



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ  
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

LUIS EDUARDO RIBEIRO VALENTE

**CARACTERIZAÇÃO DO PERFIL DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA  
NA REGIÃO NORTE DO BRASIL**

TUCURUÍ  
2024

LUIS EDUARDO RIBEIRO VALENTE

**CARACTERIZAÇÃO DO PERFIL DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA  
NA REGIÃO NORTE DO BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Elétrica, do Campus Universitário de Tucuruí, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador(a): Dra. Andrécia Pereira da Costa

Coorientador(a): Ma. Juliete da Silva Souza

TUCURUÍ  
2024

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará  
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

---

R484c Ribeiro Valente, Luis Eduardo.  
Caracterização do perfil da geração distribuída fotovoltaica na  
região norte do Brasil / Luis Eduardo Ribeiro Valente. — 2024.  
50 f. : il. color.

Orientador(a): Prof<sup>a</sup>. Dra. Andrécia Pereira da Costa  
Coorientador(a): Prof<sup>a</sup>. MSc. Juliete da Silva Souza  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade  
Federal do Pará, Campus Universitário de Tucuruí, Faculdade de  
Engenharia Elétrica, Tucuruí, 2024.

1. Energia Solar. 2. Painéis Fotovoltaicos. 3. Região Norte.  
4. Transição Energética. 5. Sustentabilidade. I. Título.

CDD 621.31244

---

LUIS EDUARDO RIBEIRO VALENTE

**CARACTERIZAÇÃO DO PERFIL DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA NA  
REGIÃO NORTE DO BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Elétrica, do Campus Universitário de Tucuruí, da Universidade Federal do Pará, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Data de aprovação: 26/02/2024

Conceito: Bom

**Banca Examinadora**

---

Orientador (a)

Dra. Andrécia Pereira da Costa – UFPA

---

Coorientador (a)

Ma. Juliete da Silva Souza – UFCG

---

Examinador (a) interno

Dr. André Felipe Souza da Cruz – UFPA

---

Examinador (a) externo

Ma. Maria Laís Félix da Silva – IFPI

Meu pai, Leonaldo Valente.

A minha irmã, Eduarda de Cássia.

Minha companheira, Jéssica dos Santos.

## AGRADECIMENTOS

A meu pai, Leonaldo Cardoso Valente, pelos valiosos conselhos e pelo constante incentivo ao longo dessa jornada.

À minha irmã, Eduarda de Cássia Ribeiro Valente, pelo apoio emocional e carinho que me proporcionou mesmo à distância.

À minha companheira, Jéssica dos Santos, pela presença constante e apoio incansável.

A meus tios, Lucivaldo e Odinéia, pelo acolhimento durante todo o período em Tucuruí.

À família da minha companheira, em especial a minha sogra, Maria de Mercês, e meu cunhado Jefferson dos Santos, pelo acolhimento e sábios conselhos.

A meus amigos Alessandro, Daniel, Gilzi, Jaciane e Camila, por compartilharem momentos preciosos ao longo do curso.

A todos os professores, em especial a Jefferson Souza, André Cruz e Andrécia Pereira, pelo conhecimento transmitido durante o curso.

À minha orientadora Andrécia Pereira, pela orientação e por todo o tempo que disponibilizou.

À minha Coorientadora Juliete da Silva, pela orientação e incentivo nestes últimos períodos.

E a todos os outros que, de alguma forma, contribuíram para o meu percurso acadêmico. Agradeço por cada gesto de ajuda ao longo do curso.

“Deixem que o futuro diga a verdade e avalie cada um de acordo com seu trabalho e realizações. O presente pertence a eles, mas o futuro pelo qual eu sempre trabalhei pertence a mim.”

(Nikola Tesla)

## RESUMO

Neste trabalho é apresentado um estudo de caracterização dos perfis dos sistemas de geração distribuída fotovoltaicos instalados nos estados que compõem a Região Norte do Brasil, nos períodos de 2013 a 2023. Para análise e extração de dados os dados referentes ao perfil geração distribuída da Região Norte foi usada a plataforma Sistema de Registro de Geração Distribuída (SISGD) no site da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Essa plataforma online oferece informações atualizadas sobre a geração distribuída em todo o país e está acessível ao público em geral. Na análise dos resultados, por meio de dados estatísticos, identificam-se um crescimento na instalação sistema geração destruída no Brasil, especialmente, os sistemas fotovoltaicos, esse crescimento deve se principalmente aos incentivos governamentais previstos nas Resoluções Normativas nº 482/2012 e a nº 687/2015. Notou-se que no contexto da Região Norte, o estado que mais apresentou sistemas de geração fotovoltaica foi o Pará. Ao compreender o contexto global e analisar os resultados específicos da região Norte do Brasil, este estudo contribui para o entendimento da transição energética em curso, visando não apenas compreender o presente, mas também projetar perspectivas futuras para a geração de energia solar na região, considerando seu potencial contínuo de expansão e contribuição para uma matriz energética mais sustentável e diversificada..

**Palavras-chave:** Energia Solar. Painéis Fotovoltaicos. Região Norte. Transição Energética. Sustentabilidade.

## **ABSTRACT**

In this work, a study is presented to characterize the profiles of photovoltaic distributed generation systems installed in the states that make up the Northern Region of Brazil, from 2013 to 2023. For analysis and data extraction, data referring to the distributed generation profile of the Northern Region the Distributed Generation Registration System (SISGD) platform was used on the National Electric Energy Agency (ANEEL) website. This online platform offers up-to-date information about distributed generation across the country and is accessible to the general public. In the analysis of the results, through statistical data, an increase in the generation system installation destroyed in Brazil, especially photovoltaic systems, is identified. This growth is mainly due to government incentives provided for in Normative Resolutions No. 482/2012 and No. 687 /2015. It was noted that in the context of the Northern Region, the state that presented the most photovoltaic generation systems was Pará. By understanding the global context and analyzing the specific results of the Northern region of Brazil, this study contributes to the understanding of the ongoing energy transition , aiming not only to understand the present, but also to project future perspectives for solar energy generation in the region, considering its continuous potential for expansion and contribution to a more sustainable and diversified energy matrix..

**Keywords:** Solar Energy. Photovoltaic Panels. Northern Region. Energy Transition. Sustainability.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Matriz energética mundial .....	19
Figura 2 - Matriz energética brasileira .....	20
Figura 3 - Matriz elétrica mundial .....	21
Figura 4 - Matriz elétrica brasileira .....	21
Figura 5 - As vinte maiores capacidades totais de coletores solares em operação em 2016....	23
Figura 6 - Incremento anual (%) e evolução da potência instalada de geração solar fotovoltaica no mundo (GW) – 2014 - 2022 .....	24
Figura 7 - Funcionamento de um sistema <i>on-grid</i> .....	28
Figura 8 - Funcionamento de um sistema <i>off-grid</i> .....	29
Figura 9 - Dados da distribuição nacional dos sistemas GD (unid) .....	31
Figura 10 - Potência Instalada da GD – FV dos Estados do Brasil.....	33
Figura 11 - Potência Instalada da GD – FV em porcentagens por Regiões do Brasil.....	34
Figura 12 - Potência Instalada da GD – FV em porcentagens da Região Sudeste .....	34
Figura 13 - Potência Instalada da GD – FV em porcentagens da Região Sul .....	35
Figura 14 - Potência Instalada da GD – FV em porcentagens da Região Centro-Oeste .....	36
Figura 15 - Potência Instalada da GD – FV em porcentagens da Região Nordeste .....	36
Figura 16 - Potência Instalada da GD – FV em porcentagens da Região Norte .....	37
Figura 17 - Quantidade de Sistemas por modalidade de geração na Região Norte.....	38
Figura 18 - Quantidade de UCs por modalidade de geração na Região Norte.....	39
Figura 19 - Potência instalada por modalidade de geração na Região Norte .....	40
Figura 20 - Potência Instalada por classe de consumo na Região Norte.....	41
Figura 21 - Potência instalada média por UC por classe de consumo na Região Norte .....	42
Figura 22 - Comparação da potência instalada média na Região Norte e Brasil .....	43
Figura 23 - Evolução da potência instalada na Região Norte.....	44

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Dados da GD no Brasil por tipos e regiões.....	32
---	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

°C	Graus Celcius
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
GD	Geração Distribuída
GD-FV	Geração Distribuída Fotovoltaica
GW	Gigawatt
GWth	Gigawatt Térmico
KW	Kilowatt
m-si	Silício Monocristalino
p-si	Silício Policristalino
SISGD	Sistema de Registro de Geração Distribuída
UCs	Unidades Consumidoras
W	Watt

