



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

BRUNO XAVIER BARROS

**MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA: desafios para o provimento de energia elétrica
em debate**

Recife
2024

BRUNO XAVIER BARROS

MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA: desafios para o provimento de energia elétrica em debate

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador(a): Prof. Dr. Alexander Barros Lima

Recife
2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Barros, Bruno Xavier.

Matriz energética brasileira: desafios para o provimento de energia elétrica em debate / Bruno Xavier Barros. - Recife, 2024.

68p. : il.

Orientador(a): Alexander Barros Lima

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Elétrica - Bacharelado, 2024.

Inclui referências, anexos.

I. Matriz energética. 2. Matriz elétrica. 3. Sustentabilidade socioambiental. I. Lima, Alexander Barros. (Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)

BRUNO XAVIER BARROS

MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA: desafios para o provimento de energia elétrica em debate

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovado em: 07/10/2024

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Alexander Barros Lima (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Eng. M.Sc. Ericles Mauricio Barbosa (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. José Filho da Costa Castro (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me fornecer saúde e força para enfrentar esta jornada.

À minha família, em especial a minha mãe Aparecida e meu pai Gidelson e a minha namorada Gabi por acreditarem em mim durante esse tempo.

Aos meus colegas do curso, em especial o Davi Leão, que compartilharam comigo momentos difíceis, divertidos e de muito crescimento.

Ao meu orientador, professor Dr. Alexander Barros Lima, pelos ensinamentos e por me dar o auxílio necessário para que eu pudesse concluir este trabalho.

Ao professor Dr. Zaroni Dueire Lins e demais professores do curso pelas várias vivências que levo para a vida.

À banca de avaliação, Eng. M.Sc. Ericles Mauricio Barbosa e Prof. Dr. José Filho da Costa Castro, pelo tempo de dedicação à leitura e por todas as contribuições a este texto.

A todos que cooperaram de alguma maneira para a conclusão deste trabalho e do curso.

RESUMO

A oferta farta de energia, gerada principalmente por combustíveis provenientes de fósseis, contribuiu para o crescimento econômico e transformações da qualidade de vida global ao longo de todo o século XX. Todavia, a questão da energia, um dilema desde os primeiros anos deste século, tem impulsionado governos, organizações e especialistas a procura por opções capazes de impulsionar a ampliação das fontes de energia dos países e, desse modo, viabilizar um sistema capaz de atender as demandas da geração atual, sem exaurir os recursos para o futuro. Sendo assim, neste trabalho, buscou-se analisar a matriz energética brasileira, explicitando os desafios para assegurar o provimento de energia elétrica no país. Este trabalho consiste em uma pesquisa documental, de cunho descritivo e de natureza qualitativa, cujos objetos de estudo foram documentos produzidos e/ou disponibilizados pela Agência Nacional de Energia Elétrica, pela Empresa de Pesquisa Energética, pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico, entre outros entes. Mediante análise de conteúdo temática foram determinadas três categorias: matrizes energética e elétrica em níveis mundial e nacional; a oferta e o consumo de eletricidade no Brasil; e o fornecimento de eletricidade no país à luz de desafios socioeconômicos e ambientais. Os resultados atingidos apontam que um dos grandes desafios do Brasil é garantir a oferta de energia elétrica com valores menores para os consumidores e, principalmente, a incorporação de fontes energéticas mais sustentáveis para o ambiente.

Palavras-chave: matriz energética; matriz elétrica; sustentabilidade socioambiental.

ABSTRACT

The abundant supply of energy, generated mainly by fossil fuels, contributed to economic growth and changes in the global quality of life throughout the 20th century. However, the issue of energy, a dilemma since the early years of this century, has driven governments, organizations and experts to search for alternatives capable of boosting the diversification of countries' energy sources and thus enabling a system capable of meeting the demands of current generation without depleting resources for the future. Therefore, this work sought to analyze the Brazilian energy matrix, explaining the challenges to ensuring the supply of electricity in the country. This work consists of descriptive, qualitative documentary research, whose objects of study were documents produced and/or made available by the National Electric Energy Agency, the Energy Research Company, the National Electric System Operator, among other entities. Using thematic content analysis, three categories were established: energy and electricity matrices at global and national level; the supply and consumption of electricity in Brazil; and the supply of electricity in the country in the light of socio-economic and environmental challenges. The results show that one of Brazil's major challenges is to guarantee the supply of electricity at lower prices for consumers and, above all, the incorporation of more environmentally sustainable energy sources.

Keywords: energy matrix; electric matrix; socio-environmental sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Matriz Energética Mundial 2021	35
Figura 2 – Matriz Energética Brasileira 2022.....	35
Figura 3 – Consumo de energias renováveis e não renováveis no país e no mundo 2021.....	36
Figura 4 – Matriz elétrica mundial 2021.....	37
Figura 5 – Matriz elétrica brasileira 2022.....	37
Figura 6 – Comparação do emprego de fontes renováveis e não renováveis para gerar eletricidade no Brasil e no mundo 2021.	38
Figura 7 – Estrutura de governança do setor elétrico brasileiro.....	39
Figura 8 – Emissões relativas de CO ₂ do Brasil em comparação a outros países....	46
Figura 9 – Consumo de energia por classe - 2022.....	47
Figura 10 – Exemplo de perdas no setor elétrico	55
Figura 11 – Perdas sobre a Energia Injetada por região geográfica brasileira (2020)	56
Figura 12 – Presença das Perdas Não Técnicas Reais e Perdas Não Técnicas no Brasil (2020)	56

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Formas de energia.	18
Quadro 2 – Fontes documentais selecionadas.....	32
Quadro 3 – Subsídios pagos pelos brasileiros na conta de luz	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dez maiores distribuidoras em consumo de energia - 2022.	41
Tabela 2 – Dez maiores distribuidoras em número de consumidores - 2022.	42
Tabela 3 – Tamanho da rede de transmissão nacional.	43
Tabela 4 – Número de agentes de comercialização por tipo - 2013 e 2022.	44
Tabela 5 – Capacidade instalada por fonte (MW) 2024.....	45
Tabela 6 – Geração elétrica por fonte (GWh) - 2013 e 2022.....	45
Tabela 7 – Consumo por subsistema (GWh) - 2013 e 2022.....	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRACE	Associação Brasileira de Grandes Consumidores de Energia e Consumidores Livres
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CDE	Conta de Desenvolvimento Energético
CERAN	Companhia Energética Rio das Antas
CIGRE-Brasil	Comitê Nacional Brasileiro de Produção e Transmissão de Energia Elétrica
CMSE	Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FMI	Fundo Monetário Internacional
GEE	Gases de Efeito Estufa
IEA	<i>International Energy Agency</i> (Agência Internacional de Energia)
MAE	Mercado Atacadista de Energia Elétrica
MME	Ministério de Minas e Energia
MMGD	Micro e Mini Geração Distribuída
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PIB	Produto Interno Bruto
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica
SIN	Sistema Interligado Nacional

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVOS	14
1.1.1	Geral	14
1.1.2	Específicos	14
1.2	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	14
2	ENERGIA: PONTOS PRINCIPAIS.....	16
2.1	ENERGIA E SUA IMPORTÂNCIA	16
2.2	FORMAS DE ENERGIA	18
2.3	FONTES DE ENERGIA	20
2.3.1	Fontes de energia renováveis.....	20
2.3.2	Fontes de energia não renováveis.....	26
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	31
3.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	31
3.2	PROCEDIMENTOS DE COLETA DOS DADOS.....	31
3.3	PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS.....	33
4	O FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA EM DISCUSSÃO.....	34
4.1	MATRIZES ENERGÉTICA E ELÉTRICA: MUNDIAL E BRASILEIRA.....	34
4.2	A OFERTA E O CONSUMO DE ELETRICIDADE NO BRASIL.....	38
4.2.1	A oferta de energia elétrica.....	44
4.2.2	O consumo de energia elétrica.....	46
4.3	O FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA NO PAÍS À LUZ DE DESAFIOS SOCIOECONÔMICOS E AMBIENTAIS	48
4.3.1	Influências das chuvas na produção de energia elétrica.....	48
4.3.2	O impacto das despesas com eletricidade no orçamento dos consumidores residenciais.....	50
4.3.3	Perdas na rede básica e nas redes de distribuição de energia	54
4.3.4	Excesso na geração de eletricidade proveniente de fontes renováveis	57
5	CONCLUSÃO E PROPOSTA DE CONTINUIDADE	60
	REFERÊNCIAS	62

1 INTRODUÇÃO

Presente no funcionamento de inúmeros setores da sociedade, seja nas nossas casas, nas escolas, nos escritórios, nos hospitais, nas empresas e nas indústrias, a energia tornou-se progressivamente um recurso estratégico. Contudo, considerando as restrições e a quantidade limitada de alguns recursos naturais e energéticos, tanto os países industrializados quanto os países em desenvolvimento passaram a enfrentar um grande desafio: assegurar o provimento de energia elétrica sem que isso cause prejuízos ambientais (ANEEL, 2008; EPE, 2023a; 2023b; 2023c).

O problema envolvendo a questão energética tem impulsionado governos, organizações e especialistas em todo o mundo a buscar alternativas capazes de promover a ampliação das fontes de energia utilizadas pelos países e, desta forma, viabilizar um sistema que permita conciliar melhor as demandas da geração e consumo de energia atuais com as capacidades de suporte e exploração dos recursos naturais (ANEEL, 2008). Afinal, quando ocorre a interrupção do fornecimento de energia, os setores industrial e comercial ficam prejudicados, os sistemas de transporte não conseguem operar integralmente e as residências ficam desprovidas de iluminação, só para citar alguns exemplos (EPE, 2023a).

Diante de tais constatações, é possível notar que os recursos energéticos, independentemente de serem renováveis ou não, devem ser empregados de forma racional. Isso implica também compreender que apenas a substituição de um modelo fortemente baseado em combustíveis fósseis, como o carvão mineral, os produtos derivados do petróleo, como gasolina e óleo diesel, por exemplo, e o gás natural, por si só não é capaz de gerar uma redução significativa nos impactos ambientais (ANEEL, 2008). Esta pesquisa, portanto, se faz necessária porque contribui não só para disseminar informações sobre as condições do setor energético, especialmente o brasileiro, mas também para promover reflexões sobre os impactos que os processos de fornecimento e consumo de energia podem causar para a sociedade.

No Brasil, a forma como se gera energia é diferente do resto do mundo. Por aqui verifica-se que os recursos energéticos renováveis têm grande representatividade (EPE, 2023b; 2023c). No entanto, quando se observa a matriz elétrica brasileira, vê-se que necessita de maior variação, uma vez que a principal fonte de produção de energia é a hídrica (EPE, 2023a). Diante do exposto, evidencia-se o problema desta

pesquisa, qual seja: quais são os desafios para assegurar o provimento de energia elétrica no Brasil?

1.1 Objetivos

1.1.1 Geral

- Analisar a matriz energética brasileira, explicitando os desafios para assegurar o provimento de energia elétrica no país.

1.1.2 Específicos

- Descrever um panorama atual das matrizes energéticas e elétrica em níveis mundial e nacional;
- Apresentar dados e discussões referentes à oferta e ao consumo de eletricidade no Brasil;
- Debater sobre o provimento de energia elétrica no país à luz de desafios socioeconômicos e ambientais.

1.2 Organização do Trabalho

O trabalho é composto por cinco capítulos, nomeadamente:

Capítulo 1 – Introdução: neste capítulo foi esclarecido o contexto da investigação, sua motivação e justificativa, além da questão de pesquisa e objetivos.

Capítulo 2 – Fundamentação Teórica: inicialmente será descrito o conceito de energia e sua relevância. Na sequência, serão apresentadas distintas formas de energia disponíveis na natureza e, por fim, será abordado sobre as fontes de energia existentes e serão relacionados alguns problemas ambientais e sociais inerentes ao uso dos referidos recursos energéticos.

Capítulo 3 – Material e métodos: neste capítulo será apresentada a classificação da pesquisa e, em seguida, serão descritos os processos de obtenção de dados, análise e interpretação.

Capítulo 4 – Resultados e discussão: neste capítulo, primeiramente será descrito um panorama atual das matrizes energética e elétrica em níveis mundial e nacional. Em continuidade, serão trazidos dados e discussões referentes à oferta e consumo de energia elétrica no Brasil e, ao final, será debatido sobre o fornecimento de eletricidade no país à luz de desafios socioeconômicos e ambientais.

No quinto capítulo, serão elencadas as conclusões do trabalho e apresentadas algumas recomendações para estudos futuros.

2 ENERGIA: PONTOS PRINCIPAIS

Neste capítulo são trazidos os fundamentos teóricos da pesquisa: o conceito de energia e sua importância, as diversas formas de energia disponíveis na natureza, as fontes de energia existentes e alguns problemas ambientais e sociais relacionados ao uso dos recursos energéticos.

2.1 Energia e sua importância

O fogo é considerado a primeira forma de energia controlada pelos seres humanos. Com ele, os indivíduos puderam afugentar animais selvagens, preparar comidas e produzir ferramentas e utensílios. Os fluidos em movimento, como a água dos rios e o vento, também representam fontes de energia que podem ser utilizadas. Até hoje, as rodas d'água e os monjolos aproveitam a força das águas para moer grãos e podem ser encontrados no Brasil e em algumas partes do mundo. Os moinhos de vento, que tanto serviram para moer grãos, a exemplo do trigo, atualmente ainda são usados, sobretudo, a fim de impulsionar água para áreas elevadas. A utilização da energia dos animais domesticados contribuiu para o progresso da agricultura, facilitando o transporte de cargas pesadas e possibilitando deslocamentos mais rápidos de um lugar para outro (EPE, 2018a).

Frequentemente as pessoas se deparam ou utilizam no seu dia a dia variadas formas e tipos de fontes energéticas. Por exemplo, para fazer com que uma pipa permaneça no ar, elas necessitam da energia do vento; para que possam cozinhar seus alimentos em uma panela, elas precisam da energia existente no fogão: o fogão convencional usa GLP/gás liquefeito de petróleo ou gás natural como fonte de calor através das chamas, ao passo que o fogão de indução emprega energia elétrica para criar um campo eletromagnético que passa calor direto para o fundo das panelas (Negri; Niedzwieski, 2023); e, para que possam correr, as pessoas necessitam da energia dos alimentos que consomem durante as refeições (EPE, 2018a). Portanto, é uma tarefa complicada imaginar como seria a vida humana sem o conhecimento da energia e suas transformações (Dias; Dourado; Siqueira, 2023).

O estudo da energia tem suas origens na civilização grega antiga. No séc. IV a.C, Aristóteles em seu livro *Metafísica*, abordava o conceito de energia (“*energeia*”) como ato (no dicionário clássico grego significa força, algo que age, que modifica, que faz mover) (Ornellas, 2006). À medida que o tempo passou, o tema energia deu margem para inúmeras conotações, tornou-se um assunto comum na Física, Química, Biologia e em outras ciências congêneres. Existe uma vasta gama de aplicações para esse conceito. Por isso, dada a variedade, o campo de estudos sobre energia também é muito amplo, englobando desde a utilização dos recursos naturais até aspectos relacionados ao desempenho de tecnologias modernas (Viana *et al.*, 2012).

Moreira (1998) afirma que se fosse necessário mencionar um único conceito físico como fundamental para a Física, e para a Ciência em geral, este seria, com certeza, o conceito de energia. Porém, para este autor (1998), energia é um conceito que não está completamente definido. Todavia, uma definição prática como a de energia enquanto capacidade de produzir trabalho poderia auxiliar na aquisição desse conceito. Acerca do conceito de trabalho, o estudioso pontua que ele é usado para referir a processos de transferência de energia que não resultem de variações de temperatura. Moreira (1998) também entende que se o conceito de trabalho é determinado com base no conceito de energia, o significado de energia como capacidade de realizar trabalho não nos faz avançar muito, mas, como busca esclarecer, são conceitos bastante relacionados.

