

INSTITUTO FEDERAL
DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
Bahia

Campus
Vitória da Conquista



COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA ELÉTRICA - COEEL

PROJETO FINAL DE CURSO - PFC

Redução de perdas de energia elétrica no Brasil por meio das redes inteligentes e medidores inteligentes:
Uma análise quali-quantitativa

MANOEL GUSTAVO SOUZA DE ALMEIDA PINA

Vitória da Conquista-BA

17 de maio de 2024

MANOEL GUSTAVO SOUZA DE ALMEIDA PINA

Redução de perdas de energia elétrica no Brasil por meio das redes inteligentes e medidores inteligentes: Uma análise quali-quantitativa

Projeto Final de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, *campus* Vitória da Conquista, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Msc. Cleia Santos Libarino

Vitória da Conquista-BA

17 de maio de 2024

P645r Pina, Manel Gustavo Souza de Almeida

Redução de perdas de energia elétrica no Brasil por meio das redes inteligentes e medidores inteligentes: uma análise quali-quantitativa. / Manoel Gustavo Souza de Almeida Pina. --Vitória da Conquista : IFBA, 2024.

51 f.: il.: color.

Orientador: Cléia Santos Libarino

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Engenharia Elétrica - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - Campus de Vitória da Conquista, 2024.

1. Tecnologias. 2. Eletricidade. 3. Consumo de energia. I. Libarino, Cléia Santos. II. Título.

CDD: 621.3



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA BAHIA
Av. Sérgio Vieira de Mello, 3150 - Bairro Zabelê - CEP 45078-900 - Vitória da Conquista - BA - www.portal.ifba.edu.br

DESPACHO Nº 43/2024/DOCENTES.COEEL.VDC

FOLHA DE APROVAÇÃO PFC

REDUÇÃO DE PERDAS DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL POR MEIO DAS REDES INTELIGENTES E MEDIDORES INTELIGENTES: UMA ANÁLISE QUALIQUANTITATIVA.

MANOEL GUSTAVO SOUZA DE ALMEIDA PINA

A presente Monografia de Projeto Final de Curso (PFC), apresentada em sessão realizada em **20 de maio de 2024**, foi avaliada como adequada para a obtenção do Grau de Engenheiro Eletricista, julgada **aprovada** em sua forma final pela Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Campus Vitória da Conquista.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Msc. Cleia Santos Libarino (Orientador)
IFBA campus Vitória da Conquista

Prof. Dr. José Alberto Díaz Amado
IFBA campus Vitória da Conquista

Prof. Dr. Crescencio Rodrigues Lima Neto
IFBA campus Vitória da Conquista

Vitória da Conquista - Bahia

Em 22 de maio de 2024.



Documento assinado eletronicamente por **CLEIA SANTOS LIBARINO, Membro da Unidade**, em 22/05/2024, às 21:35, conforme decreto nº 8.539/2015.



Documento assinado eletronicamente por **CRESCENCIO RODRIGUES LIMA NETO, Professor(a) do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico - EBTT**, em 23/05/2024, às 07:59, conforme decreto nº 8.539/2015.



Documento assinado eletronicamente por **JOSE ALBERTO DIAZ AMADO, Membro da Unidade**, em 23/05/2024, às 14:44, conforme decreto nº 8.539/2015.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site http://sei.ifba.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&acao_origem=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0 informando o código verificador **3545150** e o código CRC **1131DC42**.

RESUMO

A matriz elétrica brasileira possui diversas fontes de geração, com foco em energias limpas e renováveis. O consumo de eletricidade vem aumentando a cada ano evidenciando a maior dependência tanto do consumidor final quanto de outros setores da economia como a indústria e comércio. Conseqüentemente, pode ocorrer o aumento das perdas de energia desde a geração até o consumo final da eletricidade, as chamadas perdas técnicas e não técnicas. Assim, tecnologias vêm sendo implantadas para combater essas perdas e garantir uma eficiência e qualidade no fornecimento da energia elétrica. As redes inteligentes e medidores inteligentes trazem diversos benefícios, tanto para as concessionárias de distribuição quanto ao consumidor. Este trabalho tem como propósito analisar o cenário das perdas de energia elétrica no sistema de distribuição no Brasil e nas unidades federativas e explorar as vantagens e contribuições da implementação dessas tecnologias. Foi realizado um estudo bibliográfico sobre o assunto proposto e a busca de conhecimentos e dados comprovados que atestem e evidenciem a eficiência desse sistema tecnológico.

Palavras-chave: Tecnologias, Eletricidade, Consumo de Energia, Perdas

ABSTRACT

The Brazilian power grid has multiple generation sources, focusing on clean and renewable energy. Electricity consumption has increased over the years, proving the dependence of the final consumer and other economic sectors such as industry and commerce. As a result, energy losses from generation to final consumption of electricity, called technical and non-technical losses, may increase. Therefore, to reduce these losses and ensure the efficiency and quality of the electrical energy supply, there are a number of technologies. Smart grids and smart meters bring several benefits to both electric utilities and end users. This paper analyses the scenario of energy losses in the Brazilian electricity distribution system and examines the benefits and contributions of these technologies. A bibliographic study is carried out on the proposed topic and the search for knowledge and verified data that testify to and prove the effectiveness of this technological system.

Keywords: technology, electricity, energy consumption, losses

Lista de Figuras

1.1	Sistema de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica . . .	2
2.1	Esquema de Atuação do ONS	9
2.2	Principais fontes de geração de Energia Elétrica do Brasil em 2020 e 2021	10
2.3	Linhas de transmissão do Brasil	11
3.1	Representação e cálculo das perdas no sistema elétrico	17
3.2	Perdas técnicas por estados no ano de 2020	18
3.3	Evolução das perdas no sistema de distribuição entre os anos de 2008 e 2020 no Brasil	20
3.4	Representação dos custos das perdas não técnicas sobre a receita requerida ano de 2020	21
3.5	Motivadores das REI por regiões no mundo	23
3.6	Investimento das REI de países no mundo	23
3.7	O sistema de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica de forma bidirecional	24
3.8	Sistema por meio das Microrredes	26
3.9	Medidor Inteligente e suas funções	27
3.10	Medidor Inteligente	28
3.11	Definição e fatores das redes inteligentes	28
4.1	Perdas sobre a energia injetada em 2020 por regiões geográficas no Brasil	34
4.2	Porcentagem das perdas não técnicas sobre energia injetada por estados	35
4.3	Porcentagem das perdas não técnicas sobre perdas totais	35
4.4	Gráfico da potência instalada em MW por regiões geográficas	36

Lista de Tabelas

1.1	Consumo Nacional de Energia Elétrica por classes (2009-2015)	6
1.2	Consumo Nacional de Energia Elétrica por classes (2016-2022)	6
3.1	Ranking das perdas não técnicas regulatórias por concessionária no Brasil (2020)	29
3.2	Ranking das perdas não técnicas reais por concessionária no Brasil (2020)	30
3.3	Ranking da energia injetada por unidades federativas no ano de 2020	31
3.4	Ranking dos estados com maior Geração Distribuída no país (2020) .	32

Glossário: Símbolos e Siglas

Notação	Descrição	Páginas
AMI	<i>Infraestrutura de Medição Avançada</i>	26
AMR	<i>Leitura Automatizada de Medidores</i>	27
ANEEL	<i>Agência Nacional de Energia Elétrica</i>	12
CCEE	<i>Câmara de Comercialização de Energia Elétrica</i>	18
CCM	<i>Centro de Controle e Medição</i>	14
CELESC	<i>Centrais Elétricas de Santa Catarina</i>	38
CGEE	<i>Centro de Gestão e Estudos Estratégicos</i>	22
COPEL	<i>Companhia Paranaense de Energia</i>	36
GD	<i>Geração Distribuída</i>	36
GWh	<i>Giga Watt hora</i>	21
MW	<i>MegaWatt</i>	34
ONS	<i>Operador Nacional do Sistema Elétrico</i>	8
PNT	<i>Perdas Não Técnicas</i>	21
REI	<i>Redes Elétricas Inteligentes</i>	22
SIN	<i>Sistema Interligado Nacional</i>	9

Sumário

Folha de Rosto	ii
Folha de Aprovação	iv
Resumo	vi
Abstract	vii
Lista de Figuras	viii
Lista de Tabelas	ix
Glossário: Símbolos e Siglas	x
1 Introdução	1
1.1 Objetivo Geral	4
1.1.1 Objetivos Específicos	4
1.2 Justificativa	4
2 Referencial Teórico	8
2.1 Operador Nacional do Sistema Elétrico	8
2.2 Sistema Interligado Nacional	9
2.3 Empresa de Pesquisa Energética	11
2.4 Balanço Energético Nacional	12
2.5 Agência Nacional de Energia Elétrica	12
2.6 Contextualização	12
3 Metodologia	15
3.1 Perdas de Energia	16
3.1.1 Perdas Técnicas	17
3.1.2 Perdas Comerciais ou Não Técnicas	19
3.1.3 Evolução das Perdas no Brasil	19
3.1.4 Impacto das Perdas nas tarifas de Energia Elétrica	20

3.1.5 Impactos da pandemia da Covid-19 na implantação das Redes Elétricas Inteligentes	22
3.2 Redes Elétricas Inteligentes	22
3.2.1 Microrredes	25
3.3 Medidores Inteligentes	26
4 Análise dos Resultados	33
5 Considerações Finais	39
5.1 Ameaças a validade do Trabalho	40
5.2 Sugestões para Trabalhos Futuros	40
REFERÊNCIAS	41

Capítulo 1

Introdução

A terceira e quarta revolução industrial impulsionaram o desenvolvimento de novas tecnologias para o aperfeiçoamento e otimização do setor primário, secundário e terciário da economia, que são respectivamente os setores da agricultura, indústria e comércio. A energia elétrica é o principal fator para o funcionamento dos setores assim como em residências, e não está isenta da adoção de novas metodologias, desde a sua geração até seu consumo, para garantir uma maior eficiência e qualidade para seu uso final.

A energia elétrica é um produto impalpável, ou seja, não podemos vê-la ou tocá-la e a usamos de forma indireta, seja para produzir luz, movimento, calor, ou qualquer tipo de transformação energética. Diferente de outros segmentos como água e saneamento, a energia elétrica não pode ser armazenada para ser consumida posteriormente, ou seja, ela deve ser consumida instantaneamente para que não ocorra desequilíbrios no sistema podendo gerar desligamentos em cascatas, ou os chamados “apagões”. Para que isso não ocorra, é necessário o equilíbrio constante entre oferta e demanda de energia elétrica.

O princípio da geração de energia elétrica se dá pela transformação da energia mecânica (movimento) em energia elétrica (eletricidade). Por isso, a força resultando deste movimento, deve ser elevada para que ocorra essa transformação de energia.

O funcionamento da cadeia produtiva da energia elétrica que consumimos inicia com as geradoras, sendo as principais fontes a hidráulica, térmica, eólica, solar e nuclear. Cada uma dessas geradoras tem seu princípio de funcionamento distinto e com o mesmo propósito de gerar a energia elétrica.

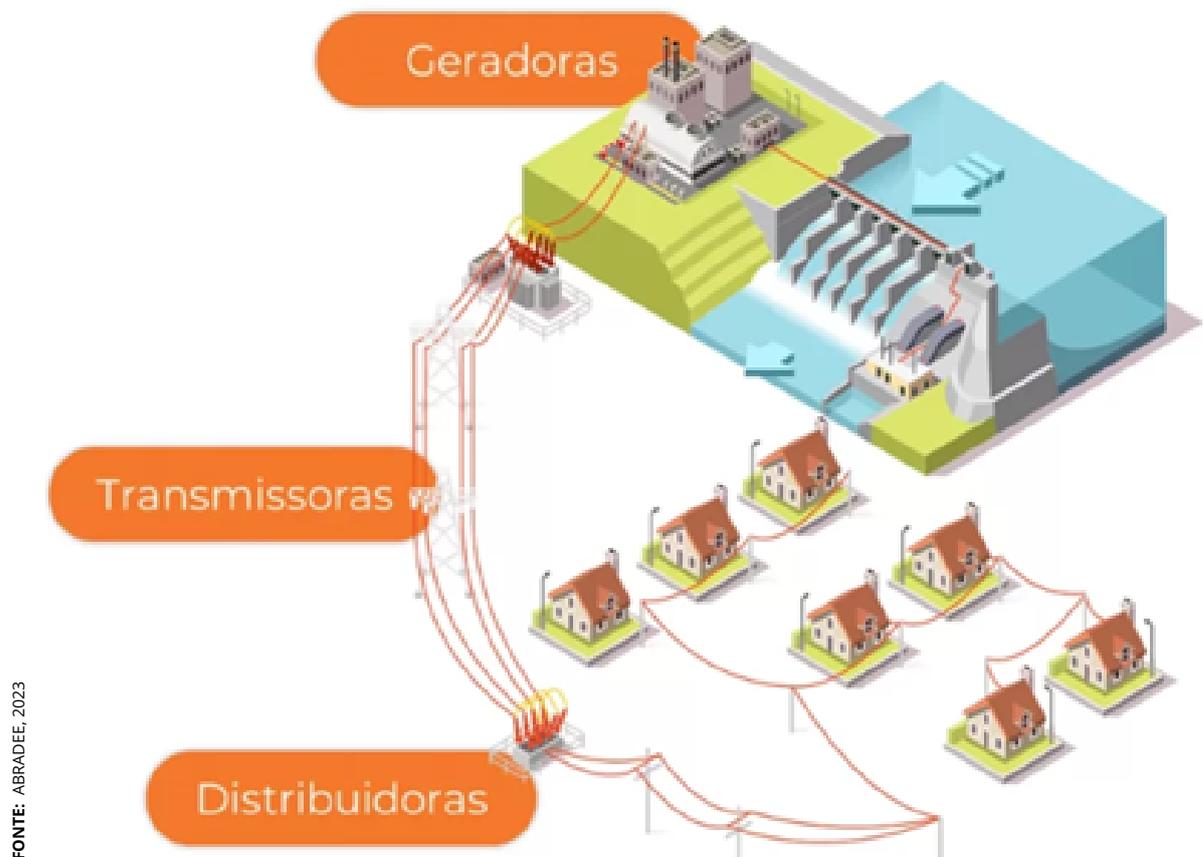


Figura 1.1 – Sistema de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica

A próxima etapa é a condução desta energia por meio das linhas de transmissão, que se encarrega de transportar grandes quantidades de energia provenientes das unidades geradoras até os centros distribuidores. Uma única interrupção de uma linha de transmissão pode afetar uma cidade e até um estado inteiro. Neste segmento, de acordo com [ABRADEE \(2023\)](#), o Brasil possui 145 mil quilômetros de extensão de linhas de transmissão espalhados pelo país, conectando os geradores aos grandes consumidores e também as empresas distribuidoras.

