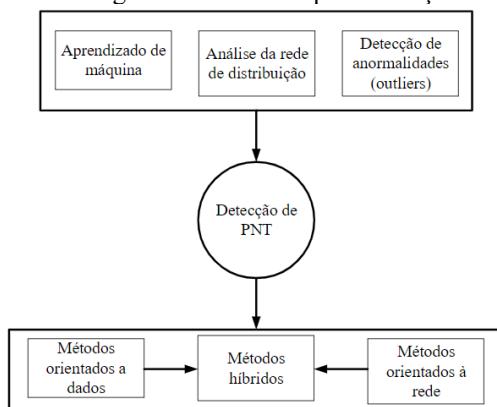
Os métodos orientados à rede utilizam dados como corrente, tensão e outras variáveis para determinar a quantidade total de energia elétrica fornecida e identificar possíveis furtos. Outras técnicas desse método para encontrar perdas não técnicas incluem:

- **Sensores de temperatura:** para detectar sobrecarga em cabos e outros componentes da rede.
- **Verificação da falta do neutro na rede de baixa tensão:** que pode reduzir o consumo de energia em até 30%.

Método híbrido é a utilização de dados do medidor de energia com os dados obtido pela central de distribuição, ao combinar informações do comportamento individual dos consumidores com as características da rede de distribuição, é possível realizar uma análise holística do sistema elétrico. Essa visão 360° permite identificar falhas e anomalias com maior precisão, possibilitando a detecção eficiente de perdas não-técnicas (PNT).

Na Figura 6 mostra-se as Categorias de Métodos para detecção de PNT.

Figura 6: Categorias de métodos para detecção de PNT



Fonte: Guarda, F. G. K.(2022).

7 FATORES DE INFLUÊNCIA NO FURTO DE ENERGIA

As perdas comerciais no setor de energia são influenciadas por uma série de fatores que se entrelaçam e afetam significativamente o contexto social, econômico e institucional de uma região específica. Esses fatores podem ser divididos em dois grandes grupos: internos, relacionados ao desenvolvimento social, econômico e educacional da população; e externos, ligados a questões mais abrangentes que vão além das fronteiras locais.

No âmbito interno, aspectos socioeconômicos desempenham um papel crucial. O nível de desenvolvimento social e econômico de uma comunidade, incluindo índices de educação, emprego, renda e oportunidades, está intimamente ligado à incidência de perdas comerciais. Regiões com menor desenvolvimento costumam enfrentar maiores desafios no controle do furto de energia, pois as condições socioeconômicas podem influenciar diretamente o comportamento dos consumidores, levando a práticas irregulares. Aspectos culturais e questões sociais, como a dinâmica do comércio regional e nacional, também exercem impacto sobre as perdas comerciais. A falta de acesso a recursos energéticos adequados, bem como desigualdades econômicas, pode incentivar comportamentos fraudulentos para suprir necessidades básicas.

Por outro lado, os fatores externos, abordados por estudiosos como Vieiralves e Smith, englobam aspectos mais amplos e complexos. Questões relacionadas à governança, como problemas políticos, liberdade civil, burocracia, instabilidade política, pressões políticas e eficiência do sistema judicial na aplicação da lei, têm influência direta nas perdas comerciais. A falta de eficácia nos processos governamentais e na aplicação da legislação pode criar lacunas que favorecem ocorrências de furto de energia.

Muitos Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento têm sido desenvolvidos para tratar o tema. A empresa distribuidora de energia Light, mantém rígidos padrões de acompanhamento de suas perdas

e desenvolve todos os anos ações para mitigação destas. Além das Ações estratégicas e imediatas, também são financiados estudos em todas as áreas do conhecimento para mitigação dos impactos de Perdas. No quadro 1 será mostrado alguns destes projetos.