Corroborando a relevância da noção de energia, Çengel e Boles (2013) afirmam que a Termodinâmica pode ser entendida como a ciência da energia. O termo Termodinâmica, que teve origem nas palavras gregas *thérme* (calor) e *dýnamis* (força), nos tempos atuais, é amplamente utilizado para abarcar cada um dos aspectos da energia e suas transformações, entre os quais citam a produção de eletricidade, a refrigeração e as interações entre as propriedades da matéria. Ainda conforme estes autores (2013), a Termodinâmica é comumente encontrada em muitos sistemas de engenharia, mas também em outros aspectos da vida. Portanto, não é necessário ir muito além para constatar algumas áreas de sua aplicação. A título de exemplo, no contexto da engenharia elétrica, o estudo da Termodinâmica serve como base para o entendimento dos princípios das máquinas térmicas que são utilizadas nas centrais termelétricas ou nos sistemas de cogeração.

2.2 Formas de energia

De acordo com Moreira (1998), há três formas elementares de energia: a cinética, que está vinculada ao estado de movimento de um corpo; a potencial, que ocorre devido à interatividade entre corpos, ou seja, um corpo a produz e o outro a recebe; e a de massa, onde na equação $E = mc^2$ proposta por Einstein, a equiparação entre massa e energia foi estabelecida. Contudo, como o estudioso (1998) faz questão de ressaltar, esta classificação é bastante ampla e, em muitas situações, julga que é oportuno mencionar outras formas de energia. No Quadro 1, serão abordadas brevemente algumas delas.

Sob este entendimento, as formas de energia são tomadas como uma diferenciação das formas básicas e, independentemente da classificação adotada, o fundamental é que se entenda que a energia não pode ser criada ou eliminada, mas transformada em um outro tipo de energia (os processos conhecidos como conversão de energia, de modo espontâneo ou intencional). Por exemplo: em uma bateria, a energia química transforma-se em energia elétrica; e esta última, em um motor, transforma-se em energia mecânica (Moreira, 1998).

Quadro 1: Formas de energia.

Formas	Como ocorre	Usos/ aplicação
Energia nuclear	A energia nuclear, conhecida como energia atômica, pode ser gerada através da fissão do núcleo atômico do urânio. Durante o processo acontece a separação desse núcleo em duas partes, o que resulta na liberação de uma quantidade considerável de calor, que é responsável por aquecer a água que atravessa um reator. Graças ao aquecimento da água, simultaneamente, é gerado vapor. Esse vapor consegue fazer a turbina girar, e essa turbina, por sua vez, faz o gerador funcionar.	Essa energia é principalmente usada para gerar eletricidade através de usinas nucleares.
Energia térmica	Às vezes erroneamente chamada de calor, a energia térmica pode se manifestar essencialmente de duas maneiras: radiação térmica e energia interna. Por exemplo, na radiação térmica, essa energia não depende de nenhum meio material para se propagar, pois se trata de uma radiação	A energia térmica pode ser captada do sol para o aquecimento da água do banho ou para outras finalidades. Utiliza-se também a energia térmica para aquecer uma panela com comida no fogão. Nesse caso, a panela conduz o

Formas	Como ocorre	Usos/ aplicação
	eletromagnética. Já a energia interna está relacionada à agitação térmica das partículas de um material e pode ser medida por sua temperatura. Nesse caso, à medida que a temperatura se eleva, a quantidade de energia interna contida no material também aumenta.	calor para a refeição. As usinas termelétricas (ou termoelétricas), por seu turno, convertem energia térmica em energia elétrica ao queimar biomassa ou combustíveis fósseis como petróleo, gás natural e carvão mineral.
Energia mecânica	Existem duas maneiras de manifestação da energia mecânica: potencial e cinética. A energia potencial está ligada a forças estáticas. Um exemplo disso é a energia acumulada em molas ou gases comprimidos, ou até mesmo a energia gravitacional, que varia de acordo com a posição da massa no campo. Por outro lado, a energia cinética está relacionada à inércia de massas em movimento e pode ser entendida em termos de velocidades lineares.	Tudo aquilo que está elevado em relação ao chão tem energia potencial. Por exemplo, quando alguém segura um objeto, a energia deste objeto está relacionada à altura dele em relação ao solo. A energia cinética manifesta-se quando algo se encontra em movimento. Por exemplo, um átomo, uma molécula, os animais, os seres humanos etc., quando em movimento, possuem esta forma de energia.
Energia química	Das ligações químicas entre os átomos ou da quebra dessas ligações surge a energia química. Praticamente tudo que nos rodeia é formado por ligações químicas.	Durante os processos de combustão realizados em motores, fornos e caldeiras, a energia presente em substâncias combustíveis como gasolina, álcool e lenha se converte em energia térmica, manifestando-se na forma de gases que se encontram sob elevadas temperaturas. Quando os processos ocorrem em baterias e pilhas elétricas também se observam interações entre energia química e eletricidade.
Energia elétrica	A eletricidade é comumente associada ao movimento de cargas elétricas em um campo de potencial elétrico. Porém, pode ser percebida também nas cargas estacionárias, encontradas em capacitores elétricos ou em nuvens carregadas eletricamente.	Trata-se de uma das formas mais versáteis e práticas de energia, empregada para os mais variados fins: iluminação, uso em eletrodomésticos, acionamento industrial etc.

Fonte: Elaboração própria (2024) com informações de EPE (2018b), Ferraz Jr. (2021); Moreira, Grimoni e Rocha (2021) e Viana *et al.* (2012).

2.3 Fontes de energia

Existem duas categorias principais nas quais as fontes de energia podem ser classificadas: renováveis e não renováveis. As fontes de energia renováveis são classificadas como inesgotáveis, uma vez que suas quantidades se regeneram continuamente durante o uso. Em contraste, as fontes não renováveis são caracterizadas por sua finitude ou natureza esgotável (EPE, 2018c).

2.3.1 Fontes de energia renováveis

Como o próprio nome indica, as fontes de energia renováveis possuem origem a partir de recursos energéticos da natureza que se renovam continuamente quando são utilizados. São chamadas de energias limpas e sustentáveis, pois são produzidas sem gerar poluentes e com um impacto reduzido no meio ambiente. São exemplos dessas fontes: energia hídrica (gerada a partir da água dos rios), energia solar (obtida do sol), energia eólica (provinda do vento), biomassa (derivada de matéria orgânica de procedência animal ou vegetal), energia geotérmica (advinda do interior da Terra) e energia oceânica (originária das marés e das ondas) (EPE, 2018c).

A energia hidráulica vem do aproveitamento do fluxo da água dos rios. O sistema de geração hidrelétrico é formado essencialmente por uma barragem, um conjunto de tubulações para capturar e transportar a água, uma casa de máquinas e um vertedouro, que operam em conjunto e de forma integrada. A função da barragem é desviar ou bloquear o curso natural do rio, permitindo a formação do reservatório. Existem dois tipos de reservatórios: os de acumulação e os de fio d'água. Os primeiros, geralmente localizados nas nascentes dos rios, em locais com grandes quedas d'água, não só armazenam água, mas também criam o desnível necessário para a produção da energia hidráulica, bem como permitem a captação da água em quantidade adequada e a regularização do fluxo dos rios durante períodos chuvosos ou de estiagem (ANEEL, 2008).

Os reservatórios chamados a fio d'água (localizados próximos à superfície) utilizam turbinas que geram energia com o fluxo da água do rio. Com isso, eles reduzem as áreas de alagamento, mas não permitem guardar a água no período

chuvoso para posterior utilização durante o período de estiagem. Além disso, também não podem contribuir para o suprimento das áreas urbanas, para a irrigação das lavouras, e assim por diante (EPE, 2018c).

Os sistemas de captação e adução, por sua vez, consistem em túneis, canais ou tubos de metal que levam a água até a usina geradora. Nesse ponto, localizam-se as turbinas, compostas por um conjunto de pás presas a um eixo conectado a geradores elétricos individuais ou múltiplos. Enquanto estão em operação, as turbinas convertem a energia cinética da água em energia elétrica utilizando os geradores. Depois, a água é redirecionada para o rio através de um canal de fuga (ANEEL, 2008).

Por fim, tem-se o vertedouro, cuja função é permitir que a água seja liberada de forma controlada quando o nível do reservatório fica acima dos limites ideais para gerar energia, uma situação que pode ser ocasionada pela elevada vazão hídrica ou pelas chuvas intensas. Especialmente durante os períodos chuvosos, a operação dos vertedouros objetiva prevenir o transbordamento da barragem e evitar possíveis inundações nas áreas adjacentes à usina (ANEEL, 2008).

Em contrapartida, devido à flutuação dessa fonte ao longo do ano, ou seja, sua dependência da quantidade de chuva nas cabeceiras dos rios para garantir o abastecimento adequado das turbinas, o uso de termelétricas se faz necessário durante períodos de escassez de precipitação. As usinas termelétricas utilizam combustíveis fósseis, os quais apresentam altos custos e contribuem para a emissão de mais gases do efeito estufa (GEE) (EPE, 2018d).

O fenômeno do efeito estufa é uma ocorrência natural da atmosfera que desempenha um papel crucial no equilíbrio climático do nosso planeta. Caso os gases responsáveis por esse efeito não estivessem presentes, a temperatura na Terra seria significativamente mais baixa, uma vez que tais substâncias retêm o calor na atmosfera, fator essencial para a manutenção da vida em nosso planeta. Todavia, um problema que se apresenta é a emissão acelerada de gases de efeito estufa, o que tem gerado desequilíbrios significativos e contribuído para um aquecimento intenso da superfície terrestre em um curto período de tempo (EPE, 2018d).

Além disso, entende-se que se deve considerar que a edificação de uma usina hidrelétrica pode gerar impactos ambientais e sociais significativos, que precisam ser previstos e mitigados (EPE, 2018c). Entre os efeitos ambientais provocados pela

inundação de grandes áreas para a construção de represas estão os seguintes: o impacto da devastação da vegetação, a redução dos habitats naturais, as modificações no ciclo da água dos rios e a diminuição ou desaparecimento de espécies aquáticas. Como exemplo dos impactos sociais, em muitos casos pode ser observado o deslocamento da população local, algo que traz impactos culturais, sociais e econômicos de grande magnitude para tais comunidades (Cortez, 2023; Granziera; Rei, 2015).

A energia solar representa mais uma fonte renovável de energia, podendo ser utilizada tanto na forma de calor quanto de luz (EPE, 2018c). Para aproveitamento do calor, tanto em residências quanto em locais com maior demanda, pode ser utilizado um sistema simples de aquecimento de água que consiste em painéis solares coletores e um tanque de armazenamento térmico para a água. Nesse sistema, os raios do sol são captados por placas coletoras que aquecem a água que percorre suas tubulações internas. A água aquecida fica armazenada no reservatório para consumo posterior em chuveiros, torneiras e piscinas, por exemplo.

Em relação à geração de energia elétrica, existem dois sistemas: o heliotérmico e o fotovoltaico. Nas usinas solares, também chamadas de usinas heliotérmicas, emprega-se a energia solar concentrada. Nesse processo, vários espelhos são utilizados para direcionar a radiação solar para um ponto específico, aquecendo a água responsável por gerar vapor. Esse vapor move as turbinas, produzindo assim a eletricidade (EPE, 2018c). Já no sistema fotovoltaico, os raios de energia solar, tanto aqueles diretos como os difusos, são transformados em energia elétrica com o auxílio de células ou painéis fotovoltaicos (Mauad; Ferreira; Trindade, 2017).

Conforme os autores anteriormente mencionados (2017), as células fotovoltaicas são regidas pelo princípio básico da conversão de energia luminosa em energia elétrica. Um sistema fotovoltaico é composto por quatro elementos principais: placas fotovoltaicas, bateria, controlador de carga e descarga das baterias e, dependendo da aplicação do sistema, faz-se uso de um inversor de tensões (contínua – CC – para alternada – CA). Diferentemente das hidrelétricas, que geram energia de maneira ininterrupta, a energia solar fotovoltaica funciona exclusivamente durante o período diurno. No período da noite, o fornecimento é feito por intermédio de um conjunto de baterias ou por meio de conexão à rede elétrica de distribuição (Onody, 2022).

A instalação dos painéis fotovoltaicos é recomendada em regiões desprovidas de vegetação, ou seja, áreas previamente desmatadas, contribuindo para a redução da degradação ambiental. Adicionalmente, tais painéis podem ser acomodados em coberturas de residências, centros comerciais e estacionamentos. No contexto brasileiro, essa prática é referida como geração distribuída ou microgeração (EPE, 2018c). Os sistemas de microgeração são responsáveis por suprir a demanda de energia do local onde foi instalado. Caso a energia gerada não seja suficiente, o consumidor pode contar com a distribuidora local para complementar sua demanda. Além disso, se houver excedente de energia, este pode ser posteriormente utilizado para compensar o consumo ou contabilizado como crédito (ANEEL, 2023).

A eletricidade de origem fotovoltaica é considerada como uma ótima opção para geração de energia, já que pode substituir alguns sistemas como, por exemplo, aqueles que fazem uso do diesel para mover geradores, reduzindo dessa maneira problemas ambientais como ruídos e poluição (Mauad; Ferreira; Trindade, 2017). É fundamental destacar que os gastos para instalar sistemas de energia solar ainda são altos (Osorio, 2023). A falta de incentivos governamentais para que esses valores sejam reduzidos, principalmente no segmento residencial, tem sido apontada (Silva, 2015).

Por fim, embora esta seja uma fonte de energia limpa, é praticamente impossível eliminar totalmente os impactos ambientais. Estudos (Inatomi; Udaeta, 2005; Granziera; Rei, 2015) apontam, entre outras coisas, riscos associados aos materiais utilizados na fabricação dos componentes de seu sistema. Na tecnologia dos painéis solares, a incidência de radiação solar gera interações com um material semicondutor, comumente o silício, cuja extração é altamente impactante. Já as baterias, que são indispensáveis à captação da energia, geram riscos de contaminação por chumbo e outros metais tóxicos. Isso também implica na necessidade de os insumos serem dispostos e reciclados corretamente, em razão dos potenciais danos que podem causar.

A energia eólica, por seu turno, é àquela proveniente da energia cinética resultante do movimento das massas de ar causado pelas variações de temperatura presentes na superfície terrestre (ANEEL, 2008). Para converter a energia proveniente dos ventos em energia elétrica são usados aerogeradores, dispositivos cuja aparência lembra a dos antigos moinhos. O processo de geração eólica ocorre quando o vento

interage com as imensas pás que se deslocam conforme a velocidade do vento na região. Por meio de sua rotação, essas pás são responsáveis pela geração de energia mecânica que impulsiona o rotor do aerogerador, encarregado pela produção de eletricidade (EPE, 2018c).

A produção baixa ou intermitente de energia é um desafio (Barbosa, 2014), uma vez que esta fonte só pode ser aproveitada nas ocasiões em que há vento suficiente (EPE, 2018c). Para analisar essas condições, isto é, a capacidade de produzir energia a partir do vento em uma região específica, é necessário realizar estudos detalhados para coletar e analisar informações sobre a velocidade e o padrão dos ventos. Os geradores de energia eólica isolados ou parques eólicos (agrupamentos de aerogeradores) podem ser instalados em terra firme (usinas *onshore*) ou no mar (usinas *offshore*) (ANEEL, 2008).

A energia eólica se vale de uma fonte energética renovável que não causa poluição atmosférica enquanto está em operação (Inatomi; Udaeta, 2005), mas, assim como acontece com outras formas de energia, pode gerar impactos ambientais desfavoráveis. Dentre aqueles relacionados a usinas *onshore*, podemos considerar os impactos sobre a fauna, notadamente a morte de aves e morcegos, devido a colisões com as turbinas eólicas. Os principais impactos ecológicos potenciais relacionados a usinas *offshore* incluem: modificações mais indiretas do *habitat* e do ecossistema, que também são observados nas usinas eólicas *onshore*, além das consequências para os recursos bentônicos, isto é, aqueles seres que habitam o leito marinho, para a pesca e a vida marinha em geral (Mauad; Ferreira; Trindade, 2017).

Com relação aos impactos sociais gerados pela produção de energia eólica nas usinas *onshore*, sobressaem-se os de origem sonora e os visuais. Os primeiros são decorrentes do barulho das hélices e variam de acordo com os equipamentos empregados. Neste sentido, para evitar inconvenientes à comunidade vizinha, o nível de poluição sonora emitido pelas turbinas deve atender à legislação vigente, esclarecem os autores supracitados (2017). Por sua vez, o agrupamento de torres e aerogeradores gera os impactos visuais, especialmente em fazendas eólicas com muitas turbinas. Além disso, devido à magnitude de suas estruturas, elas também produzem sombras que podem comprometer a utilização do espaço no seu entorno (Inatomi; Udaeta, 2005; Granziera; Rei, 2015).