As distribuidora de energia elétrica são aquelas que recebem grande quantidade de energia elétrica do sistema das linhas de transmissão e distribuem de forma pulverizada para consumidores de pequeno e médio porte. O Brasil é composto por 53 concessionárias que são responsáveis pela administração e operação de linhas de transmissão de menor tensão (abaixo de 230 mil Volts) com base na [ABRADEE \(2023\)](#). São elas que fazem com que a energia elétrica chegue de forma segura nas residências, comércios e pequenas indústrias. A Figura 1.1 esquematiza o processo de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica segundo a Associação.

A ANEEL é o órgão que regula os preços das empresas que são responsáveis pela transmissão e distribuição de energia elétrica. Assim, as empresas não são livres para praticarem os preços que desejam, pois a Agência fiscaliza criteriosamente por meio de contratos e concessões para que o consumidor não esteja vulnerável a esse tipo de situação.

O Brasil possui uma vasta matriz de energia elétrica com foco em energias limpas e renováveis, diferente da maioria dos países no mundo que tem como principal fonte de energia elétrica a geração por meio de termelétricas (petróleo, carvão e derivados e nuclear). No Brasil, a principal fonte de geração de eletricidade é a hidráulica, responsável por 53,4% de toda a geração de energia elétrica da nação de acordo com o [BEN \(2022\)](#). Houve uma redução com base ao ano anterior que era de 60,7% devido a crise hídrica do país. Também houve redução na geração de energias renováveis que era de 83,8% e agora no último balanço está quantificado em 78,1% e pode ser explicado pelo aumento da geração termelétrica.

Fontes alternativas na geração de energia elétrica vem crescendo nos últimos anos, que é o caso da energia eólica e a solar fotovoltaica. Enquanto a energia eólica saltou de 8,7% em 2021 para 10,6% em 2022, a energia solar foi de 1,6% em 2021 para 2,5% em 2022. Outro destaque em fontes limpas de energia é o gás natural, que aumentou em mais de 40%, em 2021 era 9,1% e em 2022 foi para 12,8% segundo [BEN \(2022\)](#).

Ainda de acordo com o Balanço, houve um aumento na oferta total na geração de energia elétrica em relação ao ano anterior. No ano de 2021 a oferta total foi de 679,2 TWh enquanto que no ano de 2020 foi de 653,5 TWh, um aumento de 3,9% na oferta total. Isso evidencia que a cada ano que se sucede, aumenta-se o consumo de energia elétrica, isso pode ser explicado por conta de novas tecnologias utilizadas pelo ser humano, a modernização de equipamentos e a automatização de todos os setores da economia.

No Brasil, existem diferentes órgãos que compõe o sistema elétrico brasileiro, visto que o país possui dimensões territoriais de um continente. Isso mostra a alta complexidade e os desafios para garantir o gerenciamento e eficiência energética do consumo da energia elétrica no país.

Por meio desta problemática, surge a necessidade de se estudar e analisar as tecnologias atuais implementadas para reduzir as perdas e garantir uma maior eficiência e otimização no sistema de energia elétrica no Brasil para o consumidor

final. As smart grids e smart meters, respectivamente redes inteligentes e medidores inteligentes são as principais soluções para reduzir ao máximo essas perdas e melhorar a qualidade do consumo de energia elétrica.

1.1 Objetivo Geral

Analisar a implementação das tecnologias de redes inteligentes e medidores inteligentes e suas contribuições ao setor de energia elétrica no Brasil.

1.1.1 Objetivos Específicos

- 1) Analisar o comportamento do consumo de energia elétrica e o histórico de perdas no Brasil nos últimos anos;
- 2) Conceituar e analisar as perdas no sistema de distribuição de energia elétrica;
- 3) Comparar os investimentos das redes elétricas inteligentes no Brasil e no mundo;
- 4) Analisar as contribuições das redes inteligentes e medidores inteligentes ao setor de energia elétrica no Brasil;
- 5) Comparar a energia injetada e as perdas de energia elétrica nos estados brasileiros;
- 6) Analisar fatores externos das perdas de energia elétrica;

1.2 Justificativa

Com a crescente demanda no consumo de energia elétrica no Brasil e no mundo, usá-la de forma consciente e estratégica tem se tornado um assunto cada vez mais importante e debatido. De acordo com (ABOBOREIRA; CRUZ, 2016) o consumo de eletricidade na rede, para os próximos 10 anos, aumentará cerca de 46,5% no Brasil. Esse aumento do consumo da energia elétrica é consequência da evolução tecnológica que o Brasil e o mundo globalizado tem vivenciado nos últimos anos.

Com a pandemia do Coronavírus, alguns setores da economia interromperam suas atividades por tempo indeterminado, como o comércio e alguns setores da indústria. Assim, houve um crescimento na modalidade de trabalho denominado *home-office*, que é o trabalho feito em casa. A partir disso, o consumidor passou a depender cada vez mais da energia elétrica, pois, utilizava ferramentas e equipamentos como Notebooks, Computadores, Smartphones e Tablets para exercerem suas atividades profissionais e também pessoais.

De acordo com o [BEN \(2022\)](#), a indústria é o setor que mais consome energia elétrica no país e seu consumo vem crescendo nos últimos anos. Enquanto o consumo de energia elétrica aumentou em 4,2% em relação a 2021, o setor industrial aumentou em 7,5%, equivalente a 15,0 TWh, seguido pelo setor comercial que cresceu 5,7%, equivalente a 4,8 TWh, segundo o Balanço. Já o setor residencial o aumento foi de 1,1%, o equivalente a 1,6 TWh.

As Tabelas [1.1](#) e [1.2](#), com base nos dados da [EPE \(2021\)](#) mostra a evolução do consumo de energia elétrica nos últimos 14 anos em diferentes classes e o seu total no Brasil. Verifica-se um aumento constante no consumo de energia em todas as classes com algumas ressalvas.

No ano de 2014, a crise hídrica afetou a região Sudeste do Brasil que é a de maior produção e consumo de energia elétrica do país. Essa crise se deu pelas chuvas irregulares e pouco expressiva principalmente no estado de São Paulo.

A partir de 2015 houve uma redução no consumo de energia elétrica no país estendendo até 2016. Isso pode ser explicado devido a recessão econômica que o país enfrentou em 2014 e pela crise hídrica na região sudeste, afetando diretamente o consumo de energia elétrica das indústrias que sofreu uma considerável queda nos dois anos sucedentes. Essa crise foi resultado de um choque de oferta e demanda e erros de políticas públicas que afetaram a capacidade de crescimento da economia do Brasil que ocasionou um custo fiscal elevado.

No início de 2020 houve a pandemia do novo Coronavírus, afetando todos os setores da economia pois muitas atividades econômicas foram interrompidas devido ao isolamento social. Assim, a indústria e comércio nesse ano sofreu uma considerável queda ao passo que o consumo de energia elétrica residencial aumentou por conta desse isolamento pois muitos trabalhadores exerciam suas atividades em *home-office*.

Em 2021 houve uma alta significativa no consumo de energia elétrica no país,

principalmente por parte da indústria, mostrando a retomada parcial e/ou completa das atividades nesse setor. O comércio também retomava as atividades presenciais exigindo um maior consumo de energia elétrica para seu funcionamento.

Tabela 1.1 – Consumo Nacional de Energia Elétrica por classes (2009-2015)

Consumo TWh	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Industrial	161,79	179,47	183,57	183,42	184,68	179,10	169,62
Residencial	100,77	107,21	111,97	117,64	124,90	132,30	131,18
Comercial	65,254	69,17	73,48	79,22	83,70	89,84	90,76
Outros	56,47	59,80	63,98	67,82	69,84	73,57	74,46
Brasil	384,30	415,66	433,01	448,12	463,14	474,82	466,04

FONTE: (EPE, 2021) Adaptado da EPE 2023

Tabela 1.2 – Consumo Nacional de Energia Elétrica por classes (2016-2022)

Consumo TWh	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Industrial	165,67	167,77	170,13	167,77	166,53	182,20	182,96
Residencial	132,87	134,36	137,61	142,41	148,17	151,25	152,95
Comercial	87,87	88,29	88,63	92,08	82,52	87,78	92,49
Outros	75,72	77,10	79,45	80,33	79,41	81,31	80,29
Brasil	462,14	467,53	475,83	482,60	476,65	502,56	508,70

FONTE: (EPE, 2021) Adaptado da EPE 2023

Entre os anos de 2020 e 2021 houve um aumento de 3,9% da energia elétrica disponibilizada e 4,2% no consumo final da eletricidade segundo BEN (2022). Isso mostra a tendência de crescimento na oferta e consumo da energia elétrica nos próximos anos. Ainda segundo o Balanço, as perdas (técnicas e comerciais) juntas somam 16,2% em 2020 e 16% em 2021 gerando um decréscimo de 0,2%.

No ano de 2022 alguns setores se mantiveram constantes no consumo de energia elétrica que é o caso industrial e residencial. O comércio já exercia de forma total as suas atividades.

Por meio dessa complexidade que se dá em torno do consumo e utilização adequada do consumo de energia elétrica surge a necessidade da implementação de tecnologias para que haja melhorias significativas na eficiência dos equipamentos de uso final, redução de perdas e também no método de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica.

Uma análise acerca das tecnologias smart grids e smart meters implemen-

1.2. JUSTIFICATIVA

tadas no sistema de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica é estudada a fim de compreender suas contribuições no setor de energia elétrica do Brasil. A pesquisa propõe e explora uma visão detalhada dessas tecnologias para a melhoria contínua nesse sistema.

Capítulo 2

Referencial Teórico

Este capítulo tem a finalidade de apresentar uma fundamentação teórica que contribuirá para o melhor entendimento deste trabalho. Será abordado estudos, órgãos responsáveis pelo gerenciamento da energia elétrica no Brasil e as tecnologias implementadas para melhorar a eficiência do consumo de energia elétrica.

O Brasil possui uma matriz energética diversificada. Grande parte da sua geração de energia elétrica se dá por meio de fontes renováveis, sendo a hidráulica a principal. Atualmente, com a crescente demanda do uso de energia elétrica, seja por parte de grandes indústrias e consumidores finais, surge a necessidade de adotar metodologias para garantir o uso adequado e eficiente do consumo de energia elétrica no Brasil.

O sistema elétrico brasileiro é composto por diversos órgãos que o gerenciam. Isso enfatiza o alto grau de complexidade que é o de produzir, gerenciar e transmitir a energia elétrica até o consumo final. A manutenção, fiscalização e monitoramento em tempo real desse complexo sistema são algumas das principais ações para garantir o controle e eficiência da eletricidade em nosso país.