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>1.1. Justificativa</b> .....	15
<b>1.2. Objetivos</b> .....	15
1.2.1. Objetivo geral: .....	15
1.2.2. Objetivos específicos:.....	15
<b>1.3. Estrutura do trabalho</b> .....	15
<b>2. PANORAMA ENERGÉTICO MUNDIAL/NACIONAL E A CONTRIBUIÇÃO DA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA</b> .....	17
<b>2.1. Energia elétrica</b> .....	17
<b>2.2. Tipos de fontes de geração de energia</b> .....	17
<b>2.3. Matrizes elétricas e energéticas no Brasil e no mundo</b> .....	18
<b>2.4. Geração de energia elétrica com a fonte solar</b> .....	22
2.4.1. Energia solar térmica .....	22
2.4.2. Energia solar fotovoltaica.....	23
<b>2.5. Geração distribuída no Brasil</b> .....	24
<b>2.6. Leis e decretos</b> .....	25
<b>2.7. Geração compartilhada</b> .....	26
<b>2.8. Autoconsumo remoto</b> .....	26
<b>2.9. Tipos de sistemas fotovoltaicos</b> .....	27
<b>3. EXTRAÇÃO DE DADOS A PARTIR DA PLATAFORMA SISGD</b> .....	30
<b>3.1. Caracterização do tipo de estudo</b> .....	30
<b>3.2. Sistema de coleta e uso de dados</b> .....	30
<b>4. RESULTADOS E DISCURSÕES</b> .....	31
<b>4.1. Panorama da GD no Brasil</b> .....	31
<b>4.2. Cenário de GD-FV no Brasil</b> .....	32
<b>4.3. Análise da GD-FV na região norte do Brasil</b> .....	37
4.3.1. Perfil da GD-FV por modalidade de geração .....	38
4.3.2. Perfil da GD-FV por classe de consumo .....	40
4.3.3. Perfil da GD-FV por ano de conexão .....	44
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	46
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	48

## 1. INTRODUÇÃO

A energia solar fotovoltaica surge como um catalisador crucial na transformação do cenário energético mundial, desempenhando um papel significativo na busca por fontes sustentáveis e limpas. A crescente conscientização sobre as limitações dos recursos não renováveis e os impactos das emissões de gases de efeito estufa tornam vital a mudança para fontes mais sustentáveis. A incorporação de energias renováveis não apenas reduz a dependência de combustíveis fósseis, mas também colabora para a mitigação das mudanças climáticas e a construção de um futuro mais sustentável (PINHO; GALDINO, 2014).

Nesse cenário, os sistemas de geração distribuída fotovoltaicos (GD-FV) surgem como uma solução promissora e viável. Os incentivos para a utilização desses sistemas não se limitam apenas à aspectos ambientais, mas também oferecem vantagens significativas para os consumidores. O suporte governamental desempenha um papel essencial, e normas específicas têm sido implementadas para promover a integração dessas tecnologias. Destacam-se, entre essas normas, a Resolução Normativa da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) nº 482/2012 e a Resolução Normativa da ANEEL nº 687/2015 (ANEEL, 2024).

A Resolução Normativa nº 482/2012 estabelece as condições gerais para o acesso de micro e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica. Por meio dela, os consumidores que optam por sistemas GD-FV podem injetar o excedente de energia na rede elétrica, obtendo créditos a serem utilizados em momentos de menor geração, como à noite ou em períodos nublados. Já a Resolução Normativa nº 687/2015 aprimora os mecanismos de compensação de energia, simplificando o processo de conexão à rede e fortalecendo os incentivos para a implementação dessas tecnologias sustentáveis. Essas regulamentações da ANEEL não apenas refletem o compromisso do governo brasileiro com a diversificação da matriz energética e a promoção de fontes renováveis, mas também simplificam os procedimentos para os consumidores, incentivando a adoção de GD-FV e fortalecendo a transição para um modelo energético mais sustentável (ANEEL, 2024).

Este trabalho tem o objetivo de apresentar um estudo de caracterização dos perfis dos sistemas geração distribuída fotovoltaicos instalados nos estados que compõem a Região Norte do Brasil nos períodos de 2013 a 2023, totalizando 10 anos de evolução na GD-FV da região.

## **1.1. Justificativa**

A GD-FV surge como uma alternativa viável para promover a geração descentralizada de energia elétrica, permitindo que os consumidores gerem parte ou toda a eletricidade que consomem.

A Resolução Normativa nº 482/2012 e a nº 687/2015 da ANEEL estabelecem condições favoráveis para a integração de sistemas GD-FV à rede elétrica, simplificando e oferecendo incentivos para os consumidores. O estudo visa analisar o impacto dessas regulamentações no aumento das instalações de GD-FV na Região Norte do Brasil.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo geral:**

Analisar o perfil dos sistemas de geração distribuída fotovoltaicos presentes nos estados da Região Norte, levando em conta diferentes modalidades, classe de consumo e o crescimento no período de 2013 a 2023.

### **1.2.2. Objetivos específicos:**

Os objetivos específicos do presente trabalho foram:

- Estudar as principais fontes de geração de energia renováveis;
- Conhecer os principais aspectos dos sistemas de geração fotovoltaica distribuída;
- Descrever as características dos sistemas de geração distribuída fotovoltaicos no cenário brasileiro;
- Detalhar as características dos sistemas de geração distribuída fotovoltaicos nos estados norte do Brasil;
- Avaliar a evolução dos sistemas de geração distribuída na região norte do Brasil.

## **1.3. Estrutura do trabalho**

Este trabalho está dividido em 5 Capítulos. O Capítulo 1 apresentamos a introdução com o tema abordado, seguido da justificativa, por fim estabelecemos o objetivo geral e objetivos específicos da pesquisa. O Capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica, abordando conceitos

sobre energia gerada a partir da fonte solar, regras e normas estabelecidas pelo governo a respeito das instalações de painéis fotovoltaicos e seus tipos de ligações. No Capítulo 3, é detalhada a metodologia adotada no estudo. O Capítulo 4 compreende os resultados e discussões, destacando dados obtidos por meio de uma plataforma da ANEEL, que fornece dados quantitativos a respeito da geração distribuída. Por fim, o Capítulo 5 apresenta as considerações finais do estudo realizado.

## **2. PANORAMA ENERGÉTICO MUNDIAL/NACIONAL E A CONTRIBUIÇÃO DA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA**

A energia solar fotovoltaica emergiu como uma das soluções mais promissoras na busca por fontes de energia renovável. Este trabalho se propõe a explorar o entendimento sobre esta forma específica de geração de energia, que utiliza células fotovoltaicas para converter diretamente a luz solar em eletricidade. Antes de adentrar nos detalhes específicos da energia solar fotovoltaica, é crucial compreender o panorama mais amplo da matriz energética mundial e do Brasil, destacando-se a crescente importância das fontes alternativas na transição energética global.

### **2.1. Energia elétrica**

No estudo dos fenômenos elétricos e magnéticos, cujas raízes remontam à Antiguidade Clássica, destacam-se importantes marcos históricos que culminaram nos avanços científicos dos séculos XVIII e XIX. Charles A. Coulomb, em 1784, foi pioneiro ao quantificar a força entre cargas por meio de sua balança de torção, revelando sua relação inversa com o quadrado da distância entre elas. Da mesma forma, Carl F. Gauss, em 1813, contribuiu significativamente ao demonstrar a relação entre o fluxo da "força elétrica" e a carga elétrica no interior de uma superfície fechada, enquanto Hans C. Oersted, em 1820, surpreendeu ao observar a deflexão de uma agulha magnética por uma corrente elétrica, evidenciando a interconexão entre fenômenos elétricos e magnéticos (LAGE, 2021)

Contudo, os avanços mais notáveis foram impulsionados por figuras como Michael Faraday, cujas descobertas revolucionaram os fundamentos da física. Em 1831, Faraday não apenas introduziu o conceito de campo elétrico como uma condição do espaço gerada pela presença de cargas, mas também formulou a lei da indução, transformando radicalmente os métodos de geração e transmissão de energia. James Clerk Maxwell, em 1864, consolidou esse progresso ao estabelecer as equações fundamentais do campo eletromagnético, demonstrando que perturbações nesse campo se propagam à velocidade da luz no vácuo, unificando assim a óptica com o eletromagnetismo e pavimentando o caminho para a física moderna (LAGE,2021)

### **2.2. Tipos de fontes de geração de energia**

Atualmente, a matriz energética predominante em grande parte do mundo é construída em torno da utilização de combustíveis fósseis, notadamente petróleo e gás natural, como suas

principais fontes de energia. Este modelo energético, embora amplamente estabelecido, apresenta uma série de desafios significativos que merecem atenção crítica. Um dos problemas predominantes associados a essa abordagem energética é a finitude dos recursos empregados. Além disso, os impactos negativos sobre o meio ambiente decorrentes do uso de combustíveis fósseis, tais como, poluição atmosférica e hídrica, se tornaram questões preocupantes e objetivo de crescente debate (SANTOS; RIBEIRO; MIRANDA, 2012).