Das fontes renováveis para produção de energia, a biomassa destaca-se como uma das opções mais benéficas para o ecossistema. O termo biomassa é amplo e se refere, de forma generalizada, a diferentes materiais orgânicos que de algum modo podem ser usados para gerar energia (Mauad; Ferreira; Trindade, 2017). De forma simplificada, a obtenção de energia através de biomassa pode ser explicada como a conversão de uma matéria-prima orgânica em um elemento intermediário que será empregado em uma máquina específica. Essa máquina, por conseguinte, gerará a energia mecânica necessária para acionar o gerador de eletricidade (ANEEL, 2008). No Brasil, a cana-de-açúcar é a biomassa mais comumente usada para produzir eletricidade (EPE, 2018c).

A energia proveniente do calor do núcleo quente da Terra é conhecida como energia geotérmica. Essa fonte de energia pode ser utilizada de forma direta, para aquecimento, ou indireta, na produção de eletricidade (Onody, 2022). Sabe-se que circundando o núcleo terrestre existe uma camada conhecida como manto. Ela é formada por rocha fundida (magma), que ao atingir à superfície e fluir continuamente como um líquido, passará a ser chamada de lava (Greshko, 2018), e a última camada, mais externa, que é a crosta terrestre, onde vivemos. A espessura da crosta é variável e fraturada em vários pedaços (fissuras), nomeadas de placas tectônicas. Quando o magma emerge para a superfície, ficando próximo dos limites dessas placas, as rochas que retêm o calor do magma também se mantêm em elevada temperatura, aquecendo as águas subterrâneas que, de tempos em tempos, são expelidas para a atmosfera (EPE, 2018c).

Para instalar uma usina elétrica que utilize a energia geotérmica, é necessário escavar poços profundos, que podem ultrapassar um quilômetro de profundidade. Neles, busca-se por vapor com temperatura acima de 235°C ou água quente entre 120°C e 180°C (que pode ser encontrada em estado líquido devido à alta pressão nos poços de onde ela é extraída) (Onody, 2022). Ainda conforme este autor, nas usinas geotérmicas, ao contrário das usinas convencionais que procuram por reservatórios de líquidos aquecidos, o foco está nas rochas quentes, que não absorvem água e estão secas. Para isso, é feita a perfuração de um poço com o objetivo de permitir que o vapor extremamente quente jorre por outro poço ao lado, que foi perfurado de forma paralela. Ao evaporar, esse fluido passa a movimentar as turbinas da usina. Como o calor geotérmico no subsolo do Brasil não é suficiente, o país não possui nenhuma

usina geotérmica. Portanto, a energia geotérmica disponível é principalmente aproveitada para atividades de lazer e turismo, como os banhos termais.

Por fim, outra forma de energia renovável é a energia oceânica, que é gerada a partir das ondas, marés e correntes marinhas. Essa energia transforma a energia mecânica dos oceanos em eletricidade, de forma semelhante ao funcionamento de uma usina eólica. O movimento das correntes marinhas faz girar uma turbina, convertendo energia cinética em eletricidade (EPE, 2018c). Como aproveitamento dessa fonte ainda está em desenvolvimento, existem poucas usinas conhecidas como usinas *undi-elétricas* em funcionamento globalmente. Apenas uma usina *undi-elétrica* está em operação no Brasil, localizada no estado do Ceará (Onody, 2022).

2.3.2 Fontes de energia não renováveis

As fontes de energia não renováveis são limitadas ou podem se esgotar (EPE, 2018c). Exemplos dessas fontes incluem o urânio, um mineral que é comum na natureza, além do petróleo, gás natural e carvão mineral, que são tipos de combustíveis fósseis. Embora ainda muito demandados para consumo no cenário mundial, alguns desses combustíveis contribuem significativamente para a liberação de gases que provocam o aumento gradual da temperatura média da Terra (ANEEL, 2008).

O petróleo é um tipo de óleo inflamável, originado da decomposição ao longo de milhões de anos de plantas, animais marinhos e vegetação comum em áreas alagadas, junto com pedaços de rochas (ANEEL, 2008). Assim como o gás natural, ele pode ser localizado em áreas conhecidas como bacias sedimentares, que são regiões abaixo da superfície terrestre que, por apresentarem menor altitude e serem mais planas que o entorno, possibilitaram a acumulação da mencionada matéria orgânica e sedimentos (EPE, 2018c).

Devido à sua localização em camadas submersas e terrestres profundas, a extração de petróleo é um procedimento complicado. Sua cadeia produtiva compreende quatro fases essenciais: exploração, perfuração, extração e processamento. Nas unidades de refino, o petróleo passa por um processo de aquecimento para separar seus componentes e obter produtos derivados. Alguns dos

mais populares incluem gasolina, diesel, gás liquefeito de petróleo (GLP), parafina e produtos asfálticos (ANEEL, 2008). No Brasil, a extração de petróleo tem sido concentrada principalmente na costa do Sudeste. O óleo proveniente do Pré-sal, localizado em profundidades consideráveis e sob camadas de sal presentes no subsolo marítimo, também está situado nessa mesma região (EPE, 2018c).

Os derivados do petróleo são amplamente utilizados no ramo dos transportes e também têm um papel importante na produção de energia elétrica em diversos países. Essa energia é gerada por meio da queima de alguns desses derivados em turbinas, caldeiras e motores a combustão interna (ANEEL, 2008). A utilização de combustíveis fósseis para a obtenção de energia é responsável por 80% das emissões de dióxido de carbono (CO_2), gás metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O), que são os principais gases causadores do efeito estufa (Almeida, 2023). Ademais, ao longo da cadeia produtiva do petróleo pode haver impactos ambientais como, por exemplo, o vazamento de óleo durante a extração ou transporte (EPE, 2018c).

O gás natural, por sua parte, é formado por hidrocarbonetos que ficam no estado gasoso em condições atmosféricas comuns (ANP, 2020). Esse recurso natural pode ser transformado em produtos semelhantes aos derivados do petróleo, porém com menor impacto no meio ambiente (ANEEL, 2008). Ainda segundo este documento, a característica principal do gás natural é sua versatilidade, visto que ele pode ser usado tanto para gerar energia elétrica quanto nos motores a combustão usados no setor de transportes, além de poder ser empregado na produção de chamas como alternativa ao GLP, calor e vapor. Notadamente, como destaca o documento, ele pode ser utilizado em todos os setores da economia, como indústrias, comércio e prestação de serviços, assim como em casas.

Usinas que usam gás natural para gerar energia elétrica podem operar de duas formas: uma delas é focada exclusivamente na produção de eletricidade e a outra é chamada de cogeração, que também aproveita calor e vapor para processos industriais. O processo inicial em termelétricas envolve a mistura de ar comprimido com gás natural com o objetivo de se obter a combustão. Como resultado tem-se a emissão de gases em alta temperatura. Esses gases são responsáveis por fazer as turbinas se moverem e gerarem eletricidade. A energia térmica, portanto, transforma-se em energia mecânica e, em seguida, em energia elétrica (ANEEL, 2008).

A cogeração, por seu turno, pode ser feita com qualquer tipo de combustível usado em usinas termelétricas, como óleos, biomassa, carvão e gás natural. Nesse processo, entretanto, acontece a diminuição da quantidade de gases liberados no ar. É possível gerar eletricidade, calor e vapor ao mesmo tempo. No caso do gás natural, a produção ocorre a partir do calor produzido durante a geração de eletricidade por usinas de ciclo simples (a mais comum) que, se não for aproveitado, é liberado na atmosfera. O calor recuperado antes da liberação dos gases é então usado para gerar vapor, ar quente ou refrigeração (ANEEL, 2008).

Dando continuidade, o carvão é outro recurso não renovável. Existem dois tipos principais de carvão na natureza: o vegetal e o mineral. O carvão vegetal é produzido quando a lenha passa pelo processo de carbonização (ANEEL, 2008). O carvão mineral é formado através da incarbonização, um processo natural em que plantas que habitaram áreas úmidas passaram por um processo natural e se transformaram em formações rochosas com grande capacidade energética (Ferraz Jr.,2022a). É fundamental destacar que enquanto o carvão vegetal apresenta poder calorífico baixo e presença de impurezas elevada, o carvão mineral tem poder calorífico e incidência de impurezas variáveis (ANEEL, 2008).

O uso mais comum do carvão mineral em todo o mundo é para produzir energia elétrica nas usinas termelétricas. Em seguida, vem a aplicação industrial para gerar calor (energia térmica), importante em procedimentos como secagem de produtos, produção de cerâmicas e vidros. E, como consequência dessa atividade, surge a cogeração, que consiste em utilizar o vapor gerado no processo industrial para produzir eletricidade (ANEEL, 2008).

Acerca da preparação e queima do carvão mineral, este processo ocorre da seguinte maneira: depois de ser retirado da terra, quebrado e guardado em silos, posteriormente ele é transportado à usina, onde novamente é armazenado. Em seguida, o material é moído até se tornar pó, o que facilita a sua queima nas caldeiras. O calor gerado é utilizado para aquecer a água nos tubos ao redor da fornalha, transformando-a em vapor. Com isso, a energia térmica (ou calor) contida no vapor será transformada em energia mecânica (ou cinética) e fará girar a turbina do gerador de energia elétrica. No caso da cogeração, o processo é parecido, no entanto, além de ser utilizado para a geração de energia elétrica, o vapor também é aproveitado na indústria (ANEEL, 2008).

Enquanto o carvão vegetal é pouco utilizado fora do Brasil, que é o maior produtor global, a utilização de carvão mineral é bastante comum por aqui (ANEEL, 2008), apesar da tendência, entre os países, de diminuição da utilização de combustíveis derivados de fósseis, especialmente devido à urgência de diminuir as emissões de carbono e à expansão das fontes de energia renovável (Ferraz Jr., 2022a).

A produção de carvão, desde a extração até a sua queima, causa impactos socioambientais importantes (ANEEL, 2008, p. 140), que vão desde interferências negativas nos recursos hídricos, na vegetação e nos animais da região, até prejuízos e riscos à vida e ao bem-estar da população. A título de exemplo, de acordo com um estudo realizado por *pesquisadores de três universidades americanas (George Mason University, University of Texas e Harvard T.H. Chan School of Public Health)*, a poluição causada pela queima de carvão levou à morte de aproximadamente 460.000 pessoas nos Estados Unidos durante o período de 1999 a 2020 (EcoDebate, 2023).

Para finalizar, o urânio, um metal de cor prateada, radioativo, com densidade menor que a do aço, presente de forma natural nas rochas da crosta terrestre, tem a sua maior aplicação em usinas termonucleares para a geração de energia elétrica. A energia nuclear, gerada pelo átomo de urânio, é uma tecnologia conhecida desde os anos 40. Considerada uma fonte de energia limpa, pois desde a extração do urânio até a geração de eletricidade libera quantidades muito pequenas de CO² (dióxido de carbono ou gás carbônico) ou de qualquer outro gás associado ao aquecimento global (ANEEL, 2008), o que faz com que esta energia seja apontada como uma alternativa atraente para ampliar e diversificar a matriz energética mundial, atendendo, desse modo, à demanda crescente por energia, reduzindo o uso de combustíveis fósseis e lidando com o aquecimento do planeta (Ferraz Jr., 2023a).

O problema com a energia nuclear, segundo Ferraz Jr. (2021), é que quando se pensa nela, logo vem à mente das pessoas a sua popularidade negativa, normalmente devido aos incidentes sérios envolvendo a radiação. Um dos exemplos mais conhecidos foi o desastre no reator nº 4 da Usina Nuclear de Chernobyl, localizada no norte da Ucrânia, em 1986. Apesar disso, ainda segundo este autor, assim como qualquer outra fonte de energia, essa também tem seus prós e contras. Além da não emissão de poluentes, entre as suas principais vantagens estão: a vasta quantidade

de urânio presente na natureza e o fato de que as usinas nucleares não necessitam de condições climáticas favoráveis para produzir energia.

Por outro lado, os perigos de um desastre nuclear podem afetar tanto a sociedade quanto a natureza. Segundo Ferraz Jr. (2023a), atualmente há 440 usinas nucleares funcionando e outras 23 sendo construídas ao redor do mundo. A maior parte delas está localizada na Europa, que lidera com 207 usinas ativas e sete em construção. Japão, China e Coreia somam um total de 82 usinas nucleares, enquanto a América do Norte (Canadá, Estados Unidos e México) tem 123 em funcionamento. No território brasileiro, Angra dos Reis, situada no estado do Rio de Janeiro, abriga duas usinas nucleares: Angra I e Angra II. A construção da usina Angra III ainda está em andamento.

Sendo assim, mesmo a energia nuclear tendo grande capacidade de suprir as demandas energéticas de um país (Ferraz Jr., 2023a), como a ANEEL (2008) acertadamente apontou há anos, o futuro dessa energia é difuso. Um cenário favorável depende da configuração de vários fatores, entre eles: a competitividade do custo de geração, a disponibilidade de urânio, a segurança no fornecimento de outros combustíveis e a aprovação da população quanto à segurança das usinas nucleares. Neste sentido, é plausível que haja oposição, uma vez que se um país dominar a tecnologia de processamento e transformação desse minério, ele pode usar a energia nuclear tanto para gerar eletricidade quanto para fins militares (ANEEL, 2008).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo, apresenta-se como o estudo foi caracterizado e delineado, e também as etapas necessárias para alcançar os objetivos. Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa documental, de natureza descritiva e qualitativa, tendo como objetos de investigação documentos elaborados e/ou disponibilizados pela Agência Nacional de Energia Elétrica, pela Empresa de Pesquisa Energética, pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico, entre outras instituições. A análise foi realizada com base na metodologia de análise de conteúdo temática.

3.1 Classificação da pesquisa

Para atender aos objetivos deste trabalho, optou-se por uma pesquisa documental, de caráter descritivo e de natureza qualitativa (Creswell, 2014). A pesquisa documental (ou de fontes primárias) é feita a partir de materiais que ainda não passaram por análises. Logo, são ainda matéria-prima, a partir da qual quem está desenvolvendo o estudo fará sua investigação e análise (Severino, 2016).

De acordo com Lakatos e Marconi (2017), os documentos incluem um vasto leque de materiais, sejam eles escritos ou não, tais como: arquivos públicos (do tipo oficial, parlamentar, jurídico ou iconográfico), arquivos particulares (correspondências, diários, atas, memoriais, por exemplo), fontes estatísticas etc.

Na sequência, será descrita a execução propriamente dita deste trabalho.

3.2 Procedimentos de coleta dos dados

Inicialmente, foi criado um plano de ação, que começou sendo colocado em prática com a identificação das fontes de informação por meio de leituras sucessivas do material (Gil, 2017).

A leitura exploratória é definida, segundo o autor supracitado, como uma leitura geral e superficial do material coletado. Por meio dela, buscou-se apenas identificar se as fontes de informação eram relevantes para esta pesquisa.

Já a leitura seletiva é mais detalhada do que a exploratória, conforme aponta Gil (2017). Através dela foi possível identificar o material que de fato interessava ao presente estudo, evitando, desse modo, a leitura de textos que não ajudassem a atingir os objetivos propostos.

A coleta dos documentos ocorreu em março de 2024. Aqueles documentos que foram selecionados podem ser visualizados no Quadro 2.

Quadro 2: Fontes documentais selecionadas.

Título do documento	Entidade responsável	Ano de publicação
Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2023 – Ano base 2022	EPE	2023f
Atlas da Eficiência Energética – Brasil 2023 – Relatório de Indicadores	EPE	2023b
Atlas de energia elétrica do Brasil	ANEEL	2008
Balanço Energético Nacional – BEN 2023	EPE	2023c
BEN 2023 – Relatório Síntese 2023 – Ano base 2022	EPE	2023d
Conheça as instituições do setor elétrico brasileiro e as competências de cada uma	BRASIL	2021
Fact Sheet: Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2023	EPE	2023e
Fontes de Energia	EPE	2018c
Formas de Energia	EPE	2018b
Matriz Energética e Elétrica	EPE	2023a
Mudanças climáticas e Transição energética	EPE	2018d
Nossos associados	CCEE	S. d.
O que é energia?	EPE	2018a
O que é o SIN. O sistema interligado nacional	ONS	2024a
O sistema em números	ONS	2024b
Perdas de Energia	ANEEL	2022
Processamento de Gás Natural	ANP	2020
Resolução Normativa n. 1.059	ANEEL	2023a
Relatório Perdas de Energia Elétrica na Distribuição	ANEEL	2021
Sobre o SIN. Sistemas isolados	ONS	2024c

Fonte: Elaboração própria (2024).