2.1 Operador Nacional do Sistema Elétrico

Implantada pela lei nº 9.648 de 1988, o Operador Nacional do Sistema Elétrico **ONS** é um órgão responsável pela coordenação e controle da operação de geração e da transmissão de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional. Este órgão possui um site oficial em que apresenta informações e dados em tempo real da

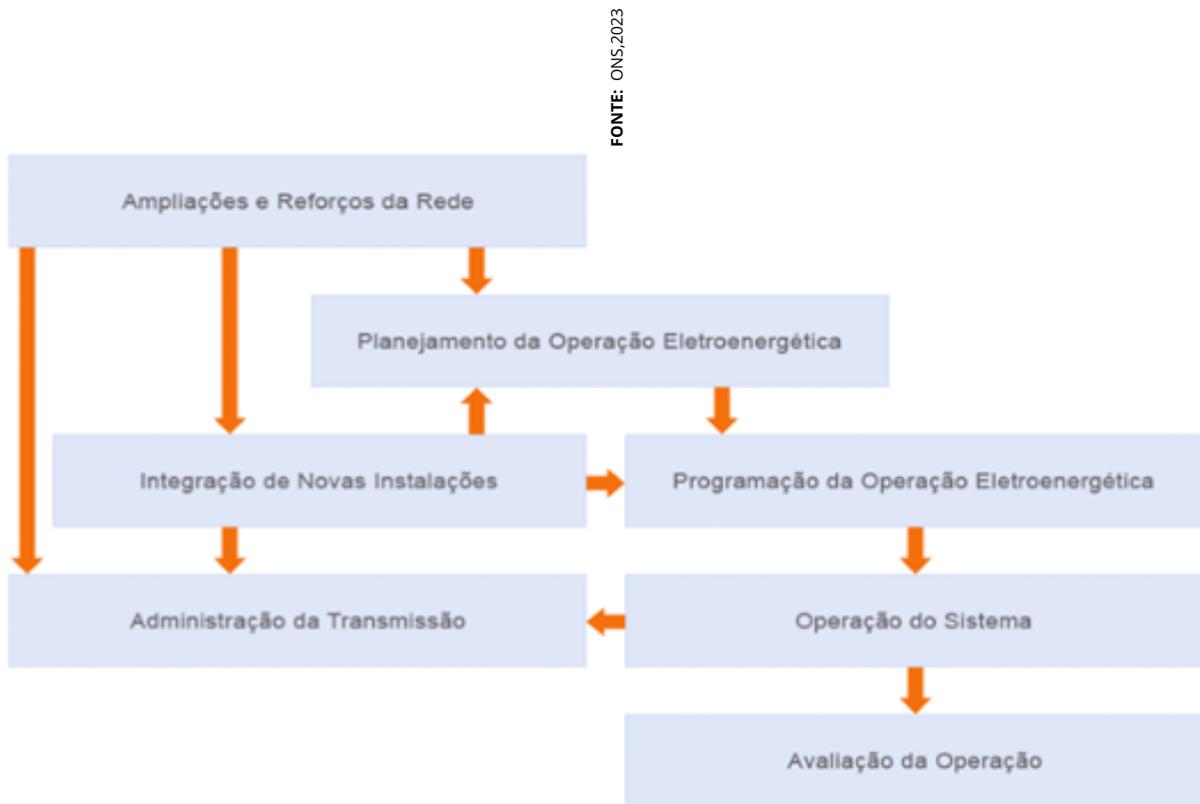


Figura 2.1 – Esquema de Atuação do ONS

geração de energia elétrica no Brasil de todos os meios de geração. Também é apresentada várias informações úteis como relatórios, programações de energia, atuação do órgão, entre outros de acordo com o site desse sistema.

Esse órgão também monitora quais regiões consomem mais energia e faz a gestão e envio de energia para diferentes lugares. A seguir, na Figura 2.1 vemos o esquema de atuação da ONS e suas principais operações referentes a gestão e coordenação da energia elétrica que está diretamente relacionado com o Sistema Interligado nacional SIN, de acordo com a ONS.

2.2 Sistema Interligado Nacional

A energia elétrica que consumimos é gerenciada pelo Sistema Interligado Nacional, já que o país é ligado por linhas de transmissão por meio desse sistema e é composto por quatro subsistemas: Sul, Sudeste/Centro-oeste, Nordeste e a maior parte do Norte, com exceção do estado de Roraima. Esse sistema é importante para a eficiência e funcionamento do abastecimento da energia elétrica da na-

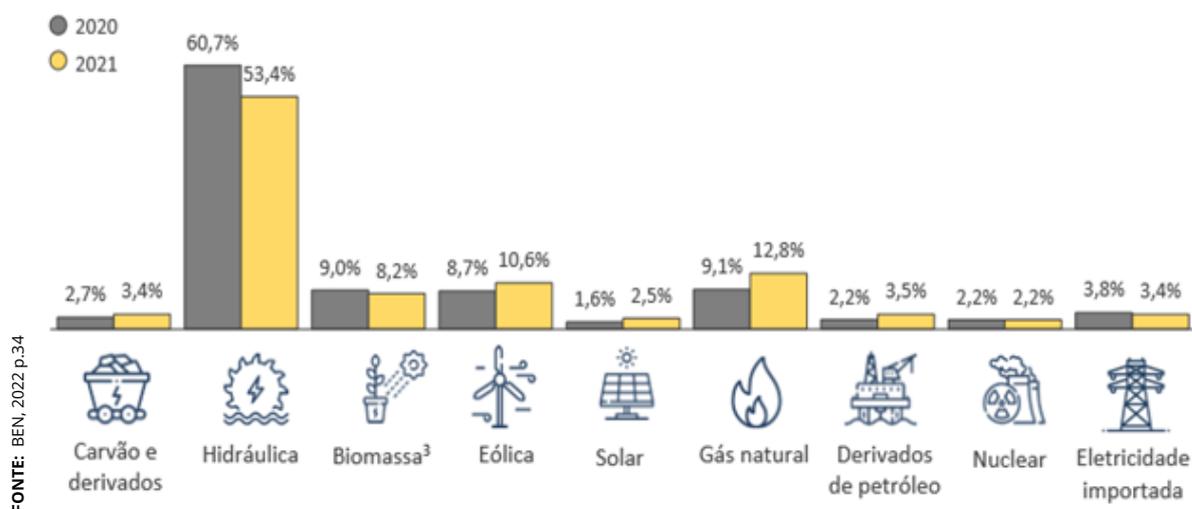


Figura 2.2 – Principais fontes de geração de Energia Elétrica do Brasil em 2020 e 2021

ção, pois caso haja interrupção no fornecimento de energia elétrica de uma cidade em um determinado estado, as linhas de transmissão de outras localidades supre as necessidades dessa falta de energia elétrica, garantindo uma interconexão da rede.

Este órgão também fornece dados e informações sobre o SIN, como gráficos, números sobre a capacidade instalada de energia elétrica. A figura 2.2 a seguir, mostra a matriz de energia elétrica referente aos anos de 2020 e 2021 de acordo com BEN (2022).

É por meio das usinas hidrelétricas que temos a maior parte da composição do SIN, distribuídas em 16 bacias hidrográficas nas diferentes regiões do país. Devido ao extenso território do Brasil, o estado de Roraima não faz parte do Sistema Interligado Nacional, pois, para que as linhas de transmissão cheguem a esse estado, devem percorrer aproximadamente 500 quilômetros de distância até a unidade federativa.

No ano de 2022, o Brasil possuía 179.311 quilômetros de extensão de linhas de transmissão de acordo com o SIN. Estudos e projeções do próprio órgão afirmam que, para o ano de 2027 aumente para 216.759 quilômetros de extensão. A Figura 2.3 mostra as linhas de transmissão que percorrem todo o território nacional de acordo com o Operador.



Figura 2.3 – Linhas de transmissão do Brasil

2.3 Empresa de Pesquisa Energética

A empresa de Pesquisa Energética (EPE) foi criada em 2004 por meio da lei nº 10.847, e é vinculada ao ministério de Minas e Energia e tem por objetivo prestar serviços na área de pesquisa e estudos relacionados ao planejamento do setor energético brasileiro. Tem como foco a energia elétrica, petróleo, gás natural e seus derivados e biocombustíveis. Através da EPE que se gera o BEN e demais informações relacionadas ao desenvolvimento sustentável da infraestrutura energética brasileira.

Esse órgão possui um site oficial em que é apresentado dados e informações científicas e estudos relacionados a energia elétrica, como o Plano Nacional de Energia 2050, Plano Decenal de Energia 2030, Balanço Energético Nacional. Sua área de atuação engloba também Estatísticas, Meio Ambiente e Economia de Energia.

2.4 Balanço Energético Nacional

Anualmente é feito um balanço energético nacional a fim de contabilizar e divulgar a extensa oferta e consumo de energia no Brasil. Isso engloba tanto a extração, de recursos primários, sua conversão e sua forma de energia. O BEN se constitui em uma base de dados para estudos e dados do planejamento energético nacional. Esse balanço é de competência da Empresa de Pesquisa Energética.

No relatório do [BEN \(2022\)](#) também é apresentado dados relacionados aos impactos causados pela geração de energia no Brasil, como a emissão de dióxido de carbono. O Brasil é um dos países que menos emitem dióxido de carbono por MWh (Mega-watthora) em comparação com países desenvolvidos como os Estados Unidos, que emitem quatro vezes mais, e a China quase sete vezes mais que o Brasil.

2.5 Agência Nacional de Energia Elétrica

Esse órgão tem por finalidade regular o setor elétrico brasileiro. É uma autarquia em regime especial vinculada ao ministério de Minas e Energia. Implementa e fiscaliza as políticas e diretrizes do governo federal referentes a exploração da energia elétrica bem como o aproveitamento dos potenciais hidráulicos.

A [ANEEL](#) também regulariza a comercialização de energia elétrica e estabelece as tarifas vigentes. Este órgão é de fundamental importância para o gerenciamento da energia elétrica no país garantindo a eletricidade nas residências, indústrias e comércio.

2.6 Contextualização

Estudos e pesquisas com foco nessa problemática estão sendo exploradas e então buscando soluções para garantir a otimização e eficiência desde a geração até o consumo final da energia elétrica. Segundo ([ABOBOREIRA; CRUZ, 2016](#)), ainda não é possível, economicamente, armazenar o excedente gerado e se faz necessário o equilíbrio, em tempo real, da geração com o consumo da energia. Até chegar nas residências e indústrias, a energia elétrica que consumimos passa por um complexo sistema de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica.

De acordo com (SOUZA, 2019) “Devido a essa complexidade, o sistema elétrico possui em sua extensão diversos problemas que podem causar falhas técnicas ou comerciais”.

Com o aumento do consumo de energia elétrica nos últimos anos, podem também ocorrer um aumento nas perdas no sistema de energia elétrica. Atualmente órgãos, empresas e pesquisadores vem buscando compreender o sistema de perdas no setor de energia elétrica, afim de diminuir esses impactos e melhorar a eficiência energética e qualidade aos consumidores finais. A modernização de tecnologias de automatização, preocupações com mudanças climáticas, a perda de vida útil de instalações atuais e a participação do consumidor final no planejamento e operação dos sistemas são os principais desafios para garantir a otimização e eficiência do sistema de energia elétrica do Brasil.

Segundo o relatório de Perdas de Energia Elétrica na Distribuição da ANEEL (2021), as perdas na distribuição são definidas como a diferença da energia elétrica adquirida pelas distribuidoras e a faturada pelo consumidor final. Essas perdas são computadas anualmente pelo órgão regulamentador. Ainda de acordo com esse relatório, no ano de 2020 as perdas totais (técnicas e comerciais) representaram 14,9% do mercado consumidor, sendo maior do que o consumo de energia elétrica nas regiões Norte e Centro-Oeste em 2018. Para reduzir os impactos dessas perdas no sistema elétrico brasileiro, novas tecnologias vem sendo implementadas devido a crescente demanda no consumo de energia elétrica e como consequência, o aumento das perdas até o consumo final de energia elétrica. A modernização das estruturas da rede elétrica é uma das principais soluções para reduzir as perdas, com isso surge os estudos e a implementação das redes elétricas inteligentes que utiliza tecnologias digitais para gerenciamento e monitoramento do transporte de energia elétrica em tempo real (SOUZA, 2019).

Fatores como a desigualdade social, pobreza e violência contribuem para o aumento da perdas não técnicas Piotrowski et al. (2020). Sendo assim, é necessário políticas públicas eficientes que reduzam esses índices para que haja diminuição nas perdas não técnicas.

As redes inteligentes, tradução direta das smart grids, podem ser consideradas como um conjunto de tecnologias para garantir eficiência e melhoria no consumo de energia elétrica. Segundo Falcao, Fellow e IEEE (2010), as smart grids baseiam-se na utilização intensiva de tecnologia de automação, computação e comunicações, para controle e monitoramento da rede elétrica. Essas medidas per-

mitem a otimização da rede de forma muito mais eficiente do que as que estão em prática atualmente.

Essa tecnologia também permite a detecção com maior rapidez de falhas no sistema de energia elétrica, os impactos ambientais causados pela geração da energia elétrica e garante um alto índice de confiabilidade. Assim, as redes inteligentes agem de maneira eficiente evitando antes que problemas maiores ocorram.

Algumas soluções tecnológicas para redução das perdas se dá pela implantação dos medidores inteligentes, a criação de microrredes e a geração distribuída [Alcantara \(2017\)](#). Essas tecnologias já são implantadas no Brasil, entretanto, não se dá de maneira uniforme, visto que, o país, que tem dimensões e proporções continentais e alguns estados e regiões com diferentes características na gestão da eletricidade.