A energia alternativa representa um método de geração de eletricidade que ocasiona menos desafios à sociedade contemporânea, tem menor impacto ambiental e resulta em uma redução substancial da emissão de poluentes (RAMOS, 2011).

A energia proveniente de fontes renováveis é aquela que se origina de recursos naturais, tais como, a energia solar, eólica, hídrica, das marés e geotérmica, os quais são naturalmente repostos (SANTOS; RIBEIRO; MIRANDA, 2012).

A distinção entre fontes de energia renováveis e não renováveis é de importância crítica ao se analisar a diversificação e sustentabilidade da matriz energética de uma nação (IEA, 2021).

### **2.3. Matrizes elétricas e energéticas no Brasil e no mundo**

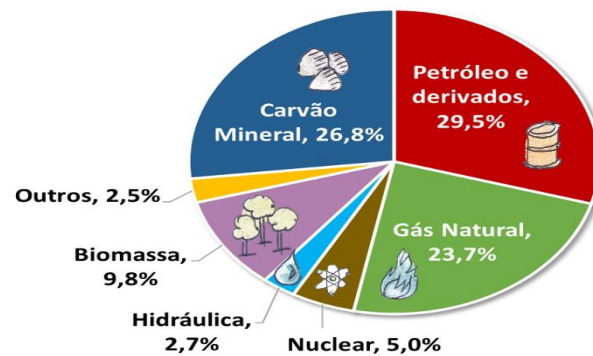
A matriz elétrica e a matriz energética são conceitos fundamentais no estudo do consumo e da distribuição de energia. A matriz elétrica faz referência à composição das fontes de geração de eletricidade em uma região específica, destacando a proporção de energia produzida a partir de fontes como usinas hidrelétricas, eólicas, solares, entre outras. Por sua vez, a matriz energética abrange uma esfera mais ampla, considerando não apenas a geração de eletricidade, mas também a produção de energia para transporte e aquecimento, incluindo os combustíveis utilizados em veículos e sistemas de aquecimento. Essa distinção é crucial para avaliar a diversificação das fontes de energia, a sustentabilidade e os impactos ambientais associados ao consumo de energia (IEA, 2021).

A estrutura energética mundial é predominantemente constituída por fontes de energia não renováveis, exemplificadas pelo uso significativo de carvão, petróleo e gás natural, conforme pode ser visualizado na Figura 1 (EPE, 2022).

As fontes de energia proveniente de fontes convencionais, sendo elas, derivados do petróleo, gás natural e carvão mineral constituem cerca de 80% da matriz energética mundial, enquanto fontes de energia renovável, tais como a solar, eólica e geotérmica, representam

coletivamente uma parcela de apenas 2,5% da composição da matriz energética mundial, categorizadas como ‘Outros’ em representações gráficas. Adicionando-se à contribuição da energia hidráulica e da biomassa, as fontes de energia renovável atingem aproximadamente 15% da composição total Figura 1 (EPE, 2022).

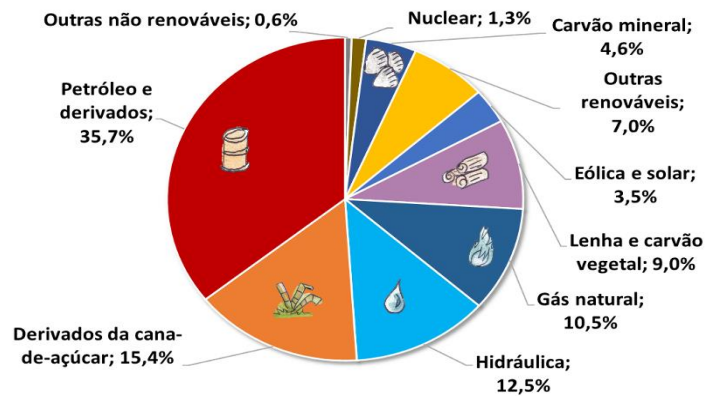
Figura 1 - Matriz energética mundial



Fonte: EPE, 2022.

Já a composição da matriz energética brasileira se distingue substancialmente da configuração mundial. No território nacional, observa-se uma predominância mais significativa de fontes de energia renovável em comparação com a média mundial. Ao considerarmos a agregação proveniente de recursos como lenha, carvão vegetal, energia hidrelétrica, biocombustíveis derivados da cana-de-açúcar, energia eólica, solar e outras fontes renováveis, constata-se que as energias provenientes de fontes renováveis correspondem a 47,4%, representando praticamente metade matriz energética do país. A segunda fonte de energia mais utilizada no Brasil é o petróleo, com mais de 35% da matriz energética nacional, por conta dos poços de petróleo encontradas no pré-sal, como pode ser visto na Figura 2 (EPE, 2022).

Figura 2 - Matriz energética brasileira

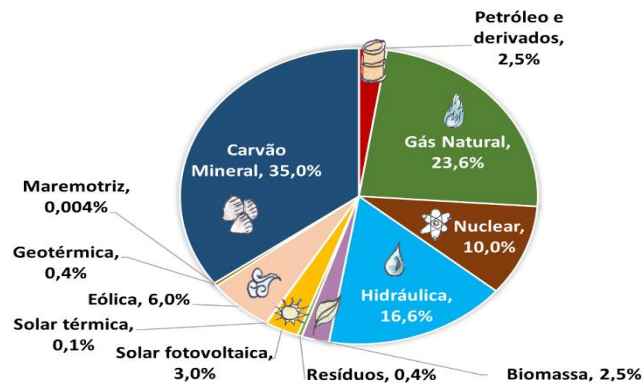


Fonte: EPE, 2022.

A matriz elétrica representa o conjunto de fontes destinadas exclusivamente à geração de energia elétrica em âmbito nacional, regional ou global. A eletricidade é uma necessidade urgente, utilizada em uma variedade de contextos cotidianos, como a transmissão televisiva, audição radiofônica, iluminação doméstica, operação de eletrodomésticos como geladeiras, bem como o carregamento de dispositivos móveis, entre outras aplicações essenciais (EPE, 2022).

Assim como a matriz energética global, a matriz elétrica também demonstra uma marcada predominância no uso de fontes de energia convencionais, representando mais de 70% da composição total. Este cenário reflete uma dependência considerável de recursos não renováveis, como carvão, petróleo e gás natural, para a geração de eletricidade. Apesar disso, é importante destacar que nos últimos anos tem-se observado um aumento gradual no investimento e na incorporação de fontes de energia renovável, como a solar, eólica e hidrelétrica, visando a diversificação e a busca por fontes mais sustentáveis na geração de eletricidade, conforme ilustra a Figura 3 (EPE, 2022).

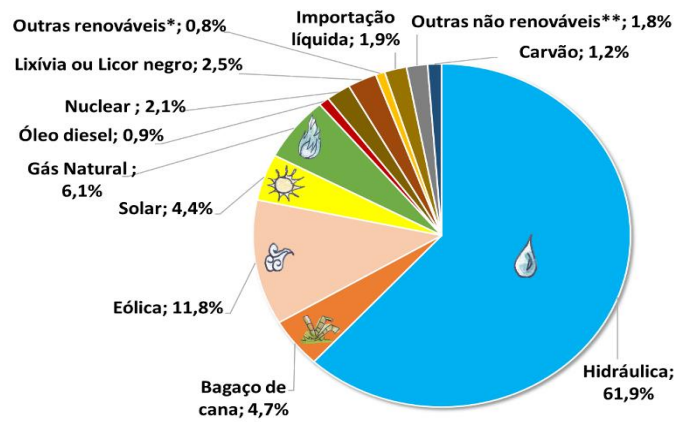
Figura 3 - Matriz elétrica mundial



Fonte: EPE, 2022.

A matriz elétrica do Brasil destaca-se por sua maior predominância de fontes renováveis em comparação à matriz energética, impulsionada significativamente pela expressiva contribuição das usinas hidrelétricas para a geração de eletricidade no país, cerca de 62%. Adicionalmente, o crescente desenvolvimento da energia eólica tem desempenhado um papel fundamental na contínua consolidação da predominância de fontes renováveis na matriz elétrica brasileira. Além disso, é importante ressaltar o avanço notável da energia solar, que gradativamente tem aumentado sua participação, fortalecendo ainda mais a composição majoritariamente renovável da nossa matriz elétrica como ilustrado na Figura 4 (EPE, 2022).