Quadro 1 - Projetos de P&D Aneel com tema perdas na empresa Light

PROJETOS DE P&D ANEEL EXECUTADOS PELA EMPRESA LIGHT SERVIÇOS DE ELETRICIDADES.A		
Código ANEEL	Título	Custo Total Previsto
PD-00382-0017	Dispositivo de bloqueio e alarme de fraude por queima da bobina de potencial de medidores	R\$ 591.517,82
PD-00382-0042	Sistema de Inteligência para Otimização dos Investimentos em Novas Tecnologias para Redução de Perdas	R\$ 4.792.043,96
PD-00382-0094	Identificador de derivação nos ramais de entrada de linhas subterrâneas de BT energizado utilizando método não invasivo	R\$ 1.603.403,00
PD-00382-0091	Desenvolvimento de Cabeça de Série de Dispositivo de Bloqueio e Alarme de Fraude por Queima de Bobina de Potencial de Medidores Trifásicos Elétromecânicos	R\$ 1.895.020,00
PD-00382-0097	Medidor com Identificação de Violação	R\$ 1.809.711,00
PD-00382-0099	Sistema inteligente para tratamento de denúncia de fraude (SIDF)	R\$ 2.052.845,00
PD-00382-0103	Cabeça de série de equipamento para balanço energético e qualidade de energia no combate às perdas em continuidade ao PD Light S.21_07	R\$ 2.059.799,00
PD-00382-0104	Sistema de detecção de fraude por meio de Random Forest	R\$ 1.476.628,00
PD-00382-0110	Abordagem e sistema para suporte ao direcionamento de campo e cálculo de TOI para área de perdas	R\$ 1.443.733,00
PD-00382-0114	Desenvolvimento de Cabeça-de-Série e Validação em Campo de Sistema com Transformadores de Corrente AutoMonitorados (TCAM/FCAM), visando o combate de Perdas Não Técnicas	R\$ 1.529.549,00
PD-00382-0115	Desenvolvimento de Modelos Analíticos Avançados, com base em Aprendizado de Máquina para Detecção de Padrões de Fraude ou Anomalias sobre Base de Clientes Telemedidos	R\$ 2.101.561,00
PD-00382-0119	Desenvolvimento de metodologia e aplicativo computacional de cálculo segmentado do balanço energético e perdas para direcionamento de ações de melhoria	R\$ 1.492.501,00
PD-00382-0121	Identificação de fraudes embutidas por sobreposição de camadas de imagens.	R\$ 1.736.318,00
PD-00382-0125	Rastreador de Ligações Irregulares	R\$ 965.489,00
PD-00382-0126	Assistente de leitura e detecção de fraude usando imagens térmicas e análise de campo magnético por meio de inteligência artificial evisão computacional	R\$ 3.512.985,00
PD-00382-0093	Aspectos regulatórios relacionados a perdas não técnicas em áreas de risco	R\$ 1.568.609,00
PD-00382-0109	Classificação de Lâmpadas Utilizadas em Iluminação Pública – Desenvolvimento de metodologia não invasiva e protótipo	R\$ 2.814.323,00
PD-00382-0124	Lote pioneiro de transformadores blindados para áreas de alta violência urbana	R\$ 2.779.825,00
PD-00382-0135	Geração fotovoltaica, armazenamento elétrico por baterias, medição inteligente e relacionamento com cliente para atendimento em comunidade carente na área de concessão da Light	R\$ 3.994.651,00
PD-00382-0136	Inserção no Mercado do software de combate a perdas comerciais Energy Watch	R\$ 1.431.217,00
PD-00382-0137	Sistema de previsão da criticidade à perda baseado no comportamento do tempo versus a carga	R\$ 834.889,00
PD-00382-0155	Centro de Inteligência para área de tratamento especial com gestão unificada de projetos e iniciativas apoiada por inteligência artificial	R\$ 6.541.407,00
PD-00382-0156	Sistema de IA para Gestão do Parque de IP, Uso Mútuo e Mobiliário Urbano	R\$ 9.297.668,00
PD-00382-0157	Inserção no Mercado do software de apoio à leitura, faturamento e Perdas Comerciais "SmartReader"	R\$ 1.072.400,00
PD-00382-0158	Ferramenta de IA para otimizar o retorno financeiro de instalações de medições de balanço em Transformadores sob a ótica de perdas comerciais	R\$ 4.071.700,00
PD-00382-0160	Monitoramento Orbital Remoto Inteligente de Perdas Não Técnicas	R\$ 3.446.396,00
PD-00382-0162	Codificador criptográfico de frequência em baixa tensão para a inibição de perdas não técnicas em áreas especiais e convencionais	R\$ 4.718.677,00
PD-00382-0165	Deflector Shield: Desenvolvimento de escudo anti-chama e reforços para caixas blindadas	R\$ 3.260.815,00
TOTAL DE INVESTIMENTOS EM P&D		R\$ 74.895.680,78

Fonte: Autor.

Os projetos de P&D permitem as distribuidoras buscarem tecnologias e métodos na fronteira do conhecimento, aproveitando as expertises de mercado. Avanços tecnológicos, tal como o desenvolvimento do Projeto de P&D ANEEL junto a Distribuidora de Energia Elétrica Light, denominado “P&D-00382-0162/2023-CRIPTOREDE-Codificador criptográfico de frequência em baixa tensão para a inibição de perdas não técnicas em áreas especiais e convencionais” buscam revolucionar os métodos e equipamentos, dotando as ações de combate a Perdas Não Técnicas de mais segurança, confiabilidade e reduzindo os impactos para os consumidores, concessionárias e sociedade.