[Alcantara \(2017\)](#), afirma que as microrredes são pequenos e modernos sistemas que imitam em pequena escala o grande sistema elétrico centralizado de distribuição. O autor afirma que as microrredes podem gerar, distribuir e regular o fluxo de eletricidade aos consumidores e que ao contrário da rede centralizada, não são necessariamente as empresas públicas que gerenciam essa tecnologia. Por fim, destaca que essa tecnologia pode ser implementada por uma comunidade, vizinhança, universidade, hospital, de forma individual ou qualquer outra entidade que tenha autoridade legal sobre sua infraestrutura implantada.

Já os *smart meters* são os medidores inteligentes que podem ser entendidos como dispositivos eletrônicos que fornecem informações detalhadas do consumo de energia elétrica de uma unidade consumidora. De uma forma mais técnica, mede a tensão, corrente e potência elétrica de uma rede local. [Fortes et al. \(2017\)](#) afirmam que a função exercida pelo medidor inteligente é uma aplicação central e prática de um projeto smart grid.

Segundo a [CGEE \(2012\)](#) a medição inteligente é uma das etapas para se atingir o conceito completo das Redes Elétricas inteligentes. O órgão define o medidor inteligente como um aparelho eletrônico que têm capacidade muito além da medição do consumo, colhendo e divulgando dados em intervalos de tempo pré-definidos que permite a comunicação em tempo real com o Centro de Controle e Medição [CCM](#) para o processo de geração da fatura para que tenha uma maior precisão nas medições e redução nos custos com leituristas.

Capítulo 3

Metodologia

Segundo (BRITO; OLIVEIRA; SILVA, 2021), “a pesquisa bibliográfica se vale das bases de dados a fim de encontrar subsídios para abarcar a amplitude das investigações científicas realizadas.”

A construção deste trabalho se deu por meio da exploração de pesquisas bibliográficas, como artigos científicos, monografias, dissertações de mestrado, documentos técnicos e embasamento nos órgãos que compõe o sistema elétrico brasileiro a partir do ano de 2011. Após essa primeira etapa, foi feita a coleta de dados referentes ao tema proposto e respectivos objetivos para posterior construção e desenvolvimento do trabalho.

As pesquisas coletadas neste trabalho foram realizadas em sites oficiais dos órgãos regulamentadores do sistema elétrico brasileiro como é o caso da ANEEL, e os demais itens como artigos, monografias foram encontrados em plataformas online como o Google Acadêmico, Periódicos e Repositórios de Universidades como a Universidade Federal Fluminense.

Logo após foi feita a leitura técnica e consistente sobre o tema proposto deste trabalho e em seguida foi feita a filtragem de acordo os objetivos apresentados. E, após isso foi realizada uma análise crítica das perdas no sistema elétrico brasileiro, estudo das smart grids e smart meters, suas contribuições para o setor de energia elétrica no Brasil, quantificar as perdas em diferentes concessionárias de energia elétrica com o intuito de desenvolver o conhecimento e a contribuir com a realização de pesquisas dessa tipologia. Foi comprovado por meio de gráficos e tabelas a eficiência desse sistema para o melhoramento contínuo do sistema elétrico brasileiro.

Um estudo baseado em gráficos e tabelas adaptadas e imagens mostram o funcionamento de todo o sistema das redes inteligentes e suas finalidades para o sistema elétrico brasileiro e suas contribuições para reduzir as perdas de energia elétrica e a garantir um eficiente sistema de tecnologia que está cada vez mais presente em nossa realidade.

Nesta seção será contextualizado temas centrais sobre este trabalho, para ter uma maior clareza dos dados obtidos das pesquisas, que são as perdas de energia e redes inteligentes.

3.1 Perdas de Energia

Em todo o processo de utilização de energia elétrica que parte da geração até o consumo final, ocorrem perdas que podem ser por motivos técnicos ou comerciais. Essas perdas são causadas pela energia elétrica gerada que passa pelas linhas de transmissão e por redes de distribuição que não chegam a ser comercializadas e são denominadas de perdas globais e pode ser entendida como a diferença entre a energia elétrica fornecida pela subestação, saída do alimentador e o consumo mensal de energia elétrica de todos os consumidores atendidos por esse alimentador. As perdas globais são divididas entre perdas técnicas e perdas comerciais.

Um dos principais desafios das concessionárias de energia elétrica é reduzir as perdas de energia elétrica no sistema de distribuição. [Bernardon et al. \(2017\)](#) afirmam que as concessionárias devem ser capazes de identificar essas perdas, o local onde ocorrem, para que possam alcançar o nível de perda ótimo. Nas perdas comerciais, o ideal é que toda energia fornecida aos consumidores seja faturada conforme as regras de modo correto, ou seja, nível ótimo zero. Já nas perdas técnicas que são inerentes ao processo de distribuição de energia elétrica, o nível ótimo se dá em função de diferentes fatores como o comportamento da carga, equipamentos utilizados, tecnologia adotada, topologia e comprimento da rede, ou seja, um alto nível de complexidade.

De acordo com a [ANEEL \(2021\)](#), órgão que regulamenta a produção, transmissão e comercialização do setor elétrico brasileiro, no ano de 2020, houve aproximadamente 15% de perdas somadas entre técnicas e não técnicas e que geraram um déficit de 76,7 TWh.

A Figura 3.1 esquematiza o processo desde a geração de energia elétrica em

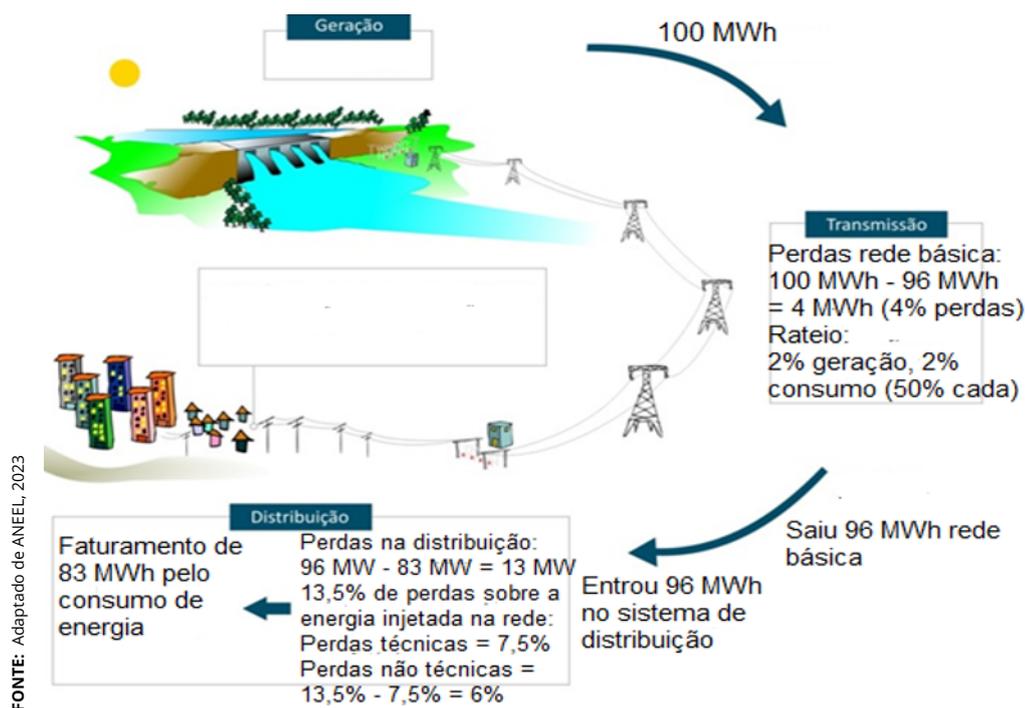


Figura 3.1 – Representação e cálculo das perdas no sistema elétrico

MWh até a distribuição com o cálculo final das perdas de acordo com a Agência. As perdas começam na transmissão para a rede básica e é rateada para a geração e consumo em partes iguais (50%). Logo após, no sistema de distribuição, tem-se as perdas na Rede de Distribuição que é calculada pela diferença entre a energia que entrou nessa rede menos a energia que foi faturada pelo consumo de energia elétrica.

3.1.1 Perdas Técnicas

As perdas técnicas ocorrem principalmente nos sistemas por características físicas dos equipamentos e instalações que neste caso podem ser entendidas como as perdas por efeito Joule e ocorrem sobretudo nos condutores primários, transformadores de distribuição e nos condutores secundários. Existem também as perdas nos ramais de ligação, medidores e equipamentos de proteção, entretanto são consideradas em proporções muito pequenas sendo consideradas desprezíveis, então o foco seriam nas perdas de grandes proporções devido a passagem da corrente elétrica nos mais variados equipamentos e mecanismos que compõe as redes de distribuição.

Esse tipo de perda é contabilizado pela diferença de energia gerada e a en-



Figura 3.2 – Perdas técnicas por estados no ano de 2020

tregue nas redes de distribuição. A ANEEL afirma que esse tipo de perdas são mensalmente apuradas pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica CCEE e o seu custo é rateado em 50% para geração e 50% para os consumidores e é definido anualmente nos processos tarifários.

Ainda de acordo com a ANEEL, as perdas técnicas são reconhecidas nas tarifas de energia. A Figura 3.2 a seguir mostra as perdas técnicas sobre a energia injetada em 2020 referentes as concessionárias de distribuição em que a média nacional das perdas técnicas é 7,5% de acordo com o órgão.

3.1.2 Perdas Comerciais ou Não Técnicas

As perdas não técnicas ou comerciais decorre por meio de furtos na rede como a ligação clandestina, desvio direto da rede, ou mesmo as fraudes, popularmente chamada de “gato” (adulterações no medidor, erros de medição e faturamento). O consumidor final acaba arcando com os custos gerados por esse tipo de perdas, entretanto, esses custos são inferiores aos valores praticados pelas concessionárias de distribuição. As perdas não técnicas são apuradas pelas concessionárias de distribuição e, para quantificar esse esse tipo de perda, subtrai-se as perdas técnicas das perdas globais e, assim, obtém-se a quantidade de energia ativa para um período mensal visto que o consumo de energia elétrica dos consumidores é computado mensalmente.

De acordo com a ANEEL (2021), as concessionárias de grande porte são as responsáveis por quase toda a totalidade dos montantes das perdas não técnicas por conta do expressivo mercado consumidor e pela maior complexidade de combater esse tipo de perda. A quantidade e nível de perdas variam de acordo com cada concessionária, pois fatores como gestão, características socioeconômicas e aspectos comportamentais em cada área de concessão influenciam diretamente nesse déficit energético.

Esse tipo de perda é dividido entre as perdas não técnicas reais e não técnicas regularórias. As perdas não técnicas reais são aquelas que ocorrem efetivamente no sistema enquanto as perdas não técnicas regularórias são aquelas que são reconhecidas nas tarifas de energia. As perdas não técnicas reais sempre são maiores que as regulatórias. A diferença entre as duas perdas são de responsabilidade da concessionária, pois, ocorrem predominantemente no mercado de baixa tensão.

3.1.3 Evolução das Perdas no Brasil

A medida que o consumo de energia elétrica aumenta a cada ano que se sucede devido a maior dependência da eletricidade em cada setor, como o residencial, industrial e comercial, pode também aumentar as perdas técnicas e não técnicas. Segundo a ANEEL (2021), as perdas no sistema de distribuição de 2008 a 2020 sofrem pequenas variações não lineares. Nas perdas técnicas as variações são mínimas, na casa de 0,2%. Já nas perdas não técnicas as variações são maiores

3.1. PERDAS DE ENERGIA

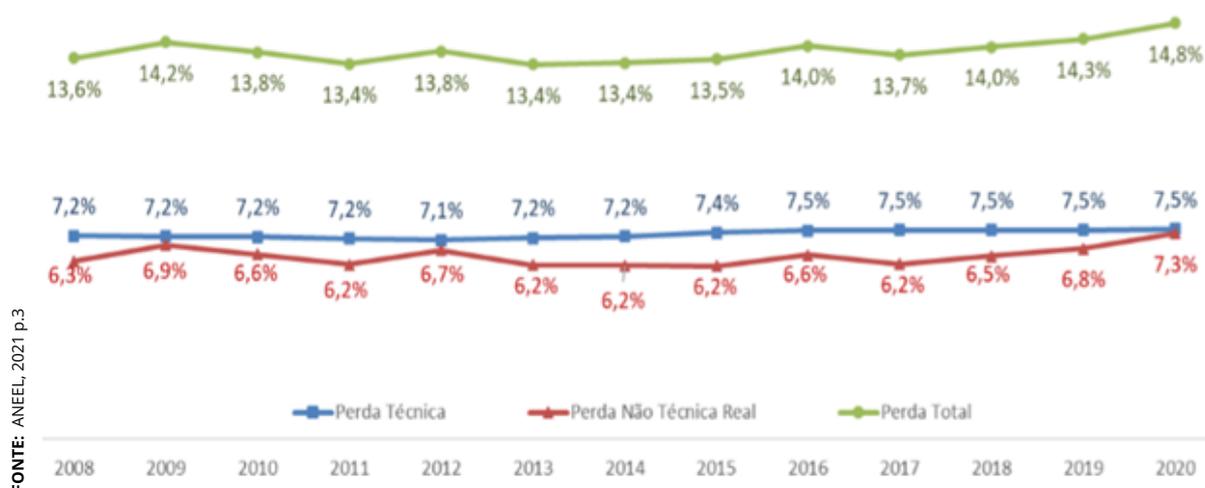


Figura 3.3 – Evolução das perdas no sistema de distribuição entre os anos de 2008 e 2020 no Brasil

chegando a 0,5%. Comparando os anos de 2008 e 2020, houve aumento de 0,3% nas perdas técnicas enquanto que nas perdas não técnicas houve um acréscimo de 1%. Pode-se afirmar que as perdas não técnicas representam um maior desafio e complexidade para as concessionárias de energia. A Figura 3.3 representa esses dados de acordo com a Agência.