3.3 Procedimentos de análise e interpretação dos dados

Após a leitura analítica (uma leitura integral dos textos selecionados, com o objetivo de organizar e resumir as informações presentes neles), foram elaboradas fichas de apontamentos, citações e observações pessoais, com o intuito de estudar e analisar os documentos de forma minuciosa.

Em seguida, foram definidas as três categorias de análise: matrizes energética e elétrica em níveis mundial e nacional; oferta e consumo de energia elétrica no Brasil; e fornecimento de energia elétrica no país à luz de desafios socioeconômicos e ambientais.

Dando continuidade, através de uma leitura reflexiva ou crítica, foram ordenadas e sumarizadas as informações contidas nos documentos.

Por último, foi realizada a leitura interpretativa, visando relacionar as ideias expressas nos documentos analisados com os objetivos da investigação, procurando, desse modo, atingi-los.

4 O FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA EM DISCUSSÃO

Neste capítulo, apresenta-se um panorama atual das matrizes energética e elétrica em níveis mundial e nacional, bem como dados e discussões referentes à oferta e consumo de energia elétrica no Brasil e, ao final, um debate sobre o fornecimento de energia elétrica no país à luz de desafios socioeconômicos e ambientais.

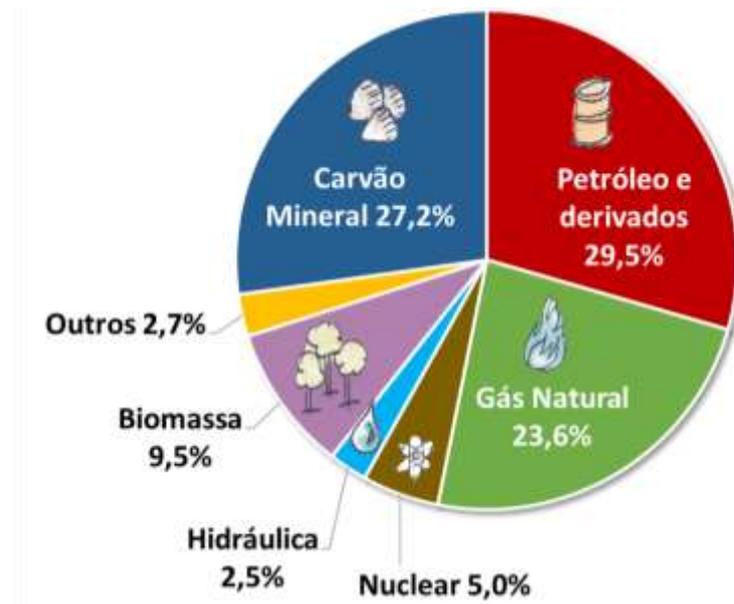
4.1 Matrizes energética e elétrica: mundial e brasileira

Conforme visto anteriormente, a energia é um conceito abrangente. No dia a dia, as pessoas necessitam dela para caminhar, ligar a televisão, cozinhar, movimentar veículos, entre outras atividades. Porém, quando se fala de energia elétrica, se fala de uma energia que está relacionada à capacidade especial de uma corrente elétrica realizar trabalho (Ferraz Jr., 2022b). A título de exemplo, é essa energia que faz funcionar aparelhos eletrônicos, sistemas de iluminação, de refrigeração e de aquecimento.

Com estas definições, é possível avançar em direção ao entendimento das matrizes energética e elétrica. Enquanto a matriz energética consiste em todas as fontes de energia usadas em um país ou no mundo para atender à necessidade de energia, a matriz elétrica é composta pelas fontes utilizadas exclusivamente para gerar eletricidade. Dessa forma, é possível afirmar que a matriz elétrica é parte da matriz energética (EPE, 2023a).

Na matriz energética estão listadas as fontes usadas para produzir energia em geral, enquanto na matriz elétrica estão indicadas as fontes disponíveis para produzir eletricidade (Ferraz Jr., 2022b). Na Figura 1, pode-se perceber que o planeta tem como principal fonte de energia um conjunto formado principalmente por recursos não renováveis, como o petróleo, o carvão de origem mineral e o gás natural, que respondem, respectivamente, por 29,5%, 27,2% e 23,6% da energia total utilizada. A participação da energia nuclear foi de 5,0%. Fontes renováveis como a hidráulica e a biomassa correspondem a apenas 12,0% da matriz energética global (EPE, 2023a).

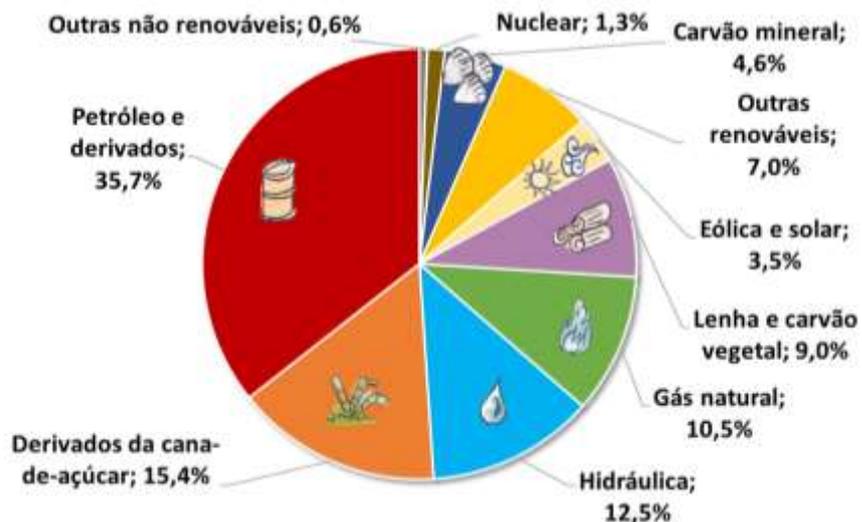
Figura 1 – Matriz energética mundial 2021.



Fonte: EPE (2023a) com dados retirados da *International Energy Agency* (IEA) 2023.

Em âmbito nacional, os números são um pouco diferentes. Conforme mostrado na Figura 2, a matriz energética brasileira é menos baseada em combustíveis fósseis e mais variada, com destaque para os produtos provenientes da cana-de-açúcar (15,4%), seguidos da energia hidráulica (12,5%).

Figura 2 – Matriz energética brasileira 2022.

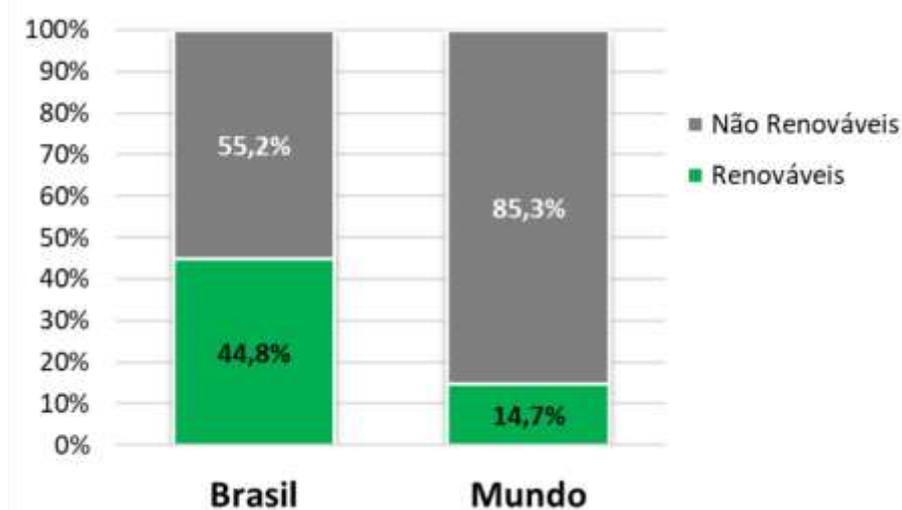


Fonte: EPE (2023a) com dados do BEN 2023.

A presença dessa característica na matriz energética do Brasil é crucial, haja vista que as fontes de energia não renováveis são as principais responsáveis pela liberação de gases que prejudicam o clima (EPE, 2023a). Ainda sobre esta matriz, como ilustra a Figura 2, a energia nuclear gera 1,3% do total de energia consumida no país, mas ela não é renovável, já que depende de recursos finitos. Portanto, além da poluição ambiental que causam, um dia esses recursos energéticos vão se esgotar.

Na Figura 3, é trazida uma análise da utilização de fontes de energia renováveis e não renováveis no Brasil e em escala global durante o ano de 2021. Na contramão da sustentabilidade, 85,3% de toda a energia produzida mundialmente provém de fontes poluentes. No Brasil, 55,2% da energia vem dessas fontes.

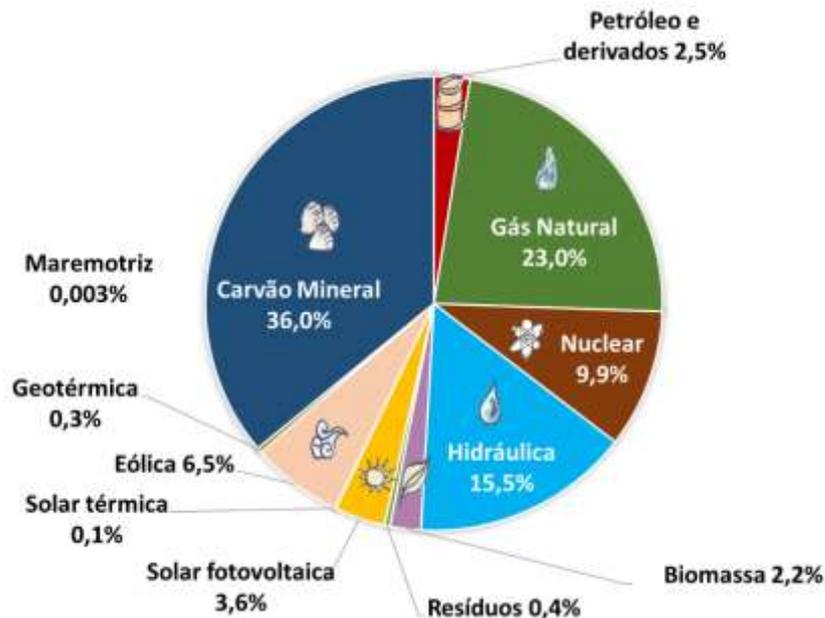
Figura 3 – Consumo de energias renováveis e não renováveis no país e no mundo 2021.



Fonte: EPE (2023a) com dados do BEN 2023.

Com relação à matriz elétrica, no mundo, a maior parte dos recursos energéticos vem, em sua maioria, de fontes não renováveis como o carvão mineral (36,0%) e o gás natural (23,0%), embora existam outras fontes, como se observa na Figura 4. Em contrapartida, fontes renováveis como a hidráulica (15,5%), a eólica (6,5%), a solar (3,7%) e a biomassa (2,2%), que contribuem para uma matriz cada vez mais limpa, representam menos de 30% das fontes de geração de eletricidade.

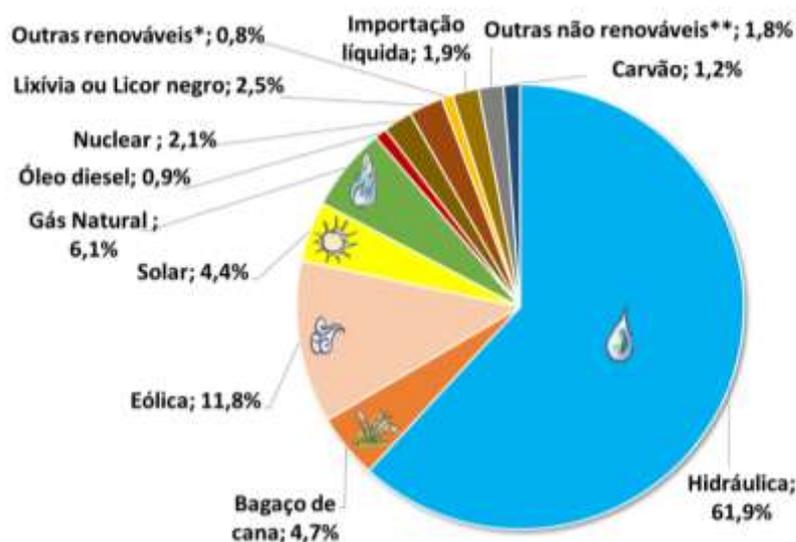
Figura 4 – Matriz elétrica mundial 2021.



Fonte: EPE (2023a) com dados da IEA, publicados em 2023.

De acordo com o que pode ser observado na Figura 5, a matriz energética do Brasil se destaca por sua maior sustentabilidade em comparação à matriz elétrica, isso porque boa parte da eletricidade produzida no país provém de hidrelétricas (61,9%).

Figura 5 – Matriz elétrica brasileira 2022.

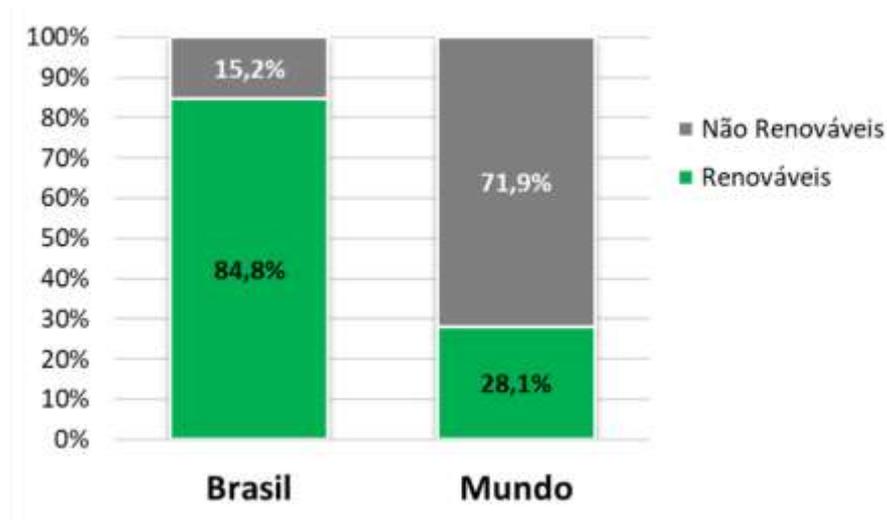


Fonte: EPE (2023a) com dados do BEN 2023.

O Brasil ainda conta com 11,8% de fontes eólicas, 4,7% da biomassa da cana, 4,4% de fonte solar, 2,5% de lixívia ou licor negro e 0,8% de outras fontes renováveis (inclui lenha, biodiesel e outras renováveis).

Dando prosseguimento, na Figura 6 tem-se uma análise da utilização de fontes de energia renováveis e não renováveis para gerar eletricidade no Brasil e no mundo em 2021.

Figura 6 – Comparação do emprego de fontes renováveis e não renováveis para gerar eletricidade no Brasil e no mundo 2021.



Fonte: EPE (2023a) com dados do BEN (2023).

Interessante saber que, em 2021, as fontes renováveis de energia predominaram na matriz elétrica brasileira (84,8%). Já em âmbito mundial, o investimento em energias limpas e sustentáveis representa um desafio premente, uma vez que a participação dessas fontes na matriz elétrica global atingiu apenas 28,1%.

4.2 A oferta e o consumo de eletricidade no Brasil

A eletricidade tem um papel fundamental, não só na evolução socioeconômica de uma nação, mas também para a maneira como as pessoas vivem (ANEEL, 2008). Os órgãos governamentais responsáveis pelo setor de energia elétrica no Brasil estão expostos na Figura 7.

Figura 7 – Estrutura de governança do setor elétrico brasileiro.



Fonte: Elaboração própria (2024) com dados retirados de Brasil (2021).

O Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) é um órgão interministerial que assessora à Presidência da República sobre questões de energia e é responsável por elaborar políticas e diretrizes nessa área.