Especificamente, este Projeto tem como principal objetivo recuperar financeiramente as perdas não técnicas (PNT) em áreas onde não é viável investir em medições inteligentes, medições centralizadas ou redes blindadas. Com este tema central o projeto visa desenvolver equipamento inovador que permita.

- Oscilar a tensão e/ou frequência da rede elétrica para desativar aparelhos elétricos;
- Inibição de Funcionamento de aparelhos de maior potência;
- Desenvolver o Codificador/Decodificador para este sistema;
- Realizar ensaios e testes para validar as soluções propostas;
- Inserir no sistema de distribuição os equipamentos desenvolvidos.

8 CONCLUSÃO E DISCUSSÃO

As perdas não técnicas representam um desafio significativo para o setor de distribuição elétrica no Brasil. Estas perdas, provenientes de furtos e fraudes, representam não apenas prejuízos financeiros para as concessionárias, mas também impactos negativos na qualidade e confiabilidade do serviço prestado aos consumidores. As perdas técnicas na rede elétrica são um desafio significativo para a eficiência energética.

No entanto, com uma compreensão clara da metodologia de cálculo e uma abordagem rigorosa para a estimação e análise, é possível gerenciar e reduzir essas perdas. As pesquisas mencionadas fornecem uma visão valiosa sobre esses processos e oferecem uma base sólida para futuras investigações e melhorias no setor.

A complexidade e a persistência desse problema demandam abordagens multifacetadas que envolvam não apenas investimentos em tecnologias de detecção e prevenção, mas também esforços colaborativos entre o governo, as empresas do setor, e a sociedade civil.

Os esforços empreendidos por diversas concessionárias de distribuição promovem o afloramento de técnicas e tecnologias cada vez mais robustas para o setor, como o caso reportado no artigo sobre projeto de “P&D+I-00382-0162/2023-CRIPTOREDE-Codificador criptográfico de

frequência em baixa tensão para a inibição de perdas não técnicas em áreas especiais e convencionais” que é a junção do conhecimento técnico da distribuidora com a vanguarda tecnológica da eletrônica de potência, comunicação e Tecnologia da Informação.

É vital para o aprimoramento do Setor Elétrico Brasileiro os investimentos em Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação patrocinados pelos diversos setores, mas em Particular os agradecimentos ao Programa de Pesquisa Desenvolvimento e Inovação promovidos pela ANEEL.

Nossos agradecimentos a Distribuidora de Energia LIGHT e a ANEEL pelo investimento realizado no projeto “**P&D+I-00382-0162/2023-CRIPTOREDE-Codificador criptográfico de frequência em baixa tensão para a inibição de perdas não técnicas em áreas especiais e convencionais**”.

REFERÊNCIAS

- [1] BOTELHO, Gustavo Lima. Perdas não técnicas de energia elétrica: um desafio comportamental. Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Economia, 2022. Disponível em: https://www.econ.puc-rio.br/uploads/adm/trabalhos/files/Gustavo_Lima_Botelho_Mono_22.1.pdf. Acesso em: 05 set. 2023.
- [2] CASTRO, Nivalde de; CÂMARA, Lorrane; TOMMASO, Francesco; VIANA, Daniel. O desafio do combate às perdas não técnicas de eletricidade no cenário de pandemia. Rio de Janeiro: Agência CanalEnergia, 2020. Disponível em: https://gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/31_castro_2020_07_15.pdf. Acesso em: 05 set. 2023.
- [3] SOUSA, Guilherme Cavalcante da. Perdas na distribuição de energia elétrica. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá. Acesso em: 05 set. 2023.
- [4] Vilma A.; AGUIRRE, Luis A.; CARVALHO, Lilian K. Celebrating 45 Years of the Brazilian Society of Automatics. Journal of Control, Automation and Electrical Systems, 2022. Acesso em: 03 jan. 2024.
- [5] FRANCELINO, Maria Gabriela. Perdas Técnicas e Não Técnicas de Energia Elétrica em Sistemas de Transmissão e Distribuição. Varginha: Centro Universitário do Sul de Minas, 2018. Disponível em: <http://repositorio.unis.edu.br/bitstream/prefix/558/1/TCC%20-20MARIA%20GABRIELA%20FRANCELINO.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2024.
- [6] "Perdas de Energia Elétrica na Distribuição." Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: https://antigo.aneel.gov.br/documents/654800/18766993/Relatório+Perdas+de+Energia+_+Edição+1-2021.pdf/143904c4-3e1d-a4d6-c6f0-94af77bac02a. Acesso em: 16 abr. 2024.
- [7] PAPADIMITRIOU, Christina. Non-technical losses: detection methods and regulatory aspects overview. Disponível em: <https://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/oap-cired.2017.0825>. Acesso em: 16 abr. 2024.
- [8] OLIVEIRA, Vinicius de. Avaliação de medidas de prevenção e combate a perdas não técnicas na distribuição de energia elétrica. São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, 2022. Disponível em: https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/16283/2/VINICIUS_Oliveira.pdf. Acesso em: 16 abr. 2024.
- [9] SILVA, Jackson Pereira da. Furto de energia elétrica: impacto e consequências para a sociedade. 2020. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Direito) - Universidade Federal de Campina Grande, Sousa, 2020. Acesso em: 16 abr. 2024.
- [10] MEDEIROS, Wanessa de Fátima Barros. Estudo dos sistemas de distribuição visando à simplificação do cálculo das perdas técnicas e diminuição das perdas não técnicas de energia elétrica. 2019. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2019. Acesso em: 16 abr. 2024.