Diferente das perdas não técnicas (reais e regulatórias), as perdas técnicas não possuem uma grande variação entre as regiões geográficas do país. Elas são inevitáveis em quaisquer sistema de distribuição e variam de acordo as características e métodos das redes de cada área de concessão. Enquanto que as perdas técnicas no Brasil não sofrem grandes variações, há uma considerável discrepância nas perdas não técnicas entre as regiões geográficas e concessionárias em cada estado.

3.1.4 Impacto das Perdas nas tarifas de Energia Elétrica

No ano de 2020, de acordo com a ANEEL (2021), as perdas técnicas sem considerar tributos, teve um custo na casa de R\$ 8,5 bilhões. O consumidor arca parcialmente com as perdas pois se considera a operação eficiente das redes no cálculo do repasse das perdas nas tarifas do consumidor. Estima-se que, na rede básica, as perdas técnicas nas tarifas foram de aproximadamente R\$ 1,8 bilhões.

As perdas não técnicas reais no Brasil, representam um custo de R\$ 8,6 bi-

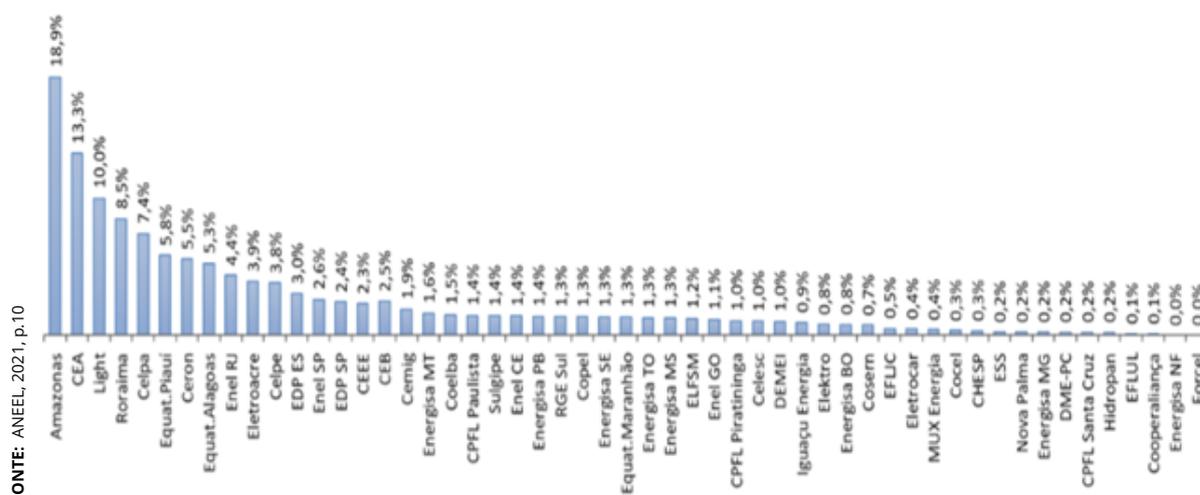


Figura 3.4 – Representação dos custos das perdas não técnicas sobre a receita requerida ano de 2020

lhões no mesmo ano de acordo com a Agência. Entretanto, as perdas não técnicas regulatórias, que são as estimadas pelo órgão, foram na casa dos R\$ 5,6 bilhões ao ano e representa um custo de 2,9% da tarifa de energia elétrica aos consumidores e pode variar por concessionárias de distribuição de acordo com a Figura 3.4 com base na Agência.

As concessionárias de energia que buscam reduzir as perdas de energia trazem alguns benefícios para o consumidor final, como a redução dos valores regulatórios (estimativa), redução da tarifa por meio do aumento no rateio dos demais custos, diminuição das perdas e melhorias na qualidade do fornecimento de energia elétrica.

As Tabelas 3.1 e 3.2 mostram o ranking das Perdas Não Técnicas PNT regulatórias e perdas não técnicas reais por concessionárias de distribuição de energia elétrica, respectivamente, no país no ano de 2020 em Giga-Watt-hora GWh com base na Agência. Pelos dados apresentados, a concessionária Light e Amazonas, juntas, correspondem a 30% de todas as perdas não técnicas do país e que as 10 primeiras juntas correspondem a 68,9% de perdas não técnicas do Brasil de acordo com o órgão.

A Tabela 3.3 mostra o ranking das unidades federativas com maior índice de energia injetada em GWh no ano de 2020 de acordo com dados da ANEEL (2022). As três primeiras posições ocupam, respectivamente, as posições de estados mais populosos do Brasil. O estado do Rio de Janeiro é o mais crítico sobre as perdas não técnicas no Brasil. Entretanto, comparando a energia injetada com as perdas

não técnicas reais, o estado do Amazonas é considerado o mais crítico.

3.1.5 Impactos da pandemia da Covid-19 na implantação das Redes Elétricas Inteligentes

Com a pandemia da covid-19 que teve início em 2020, todos os setores da economia foram afetados, resultando em medidas de distanciamento social, lockdown e interrupção de atividades não essenciais. Assim, a pandemia do coronavírus desacelerou o crescimento do mercado de redes inteligentes pois vários países ao redor do mundo foram forçados a implementar políticas e bloqueios rigorosos no ano de 2020 de acordo com cada nação.

Todas as atividades não essenciais ao ser humano foram interrompidas e isso afetou negativamente o mercado das redes inteligentes devido a suspensão dessas atividades não essenciais. Então, políticas públicas e investimentos nessa tecnologia devem ser retomados e consolidados para garantir a eficiência desse sistema.

3.2 Redes Elétricas Inteligentes

As Redes Elétricas Inteligentes (REI), surgem com uma forte tendência de modernização do sistema elétrico em vários países. Entretanto, os motivos que cada país leva para implementar e investir nessa solução tecnológica são diferentes. Reduções de emissões, melhoria da eficácia da rede e do atendimento à demanda são alguns dos motivos pelos quais países da Europa, Estados Unidos e Ásia Pacífico investem nessa tecnologia. A Figura 3.5 mostra detalhadamente os motivos específicos de cada uma dessas regiões de acordo com o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE).

Os investimentos nas redes elétricas inteligentes pelo mundo se dá de maneira diversificada de acordo as políticas e investimento de cada país. De acordo com o CGEE (2012), a china e os Estados Unidos são os países que mais investem até 2010 em projetos smart grids. O centro ainda afirma que nos próximos anos, alguns países espera que evoluam ainda mais na implantação desta tecnologia. Isso é representado por meio da Figura 3.6. O órgão enfatiza que a Índia e o Brasil ocuparão respectivamente a terceira e sexta posição no ranking de países que

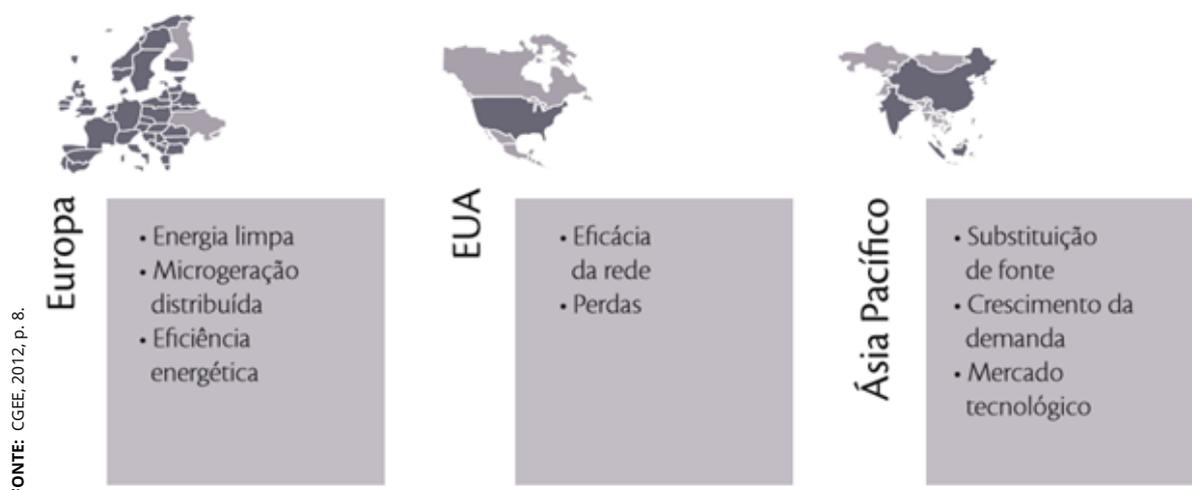


Figura 3.5 – Motivadores das REI por regiões no mundo

País	Investimentos federais (em 2010)	Estimativas de investimentos federais e privados (próximos anos)
Austrália	US\$ 360 milhões	US\$ 240 bilhões (até 2030)
China	US\$ 7,3 bilhões	US\$ 100 bilhões (2011 - 2016)
Coréia do Sul	US\$ 824 milhões	US\$ 24 a 30 bilhões (até 2030)
EUA	US\$ 7,09 bilhões	US\$ 1,5 trilhões (até 2030)
Índia	não disponível	US\$ 26,2 bilhões (2010 - 2015)
Japão	US\$ 849 milhões	US\$ 1,7 trilhões (até 2030)
União Europeia	US\$ 1, 76 bilhões	US\$ 1,88 trilhões (até 2030)

FONTE: CGEE 2012, p. 36.

Figura 3.6 – Investimento das REI de países no mundo

mais investem nas REI.

No Brasil, as REI visam a melhoria de qualidade do serviço de energia elétrica, a redução das perdas e eficiência energética. O investimento nessa nova tecnologia é implantada por concessionárias de energia por todo o país e coordenadas pela ANEEL. Entretanto, concentram-se em grande parte na região Sudeste que é a de maior produção e consumo de energia elétrica da nação de acordo com o CGEE (2012).

O conceito das REI pode ser entendido como um conjunto de tecnologias digitais e recursos computacionais e de comunicações avançadas com a finalidade de gerenciar e monitorar em tempo real a energia elétrica ao longo da estrutura até a



Figura 3.7 – O sistema de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica de forma bidirecional

geração, transporte e distribuição aos consumidores finais [CGEE \(2012\)](#). Essas informações são transmitidas de forma bidirecional entre o sistema de fornecimento de energia elétrica e o consumidor final possibilitando a integração e ações por todos os usuários conectados a esse sistema podendo garantir de forma eficiente energia econômica, segura e sustentável afirma o Centro.

A Figura 3.7 ilustra esse sistema de entrega de energia até os consumidores finais de acordo com a [Energy \(2021\)](#). Além da descentralização do sistema convencional de energia elétrica, essa tecnologia permite também o armazenamento de energia e a integração por meio do carregamento de veículos elétricos.

Dentre as principais características atribuídas as Redes Elétricas Inteligentes, podemos citar ([IEA, 2011](#)).

- 1) Autorrecuperação: capacidade em detectar, analisar, responder e restaurar falhas na rede de forma automática;
- 2) Participação proativa dos consumidores: habilidade de incluir e integrar os equipamentos e comportamento dos consumidores nos processos de planejamento e operação da rede;
- 3) Tolerância a ataques externos: capacidade de mitigar e resistir a ataques físicos e cyber-ataques;
- 4) Qualidade de energia: prover energia com a qualidade exigida pela sociedade digital;

- 5) Capacidade para acomodar uma grande variedade de fontes e demandas: capacidade de integrar de forma transparente (*plug and play*) uma variedade de fontes de energia de várias dimensões e tecnologias;
- 6) Menor impacto ambiental do sistema produtor de eletricidade, reduzindo perdas e utilizando fontes renováveis e de baixo impacto ambiental substituindo as fontes convencionais de geração de energia elétrica;
- 7) Resposta da demanda mediante a atuação remota em dispositivos dos consumidores por meio dos medidores inteligentes;
- 8) Viabilização e beneficiamento de mercados competitivos de energia, favorecendo o mercado varejista e a microgeração por meio das microrredes.