O Ministério de Minas e Energia (MME) tem um papel importante em várias áreas que impactam diretamente a sociedade brasileira. Suas responsabilidades incluem: elaborar e aprovar concessões referentes aos segmentos de mineração e de energia; definir políticas nacionais para o uso de recursos energéticos; estabelecer tarifas para o setor de energia elétrica; estimular a criação e uso de novas tecnologias na mineração e energia; e assegurar que haja equilíbrio entre a produção e o consumo de eletricidade no país.

O Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE), que é coordenado diretamente pelo MME, originou-se através da lei 10.848 de 2004 com a finalidade de acompanhar e analisar a segurança do abastecimento de energia elétrica em todo o país.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), vinculada ao Ministério de Minas e Energia, é responsável por regulamentar e fiscalizar a produção, a transmissão, a distribuição e o comércio da energia elétrica.

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) é uma instituição do governo federal responsável por oferecer suporte ao Ministério de Minas e Energia por meio de pesquisas e estudos no campo do planejamento de energia, abrangendo setores como energia elétrica, petróleo, gás natural, seus produtos derivados e biocombustíveis.

O Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) é quem coordena e controla a geração e transmissão de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN), que é o sistema encarregado de distribuir energia elétrica para todas as regiões interligadas do território nacional.

Por fim, a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), uma entidade privada sem fins lucrativos, exerce suas atividades sob a autorização do governo e está sujeita à regulação e supervisão da ANEEL. Sua principal função consiste em facilitar as transações de compra e venda de energia elétrica entre os membros da CCEE, no âmbito do Sistema Interligado Nacional. A CCEE assumiu as funções do Mercado Atacadista de Energia Elétrica (MAE), que foi extinto em 2004 (Ferreira, 2006).

No Brasil, as diversas atividades permitidas e regulamentadas no setor de energia elétrica podem ser divididas em quatro segmentos principais: geração, transmissão, distribuição e comercialização. Esses segmentos são conduzidos pelos agentes citados que trabalham juntos para garantir o fornecimento de eletricidade aos consumidores (Ferreira, 2006).

A geração é a área responsável pela conversão de uma forma qualquer de energia (renovável ou não renovável) em energia elétrica e, também, por injetá-la nos sistemas de transporte (aqueles que envolvem a transmissão e a distribuição) para que possa chegar aos consumidores. Este segmento é exercido por autoprodutores (que geram energia para seu próprio consumo, mas podem comercializar o excedente com autorização da agência reguladora), geradores (serviço público; detentor da permissão para explorar a geração como serviço público) e produtores independentes

(agentes autorizados pelo Poder Concedente para gerar energia e vendê-la de maneira autônoma) (CCEE, S. d.).

A área de transmissão é encarregada de transportar a energia das usinas geradoras para os consumidores. Em linhas gerais, utilizam-se instalações elétricas de alta tensão para transportar a eletricidade proveniente das usinas geradoras (instalações eólicas, hidrelétricas, solares etc.) até as subestações transformadoras. Já as instalações elétricas de média tensão são responsáveis por transmitir eletricidade das subestações para as estações transformadoras, que abastecem com energia grandes consumidores, como fábricas, aeroportos e hospitais (CCEE, S. d.).

Nas subestações, a média voltagem é reduzida para baixa voltagem, a qual é empregada em residências, estabelecimentos comerciais, indústrias ou qualquer outro local que demande esse tipo de energia. Geralmente, essas instalações ficam próximas dos locais de consumo e são distribuídas a partir dali. Os distribuidores (ver as Tabelas 1 e 2) são concessionárias ou permissionárias que fornecem eletricidade para todos os consumidores dentro da região em que atuam. Esses agentes compram o insumo em leilões organizados pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE, S. d.), que é encarregada de realizar a venda de grandes quantidades de energia no país.

Tabela 1 – Dez maiores distribuidoras em consumo de energia - 2022.

Dez maiores Distribuidoras - Consumo de energia 2022 (GWh)			
1	CEMIG	56.965	11,2
2	ENEL_SP	41.198	8,1
3	CPFL PAULISTA	33.005	6,5
4	COPELDISTRIB	32.519	6,4
5	CELESC	27.970	5,5
6	LIGHT	23.576	4,6
7	COELBA	21.374	4,2
8	RGE	19.573	3,8
9	ELEKTRO	18.670	3,7
10	BANDEIRANTE	15.748	3,1

Fonte: Elaboração própria (2024) com dados da EPE (2023d).

Tabela 2 – Dez maiores distribuidoras em número de consumidores - 2022.

Dez maiores Distribuidoras - Número de consumidores 2022			
1	CEMIG	9.051.222	10
2	ENEL_SP	7.744.351	8,6
3	COELBA	6.483.282	7,2
4	COPELDISTRIB	5.014.193	5,5
5	CPFL PAULISTA	4.766.257	5,3
6	LIGHT	4.396.339	4,9
7	ENEL-CE	4.125.881	4,6
8	CELPE	3.946.579	4,4
9	CELESC	3.318.172	3,7
10	EQTL_GO	3.293.382	3,6

Fonte: Elaboração própria (2024) com dados da EPE (2023d).

No Brasil, o sistema elétrico é uma grande combinação de usinas hidrelétricas, eólicas e termelétricas, operadas por diferentes proprietários, tanto públicos quanto privados. Há também usinas de energia eólica espalhadas principalmente pelo Nordeste e Sul do país e as usinas térmicas, que costumam ficar perto dos grandes centros urbanos (ONS, 2024a).

O SIN é constituído por quatro subsistemas: o Sul, que abrange toda a mencionada região; o Sudeste/Centro-Oeste, que abrange estas duas regiões, assim como Rondônia e Acre; o Nordeste, que inclui oito estados, excluindo apenas o estado do Maranhão, e o Norte, que compreende os estados do Maranhão, Pará, Amazonas, Amapá e Tocantins (ONS, 2024a).

Os subsistemas mencionados anteriormente são interligados e toda a energia produzida por eles é combinada no SIN, que através de sua extensa rede de transmissão (ver a Tabela 3), redistribui essa energia de forma equilibrada por todo o Brasil. Em 2013, a rede básica de transmissão do SIN apresentou a extensão de 106.986 km (EPE, 2023d), atingindo 171.640 km em 2024 (ONS, 2024a), um crescimento de 60,43%.

Tabela 3 – Tamanho da rede de transmissão nacional - 2013/ 2024.

EXTENSÃO DA REDE BÁSICA DE TRANSMISSÃO		
Nível de tensão	2013	2024
230 kV	46.610	64.265
345 kV	9.456	10.597
440 kV	6.884	7.061
500/525 kV	37.542	69.247
600 kV	4.772	9.544
765 kV	1.722	1.722
800 kV	0	9.204
TOTAL	106.986	171.640

Fonte: Elaboração própria (2024) com dados do ONS (2024b).

Nota explicativa: Na faixa de tensão de 800 kV, as informações estão disponíveis apenas a partir do ano de 2017.

Além disso, há também os sistemas conhecidos como Sistemas Autônomos. De acordo com o ONS (2024c), existem 212 localidades isoladas no país com baixo consumo de energia, equivalente a menos de 1% do total nacional. Desde 1º de maio de 2017, o ONS passou a ser responsável pela previsão e planejamento da operação desses sistemas.

Na região Norte do Brasil é onde se encontram a maior parte dos Sistemas Isolados, que engloba os estados de Rondônia, Roraima, Amazonas, Acre, Amapá e Pará. Fernando de Noronha e alguns locais do Mato Grosso completam a lista. Entre as capitais, Boa Vista, em Roraima, é a única que ainda recebe atendimento de um sistema isolado (ONS, 2024c).

Por fim, o segmento de comercialização é responsável por cuidar da contratação da energia produzida e sua posterior negociação com os consumidores (Ferreira, 2006). Os agentes de comercialização da CCEE são tecnicamente chamados de agentes de mercado. Consumidores livres e consumidores especiais também integram o quadro associativo. Os consumidores cativos (aqueles que não têm opção de escolha sobre quem vai fornecer energia elétrica para eles e que estão vinculados a uma única empresa de distribuição de energia designada para sua área geográfica) juntamente com as empresas de transmissão não são associados (CCEE, S. d.).

Na Tabela 4, é apresentada a evolução do número de agentes por tipo - 2013 e 2022.

Tabela 4 – Número de agentes de comercialização por tipo - 2013 e 2022.

Agentes	2013	2022
Autoprodutor	45	94
Comercializador	150	491
Consumidor Especial	1.144	9.620
Consumidor Livre	613	1.363
Distribuidor	45	70
Gerador	30	43
Produtor Independente	554	1.705
TOTAL	2.581	13.386

Fonte: Elaboração própria (2024) com dados da EPE (2023d).

Cabe aos comercializadores (organizações autorizadas pela agência reguladora) comprar e revender para consumidores, geradores e comercializadores no mercado livre. Já os consumidores especiais (empresas que precisam de energia elétrica entre 0,5 MW e 1,5 MW) devem comprar energia produzida por usinas eólicas, fotovoltaicas, térmicas a biomassa ou Pequenas Centrais Hidrelétricas. Por sua vez, os consumidores livres (empresas que consomem mais de 1,5 MW de energia) podem comprar energia de qualquer fonte (CCEE, S. d.)

4.2.1 A oferta de energia elétrica

A capacidade instalada do SIN corresponde ao somatório das potências efetivas das centrais geradoras e das instalações de importação de energia de cada um dos sistemas interligados, com exceção da potência efetiva relativa à parte paraguaia da Itaipu Binacional. Em 2013, o Brasil tinha uma capacidade instalada de 126.743 MW, que aumentou para 221.621 MW em 2024, um crescimento de 74,86% em 11 anos.

Na Tabela 5, é possível conferir a capacidade instalada por fonte em 2024, com a geração hidráulica contribuindo de forma predominante (48,7%). Nas últimas posições e, portanto, com menor capacidade instalada, aparecem a fonte nuclear (0,9%) e outras (0,1%).

Tabela 5 – Capacidade instalada por fonte (MW) 2024.

Fonte	2024	%
Hidráulica	108.035	48,7
Eólica	30.295	13,7
Micro e Mini Geração Distribuída (MMGD)	28.845	13,0
Biomassa	15.831	7,1
Term. Gás + GNL	17.022	7,7
Solar	13.041	5,9
Term. Óleo + Diesel	3.429	1,5
Term. Carvão	3.017	1,4
Nuclear	1.990	0,9
Outras	116	0,1
Total	221.621	-

Fonte: Elaboração própria (2024) com dados da EPE (2023d).

Durante o período de 2013 a 2023, foi verificado o crescimento de 117,53% da geração em GWh do país, que está atrelado à participação de novas fontes de energia renováveis, tais como: a eólica e a fotovoltaica, cuja geração passou de 1,23% para 12,46% e de 0,0009% para 4,60%, respectivamente (ver mais detalhes na Tabela 6). A fonte hidráulica permaneceu predominante, representando 63,1% do total, enquanto as outras fontes foram responsáveis por 36,9%.

Tabela 6 – Geração elétrica por fonte (GWh) - 2013 e 2022.

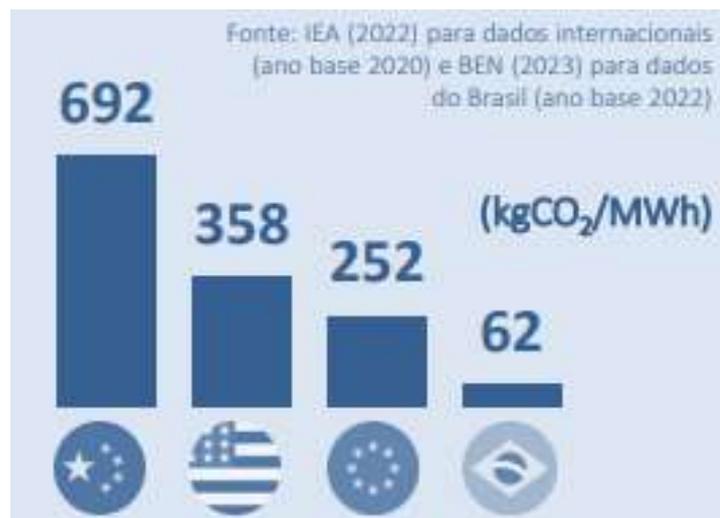
Fonte	2013	2022
Hidráulica	390.992	427.114
Eólica	6.578	81.632
Biomassa	39.684	51.783
Gás Natural	68.942	42.035
Solar	5	30.126
Nuclear	15.450	14.559
Outras	12.160	14.121
Carvão	14.801	7.988
Derivados de Petróleo	22.223	7.816
Total	570.835	677.173

Fonte: Elaboração própria (2024) com dados da EPE (2023d).

Também é relevante a redução observada, entre os anos 2013 e 2022, na geração proveniente de combustíveis fósseis: derivados de petróleo (64,8%), carvão (46,0%) e gás natural (39,0%).

Por fim, com relação às emissões relativas de dióxido de carbono de cada sistema elétrico, essas são consideradas como a quantidade de kgCO₂ emitida por megawatt-hora (MWh) produzido (ver a Figura 8).

Figura 8 – Emissões relativas de CO₂ do Brasil em comparação a outros países.



Fonte: Adaptado do documento da EPE (2023e, p. 2).

No ano de 2022, para produzir cada megawatt-hora, o Brasil emitiu cerca de 91% menos dióxido de carbono do que a China, 83% menos do que os Estados Unidos e 75% menos do que os países europeus membros da OCDE.

4.2.2 O consumo de energia elétrica

Uma característica importante do setor de energia elétrica brasileiro são os quatro subsistemas elétricos (Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e Norte) que compõem o Sistema Integrado Nacional. A análise do consumo total (cativo e livre) de energia elétrica por subsistema revela que no ano de 2013 foi consumido o montante de 463.142 GWh e, após 9 anos, esse valor atingiu a marca de 509.364 GWh, representando um aumento de 9,98%.

Cada subsistema do SIN abrange diferentes estados e apresenta suas particularidades quando se trata da quantidade de energia elétrica disponível e do quanto é consumido. Por exemplo, o subsistema Sudeste/Centro-Oeste é o mais populoso do país, o mais industrializado e aquele que demanda uma quantidade maior de energia elétrica. Já o subsistema Nordeste é caracterizado por apresentar grande disponibilidade de recursos renováveis, a exemplo da energia eólica e da energia solar. Em 2022, o subsistema Sudeste/Centro-Oeste apresentou uma participação de 57,51% no total do consumo de energia elétrica nacional, seguido pelos subsistemas Sul e Nordeste com percentuais de 18,58% e 15,39%, respectivamente.

Tabela 7 – Consumo por subsistema (GWh) - 2013 e 2022.

Consumo total por subsistema (GWh)		
Subsistema	2013	2022
Nordeste	68.680	78.417
Norte	32.085	40.354
Sistemas Isolados	5.783	2.977
Sudeste/Centro-Oeste	276.202	292.932
Sul	80.393	94.683
Total	463.142	509.364

Fonte: Elaboração própria (2024) com dados do documento da EPE (2023d).

Também em 2022, observou-se um incremento no consumo de energia elétrica em seis das oito classes de consumo (conforme ilustrado na Figura 9), em comparação a 2021. As únicas exceções foram as classes rural (4,7%) e consumo próprio (4,7%).

Figura 9 – Consumo de energia por classe - 2022.



Fonte: Adaptado do documento da EPE (2023e, p. 4).

O uso de eletricidade, quando combinado com dados populacionais, ajuda a entender quanta energia é consumida por pessoa em cada estado ou região. Nesse ponto, a região Sul se destaca como a maior em consumo per capita de energia elétrica no Brasil, com 3.084 kWh por pessoa. No entanto, sua população é a terceira maior entre as cinco regiões do país. A região Sudeste apresenta um consumo semelhante, com 2.739 kWh por pessoa, mas possui cerca de três vezes mais habitantes que o Sul. De fato, a grande quantidade de indústrias no Centro-Sul do Brasil contribui para um maior consumo per capita (EPE, 2023e; 2023f).

4.3 O fornecimento de energia elétrica no país à luz de desafios socioeconômicos e ambientais

Com as alterações no clima acontecendo e a redução dos recursos naturais, é cada vez mais urgente adotar sistemas de energia sustentáveis e renováveis (Ferraz Jr., 2024). Este contexto, segundo o autor citado, evidencia a relevância de incluir nos currículos de engenharia o estudo da transição energética, um assunto crucial para a preparação dos futuros profissionais da área. Ferraz Jr. (2024) prossegue seu texto destacando a importância de compreender a necessidade de adaptar a formação acadêmica em engenharia para lidar com os desafios atuais e aproveitar as oportunidades trazidas por essa demanda global.