Figura 4 - Matriz elétrica brasileira



Fonte: EPE, 2022.

## 2.4. Geração de energia elétrica com a fonte solar

A captação da radiação solar proveniente do sol constitui uma das vias para a obtenção de energia elétrica. O sol, uma vasta esfera de gás incandescente, é fonte primária desse recurso energético, gerando energia por meio de reações termonucleares (RAMPINELLI, 2010).

A radiação solar é uma forma de energia emitida pelo sol, propagando-se em todas as direções do espaço sob a forma de ondas eletromagnéticas. Suas características, como sua ampla dispersão, resultam em baixa densidade e em variabilidade temporal. Tais atributos são fundamentais e possuem uma relevância substancial para a maximização do aproveitamento da energia solar disponível (RAMPINELLI, 2010).

### 2.4.1. Energia solar térmica

Na geração de energia térmica tendo como fonte a energia solar, são utilizados coletores solares e esses têm como função principal aquecer fluidos, podendo ser classificados em concentradores e planos, dependendo da presença de dispositivos para concentrar a radiação solar. O fluido aquecido pode ser armazenado em reservatórios isolados termicamente até sua utilização. Os concentradores são usados em aplicações de alta temperatura, podendo atingir até 400°C para geração de eletricidade por meio de turbinas a vapor. Já os coletores planos são empregados principalmente em aplicações residenciais e comerciais de baixa temperatura, como aquecimento de água para banho, secagem de grãos, aquecimento de piscinas, entre outros usos (PINHO; GALDINO, 2014).

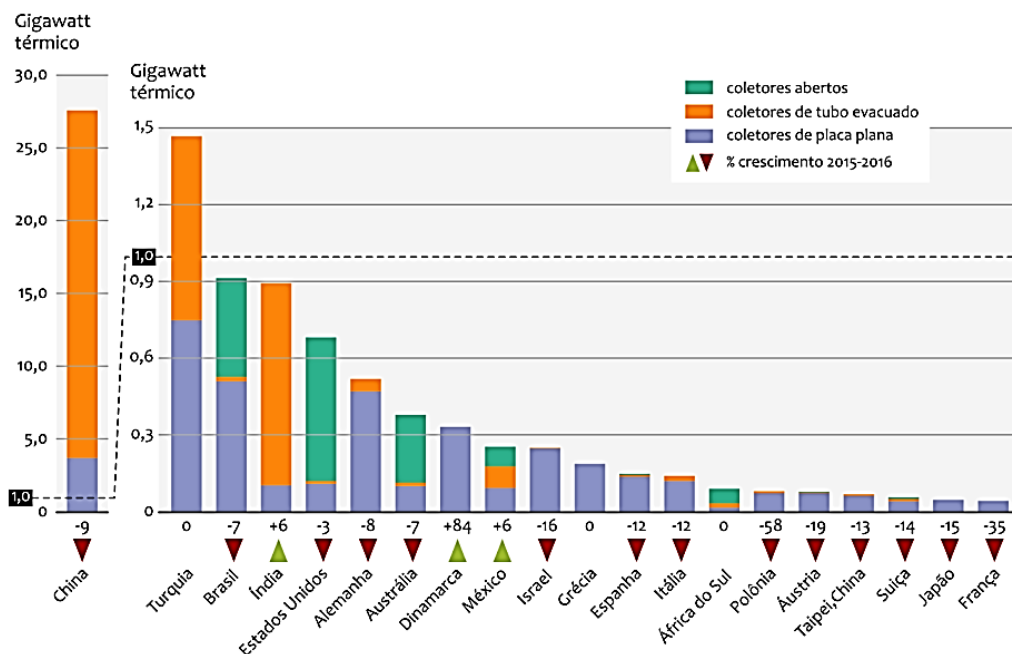
A utilização da energia solar para o aquecimento de água em temperaturas inferiores a 100°C é, atualmente, uma das aplicações mais comuns no Brasil. Essa prática eventualmente substitui sistemas de aquecimento elétrico ou a gás, que são utilizados em chuveiros. Tal preferência deriva da simplicidade da tecnologia para a converter essa energia solar em energia térmica, que se encontra amplamente disponível no mercado, oferecendo uma variedade de fornecedores e fabricantes. Além disso, a viabilidade econômica é facilmente alcançada em projetos bem estruturados (PEREIRA *et al.*, 2017).

Exclusivamente no âmbito residencial, as despesas destinadas ao aquecimento de água representam cerca de 24% do consumo total de energia elétrica. Os chuveiros elétricos, que podem operar com potências superiores a 6000 W, contribuem significativamente para o pico de demanda, geralmente concentrado no horário de pico, tipicamente no início da noite, entre 18:00 e 21:00 horas. Esse comportamento amplia a demanda global de energia do Sistema

Interligado Nacional (SIN), o que acarreta os custos elevados na expansão dos sistemas de geração, transmissão e distribuição, visando atender a dispositivos de alta potência e baixa utilização ao longo do dia, resultando em um baixo fator de carga (PEREIRA *et al.*, 2017).

A capacidade total de aquecedores solares instalados em todo o mundo, em 2016, excedeu os 456 GWth (gigawatt térmico), correspondendo a cerca de 652 milhões de metros quadrados de coletores instalados. A China emerge como o principal mercado para novas instalações, predominando o uso da tecnologia de coletores de tubos evacuados. Globalmente, além dos coletores de tubos evacuados, os coletores convencionais de placa plana com cobertura de vidro e os coletores poliméricos ou abertos são amplamente utilizados, como evidenciado na Figura 5. Apesar do Brasil possuir a terceira maior capacidade total instalada de sistemas de aquecimento solar, sua posição per capita é a 30ª no *ranking*. Isso sugere um amplo espaço para o crescimento desse mercado, especialmente quando consideramos que, em termos per capita, o país está atrás de muitos outros, mesmo tendo uma disponibilidade considerável de recurso solar. (PEREIRA *et al.*, 2017).

Figura 5 - As vinte maiores capacidades totais de coletores solares em operação em 2016



Fonte: Pereira *et al.*, 2017.

#### 2.4.2. Energia solar fotovoltaica

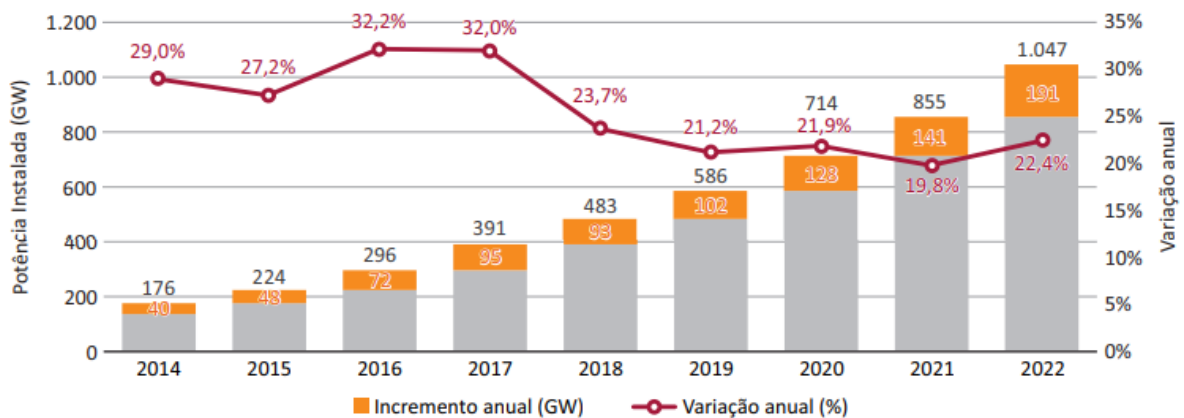
O fenômeno do efeito fotovoltaico, originalmente identificado por Edmond Becquerel em 1839, gera uma diferença de potencial nos terminais de uma célula eletroquímica quando a

luz é absorvida. Em 1876, o primeiro aparato fotovoltaico foi desenvolvido a partir dos estudos em física do estado sólido. Foi somente a partir de 1956 que teve início a produção industrial desses dispositivos, em linha com o crescimento do campo da eletrônica (PINHO; GALDINO, 2014).