3.2.1 Microrredes

Visando a redução de poluentes, a descentralização do sistema unidirecional do fornecimento de energia elétrica e a redução de custos a longo prazo as microrredes vem se expandindo por meio da geração distribuída. As microrredes podem ser entendidas como redes autônomas em baixa ou média tensão, controláveis por meio da geração distribuída que permitem a geração própria e a capacidade de armazenamento de energia que podem operar tanto conectadas a rede elétrica (*on-grid*) ou desconectadas desse sistema (*off-grid*).

Essa tecnologia utiliza basicamente da geração por meio de microturbinas, painéis fotovoltaicos e células a combustíveis. São integradas ao sistema por meio da eletrônica de potência. As microrredes também garantem a melhoria na eficiência energética pois reduz as perdas no sistema de transmissão e distribuição convencional e possuem autonomia de energia, pois, podem operar mesmo na ausência do sistema elétrico de potência. Também é possível o armazenamento de energia e cargas por meio das baterias.

Os usuários que utilizam dessa tecnologia contribuem diretamente para a redução das perdas de energia elétrica. Devido a descentralização do sistema convencional por meio da autonomia de energia das microrredes, as concessionárias não terão preocupações com possíveis furtos na rede que ela opera, evitando assim, as perdas não técnicas. Também há redução nas perdas técnicas pois a energia distribuídas pelas concessionárias não chegam a esses locais de geração distri-

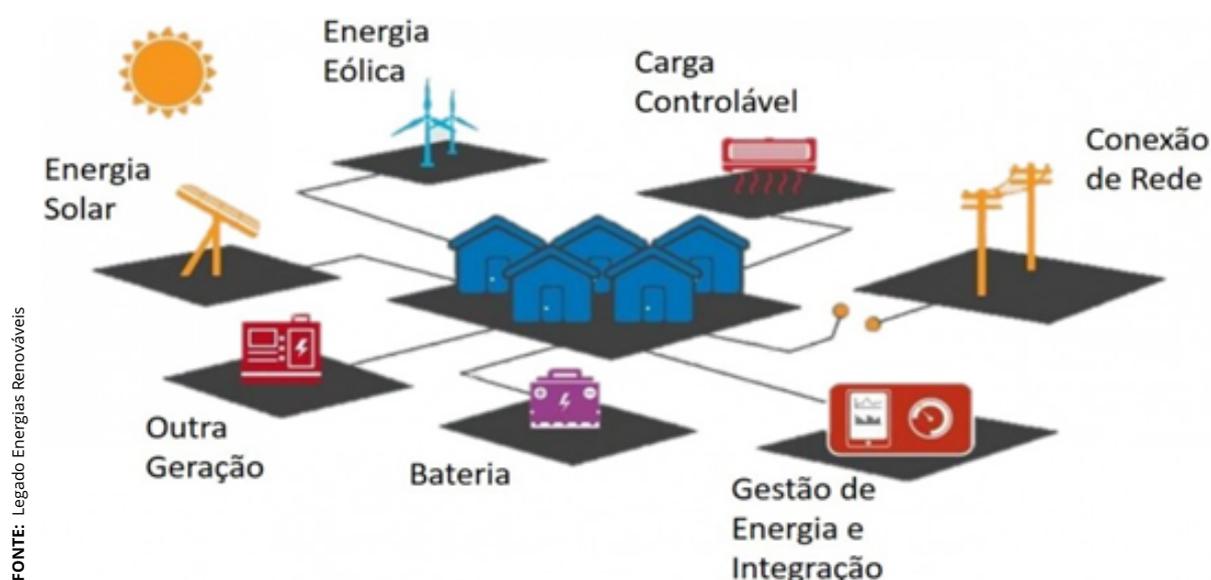


Figura 3.8 – Sistema por meio das Microrredes

buida evitando grandes distâncias percorridas pela energia elétrica até chegar ao consumidor. A Figura 3.8 detalha o funcionamento de um sistema de microrredes de acordo com Legado (2003).

Alguns dos desafios para a implantação desta tecnologia se dá pela alta confiabilidade no sistema de proteção que garanta a coordenação e seletividade em todas as condições de operações.

De acordo com o relatório da ANEEL (2022), os estados que mais obtiveram geração de energia elétrica por meio da Geração Distribuída foram os estados de São Paulo, seguido de Minas Gerais e Rio Grande do Sul respectivamente. Pela Tabela 3.4 vale destacar que as 5 primeiras unidades da federação que tiveram maior índice de Geração Distribuída concentram-se na região Sudeste e Sul do país, regiões que possuem as menores perdas de energia elétrica. Nas últimas posições concentram-se os estados do Norte, região com maior índice de perdas: Amazonas, Acre, Roraima e Amapá, respectivamente.

3.3 Medidores Inteligentes

A medição inteligente consiste em um dispositivo eletrônico com tecnologia de Infraestrutura de Medição Avançada (AMI) que possui um conjunto de redes de comunicação e sistema de gerenciamento de dados que permite a comunicação bidirecional entre clientes e concessionárias e em tempo real. Os medidores con-

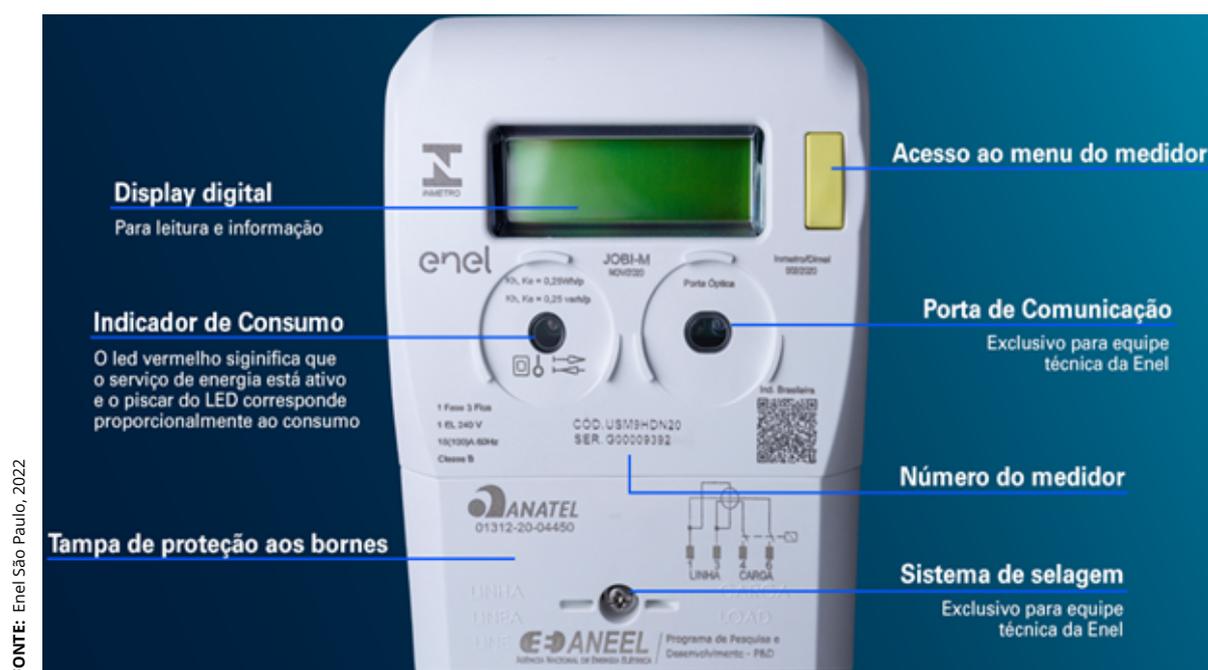


Figura 3.9 – Medidor Inteligente e suas funções

vencionais vem sendo substituídos pelos medidores inteligentes que utilizavam a tecnologia de Leitura Automatizada de Medidores (AMR).

A AMI pode reduzir significativamente os custos operacionais das distribuidoras podendo ler medidores remotamente conectando ou desconectando o serviço, detectar falhas em tempo real, identificar interrupções, gerar faturas mais precisas e fornecer as informações de consumo de maneira digital por meio dos medidores inteligentes. A Figura 3.9 detalha as funções dessa tecnologia com base na concessionária Enel São Paulo.

O medidor inteligente permite ao usuário final e de forma interativa e em tempo real, reduzir o consumo de energia elétrica durante o período em que há maior custo da geração CGEE (2012). Assim, o consumidor poderá deslocar a demanda para um período em que o preço da energia é mais baixo. Além disso, permitem que leituras, cortes e religamentos sejam feitos de forma remota. A seguir, é apresentado o equipamento da distribuidora pela Figura 3.10 CEMIG (2023).

No Brasil, além desses benefícios que a medição inteligente propõe, pode-se também suspender o fornecimento de energia elétrica nos casos de inadimplência, religação a distância e leitura remota. Uma das principais funções desse tipo de medição é a redução das perdas não técnicas CGEE (2012).

Pode-se definir as Redes Inteligentes como um conjunto de fatores e equipa-



Figura 3.10 – Medidor Inteligente

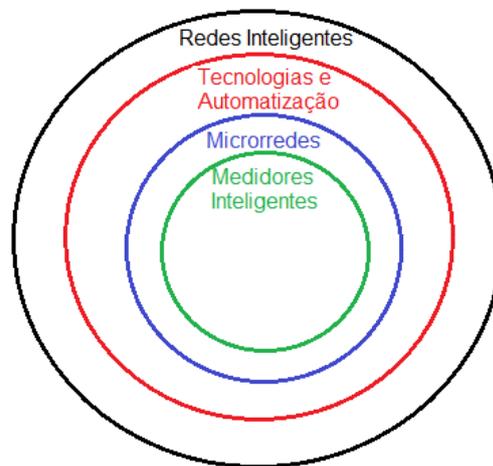


Figura 3.11 – Definição e fatores das redes inteligentes

mentos que podem garantir a melhoria do setor de energia elétrica. A Figura 3.11 ilustra essa definição e fatores. Pela imagem, percebe-se que as microrredes e os medidores inteligentes são as peças centrais das redes inteligentes, e que, atuando em conjunto, podem combater as perdas técnicas e não técnicas no sistema de distribuição, descentralizando o sistema unidirecional de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica no país.

Tabela 3.1 – Ranking das perdas não técnicas regulatórias por concessionária no Brasil (2020)

Ranking	Distribuidora	UF	Energia (GWh)	PNT Regula.
1º	Light	Rio de Janeiro	34.785	4.651
2º	Amazonas	Amazonas	11.334	2.721
3º	Celpe	Pará	12.782	1.939
4º	Enel SP	São Paulo	45.178	2.000
5º	Cemig do Sul	Minas Gerais	52.099	1.306
6º	Celpe	Pernambuco	17.331	1.047
7º	Enel RJ	Rio de Janeiro	14.471	1.304
8º	CPFL Paulista	São Paulo	35.237	862
9º	Coelba	Bahia	24.265	800
10º	CEEE	Rio Grande do Sul	9.471	351
11º	Enel CE	Ceará	14.246	565
12º	Energisa MT	Mato Grosso	11.674	402
13º	RGE Sul	Rio Grande do Sul	21.484	515
14º	CEA	Amapá	2.001	405
15º	EDP SP	São Paulo	16.444	487
16º	Ceron	Rondônia	4.603	487
17º	EDP ES	Espírito Santo	11.111	500
18º	Equat. Alagoas	Alagoas	5.045	519
19º	Copel	Paraná	32.753	686
20º	Cellesc	Santa Catarina	27.523	405
21º	CPFL Piratininga	São Paulo	15.359	272
22º	CEB	Distrito Federal	7.524	296
23º	Equat. Maranhão	Maranhão	8.165	466
24º	Elektro	São Paulo	19.270	414
25º	Equat. Piauí	Piauí	4.893	404
26º	Energisa MS	Mato Grosso do Sul	6.795	210
27º	Enel GO	Goiás	16.330	379
28º	Energisa PB	Paraíba	5.371	151
29º	Roraima	Roraima	1.266	166
30º	Energisa SE	Sergipe	3.255	86
31º	Cosern	Rio Grande do Norte	6.417	72
32º	Electroacre	Acre	1.350	140
Total			499.848	25.025

FONTE: (EPE, 2021) Adaptado de ANEEL, 2021

Tabela 3.2 – Ranking das perdas não técnicas reais por concessionária no Brasil (2020)