A transição energética, portanto, consiste em passar de uma fonte de energia baseada em matérias-primas fósseis para um sistema renovável, com menor impacto no meio ambiente e na sociedade. Assim, longe de ser apenas uma questão tecnológica, trata-se de uma mudança que engloba desde inovações, políticas públicas e considerações econômicas até um componente educacional significativo (Ferraz Jr., 2024). A seguir, são trazidos à luz quatro desafios que se impõem ao fornecimento de energia elétrica no Brasil.

4.3.1 Influências das chuvas na produção de energia elétrica

O excesso ou a escassez de chuvas podem afetar a produção de energia de três fontes amplamente reconhecidas: hidrelétrica, solar e eólica. Se chover muito, a

quantidade de água nos reservatórios das usinas hidrelétricas pode subir de forma rápida, causando inundações e sobrecarregando as turbinas das usinas (Portal Terra, 2023). Para exemplificar, um evento significativo foi a ruptura parcial da porção direita da barragem da usina 14 de Julho, localizada entre Bento Gonçalves e Cotiporã, na região da Serra Gaúcha, que aconteceu por causa do aumento constante do fluxo do Rio das Antas e da grande quantidade de chuva que caiu no estado do Rio Grande do Sul.

Em meio à tragédia, que causou danos humanos, materiais e ambientais muito importantes, intensos e graves, três outras barragens estavam prestes a se romper (g1 RS, 2024). De acordo com a Companhia Energética Rio das Antas (Ceran), em uma notícia divulgada no site do jornal GZH em 03 de maio, as barragens de Monte Claro e Castro Alves estavam em estado de Atenção e continuavam sob monitoramento. As três usinas hidrelétricas formam o Complexo Energético Rio das Antas e foram projetadas para operar sem reservatório, diferente das hidrelétricas convencionais. Isso quer dizer que funcionam sem necessidade de armazenar água (Tomé, 2024).

Já em épocas de pouca chuva, é possível que os reservatórios das usinas fiquem com pouca água, o que pode reduzir a geração de energia (Portal Terra, 2023). O Brasil apresenta um histórico de crises energéticas, períodos de maior dificuldade para manter o abastecimento de energia, com riscos de apagões. Em uma dessas crises, registrada em 2001 após um período de chuvas escasso, os reservatórios das usinas estavam com apenas 29,9% de sua capacidade total, o que não seria suficiente para suprir as necessidades do país até o término do ano. Para lidar com a situação, o governo implementou um programa incentivando a utilização e construção de usinas termelétricas, mesmo sabendo que gerar energia por meio delas é mais caro do que pelas hidrelétricas (Manço, 2024).

Mais tarde, ocorreram dois eventos semelhantes: em 2015 e em 2021. No ano de 2015, apesar das medidas adotadas, o sistema elétrico brasileiro continuou sem planejamento adequado para o enfrentamento de momentos de crise e, mais uma vez, enfrentou problemas devido à falta de chuvas, levando a falhas frequentes no fornecimento e ao aumento dos preços da energia. No ano de 2021, a pouca chuva atrapalhou mais uma vez a capacidade das usinas hidrelétricas de produzir energia,

fazendo com que o Governo Federal criasse o Programa de Incentivo à Redução Voluntária do Consumo de Energia Elétrica (Manço, 2024).

O objetivo do Programa era estimular os consumidores a reduzirem seu consumo diante da baixa produção de energia do país. Durante o intervalo de 28 de agosto a 03 de setembro de 2021, os níveis dos reservatórios dos subsistemas Sudeste/Centro-Oeste estavam em 20,65%, no Sul em 26,40%, no Nordeste em 48,54% e no Norte em 69,35%. Em comparação, na semana equivalente do ano anterior, de 29 de agosto a 04 setembro de 2020, os níveis eram respectivamente: Sudeste/Centro-Oeste com 41,32%, Sul com 60,13%, Nordeste com 74,91% e Norte com 66,10% (Manço, 2024).

As chuvas intensas, porém, não interferem diretamente na produção de energia eólica, pois essa produção é influenciada pela velocidade do vento. No entanto, as chuvas fortes podem impactar a geração de energia eólica de outras maneiras. Por exemplo, tempestades intensas têm o potencial de danificar as turbinas eólicas, especialmente quando combinadas com ventos fortes durante a chuva. Além do mais, as inundações podem dificultar a chegada aos lugares onde as turbinas estão posicionadas, dificultando a manutenção e os reparos necessários. Em relação à energia solar, a presença de nuvens espessas pode diminuir a luz que atinge os painéis solares, resultando em uma diminuição na produção de energia (Portal Terra, 2023).

4.3.2 O impacto das despesas com eletricidade no orçamento dos consumidores residenciais

No ano de 2022, o Brasil ficou em primeiro lugar em uma pesquisa que avaliou como as contas de luz afetam as finanças das famílias, se comparado com 33 países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE). De acordo com a Associação Brasileira de Grandes Consumidores de Energia e Consumidores Livres (ABRACE), em média, os brasileiros comprometeram 4,54% de sua renda com despesas de eletricidade, ultrapassando consumidores checos (3,24%), que ocuparam o segundo lugar no ranking, e gregos (3,03%), que ficaram

em terceiro lugar. Residentes de Luxemburgo tiveram a menor parte do orçamento (0,35%) destinado ao custo da energia elétrica (Salomão, 2023).

A pesquisa analisou os preços das tarifas de energia elétrica para residências em 2022, usando informações da Agência Internacional de Energia, e o PIB *per capita* (isto é, o Produto Interno Bruto dividido pelo número de habitantes), estimado pelo FMI (Fundo Monetário Internacional) para o mesmo ano. Os brasileiros gastaram em média US\$ 34 (R\$ 176,50) para consumir 200 kWh de eletricidade, um valor similar ao pago pelos poloneses, que foi de US\$ 34,39 (R\$ 178,50). No entanto, a renda média por pessoa no Brasil era cerca de US\$ 9 mil (R\$ 46,7 mil), enquanto na Polônia era o dobro: US\$ 18 mil (R\$ 93,4 mil). Isso quer dizer que uma parte maior da renda dos consumidores residenciais no Brasil foi usada para essas despesas, em torno de 2,26% (Salomão, 2023).

A equipe da Abrace também ressaltou que o preço da tarifa varia de acordo com as fontes de energia utilizadas. Enquanto as energias renováveis estão entre as mais competitivas atualmente, fontes como gás natural, carvão e energia nuclear passaram a custar mais caro, além de sofrerem influências de fatores geopolíticos, como a guerra na Ucrânia, por exemplo, que pressionou o preço do gás. Neste ponto, é importante lembrar que embora a matriz energética brasileira seja baseada na geração hidrelétrica, isso não tem contribuído para reduzir o valor das contas de luz (Salomão, 2023). O alto preço da energia elétrica tem afetado consideravelmente o orçamento dos brasileiros, que pagam caro e mais de uma vez pelo custo da energia elétrica, segundo o presidente da Abrace Energia, Paulo Pedrosa (Abrace, 2023).

Pedrosa explicou que toda vez que um brasileiro adquire um produto, ele também está cobrindo o valor da energia que está incluído no seu preço (Abrace, 2023). Conforme a Abrace Energia, na conta de luz cobrada no país, 40% do preço final garante recursos para custear tributos e subsídios. O que sobra é usado para gerar, transmitir e distribuir energia elétrica. Em 2024, segundo cálculo da ANEEL, os subsídios devem chegar a 12,5% do valor da tarifa. Esse aumento é considerável se comparado aos anos anteriores. Entre 2013 e 2024, esses encargos mais do que dobraram: os R\$ 14,1 bilhões subiram para os R\$ 37,2 bilhões previstos para este ano (Carregosa, 2024a).

A Conta de Desenvolvimento Energético (CDE) foi instituída em 2002 para financiar iniciativas governamentais no ramo da eletricidade e arcar com os subsídios citados. A partir de 2013, no entanto, quando todos os subsídios passaram a ser concentrados na conta de luz, os custos da CDE foram, desse modo, rateados entre todos os consumidores. De acordo com Luiz Barroso, que já foi presidente da EPE e hoje é diretor executivo da consultoria PSR, a CDE se tornou um recurso inesgotável do setor elétrico. Além disso, conforme o texto, também pesou na conta de luz o fato de que, em 2015, o governo parou de utilizar verbas do Tesouro Nacional para financiar parte da CDE (Carregosa, 2024a).

Os subsídios dentro da CDE estão expressos no Quadro 3:

Quadro 3: Subsídios pagos pelos brasileiros na conta de luz.

Subsídios	Detalhamento
Conta de Consumo de Combustíveis (CCC)	Ajuda a pagar as despesas anuais de produção de Sistemas Isolados, que são regiões não conectadas ao SIN.
Fontes incentivadas	Auxilia no custeio dos descontos das tarifas de "uso do fio". Na prática, trata-se de uma isenção de pagamento oferecida a certas usinas de energia que utilizam fontes como solar, eólica e biomassa.
Geração Distribuída	Cobre os prejuízos e custos das empresas distribuidoras ocasionados pelos descontos tarifários oferecidos aos clientes que produzem sua própria energia, como acontece com os painéis solares que estão nos telhados das casas.
Tarifa Social	Auxilia no pagamento da redução na conta de luz disponível para pessoas cadastradas no Cadastro Único do governo federal, como os beneficiários do Bolsa Família.
Universalização	Oferece suporte financeiro a projetos/iniciativas visando garantir que todas as pessoas tenham acesso à energia elétrica, levando, desse modo, a eletricidade a regiões que não seriam interessantes do ponto de vista econômico para as empresas distribuidoras. É o responsável pela execução do programa Luz para Todos e pela disponibilização do kit de instalação da energia, por exemplo.
Irrigação e Agricultura	Oferece redução na parcela de consumo que é empregada na irrigação em atividades agrícolas.
Carvão Mineral	Realiza o ressarcimento às usinas que utilizam carvão mineral nacional. Esse tipo de apoio financeiro é visto como antiquado por especialistas, pois contribui para financiar uma fonte de energia poluente.

Subsídios	Detalhamento
Distribuidora de Pequeno Porte	Valor extra que é aplicado para equilibrar o fato de que há poucos clientes nas distribuidoras menores. Ao dividir os custos entre eles, os valores incluídos na tarifa ficam elevados demais.
Rural	Financia a diminuição no custo da energia para produtores rurais e aposentados que trabalharam no campo.
Água-Esgoto-Saneamento	Desconto disponível para empresas que atuam nos setores de saneamento/fornecimento de água e tratamento de esgoto.

Fonte: Elaboração própria com informações de Carregosa (2024a).

Em 2024, o consumidor assumirá 88% dos subsídios, que totalizam R\$ 37,2 bilhões. Isso significa que ele terá que desembolsar R\$ 32,7 bilhões. Para mitigar os efeitos dessa medida, a maioria dos especialistas consultados pelo g1 sugeriu transferir a CDE para o orçamento da União, ou seja, com as despesas sendo cobertas pelo Tesouro Nacional. Luiz Barroso, da consultoria PSR, destaca que há subsídios que representam grandes políticas públicas e que poderiam ser pagos pelo Tesouro. No entanto, faz tempo que ele não contribui financeiramente para a CDE. Barroso ainda ressalta a falta de representatividade dos interesses do consumidor residencial e dos demais atores do setor elétrico (Carregosa, 2024a).

Victor Hugo iOcca, que é o diretor de Energia Elétrica da Abrace, acredita que a transferência mencionada é o primeiro passo rumo à racionalização do setor elétrico. Em contrapartida, Luiz Eduardo Barata, que é o presidente da Frente Nacional dos Consumidores sugere não apenas a transferência para o Tesouro, mas também uma avaliação minuciosa da composição da CDE para identificar quais subsídios devem continuar e quais não. Já Edvaldo Santana, ex-diretor da ANEEL, discorda da proposta de transferir a CDE para o Tesouro. Para ele, o Tesouro poderia destinar recursos apenas para a Tarifa Social, eliminando os demais subsídios. Já o ministro de Minas e Energia Alexandre Silveira, no mês de fevereiro deste ano, afirmou aos jornalistas que os subsídios poderiam ser reduzidos (Carregosa, 2024a).

4.3.3 Perdas na rede básica e nas redes de distribuição de energia

As perdas de energia acontecem quando a eletricidade gerada passa pelos cabos de transmissão (rede básica) e pelas redes que fazem a distribuição, mas não é vendida por questões técnicas ou comerciais. Tais perdas podem ser divididas em técnicas e não técnicas ou comerciais. Na rede básica, elas são apuradas mensalmente pela CCEE e calculadas a partir da diferença entre a energia gerada e a que foi repassada às redes de distribuição. Esse custo é estabelecido a cada ano nos processos tarifários, sendo dividido igualmente entre as empresas de geração (50%) e seus consumidores (50%) (ANEEL, 2021).

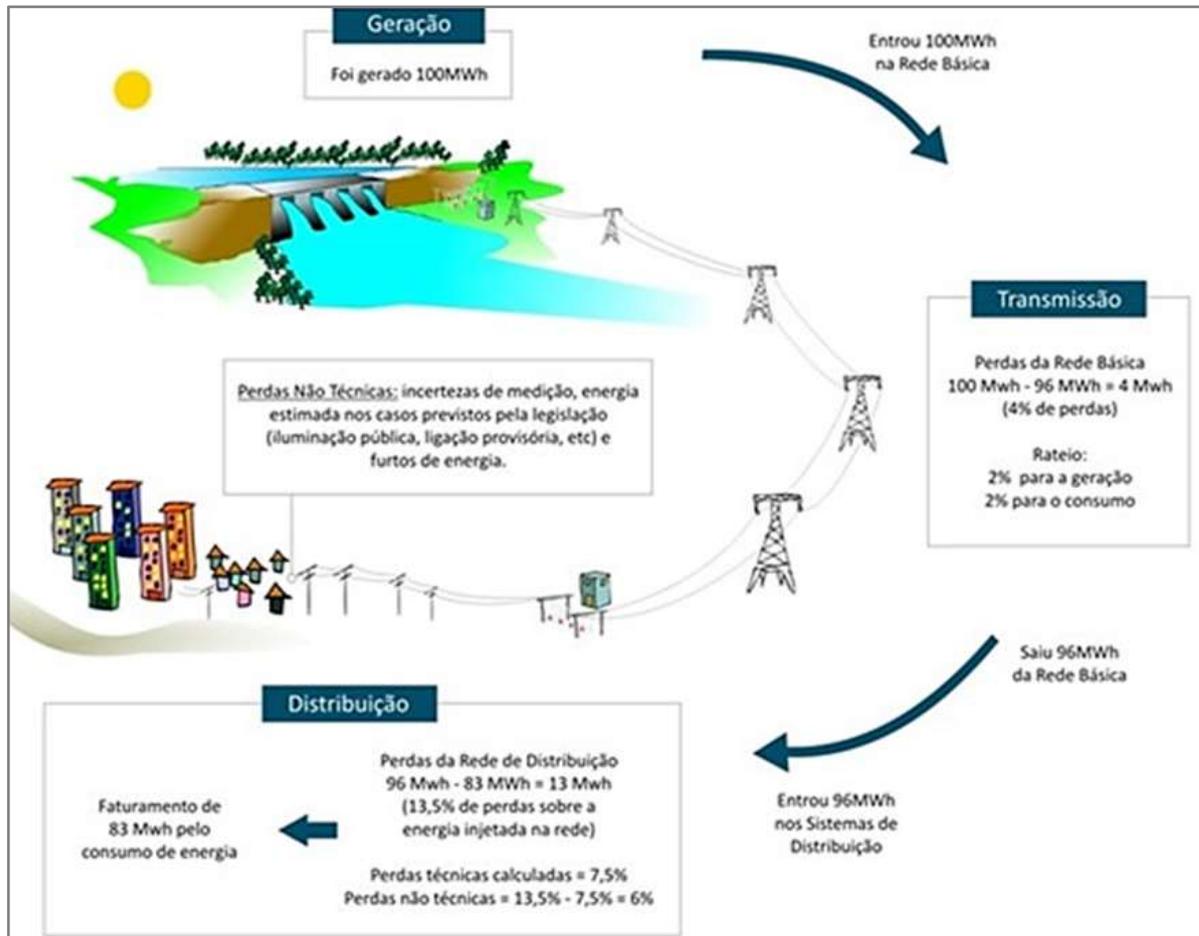
Conforme as leis da física, perdas técnicas na rede de distribuição são inevitáveis devido à dissipação de energia durante a etapa de transporte, de transformação de tensão e também de medição. Considerando informações simplificadas sobre as redes e equipamentos, como o comprimento ou a espessura dos condutores, a potência dos transformadores e a energia entregue aos usuários, calcula-se a porcentagem de perdas técnicas eficientes em relação à energia que foi injetada na rede. Cabe às distribuidoras identificar e medir suas perdas, além de fornecer essas informações à ANEEL, que avalia se estão dentro dos padrões aceitáveis (ANEEL, 2021).