A energia solar fotovoltaica é gerada diretamente a partir da luz solar, convertendo-a em eletricidade por meio do efeito fotovoltaico. A unidade primária desse processo é a célula fotovoltaica, constituída por material semicondutor. As tecnologias empregadas na fabricação de células e módulos fotovoltaicos são classificadas em três gerações. A primeira geração abarca o silício monocristalino (m-Si) e o silício policristalino (p-Si), que dominam mais de 85% do mercado por serem consideradas tecnologias consolidadas, confiáveis e com a melhor eficiência comercial disponível (PINHO; GALDINO, 2014).

No final de 2022, a capacidade global de energia solar fotovoltaica atingiu 1.047 GW, houve um crescimento anual considerável nos últimos anos, registrando um aumento de 22,4% em relação ao ano anterior e aproximadamente seis vezes mais do que em 2014. Entre 2014 e 2022, essa capacidade cresceu a uma média anual de 25,0%, conforme ilustrado na Figura 6 (BEZERRA, 2023).

Figura 6 - Incremento anual (%) e evolução da potência instalada de geração solar fotovoltaica no mundo (GW) – 2014 - 2022



Fonte: IRENA (2023).

A perspectiva é de que o notável crescimento na produção de energia solar fotovoltaica continuará nos anos seguintes, em virtude do impulso por fontes renováveis de energia e das expectativas de diminuição dos custos de geração (BEZERRA, 2023).

## 2.5. Geração distribuída no Brasil

A geração distribuída, também conhecida por geração dispersa, local ou embutida, que tem como característica principal a produção de energia elétrica, que é realizada nas proximidades ou em conjunto com o consumidor. Essa forma de geração se conecta de forma direta às redes de distribuição de energia por meio da instalação em unidades consumidoras (UCs) (INEE, 2020).

No Brasil, a geração distribuída é citada pela primeira vez no Art. 14 do Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004. De acordo com essa definição, a geração distribuída refere-se à produção de energia elétrica proveniente de empreendimentos de agentes concessionários, permissionários ou autorizados, incluindo aqueles referidos no artigo 8º da Lei nº 9.074, de 1995, e conectados diretamente ao sistema elétrico de distribuição do comprador. Entretanto, essa definição exclui empreendimentos hidrelétricos com capacidade instalada superior a 30 MW e termelétricos, incluindo a cogeração, cuja eficiência energética seja inferior a setenta e cinco por cento, conforme a regulamentação da ANEEL estabelecida até dezembro de 2004 (BRASIL, 2004; INEE, 2020).

O termo Geração Distribuída (GD) foi citado em 2004, porém somente em 17 de abril de 2012 na Resolução Normativa nº 482, emitida pela Agência Nacional de Energia Elétrica, sendo essa representada como um marco regulatório, possibilitou que os consumidores realizem a troca de energia gerada com a rede elétrica. Essa resolução estabeleceu as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, delineando as normas para a compensação de créditos, a diferenciação da potência do sistema entre os grupos consumidores e fixou a taxa mínima aplicada a cada grupo consumidor (DUARTE, 2022).

## **2.6. Leis e decretos**

Desde que a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 entrou em vigor em 17 de abril de 2012, os consumidores brasileiros ganharam o direito de gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada. Esse direito não se resume a apenas promover a autossustentabilidade, mas também viabiliza a compensação do consumo de energia. As modalidades Microgeração e Minigeração Distribuídas de Energia Elétrica (MMGD) e o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) foram desenvolvidos com o propósito de unificar os benefícios econômicos e consciência socioambiental (ANEEL, 2024).

Ao longo do tempo, a ANEEL aprimorou as regras da MMGD, principalmente por meio das Resoluções Normativas nº 687 (2015), nº 786 (2017) e, de forma mais recente, com a Resolução Normativa nº 1.059, de 7 de fevereiro de 2023. Essas modificações têm como objetivo alinhar os regulamentos às exigências legais vigentes, consolidando as diretrizes na Resolução Normativa nº 1.000/2021 (ANEEL, 2024).

As normas permitem o uso de qualquer fonte renovável, além da cogeração qualificada, com a microgeração distribuída definida para até 75 kW e a minigeração distribuída para acima de 75 kW até 3 MW (podendo alcançar 5 MW em situações específicas). O SCEE possibilita a injeção de energia excedente na rede, funcionando como uma bateria virtual para armazenar e distribuir o excedente conforme necessário (ANEEL, 2024).

## **2.7. Geração compartilhada**

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) estabeleceu a prática de geração compartilhada por meio da Resolução Normativa 687/2015, que permite o compartilhamento de energia proveniente de sistemas de micro ou minigeração entre dois ou mais consumidores (CPF ou CNPJ) que estejam na mesma área de concessão. Essa inovadora modalidade de geração de energia implica a observância de diretrizes específicas, tais como a formação de consórcios ou cooperativas e a necessidade de uma unidade consumidora com micro ou minigeração distribuída (WEG, 2024).

Além disso, é crucial que o local de geração seja distinto daquele onde a energia excedente será compensada. A geração compartilhada, operando por meio de consórcios ou cooperativas, não apenas proporciona vantagens econômicas, mas também promove a sustentabilidade ao viabilizar o uso de fontes alternativas, como a energia solar. Essa abordagem cooperativa se destaca como uma alternativa eficiente tanto para residências quanto para empresas, permitindo que grupos de consumidores otimizem o aproveitamento de recursos energéticos renováveis de maneira colaborativa (WEG, 2024).

## **2.8. Autoconsumo remoto**

A Resolução 687 de 2015 da ANEEL também introduziu a definição de autoconsumo remoto, como aquele que se caracteriza por unidades consumidoras de titularidade de uma mesma Pessoa Jurídica, incluindo matriz e filial, ou de uma pessoa física que possua uma

unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente de suas demais unidades consumidoras. No entanto, é importante observar que todas essas unidades devem estar situadas dentro da mesma área de concessão ou permissão. Nesse contexto, a energia excedente gerada será compensada no sistema (ANEEL, 2024).

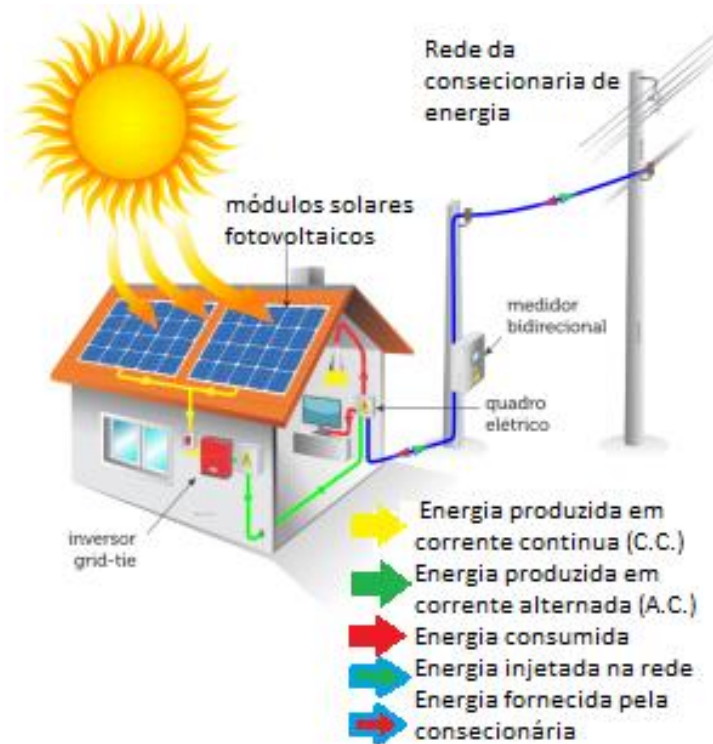
O requerente da unidade consumidora geradora deve formalizar o pedido de inclusão das unidades consumidoras beneficiárias, apresentando o "formulário para cadastro de unidades consumidoras participantes do sistema de compensação", devidamente preenchido e assinado, acompanhado da solicitação de acesso. Qualquer modificação pode ser requisitada em momento posterior, mediante a entrega do mesmo formulário, com pelo menos 60 dias de antecedência à sua implementação. É necessário especificar, no formulário, o percentual do excedente a ser transferido para cada beneficiária (ANEEL, 2024).

Nos casos em que há a transferência de excedente, a unidade onde a central de geração será instalada terá o equipamento de medição substituído por um com leitura bidirecional, enquanto as demais unidades registrarão apenas o consumo, podendo manter os medidores existentes. É importante observar que as faturas permanecem individualizadas para cada unidade consumidora (ANEEL, 2024).