Ranking	Distribuidora	UF	Energia (GWh)	PNT Real
1º	Light	Rio de Janeiro	34.785	7.127
2º	Amazonas	Amazonas	11.334	4.257
3º	Celpe	Pará	12.782	2.443
4º	Enel SP	São Paulo	45.178	2.398
5º	Cemig do Sul	Minas Gerais	52.099	1.982
6º	Celpe	Pernambuco	17.331	1.899
7º	Enel RJ	Rio de Janeiro	14.471	1.871
8º	CPFL Paulista	São Paulo	35.237	1.574
9º	Coelba	Bahia	24.265	1.519
10º	CEEE	Rio Grande do Sul	9.471	1.105
11º	Enel CE	Ceará	14.246	977
12º	Energisa MT	Mato Grosso	11.674	846
13º	RGE Sul	Rio Grande do Sul	21.484	795
14º	CEA	Amapá	2.001	757
15º	EDP SP	São Paulo	16.444	750
16º	Ceron	Rondônia	4.603	723
17º	EDP ES	Espírito Santo	11.111	719
18º	Equat. Alagoas	Alagoas	5.045	667
19º	Copel	Paraná	32.753	658
20º	Cellesc	Santa Catarina	27.523	581
21º	CPFL Piratininga	São Paulo	15.359	568
22º	CEB	Distrito Federal	7.524	537
23º	Equat. Maranhão	Maranhão	8.165	536
24º	Elektro	São Paulo	19.270	524
25º	Equat. Piauí	Piauí	4.893	458
26º	Energisa MS	Mato Grosso do Sul	6.795	349
27º	Enel GO	Goiás	16.330	331
28º	Energisa PB	Paraíba	5.371	250
29º	Roraima	Roraima	1.266	171
30º	Energisa SE	Sergipe	3.255	154
31º	Cosern	Rio Grande do Norte	6.417	119
32º	Electroacre	Acre	1.350	115
Total			499.848	37.776

FONTE: (EPE, 2021) Adaptado de ANEEL, 2021

Tabela 3.3 – Ranking da energia injetada por unidades federativas no ano de 2020

Ranking	UF	Energia Injetada (GWh)	PNT Real (GWh)
1º	São Paulo	131.491	5.817
2º	Minas Gerais	52.099	1.982
3º	Rio de Janeiro	49.257	8.999
4º	Paraná	32.753	658
5º	Rio Grande do Sul	30.956	1.900
6º	Santa Catarina	27.523	581
7º	Bahia	24.265	1.519
8º	Pernambuco	17.331	1.899
9º	Goiás	16.330	331
10º	Ceará	14.246	977
11º	Pará	12.782	2.443
12º	Mato Grosso	11.674	846
13º	Amazonas	11.334	4.257
14º	Espirito Santo	11.111	719
15º	Maranhão	8.165	536
16º	Distrito Federal	7.524	537
17º	Mato Grosso do Sul	6.795	349
18º	Rio Grande do Norte	6.417	119
19º	Paraíba	5.371	250
20º	Alagoas	5.045	667
21º	Piauí	4.893	458
22º	Rondônia	4.603	723
23º	Sergipe	3.255	154
24º	Tocantins	2.854	63
25º	Amapá	2.001	757
26º	Acre	1.350	115
27º	Roraima	1.266	171
Total		502.703	37.840

FONTE: (EPE, 2021) Adaptado de ANEEL, 2021

Tabela 3.4 – Ranking dos estados com maior Geração Distribuída no país (2020)

Ranking	UF	Usinas Geradoras)	Potência Instalada (MWh)
1º	São Paulo	318.023	2.900
2º	Minas Gerais	243.769	2.813
3º	Rio Grande do Sul	247.777	2.212
4º	Paraná	166.135	2.035
5º	Santa Catarina	79.352	1.414
6º	Mato Grosso	87.331	1.251
7º	Bahia	24.265	919
8º	Mato Grosso do Sul	71.859	783
9º	Goiás	67.016	772
10º	Rio de Janeiro	87.991	769
11º	Ceará	62.448	701
12º	Pará	53.879	617
13º	Pernambuco	57.909	600
14º	Espirito Santo	37.180	463
15º	Maranhão	35.935	454
16º	Rio Grande do Norte	44.629	440
17º	Piauí	36.448	364
18º	Paraíba	24.020	303
19º	Tocantins	27.821	281
20º	Distrito Federal	15.605	270
21º	Rondônia	16.612	222
22º	Alagoas	19.021	206
23º	Sergipe	10.210	130
24º	Amazonas	7.125	112
25º	Acre	4.615	55
26º	Roraima	1.645	30
27º	Amapá	2.534	30
Total		1.928.704	21.156

FONTE: (EPE, 2021) Adaptado de ANEEL, 2021

Capítulo 4

Análise dos Resultados

No Brasil, as perdas sobre a energia injetada - técnicas e não técnicas (reais e regulatórias) possuem diferentes níveis em cada uma das regiões do país. Pela Figura 4.1, com base nos dados da ANEEL (2021), estão representados todos os tipos de perdas no ano de 2020 por regiões geográficas e percebe-se a disparidade que há entre as regiões Norte e Sudeste e Sul. As perdas não técnicas regulatórias são aquelas que a ANEEL estima para cada região geográfica, então, na região norte as perdas não técnicas foram estimadas pela Agência em 16,4% enquanto que na prática, a região teve perdas não técnicas em 23,9%.

Nessa mesma região em que é encontrada a de maior concentração de perdas de energia elétrica, com foco nas perdas não técnicas, as concessionárias que atuam nessa região possuem alto grau de complexidade socioeconômica de acordo com a Agência. Presume-se que quanto maior o índice, maior a complexidade socioeconômica da localidade. A Celpa no Pará (0,507), Amazonas Energia no Amazonas (0,364). Tem-se também a Companhia de Eletricidade do Amapá (CEA) no Amapá, que possui índice de complexidade de 0,457, pertencente ao grupo de demais distribuidoras da ANEEL. Já as concessionárias que atuam nas regiões Sudeste e Sul, as perdas são menores e seus índices de complexidade socioeconômica também são menores, como é o caso da Copel no Paraná (0,105), e a Celesc-D em Santa Catarina (0,077).

Nas perdas técnicas, as regiões que apresentam menores índices são o Sul e Sudeste, únicas regiões que estão abaixo da média nacional que é de 7,5% de acordo com a ANEEL. Analisando a Figura, 4.1, todos os estados da região Sul estão abaixo da média de perdas técnicas do país.

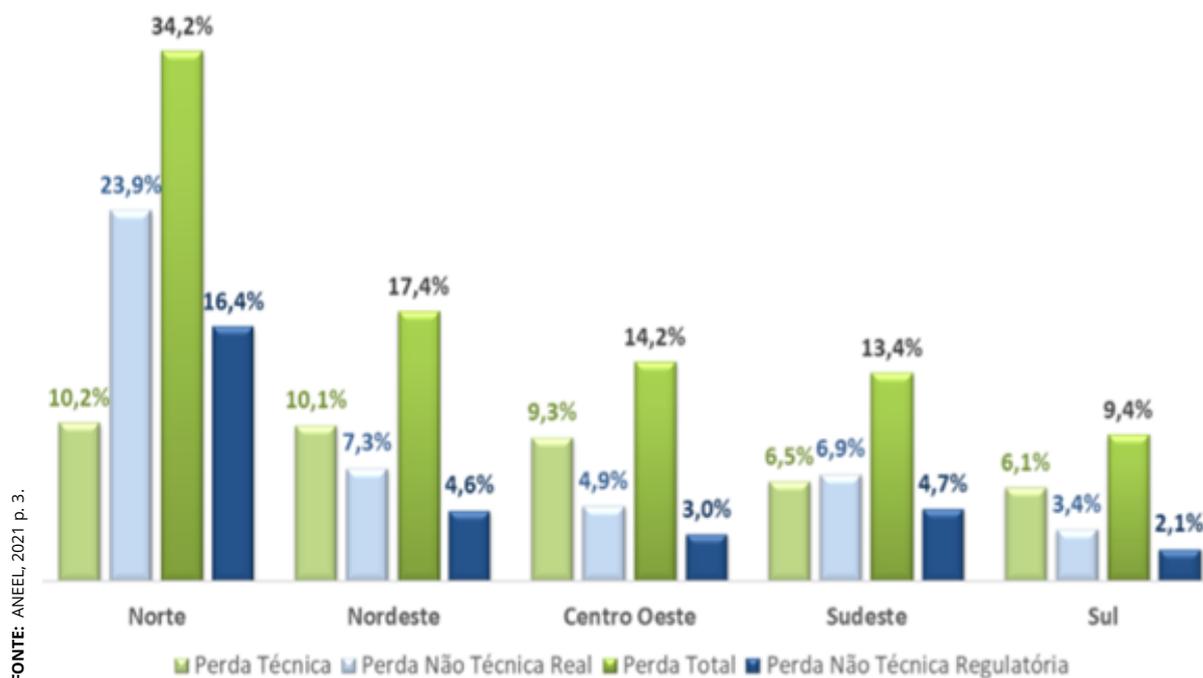


Figura 4.1 – Perdas sobre a energia injetada em 2020 por regiões geográficas no Brasil

As Figuras 4.2 e 4.3 a seguir mostram as perdas de energia elétrica por energia injetada de cada estado e as perdas sobre as perdas totais, respectivamente. A ordem da esquerda para direita é dos estados que maior produção de energia elétrica no país, sendo São Paulo o estado que mais produz energia elétrica e Roraima o que menos produz. Na Figura 4.2 os estados do Amazonas e Amapá, ambos na região Norte são os mais críticos em relação as PNT pela sua energia injetada. Pela Tabela 3.4, esses estados ocupam a 24ª e 27ª posição no ranking de estados com maior GD do país.

Os estados que representaram as maiores perdas em relação as perdas totais no ano de 2020 foram o Rio de Janeiro, São Paulo, Amazonas e Pará de acordo com a Figura 4.3. Convém ressaltar que os estados do Pará e Amazonas são o 11º e 13º estados de maior produção de eletricidade no país entretanto ocupam a 3ª e 4ª posição dos estados que mais sofrem déficit de energia. O estado de São Paulo por produzir energia elétrica em uma escala maior consequentemente terá uma quantidade considerável de perdas.

Para reduzir as perdas técnicas e não técnicas, os estados e regiões do Brasil investem em tecnologias para reduzir as perdas de energia elétrica. As regiões que mais investem são o Sudeste e Sul do Brasil. A Figura 4.4 mostra as regiões que mais produzem energia elétrica em Mega-Watt (MW) por meio da geração distribuída (microrredes). Vale ressaltar que a região Sul é a terceira mais populosa

FONTE: Adaptado de ANEEL, 2021



Figura 4.2 – Porcentagem das perdas não técnicas sobre energia injetada por estados

FONTE: Adaptado de ANEEL, 2021



Figura 4.3 – Porcentagem das perdas não técnicas sobre perdas totais

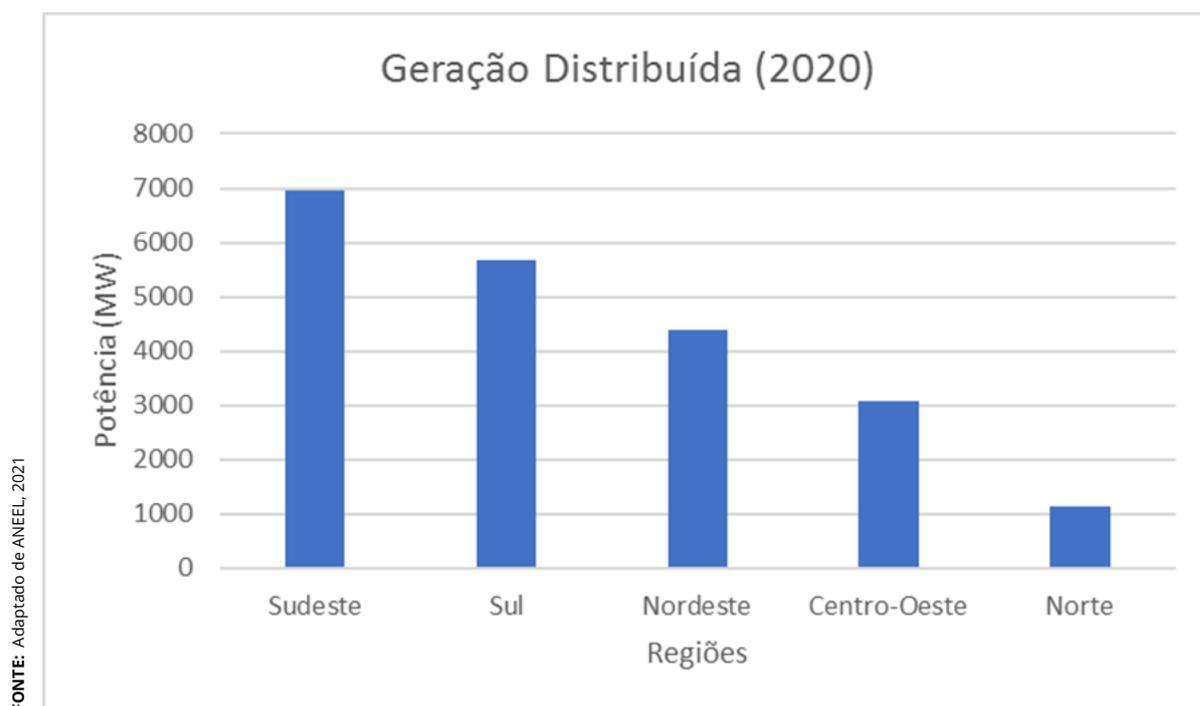


Figura 4.4 – Gráfico da potência instalada em MW por regiões geográficas

do Brasil, entretanto é a segunda região que mais investe em Geração Distribuída (GD).