As perdas não técnicas, também chamadas de comerciais, são calculadas a partir da diferença entre as perdas totais reportadas pelas distribuidoras e as perdas técnicas regulatórias determinadas pela ANEEL. Essas perdas têm origem principalmente em furtos (como ligações ilegais e desvios da rede), ações fraudulentas (modificações no medidor ou desvios), além de erros na leitura, na medição e no faturamento. As concessionárias de grande porte, que atendem mais de 1 TWh, mais de 500 mil unidades consumidoras ou possuem extensões de rede elétrica superiores a 15.000 km, são responsáveis por quase todas essas perdas, devido à magnitude do mercado e à dificuldade em combatê-las (ANEEL, 2021).

A Figura 10 simula os processos detalhados anteriormente. No exemplo mencionado, foram produzidos 100 megawatts-hora e ocorreu uma perda de 4% durante a transmissão. O rateio foi de 2% para a geração e 2% para os consumidores. Também foi observado que 96MWh saíram da rede básica e entraram no Sistema de Distribuição, onde 13MWh foram perdidos. Assim, considerando as perdas técnicas

em 7,5% e as perdas não técnicas em 13,5%, o total de perdas no sistema foi calculado em 6%. Dessa forma, o faturamento foi de 83MWh.

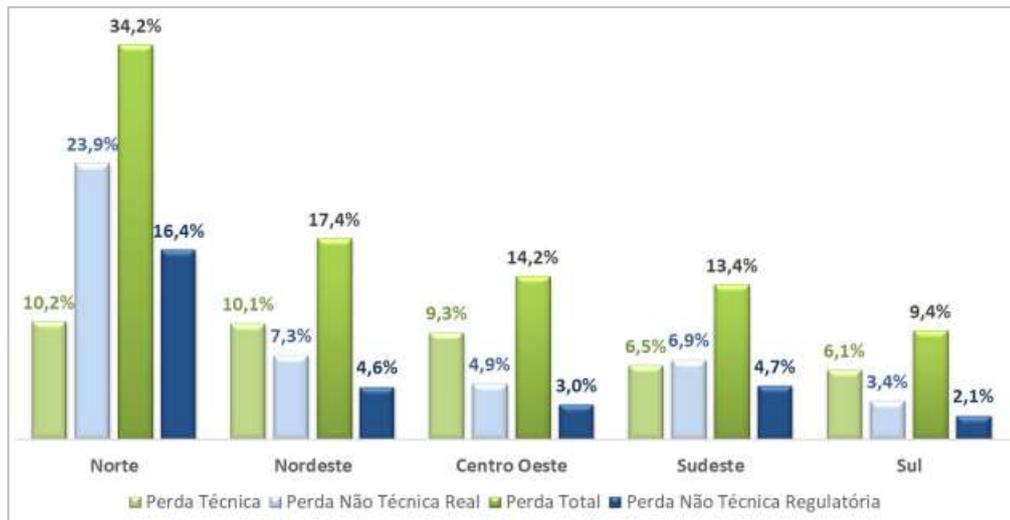
Figura 10 – Exemplo de perdas no setor elétrico



Fonte: Adaptado do documento da ANEEL (2022).

A Figura 11 mostra os diferentes tipos de perdas de energia por região geográfica do Brasil em 2020. Observa-se que as maiores Perdas Técnicas estão concentradas nas Regiões Norte (10,2%) e Nordeste (10,1%) e as menores nas Regiões Sul (6,1%) e Sudeste (6,5%). A Região Norte também apresenta as maiores perdas Não Técnica Real, Perda Total e Perda Não Técnica Regulatória: 23,9%, 34,2% e 16,4%, respectivamente.

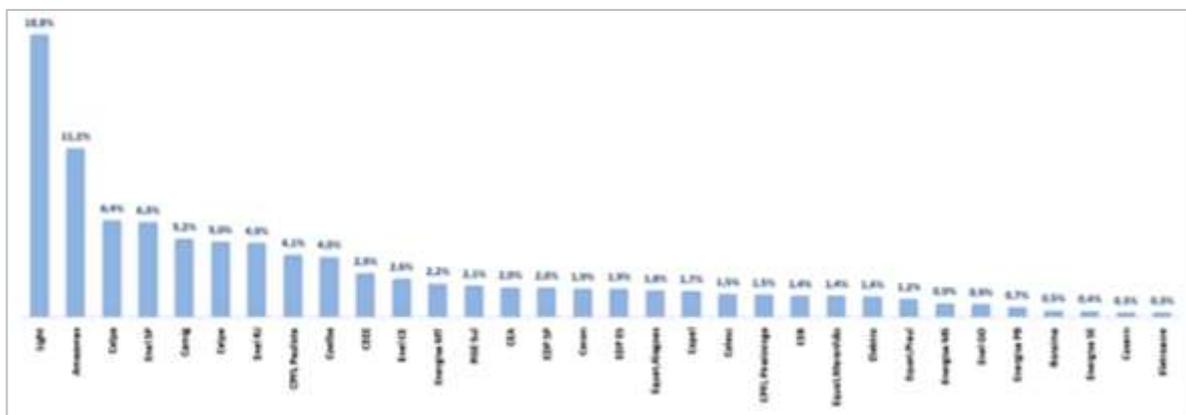
Figura 11 – Perdas sobre a energia injetada por região geográfica brasileira (2020)



Fonte: Adaptado do documento da ANEEL (2021, p. 3).

Na Figura 12, mostra-se como as concessionárias contribuíram para as perdas de energia não técnicas em 2020 em comparação com o total de perdas não técnicas. De acordo com os dados, as 10 distribuidoras com maiores índices de perdas foram responsáveis por 68,9% das perdas classificadas como não técnicas naquele ano (sendo que Light e Amazonas Energia juntas concentraram 30%).

Figura 12 – Presença das Perdas Não Técnicas Reais e Perdas Não Técnicas no Brasil (2020)



Fonte: Adaptado do documento da ANEEL (2021, p. 7).

O Relatório Perdas de Energia Elétrica na Distribuição (ANEEL, 2021) também apontou que, em 2020, o custo das perdas técnicas reais no país, calculado pela multiplicação dos valores pelo preço médio da energia nos processos de reajuste ou

revisão das tarifas, desconsiderando os impostos, representou um custo de R\$ 8,5 bilhões. Essas perdas são consideradas inevitáveis em todos os sistemas de distribuição e acabam sendo transferidas para os consumidores, levando em conta a eficiência operacional das redes e, por isso, não podem ser significativamente reduzidas. Os custos decorrentes dessas perdas na rede principal e incluídos nas tarifas totalizaram cerca de R\$ 1,8 bilhão (ANEEL, 2021).

Quanto às perdas não técnicas reais no país, de acordo com o método mencionado acima, elas totalizaram cerca de R\$ 8,6 bilhões em 2020. Por seu turno, as perdas não técnicas regulatórias, calculadas de acordo com a mesma metodologia da ANEEL, atingiram aproximadamente R\$ 5,6 bilhões anualmente. Isso equivale a cerca de 2,9% do custo da conta de luz para os consumidores, variando de acordo com cada distribuidora de energia (ANEEL, 2021).

4.3.4 Excesso na geração de eletricidade proveniente de fontes renováveis

Em 2028, o Brasil vai precisar de 110,98 gigawatts de potência, enquanto a disponibilidade pode alcançar 281,56 gigawatts até o final de 2027, conforme previsto pelo ONS. Isso significa que a oferta será 2,5 vezes maior do que a demanda (Carregosa, 2024b). Além dos desafios na operação do sistema elétrico devido à necessidade de equilíbrio entre consumo e geração, o professor Ivan Camargo, que é especialista em engenharia elétrica e já foi reitor da Universidade de Brasília, explica que o excesso de geração em relação ao consumo tem gerado distorções que podem resultar em custos extras para os consumidores (Bezerra, 2024).

Quando a oferta de energia ultrapassa a demanda, faz-se necessário impor limites à geração energética, ou seja, é preciso “verter” água, luz solar ou vento, conforme explicou o diretor-geral do ONS na época da publicação, Luiz Carlos Ciochi (Carregosa, 2024b). No setor elétrico, o vertimento acontece, por exemplo, quando se libera água não utilizada para geração de energia através das comportas das hidrelétricas. Da mesma forma, para as fontes eólica e solar, implica não utilizar esses recursos naturais na produção de eletricidade. Isso consiste em desconsiderar a potencialidade da geração de energia, devido à impossibilidade de armazenamento ou de distribuição eficiente (EPE, 2018e).

Neste contexto, um ponto que deve ser considerado é o aumento da geração distribuída, através da qual o consumidor assume a responsabilidade pela fabricação de sua própria energia. A ampla aceitação deste modelo resulta em uma diminuição na base de clientes das distribuidoras, que enfrentarão os encargos e subsídios do sistema. Além disso, mesmo com a redução dos custos das novas fontes de energia, como a solar e a eólica, os subsídios continuaram sendo concedidos, incentivando assim a construção de mais usinas. De acordo com Edvaldo Santana, ex-diretor da ANEEL, o país enfrenta a repercussão do excesso de intervenção que fomenta subsídios e outras distorções. É responsabilidade do ONS supervisionar a capacidade e a produção de eletricidade oriunda de diversas fontes, promovendo desligamentos coordenados quando se fizer necessário. Dessa forma, as usinas que não puderem produzir energia deverão receber compensação financeira dos consumidores (Carregosa, 2024b).

Outro ponto que merece destaque refere-se ao que ocorre com a energia em excesso. Estudos sobre novas tecnologias para o setor elétrico brasileiro indicam que as soluções de armazenamento de energia irão promover uma eficiência maior nos sistemas elétricos, além de aumentar a confiabilidade e a qualidade no fornecimento de energia (EPE, 2018e). Entre as opções disponíveis para atender à crescente demanda por flexibilidade operacional, o armazenamento de energia se destaca (Silva, 2022). Essa relevância, segundo o autor, se deve ao seu vasto âmbito de aplicação, que abrange desde unidades consumidoras residenciais até a rede elétrica básica, conhecida como Sistema Interligado Nacional.

Conforme a natureza do processo de armazenamento, os sistemas podem ser categorizados em: mecânicos, eletroquímicos, químicos, elétricos ou térmicos (EPE, 2018e). No contexto do SIN, essa tecnologia oferece uma solução eficaz para os desafios operacionais impostos pela expansão das fontes intermitentes de energia. As principais tecnologias associadas ao armazenamento mecânico incluem usinas hidrelétricas reversíveis (UHR) e volantes de inércia (*flywheels*). O armazenamento eletroquímico por meio de baterias é outra alternativa viável, dispondo atualmente de diversas tecnologias estabelecidas e outras em fase de desenvolvimento. Em linhas gerais, as inovações em armazenamento de energia apresentam oportunidades significativas para a integração de grandes volumes de energia renovável no sistema

energético global, contribuindo para a substituição dos combustíveis fósseis em diversas aplicações (Silva, 2022).

As baterias, frequentemente referidas como *Battery Energy Storage System* (BESS), destacam-se como a alternativa mais viável para diferentes aplicações, graças à sua portabilidade, escalabilidade e rapidez de resposta. Estas podem ser implementadas em praticamente qualquer local da rede elétrica, incluindo instalações dos próprios consumidores (EPE, 2018e). A integração de geração distribuída à rede de distribuição por meio de baterias enfrenta diversos desafios, que podem ser classificados em tecnológicos, financeiros e regulatórios. Os desafios tecnológicos envolvem a escolha adequada das baterias e conversores eletrônicos. Já os desafios financeiros se referem aos custos de desenvolvimento e aquisição de tecnologias e à viabilidade do retorno do investimento no sistema de armazenamento. Por fim, os desafios regulatórios estão relacionados à ausência de regras claras sobre sistemas de armazenamento de energia, o que pode gerar insegurança jurídica e desestimular investimentos por parte de concessionárias e investidores (Souza, 2020).

5 CONCLUSÃO E PROPOSTA DE CONTINUIDADE

A justificativa para o desenvolvimento do presente estudo apoia-se em uma investigação focada no setor elétrico brasileiro, assim como nos desafios que se impõem para a garantia do provimento de energia no futuro.

Os resultados deste estudo incluem: a exposição de um panorama contemporâneo das matrizes energéticas e elétrica em escalas global e nacional; a apresentação de informações e análises sobre a oferta e o consumo de eletricidade no Brasil, considerando quatro desafios socioeconômicos e ambientais envolvidos.

No contexto do primeiro desafio, foi debatido sobre como o excesso ou a escassez de chuvas podem afetar a produção de energia. Em circunstâncias como estas, frequentemente ocorrem descompassos no sistema elétrico, quer pelo excesso de oferta, quer pela insuficiência de potência injetada resultante da falta de disponibilidade do recurso.

O impacto do valor da conta de luz no orçamento dos consumidores foi o segundo desafio identificado. Em virtude disso, foram colocados em debate dados de um ranking que analisou o efeito das despesas de energia elétrica no orçamento dos consumidores residenciais em relação a 33 países da OCDE. O Brasil está no topo dele.

No âmbito do terceiro desafio, foram debatidas as perdas de energia na distribuição e transmissão. Enquanto as perdas técnicas são tidas como inevitáveis em qualquer sistema de distribuição, as perdas não técnicas acontecem principalmente por causa de furtos, ações fraudulentas, falhas na leitura, medição e faturamento.

Por fim, o excesso na geração de eletricidade proveniente de fontes renováveis foi apresentado como o quarto desafio. O debate concentrou-se em torno de como a diversidade de fontes energéticas resulta em uma situação paradoxal no sistema elétrico: a produção “em excesso” de energia elétrica, que muitas vezes necessita ser descartada devido à incapacidade de distribuição ou armazenamento.

Para trabalhos futuros, recomenda-se uma análise cuidadosa de cada desafio identificado. A seguir, destacam-se algumas propostas:

- Analisar como as mudanças climáticas e os eventos extremos impactam o setor de energia elétrica.
- Avaliar cenários de oferta e demanda de energia elétrica, com particular atenção ao potencial das tecnologias de armazenamento de energia.
- Analisar projeções referentes ao consumo e à demanda de energia elétrica, segmentando por classe de consumo, como residencial, industrial, comercial e outras categorias.

REFERÊNCIAS

ABRACE. Associação Brasileira de Grandes Consumidores de Energia e Consumidores Livres. **Brasil tem a conta de luz que mais pesa no bolso da população entre 34 países**, 09 out. 2023. Disponível em: <https://abrace.org.br/brasil-tem-a-conta-de-luz-que-mais-pesa-no-bolso-da-populacao-entre-34-paises/>. Acesso em: 03 mar. 2024.

ALMEIDA, Priscylla. O consumo de combustíveis fósseis e o alarmante efeito nos biomas brasileiros: Avanços da matriz energética brasileira e os desafios no cenário atual das mudanças climáticas. **Cienc. Cult**, São Paulo, v. 75, n. 4, p. 01-04, dez. 2023.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3. ed. Brasília: Aneel, 2008.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Relatório Perdas de Energia Elétrica na Distribuição**. Edição 01, 2021. Disponível em: https://antigo.aneel.gov.br/documents/654800/18766993/Relat%C3%B3rio+Perdas+de+Energia_+Edi%C3%A7%C3%A3o+1-2021.pdf/143904c4-3e1d-a4d6-c6f0-94af77bac02a. Acesso em: 27 jan. 2024.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Assuntos. Distribuição. **Perdas de Energia**, 16 fev. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/distribuicao/perdas-de-energia>. Acesso em: 27 jan. 2024.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa n. 1.059, de 7 de fevereiro de 2023. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 10 fev. 2023. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20231059.pdf>. Acesso em: 27 jan. 2024.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Processamento de Gás Natural**, 31 jul. de 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-de-derivados-de-petroleo-e-processamento-de-gas-natural/processamento-de-gas-natural#:~:text=G%C3%A1s%20natural%20%C3%A9%20uma%20subst%C3%A2ncia,com%20teores%20abaixo%20de%202%25>. Acesso em: 24 jan. 2024.