## **2.9. Tipos de sistemas fotovoltaicos**

Os sistemas *on-grid* também chamados de *grid-tie*, apresentam como característica principal a conexão direta com a rede elétrica, permitindo a inserção de tensão e corrente nela. Esses sistemas são reconhecidos por complementar a matriz energética brasileira, já que geralmente têm uma carga instalada inferior a outras fontes energéticas, como hidroelétricas, eólicas ou a carvão. Sua instalação é comumente realizada em locais que já possuem infraestrutura para conectar-se à rede da concessionária de energia (ALVES, 2019).

Devido à sua capacidade de injetar energia excedente na rede, os sistemas *on-grid* viabilizam a aplicação do sistema de créditos de energia. Essa prática é possível por meio do uso de medidores de energia bidirecionais, nos quais a concessionária registra tanto a energia consumida quanto a energia gerada. Isso permite compensações e a aplicação de créditos. Assim, a rede da concessionária desempenha o papel de uma "bateria virtual", absorvendo o excedente de energia gerada pelo sistema *on-grid*, ilustrada na Figura 7 (ALVES, 2019).

Figura 7 - Funcionamento de um sistema *on-grid*

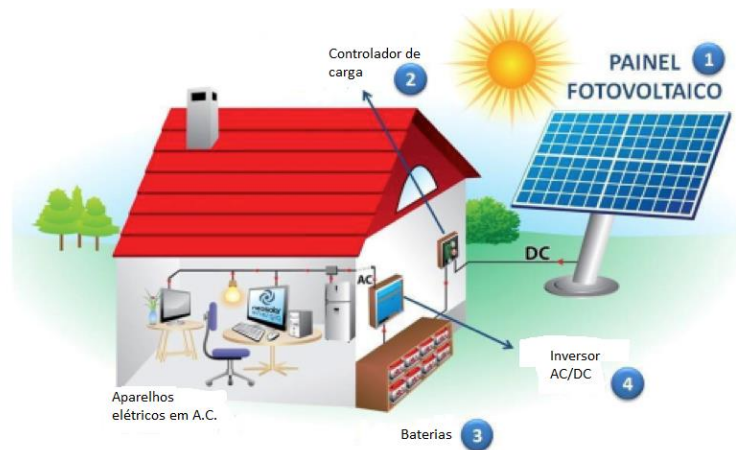
Fonte: Luz Solar (2021).

O sistema *on-grid* ilustrado na Figura 7, composto principalmente por diversos painéis fotovoltaicos ligados a um inversor e, posteriormente, à rede elétrica. Esse sistema não realiza o armazenamento de energia, o que significa que a energia gerada e não utilizada pelo consumidor/gerador é entregue diretamente à rede elétrica (ALVES, 2019).

Diferentemente dos sistemas conectados à rede elétrica (*on-grid*), os sistemas isolados da rede, denominados *off-grid*, funcionam de maneira independente da rede convencional. Nesse cenário, o sistema é responsável por fornecer tensão e corrente para todas as cargas presentes na instalação, assumindo as funções que normalmente seriam desempenhadas pela rede elétrica. Essa autonomia é viabilizada por meio da utilização de bancos de bateria (ALVES, 2019).

Os sistemas *off-grid*, são predominantes em localidades remotas e carentes de infraestrutura de rede elétrica. Nestas regiões, os custos elevados relacionados à implementação de infraestrutura para distribuição e transmissão de energia tornam impraticável a conexão à rede convencional. Portanto, a escolha recai sobre o uso de fontes energéticas por meio de sistemas independentes da rede elétrica, como ilustrados na Figura 8 (ALVES, 2019).

Figura 8 - Funcionamento de um sistema *off-grid*



Fonte: Trevi Solar (2017).

Na Figura 8, quatro componentes formam o sistema fotovoltaico *off-grid*: o módulo fotovoltaico, que é semelhante aos sistemas *on-grid*; os controladores de carga, responsáveis por proteger a bateria contra sobrecarga ou descarga em sistemas menores, desconectando o gerador fotovoltaico quando a bateria atinge a carga máxima; as baterias, comuns em sistemas isolados para armazenar energia, sendo as chumbo-ácidas predominantes, apesar de outras opções mais eficientes e duráveis; e o inversor, semelhante aos sistemas *on-grid*, que converte a energia para alimentar equipamentos em corrente alternada, incorporando um seguidor de ponto de máxima potência para otimizar a produção final, sendo utilizado para proporcionar conforto ao usar eletrodomésticos convencionais (ALVES, 2019).

### **3. EXTRAÇÃO DE DADOS A PARTIR DA PLATAFORMA SISGD**

#### **3.1. Caracterização do tipo de estudo**

Este estudo adota uma abordagem exploratória, centrada na busca e compilação de dados bibliográficos para aprofundar a compreensão da temática em questão. Além disso, caracteriza-se por um delineamento descritivo, uma vez que os dados apresentados são oficiais e fundamentais para a contextualização deste trabalho.

Os processos técnicos foram conduzidos por meio de pesquisas bibliográficas e análise documental em publicações oficiais de agências, assim como na literatura especializada. Essa abordagem permitiu a obtenção de dados qualitativos e quantitativos necessários para a delimitação do perfil da geração distribuída fotovoltaica na região Norte do Brasil.

#### **3.2. Sistema de coleta e uso de dados**

Este estudo foi conduzido por meio da análise e extração de dados disponíveis na plataforma Sistema de Registro de Geração Distribuída (SISGD). Essa plataforma online oferece informações atualizadas sobre a geração distribuída em todo o país e está acessível através do site da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). A utilização dessa plataforma proporciona facilidade na busca de informações, permitindo o emprego de filtros de pesquisa que fornecem dados precisos e transparentes (ANEEL, 2024).

Neste trabalho, foram utilizados filtros de busca que englobaram critérios como fonte de geração, região, estados, modalidade de geração, classe de consumo, potência instalada e ano de conexão, estabelecido no período de 01 de janeiro de 2013 a 31 de dezembro de 2023.

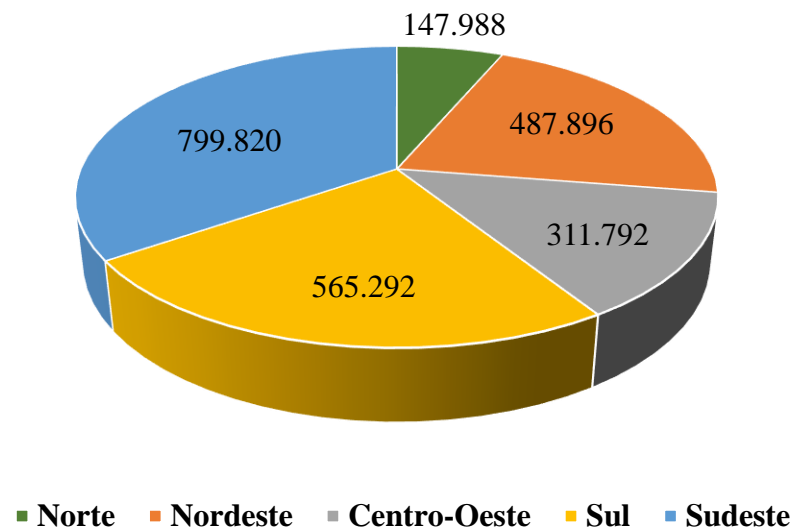
Visando padronizar a coleta de informações e, assim, evitar discrepâncias na análise final decorrentes de possíveis atualizações no SISGD, os dados foram coletados em 24 de janeiro de 2024, no intervalo das 19:00 às 22:45 horas.

## 4. RESULTADOS E DISCURSSÕES

### 4.1. Panorama da GD no Brasil

Com intuito de fazer uma análise do cenário da Geração Distribuída (GD) no Brasil, assim como sua distribuição geográfica e suas diversas características, foram usados os dados adquiridos por meio do site da ANEEL. Na Figura 9 pode ser visualizada a distribuição regional da GD no país. Vale salientar que os dados apresentados representam quantitativo total dos sistemas que utilizam recursos eólico, solar, hidráulico Central Geradora Hidrelétrica (CGH) e térmicos.

Figura 9 - Dados da distribuição nacional dos sistemas GD (unid)



Fonte: Elaborado de acordo com (ANEEL, 2024).

Na Tabela 1 é descrita a quantidade de sistemas para cada tipo de recurso renovável, segmentada por região. Destaca-se a diversidade na distribuição de sistemas de cada recurso em todas as regiões. Especificamente em relação à Geração Fotovoltaica (FV), a Região Sudeste se destaca como a líder em quantidade de sistemas, contrastando com a Região Norte, que registra a menor quantidade de sistemas nesse segmento.