Essa tecnologia reduz tanto as perdas técnicas quanto as perdas não técnicas, pois, no primeiro tipo de perda, que é causado pela geração, transmissão e distribuição de grandes concessionárias a eletricidade não chega até as localidades que implantam essa tecnologia e no segundo tipo de perdas, como o consumidor está produzindo sua própria energia, não será furtada da rede que já existe.

O estado do Paraná é o pioneiro nos projetos de Redes Elétricas Inteligentes com a implementação dos Medidores Inteligentes de acordo com a [ABRADEE \(2023\)](#). A implantação desta tecnologia iniciou em 2018 como projeto-piloto e atualmente já contam com mais de 200 mil medidores inteligentes instalados nas residências sem custo adicional ao consumidor. O investimento total será de R\$ 820 milhões de reais em três fases e beneficiará aproximadamente um total 4,5 milhões de paranaenses afirma a Associação.

A Companhia Paranaense de Energia ([COPEL](#)), distribuidora do estado, utiliza um modelo que já existe tanto nos Estados Unidos quanto no Japão [ABRADEE \(2023\)](#). A concessionária afirma que até o fim de 2023 serão no total 462 mil medidores inteligentes implantados beneficiando 1,5 milhões de paranaenses. As trocas dos medidores tradicionais para os inteligentes estão sendo realizadas por

regiões no estado. Além desses dados, o estado do Paraná é o quarto estado que mais investem em GD por meio das microrredes.

No estado do Amazonas a implantação dos medidores inteligentes se dá a passos lentos visto que uma lei criada no estado proíbe a instalação desse dispositivo. A lei ordinária 5981 de 19 de Julho de 2022 traz prejuízos a população do estado, pois, de acordo com a [ABRADEE \(2023\)](#), esses equipamentos contém tecnologias capaz de trazer mais eficiência na leitura e auxilia no combate às perdas de energia que são decorrentes de ilegalidades e irregularidades. A Amazonas energia afirma que essa suspensão favorece práticas ilegais como o furto de energia [G1 \(2023\)](#).

O estado enfrenta a resistência dos moradores na implantação desta tecnologia, alegando que aumentou-se a tarifa após a instalação dos medidores de acordo com reportagens do G1 Globo. Ainda segundo a reportagem, houve também protestos da população para impedir a instalação. Vale ressaltar que o consumidor não tem custos com a implantação desta tecnologia. Em contrapartida, a concessionária defendeu o novo sistema de medição enfatizando que os equipamentos são homologados e periciados e que não aumenta o consumo de energia elétrica, trazendo benefícios para quem paga a conta de energia regularmente afirma a rede de comunicação. A [ABRADEE \(2023\)](#) afirma que a ausência de medidores até o final de 2022, causaria prejuízo de R\$ 41,6 milhões de reais para o estado e união.

Além desses fatores, o estado do Amazonas é o maior em dimensões territoriais e possui localidades remotas de difícil acesso como comunidades indígenas, ribeirinhas, entre outras. Assim, dificulta a instalação de medidores em diversas localidades. A população pode sofrer resistência pela implantação dessa tecnologia devido ao não conhecimento dos benefícios que trazem ao consumidor.

No estado do Rio de Janeiro, maior responsável pelas perdas não técnicas do país, as principais causas deste problema são o drama social da região metropolitana. Segundo a [ABRADEE \(2023\)](#), as perdas de energia ultrapassam a marca de 80% em regiões de risco, dominadas pelo tráfico e pela milícia impossibilitando a atuação da concessionária Light. Já nas regiões em que é possível atuar a companhia tem índice de perdas de aproximadamente 14,88%, afirma o órgão. Vale ressaltar que o estado do Rio de Janeiro possui uma quantidade considerável de favelas. Organizações criminosas comandam a distribuição de energia por meio de ligações clandestinas e dificultam a realização de fiscalização por parte das concessionárias e em vez de pagar o consumo de energia desviada para as distribuidoras,

o consumidor paga para as milícias e e grupos organizados [EPBR \(2023\)](#). A Light fechou o ano de 2022 com um prejuízo de R\$ 5,67 bilhões [EPBR \(2023\)](#).

O grupo Neoenergia que gerencia as concessionárias da Bahia, Pernambuco, São Paulo, Rio Grande do Norte, Distrito Federal e Mato Grosso do Sul também investem em tecnologias de redes inteligentes, como é o caso do sistema AIR (Automação Inteligente de Redes) que tem a principal finalidade reduzir a abrangência e duração das quedas de energia. Esse sistema tem uma inteligência integrada a partir dos religadores nos postes e atua para que as falhas sejam resolvidas em poucos segundos sem a necessidade da intervenção humana ([NEOENERGIA, 2023](#)). Ainda segundo o grupo, investem também na tecnologia IoT (Internet das coisas) nos projetos de medição para comunicação de dados com os medidores inteligentes permitindo coletar informações mais detalhadas sobre o consumo de energia elétrica e os níveis de qualidade fornecidas a cada unidade consumidora e a acompanhar o consumo em tempo real. A Centrais Elétricas de Santa Catarina ([CELESC](#)), distribuidora do estado de Santa Catarina também investe na implantação dos medidores inteligentes. De acordo com o ([ENERGIA, 2013](#)), a distribuidora prevê a ativação de 270 mil unidades e um investimento em R\$ 116 milhões e que, além dos medidores antenas serão instaladas nos postes para possibilitar a comunicação dos medidores com a central Celesc.

Capítulo 5

Considerações Finais

A partir da análise dos resultados, pode-se afirmar que as redes elétricas inteligentes cumprem o seu principal propósito que é o de reduzir as perdas de energia elétrica do grande sistema de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica do país por meio da geração distribuída (microrredes). Os medidores inteligentes também contribuem diretamente para o combate as perdas não técnicas (furtos na rede e ilegalidades) como é o caso do Paraná da concessionária Copel, estado referência no combate as perdas. É de fundamental importância o gerenciamento e administração adequada da implantação dos medidores inteligentes pelas concessionárias de distribuição para que não haja conflitos e intercorrências na medição adequada que o equipamento propõe.

O investimento em outras áreas como a segurança, infraestrutura, educação, tecnologia e inovação também influenciam no combate as perdas de energia. Localidades remotas de difícil acesso são um grande obstáculo para implantação dos medidores inteligentes. O acesso a informação e conscientização da população sobre os benefícios que trazem ao consumidor final referente a implantação dos medidores inteligentes são de extrema importância.

O furto de energia elétrica além de ser crime, é um problema econômico, social e de segurança pública, visto que o consumidor final arca parcialmente com as perdas não técnicas decorrentes desta prática. Assim, esses fatores são essenciais em uma sociedade e o poder público deve investir em ações que resultem na melhoria de vida da população. Concessionárias de energia também devem investir junto ao poder público em ações para combater as perdas não técnicas e a garantir uma energia de qualidade e no preço justo.

5.1 Ameaças a validade do Trabalho

Este Trabalho de Conclusão de Curso apresentou dados referentes aos anos de 2020 e 2021 e foi apresentado no ano de 2024. Convém ressaltar que todas as informações e dados foram colhidos de órgãos oficiais reguladores do sistema elétrico brasileiro, portanto, sendo inalterados.

Pesquisas atuais sobre o conteúdo abordado como [Lins e Rodrigues \(2023\)](#) enfatizam a importância do investimento nas *smart grids* para combater as perdas não técnicas no sistema de distribuição de energia elétrica e a eficiência que esse sistema proporciona após ser implementada.

5.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

Para trabalhos futuros, verificar junto a diferentes distribuidoras de energia o valor investido das tecnologias implantadas para reduzir as perdas e melhoria na eficiência energética, o retorno financeiro dessas implementações, o custo-benefício encontrado e compará-las.

Verificar também a correlação entre perdas de energia versus tecnologias implantadas pelas concessionárias de distribuição, estados e países.

Sugere-se também um estudo aprofundado sobre as perdas na rede básica e perdas técnicas de energia e seus impactos a longo prazo nas tarifas de energia elétrica e possíveis soluções para diminuir essas tarifas.

REFERÊNCIAS

ABOBOREIRA, F. L.; CRUZ, A. F. dos S. A importância do smart grid na rede elétrica de distribuição no Brasil. *Revista Unifacs*, 2016. (Citado 2 vezes nas páginas 4 and 12.)

ABRADEE. *Site Oficial*. 2023. <<https://abradee.org.br/>> [Acessado em 13 de Abril de 2024]. (Citado 3 vezes nas páginas 2, 36, and 37.)

ALCANTARA, M. V. P. Capítulo vii microrredes inteligentes: um novo modelo de negócio para a distribuição de energia elétrica. 2017. (Citado na página 14.)

ANEEL. *Geração Distribuída 2020*. 2022. <https://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD_Estadual.asp> [Acessado em 13 de Abril de 2024]. (Citado 2 vezes nas páginas 21 and 26.)

ANEEL, A. N. de E. E. Perdas de energia elétrica na distribuição. 2021. (Citado 5 vezes nas páginas 13, 16, 19, 20, and 33.)

BEN, B. E. N. Relatório síntese 2022 ano base 2021. 2022. (Citado 5 vezes nas páginas 3, 5, 6, 10, and 12.)

BERNARDON, D. P. et al. Perdas técnicas e comerciais de energia elétrica em sistemas de distribuição. 2017. (Citado na página 16.)

BRITO, A. P. G.; OLIVEIRA, G. S. de; SILVA, B. A. da. A importância da pesquisa bibliográfica no desenvolvimento de pesquisas qualitativas na área de educação. 2021. (Citado na página 15.)

CEMIG. *O que são os medidores inteligentes?* 2023. <<https://www.cemig.com.br/atendimento/medidores-inteligentes/>>, Acessado em 27 de junho de 2023. (Citado na página 27.)

CGEE, C. de Gestão e E. E. Redes elétricas inteligentes: contexto nacional. 2012. (Citado 5 vezes nas páginas 14, 22, 23, 24, and 27.)

ENERGIA. *Celesc começa a ativar medidores inteligentes em Florianópolis*. 2013. <<https://energiahoje.editorabrasilenergia.com.br/celesc-comeca-a-ativar-medidores-inteligentes-em-florianopolis/>>, Acessado em 10 de de 2023. (Citado na página 38.)

ENERGY, E. P. e Ministério de Minas e E. Uso de novas tecnologias digitais para medição de consumo de energia e níveis de eficiência energética no Brasil. 2021. (Citado na página 24.)

EPBR. *Sistema elétrico está sendo derrotado pelo furto de energia, diz ex-diretor da ANEEL*. 2023. <<https://epbr.com.br/setor-eletrico-esta-sendo-derrotado-pelo-furto-de-energia-diz-ex-diretor-da-aneel/>>, Acessado em 01 de Maio 2024. (Citado na página 38.)

EPE. *Consumo mensal de energia elétrica por classe (regiões e subsistemas)*. 2021. <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/consumo-de-energia-eletrica>> [Acessado em 16 de Abril de 2024]. (Citado 6 vezes nas páginas 5, 6, 29, 30, 31, and 32.)

FALCAO, D. M.; FELLOW; IEEE. *Integração de tecnologias para viabilização da smart grid*. 2010. (Citado na página 13.)

FORTES, M. Z. et al. *Análise da adoção de medidores inteligentes como instrumento da política pública de eficiência energética*. *Revista ENGEVISTA*. ISSN 1415-7314, 2017. (Citado na página 14.)

G1. *Lei que proíbe instalação de medidores inteligentes entra em vigor no AM*. 2023. <<https://g1.globo.com/am/amazonas/noticia/2022/07/20/lei-que-proibe-instalacao-de-medidores-inteligentes-entra-em-vigor-no-am.ghml>>, Acessado em 15 de Abril de 2024. (Citado na página 37.)

IEA, I. E. A. *Redes elétricas inteligentes*. 2011. (Citado na página 24.)

LEGADO. *Você sabe o que é uma microrrede?* 2003. <<https://legadoenergias.com/publicacao/voce-sabe-o-que-e-uma-microrrede/>> [Acessado em 16 de Abril de 2024]. (Citado na página 26.)

LINS, F. H. F.; RODRIGUES, S. A. *Smart grids como alternativa para combate às perdas não técnicas na distribuição de energia elétrica*. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação- REASE*, 2023. (Citado na página 40.)

NEOENERGIA. *Neoenergia investe em internet das coisas para medidores inteligentes e plataforma de gestão*. 2023. <<https://www.neoenergia.com/pt-br/sala-de-imprensa/noticias/Paginas/internet-das-coisas-para-medidores-inteligentes-e-plataforma-de-gestao.aspx>>, Acessado em 10 de Abril de 2024. (Citado na página 38.)

PIOTROWSKI, L. J. et al. *Análise das perdas de energia no sistema elétrico de distribuição brasileiro*. 2020. (Citado na página 13.)

SOUZA, A. L. S. *Análise da aplicação de smart grids para otimização e gerenciamento de energia elétrica*. 2019. (Citado na página 13.)