- [11] MESSINIS, George M.; HATZIARGYRIOU, Nikos D. Review of non-technical loss detection methods. Department of Electrical and Computer Engineering, National Technical University of Athens, Athens, Greece. Acesso em: 16 abr. 2024.
- [12] BARNABÉ, Paulo Henrique Monteiro. Análise de redução de perdas não técnicas com o uso da medição inteligente de energia elétrica. 2020. 25 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Centro Universitário de [1]Brasília, Brasília, 2020. Disponível em: https://repositorio.uniceub.br/jspui/bitstream/prefix/15115/1/Artigo_PauloHenrique_BancaFinal.pdf. Acesso em: 16 abr. 2024.
- [13] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Perdas de energia. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/distribuicao/perdas-de-energia>. Acesso em: 16 abr. 2024.
- [14] MARTINS, Criciéle. Análise de métodos de fluxo de potência para sistemas elétricos de distribuição. 2021. 113 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2021. Acesso em: 16 abr. 2024.
- [15] BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Visão geral das perdas de energia. Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Perdas_Tecnicas_de_Energia.pdf. Acesso em: 16 abr. 2024.
- [16] BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Perdas de Energia Elétrica na Distribuição. Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Perdas_Tecnicas_de_Energia.pdf. Acesso em: 16 abr. 2024.
- [17] BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Perdas Técnicas de Energia. Disponível em: https://antigo.aneel.gov.br/documents/654800/18766993/Relat%C3%BDrio+Perdas+de+Energia+_Eди%C3%A7%C3%A3o+1-2021.pdf/143904c4-3e1d-a4d6-c6f0-94af77bac02a. Acesso em: 16 abr. 2024.
- [18] CEER. Report on Power Losses. 2024. Disponível em: <https://www.ceer.eu/documents/104400/-/-/09ecee88-e877-3305-6767-e75404637087>. Acesso em: 16 abr. 2024.
- [19] BURKOV, A.F.; MIKHANOSHIN, V.V.; VAN KHA, N. Perdas de Energia em Redes Elétricas. In: RADIONOV, A.A.; GASIRAROV, V.R. (orgs). Anais da 7ª Conferência Internacional de Engenharia Industrial (ICIE 2021). ICIE 2021. Notas de Aula em Engenharia Mecânica. Springer, Cham, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-030-85230-6_45. Acesso em: 16 abr. 2024.
- [20] MDPI. Non-Technical Electricity Losses. 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/6/2218>. Acesso em: 16 abr. 2024.
- [21] IJSER. The Effects of Technical and Non-Technical Losses on Power. 2024. Disponível em: <https://www.ijser.org/researchpaper/The-Effects-of-Technical-and-Non-Technical-Losses-on-Power-Outages-in-Nigeria.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2024.

[22] SCIELO. Determining the causes of electricity losses and the role of. 2024. Disponível em: http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1021-447X2021000400004. Acesso em: 16 abr. 2024.

[23] Crochemore Ney, Rafael; Jimenez, Raul; Alarcon, Arturo. Perdas de Eletricidade nos Sistemas de Transmissão e Distribuição na América Latina e Caribe. In: Seminário Internacional de Smart Metering no Setor Elétrico, 23-24 de abril de 2024, Porto Alegre. Organização: Grupo CEEE, Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) e Agência Francesa de Desenvolvimento (AFD). Disponível em:<https://blogs.iadb.org/brasil/pt-br/tres-tecnologias-que-podem-ajudar-a-resolver-o-problema-das-perdas-eletricas/>. Acesso em: 07 jul 2024.

[24] EPE. Relatório Perdas de Energia Elétrica na Distribuição de 2024 (Ref. 2023).