Tabela 1 – Dados da GD no Brasil por Tipos e Regiões

Tipos de GD	Quantidade de GD por Região				
	Norte	Nordeste	Sul	Sudeste	Centro-Oeste
Fotovoltaica	147.987	487.830	565.039	799.499	311.699
CGH	0	1	18	49	8
Eólica	4	42	37	13	1
Térmicas	7	23	198	259	89

Fonte: Elaborado de acordo com (ANEEL, 2024).

Ao avaliar os sistemas que fazem uso de provenientes das usinas hidrelétricas de pequeno porte (CGHs), geralmente projetadas para aproveitar o potencial hidrelétrico de rios de menor porte), observa-se que a Região Sudeste se destaca com a maior quantidade de sistemas instalados, seguida pela Região Sul, Centro-Oeste, Nordeste, respectivamente. É relevante ressaltar que, no contexto desses sistemas, a Região Norte no período estudado não possui nenhum sistema registrado.

No referente aos sistemas GD provenientes do recurso eólico, a Região Nordeste destaca-se como a mais bem posicionada, seguida pela Região Sul, Sudeste e Norte, respectivamente. Na Região Centro-Oeste, foi registrada uma unidade de geração eólica instalada. Em relação aos sistemas baseados em fontes térmicas, observa-se que a Região Sudeste ocupa a primeira posição, precedida pelas Regiões Sul, Centro-Oeste e Norte.

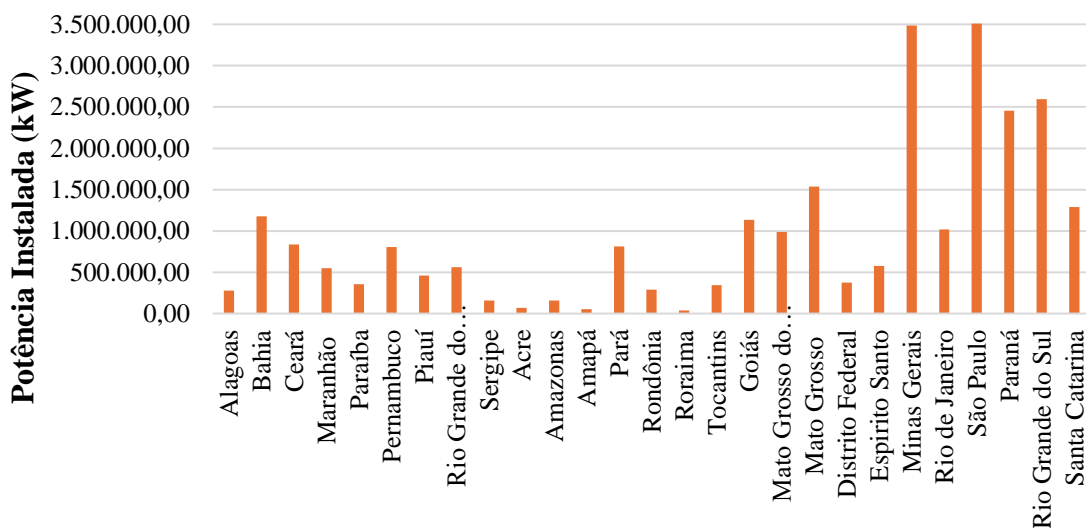
Considerando o exposto, torna-se evidente que os sistemas de GD que utilizam tecnologias fotovoltaicas destacam-se por sua presença expressiva em todas as regiões. Diante dessa constatação, as análises subsequentes serão direcionadas para proporcionar um detalhamento mais aprofundado do crescimento desses sistemas no país e na Região Norte, foco dessa pesquisa.

#### 4.2. Cenário de GD-FV no Brasil

Como observado na Tabela 1 (subtópico 4.1) a Geração Distribuída Fotovoltaica (GD-FV) é a fonte renovável que mais apresentou um quantitativo de unidades instaladas em todas as regiões de Brasil.

Na Figura 10 pode ser vista a potência instalada de sistemas GD – FV de cada estado do país. Observa-se que o estado de São Paulo é o primeiro colocado, com uma potência instalada de 3.510.588,39 kW, obtendo, portanto, o maior índice no país, já o estado de Roraima está classificado na última posição com uma potência instalada de 37.479,24 kW. O somatório da potência instalada no Brasil deu-se somando todos os valores referentes aos estados brasileiros das cinco regiões, portanto, foi obtido um total de 25.903.813,90 kW de potência instalada de sistemas GD-FV no país.

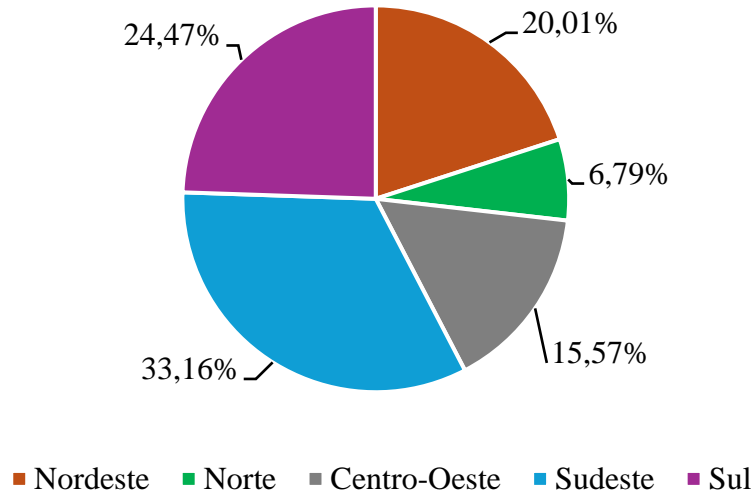
Figura 10 - Potência Instalada da GD – FV dos Estados do Brasil



Fonte: Elaborado de acordo com (ANEEL, 2024).

Na Figura 11 pode-se visualizar o percentual de potência instalada em cada uma das regiões do país em relação a potência instalada no Brasil (25.903.813,90 kW). Como observado, a Região Sudeste encontra-se em destaque com o maior percentual de potência instalada com 33,16% (8.590.568,56 kW) seguida pela Região Sul com 24,47% (6.337.469,20 kW), Região Nordeste com 20,01% (5.184.042,46 kW), Região Centro-Oeste 15,57% (4.032.647,92 kW) e a Região Norte com 6,79% (1.759.085,76 kW).

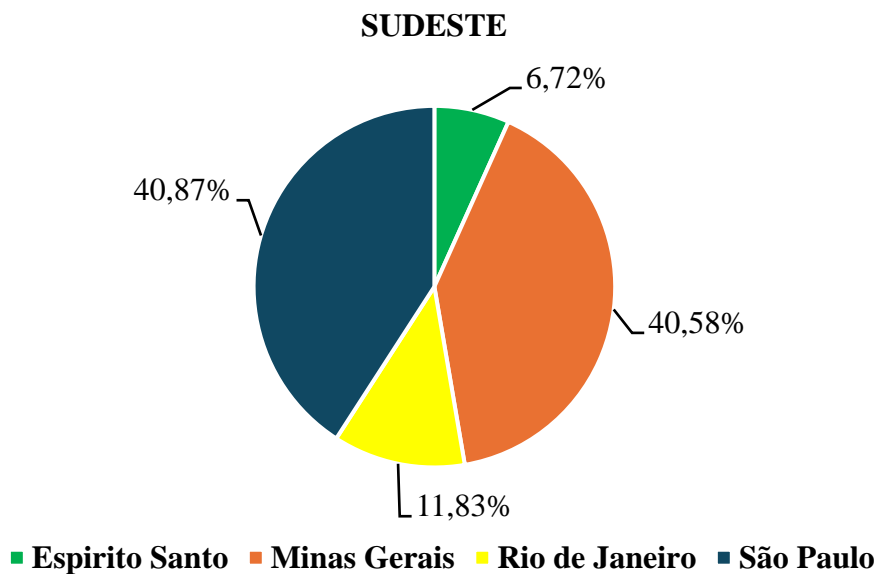
Figura 11 - Potência Instalada da GD – FV em porcentagens por Regiões do Brasil



Fonte: Elaborado de acordo com (ANEEL, 2024).

Foram analisados também os dados da potência instalada GD-FV em cada um dos estados nas cinco regiões do país. Na Figura 12 é ilustrada a potência instalada em cada estado da Região Sudeste. Pode-se notar que São Paulo se destaca possuindo potência instalada de 3.510.588,39 kW equivalente a (40,87%), seguida por Minas Gerais com 3.486.130,74 kW (40,58%), Rio de Janeiro com 1.016.175,39 kW (11,83%). Já o Espírito Santo é o estado com menor potência instalada 577.674,04 kW que equivalem a (6,72%) da potência total da região.