BARBOSA, Gabriela Gonçalves. Recursos Naturais Renováveis e Produção de Energia. **Revista Política Hoje**, v. 23, n. 1, p. 193-215, 2014.

BEZERRA, Antônio Luiz Moreira. Energia renovável: o paradoxo da sobra de energia limpa no país. **TV ASSEMBLEIA. Notícias TV**, 11 mar. 2024. Disponível em: <https://www.al.pi.leg.br/tv/noticias-tv-1/energia-renovavel-o-paradoxo-da-sobra-de-energia-limpa-no-pais>. Acesso em: 20 mar. 2024.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME). Conheça as instituições do setor elétrico brasileiro e as competências de cada uma. **Assuntos/Notícias**, 11 jun. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/conheca-as>

instituicoes-do-setor-eletrico-brasileiro-e-as-competencias-de-cada-uma. Acesso em: 29 jan. 2024.

CARREGOSA, Laís. Subsídios serão 12,5% da conta de energia que a população pagará em 2024; saiba como funcionam. **g1**, Economia, 05 mar. 2024a. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/2024/03/05/subsidios-serao-125percent-da-conta-de-energia-que-a-populacao-pagara-em-2024-saiba-como-funcionam.ghtml>. Acesso em: 20 mar. 2024.

CARREGOSA, Laís. Oferta de energia cresce mais que consumo, e Brasil 'joga fora' excesso; entenda. **g1**, Economia, 04 mar. 2024b. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/2024/03/04/oferta-de-energia-cresce-mais-que-consumo-e-brasil-joga-fora-excesso-entenda.ghtml>. Acesso em: 20 mar. 2024.

CCEE. Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. **Nossos associados**. CCEE. São Paulo - SP, S. d. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/nossos-associados>. Acesso em: 9 fev. 2024.

ÇENGEL, Yunus A.; BOLES, Michael A. **Termodinâmica**. 7. ed. Porto Alegre - RS: AMGH Editora Ltda., 2013.

CRESWELL, John Ward. **Investigação qualitativa e projeto de pesquisa: escolhendo entre cinco abordagens**. 3. ed. Tradução Sandra Mallmann da Rosa. Porto Alegre: Penso, 2014.

CORTEZ, Henrique. Impactos ambientais e sociais na construção de usinas hidrelétricas. **EcoDebate**. Redação, 29 maio 2023. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2023/05/29/impactos-ambientais-e-sociais-na-construcao-de-usinas-hidreletricas/>. Acesso em: 10 dez. 2023.

DIAS, Juliana Vilas Bôas Costa; DOURADO, Hellen Christina Araujo; SIQUEIRA, Rafael Moreira. Cadê a termoquímica que estava aqui? Análise do conteúdo de Termoquímica em uma coleção de livros didáticos. **Revista de Estudos em Educação e Diversidade - REED**, [S. l.], v. 4, n. 11, p. 1-14, 2023.

ECODEBATE. Estudo estima a mortalidade por fuligem de carvão nos Estados Unidos. **Redação EcoDebate**, 29 nov. 2023. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2023/11/29/estudo-estima-a-mortalidade-por-fuligem-de-carvao-nos-estados-unidos/>. Acesso em: 28 jan. 2024.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **ABCDEnergia**, Matriz Energética e Elétrica, 2023a. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica#ELETRICA>. Acesso em: 27 jan. 2024.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Atlas da Eficiência Energética – Brasil 2023 – Relatório de Indicadores**. Rio de Janeiro: EPE, 2023b. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/atlas-da-eficiencia-energetica-brasil>. Acesso em: 27 jan. 2024.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional – BEN 2023**. Rio de Janeiro: EPE, 2023c. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben>. Acesso em: 27 jan. 2024.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **BEN 2023 – Relatório Síntese 2023 – Ano base 2022**. Rio de Janeiro: EPE, 2023d. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben>. Acesso em: 27 jan. 2024.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Fact Sheet: Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2023, 2023e**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/anuario-factsheet.pdf>. Acesso em: 27 jan. 2024.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2023 – Ano base 2022, 2023f**. Disponível em: <https://dashboard.epe.gov.br/apps/anuario-livro/#section-ancoranotas>. Acesso em: 27 jan. 2024.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **ABCDEnergia, O que é energia? 2018a**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/o-que-e-energia>. Acesso em: 27 jan. 2024.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **ABCDEnergia, Formas de Energia, 2018b**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/formas-de-energia>. Acesso em: 27 jan. 2024.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **ABCDEnergia, Fontes de Energia, 2018c**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia>. Acesso em: 27 jan. 2024.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **ABCDEnergia, Mudanças climáticas e Transição energética, 2018d**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/clima-e-energia>. Acesso em: 27 jan. 2024.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Nota Técnica PR 04/18, Potencial dos Recursos Energéticos no Horizonte de 2050. Série Recursos Energéticos**. Rio de Janeiro, 2018e. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-416/03.%20Potencial%20de%20Recursos%20Energ%C3%A9ticos%20no%20Horizonte%202050%20\(NT%20PR%2004-18\).pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-416/03.%20Potencial%20de%20Recursos%20Energ%C3%A9ticos%20no%20Horizonte%202050%20(NT%20PR%2004-18).pdf). Acesso em: 10 out. 2024.

FERRAZ JR. Tércio Sampaio. Transição energética impõe necessidade de reformas nos cursos de engenharia. **Jornal da USP**. Série Energia, da Rádio USP, 08 mar. 2024. Disponível em: <https://jornal.usp.br/campus-ribeirao-preto/serie-energia-transicao-energetica-impoe-necessidade-de-reformas-nos-cursos-de-engenharia/>. Acesso em: 23 abr. 2024.

FERRAZ JR. Tércio Sampaio. Os prós e os contras da energia nuclear são evidentes em série dramática. **Jornal da USP**. Série Energia, da Rádio USP, 11 ago. 2023a. Disponível em: <https://jornal.usp.br/campus-ribeirao-preto/serie-energia-os-pros-e-contras-da-energia-nuclear-sao-evidentes-em-serie-dramatica/>. Acesso em: 26 jan. 2024.

FERRAZ JR. Tércio Sampaio. Brasil aparece entre os países que mais consomem energia. **Jornal da USP**. Série Energia, da Rádio USP, 01 set. 2023b. Disponível em: [https://jornal.usp.br/noticias/serie-energia-brasil-aparece-entre-os-paises-que-mais-consoem-energia/#:~:text=No%20ranking%20global%20de%20consumo,%2C%20R%C3%BAssia%20e%20Jap%C3%A3o%2C%20respectivamente](https://jornal.usp.br/noticias/serie-energia-brasil-aparece-entre-os-paises-que-mais-consoem-energia/#:~:text=No%20ranking%20global%20de%20consumo,%2C%20R%C3%BAssia%20e%20Jap%C3%A3o%2C%20respectivamente.). Acesso em: 26 jan. 2024.

FERRAZ JR. Tércio Sampaio. Na contramão da sustentabilidade, carvão mineral segue firme na produção de energia térmica. **Jornal da USP**. Série Energia, da Rádio USP, 29 jul. 2022a. Disponível em: <https://jornal.usp.br/campus-ribeirao-preto/serie-energia-na-contramao-da-sustentabilidade-carvao-mineral-segue-firme-na-producao-de-energia-termica/>. Acesso em: 26 jan. 2024.

FERRAZ JR. Tércio Sampaio. A diferença entre matriz energética e matriz elétrica ajuda a entender o problema energético. **Jornal da USP**. Série Energia, da Rádio USP, 04 fev. 2022b. Disponível em: <https://jornal.usp.br/campus-ribeirao-preto/serie-energia-a-diferenca-entre-matriz-energetica-e-matriz-eletrica-ajuda-a-entender-o-problema-energetico/>. Acesso em: 26 jan. 2024.

FERRAZ JR. Tércio Sampaio. Por fontes alternativas, Brasil resgata programa de energia nuclear. **Jornal da USP**. Série Energia, da Rádio USP, 12 nov. 2021. Disponível em: <https://jornal.usp.br/campus-ribeirao-preto/serie-energia-por-fontes-alternativas-brasil-resgata-programa-de-energia-nuclear/>. Acesso em: 26 jan. 2024.

FERREIRA, Ricardo Vieira. Previsão de Demanda: **Um Estudo de Caso para o Sistema Interligado Nacional**. 2006. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2006.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GRANZIERA, Maria Luiza Machado; REI, Fernando (Org.). **Energia e meio ambiente: contribuições para o necessário diálogo [recurso eletrônico]**. Santos (SP): Editora Universitária Leopoldianum, 2015.

GRESHKO, Michael. Você sabe qual é a diferença entre magma e lava? **National Geographic Brasil**, 9 maio 2018. Disponível em: [https://www.nationalgeographicbrasil.com/vulcao/2018/05/voce-sabe-qual-e-diferenca-entre-magma-e-lava#:~:text=A%20distin%C3%A7%C3%A3o%20entre%20magma%20e,ela%20ser%C3%A1%20chamada%20de%20lava](https://www.nationalgeographicbrasil.com/vulcao/2018/05/voce-sabe-qual-e-diferenca-entre-magma-e-lava#:~:text=A%20distin%C3%A7%C3%A3o%20entre%20magma%20e,ela%20ser%C3%A1%20chamada%20de%20lava.). Acesso em: 20 jan. 2024.

g1 RS. **Temporais no RS: sobe para 57 o número de mortos; pelo menos 373 mil estão sem luz e mais de 180 trechos de rodovias têm bloqueios**, 04 maio 2024a. Disponível em: <https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2024/05/04/sobe->

para-50-numero-de-mortos-por-causa-de-temporais-no-rs.ghtml. Acesso em: 04 maio 2024.

g1 RS. **RS tem quatro barragens com risco de rompimento**; veja situação de cada uma do estado, 03 maio 2024. Disponível em: <https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2024/05/03/veja-situacao-barragens-rs.ghtml>. Acesso em: 03 maio 2024.

INATOMI, Thais Aya Hassan; UDAETA, Miguel Edgar Morales. Análise dos impactos ambientais na produção de energia dentro do planejamento integrado de recursos. **Brasil Japão. Trabalhos**, p. 189-205, 2005.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

MANÇO, Jose Roberto Xavier Programa de incentivo à redução voluntária do consumo de energia elétrica: desafios e perspectivas. Dissertação (Mestrado Profissional em Avaliação e Monitoramento de Políticas Públicas). Escola Nacional de Administração Pública, Brasília: Enap, 2024.

MAUAD, Frederico Fábio; FERREIRA, Luciana da Costa; TRINDADE, Tatiana Costa Guimarães. **Energia Renovável no Brasil**: análise das principais fontes energéticas renováveis brasileiras. São Carlos: Eesc/Usp, 2017.

MOREIRA, José Roberto Simões; GRIMONI, José Aquiles Baesso; ROCHA, Marcelo da Silva. Energia e panorama energético. *In*: MOREIRA, José Roberto (Org.). **Energias renováveis, geração distribuída e eficiência energética**. 2 ed.. Rio de Janeiro, RJ: LTC, cap. 1. p. 1-14, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ipen.br/entities/publication/996c4b9f-42f5-4042-a355-81e24ed21078>. Acesso em: 12 jan. 2024.

MOREIRA, Marco Antonio. **Energia, entropia e irreversibilidade**. Porto Alegre: Instituto de Física, UFRGS, 1998.

NEGRI, Robison; NIEDZVIESKI, Emanuely. Português Estudo da Substituição da Central GLP por Infraestrutura para Fogão de Indução. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, v. 8, n. 3, p. 28-39, 30 dez. 2023.

ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico). **O que é o SIN**. O sistema interligado nacional, 2024a. Disponível em: <https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin>. Acesso em: 20 abr. 2024.

ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico). **O sistema em números**. Evolução da capacidade instalada no SIN, maio 2024/ dez. 2028, 2024b. Disponível em: <https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros>. Acesso em: 20 abr. 2024.

ONS. Operador Nacional do Sistema Elétrico. **Sobre o SIN**. Sistemas isolados, 2024c. Disponível em: <https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/sistemas-isolados>. Acesso em: 20 abr. 2024.

PORTAL TERRA. A influência das chuvas na produção de energia elétrica. **Planeta. Energia**, 8 mar. 2023. Disponível em: <https://www.terra.com.br/planeta/energia/a-influencia-das-chuvas-na-producao-de-energia-eletrica,717a833111f6eedb6b2c6536ad8d7eb7t0nmhkxs.html#:~:text=Se%20houver%20chuvas%20excessivas%2C%20o,a%20quantidade%20de%20energia%20gerada>. Acesso em: 27 jan. 2024.

ONODY, Roberto N. “Uma Usina Geotérmica no Brasil?” **Portal do Instituto de Física de São Carlos**. Notícias, 28 set. 2022. Disponível em: <https://www2.ifsc.usp.br/portal-ifsc/uma-usina-geotermica-no-brasil-artigo-assinado-pelo-prof-roberto-n-onody/>. Acesso em: 10 fev. 2023.

ORNELLAS, Antonio José. **A energia dos tempos antigos aos dias atuais**. Maceió: EDUFAL, 2006.

OSORIO, Ana Dayse. Quanto custa ter energia solar em casa? Vale a pena? **UOL**, São Paulo, 11 mar. de 2023. Disponível em: <https://economia.uol.com.br/noticias/redacao/2023/03/11/energia-solar-compensar-ter-em-casa.htm>. Acesso em: 10 fev. 2024.

SALOMÃO, Alexa. Brasil tem a conta de luz que mais pesa no bolso entre 34 países. **Estado de Minas**, Economia, 08 out. 2023. Disponível em: https://www.em.com.br/app/noticia/economia/2023/10/08/internas_economia,1573565/brasil-tem-a-conta-de-luz-que-mais-pesa-no-bolso-entre-34-paises.shtml#google_vignette. Acesso em: 03 mar. 2024.

SEVERINO, Antônio Joaquim. **Metodologia do Trabalho Científico**. 24^a ed. Cortez, São Paulo: 2016.

SILVA, Rogério Diogne de Souza e. **Novas tecnologias e infraestrutura do setor elétrico brasileiro**: Armazenamento de energia em baterias, Texto para Discussão, Nº. 2746, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Brasília, 2022. <https://doi.org/10.38116/td2746>

SILVA, Rutelly Marques da. **Energia Solar no Brasil**: dos incentivos aos desafios. Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado, fev. 2015 (Texto para Discussão nº 166). Disponível em: www.senado.leg.br/estudos. Acesso em 13 de jan. 2024.

SIQUEIRA, Iony Patriota de. Excedente de energia renovável: armazenar, transmitir ou reservar? **O Setor Elétrico**, 06 jan. 2023. Disponível em: <https://www.osetoelettrico.com.br/excedente-de-energia-renovavel-armazenar-transmitir-ou-reservar/>. Acesso em: 20 mar. 2024.

SOUZA, João Paulo Assunção de. **Análise de sistema de armazenamento de energia com baterias em uma rede real de distribuição de energia em média tensão**. 2020. 132 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.

TOMALSQUIM, Mauricio. Integração das Fontes Renováveis Intermitentes na América Latina (report). Caracas: CAF. Retrieved from 2017. Disponível em: <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/1222>. Acesso em: 03 maio 2024.

TOMÉ, Bruno. Antes e depois da cheia: como era a barragem 14 de Julho, entre Cotiporã e Bento Gonçalves, que teve rompimento parcial. **Jornal digital GZH**, 02 maio 2024. Disponível em: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/pioneiro/geral/noticia/2024/05/antes-e-depois-da-cheia-como-era-a-barragem-14-de-julho-entre-cotipora-e-bento-goncalves-que-teve-rompimento-parcial-clvpn60cd01rm011w2f3gqvhp.html>. Acesso em: 03 maio 2024.

VIANA, Augusto Nelson Carvalho *et al.* **Eficiência energética**: fundamentos e aplicações. Elektro, Universidade Federal de Itajubá, Excen, Fupai, Campinas - SP, 2012.