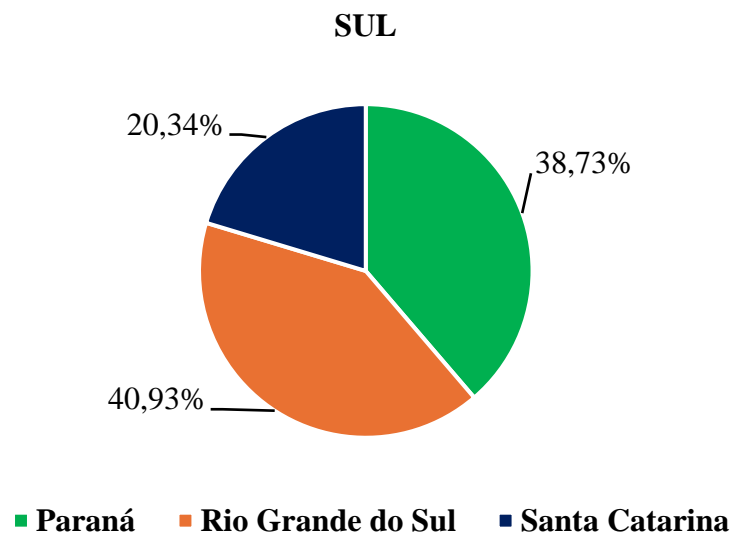
Figura 12 - Potência Instalada da GD – FV em porcentagens da Região Sudeste



Fonte: Elaborado de acordo com (ANEEL, 2024).

Na Figura 13 pode ser visto os dados obtidos para GD-FV da Região Sul. O estado do Rio Grande do Sul se destaca possuindo potência instalada de 2.594.165,14 kW equivalente a (40,93%), enquanto os estados do Paraná e Santa Catarina apresentam potência instalada de 2.454.355,65 kW e 1.288.948,41 kW o que equivale, respectivamente, a 38,73% e 20,34% da potência total da Região Sul.

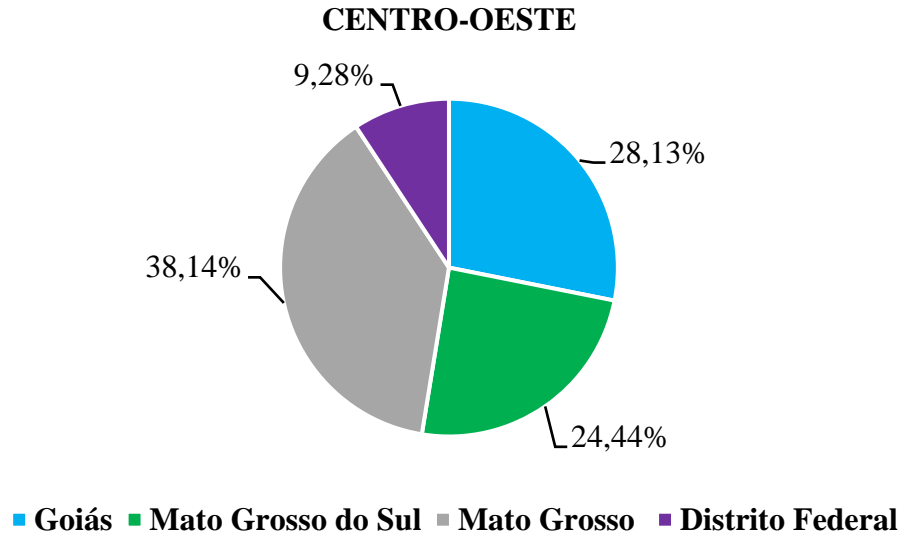
Figura 13 - Potência Instalada da GD – FV em porcentagens da Região Sul



Fonte: Elaborado de acordo com (ANEEL, 2024).

Na Figura 14 pode ser visualizada a potência instalada da Região Centro-Oeste. O estado do Mato Grosso se destaca com 1.538.167,42 kW equivalente a (38,14%), seguido por Goiás 1.134.528,42 kW (28,13%) e Mato Grosso do Sul com 985.572,94 kW (24,44%). Já o Distrito Federal apresenta o menor índice de potência instalada, 374.379,14 kW (9,28%).

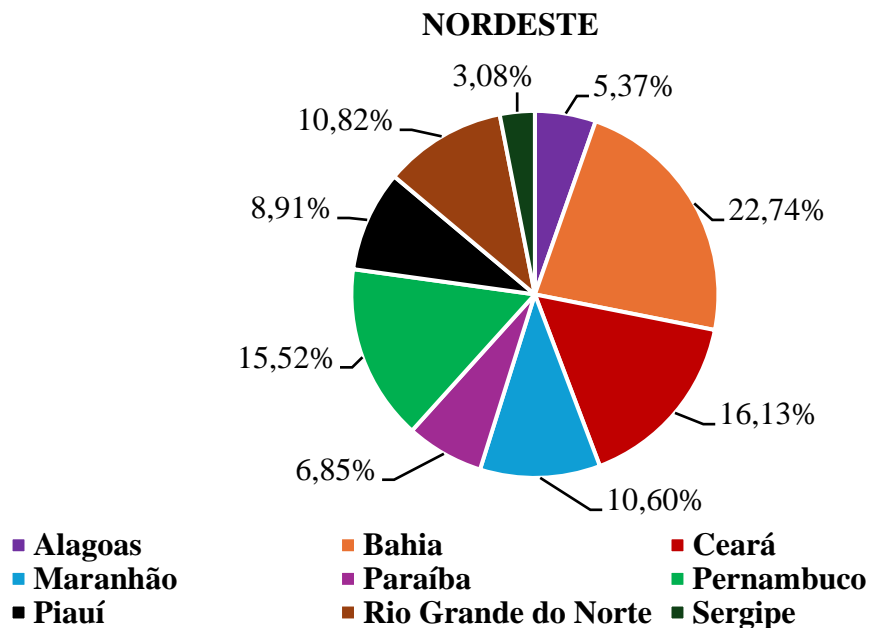
Figura 14 - Potência Instalada da GD – FV em porcentagens da Região Centro-Oeste



Fonte: Elaborado de acordo com (ANEEL, 2024).

Na Figura 15 é ilustrado o percentual de potência instalada na Região Nordeste em que é liderado pela Bahia com 1.178.703,22 kW (22,74%), na sequência estão Ceará 836.014,88 kW (16,13%), Pernambuco 804.467,04 kW (15,52%), Rio Grande do Norte 560.657,15 kW (10,82%), Maranhão 549.347,01 kW (10,60%), Piauí 461.731,92 kW (8,91%), Paraíba 355.003,07 kW (6,85%), Alagoas 278.571,32 kW (5,37%) e Sergipe com 159.546,85 kW (3,08%), respectivamente.

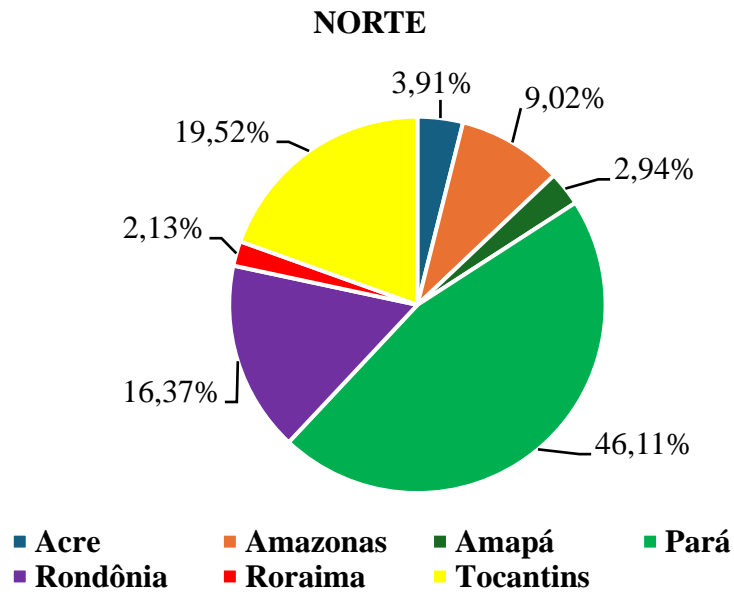
Figura 15 - Potência Instalada da GD – FV em porcentagens da Região Nordeste



Fonte: Elaborado de acordo com (ANEEL, 2024).

Os dados equivalentes a Região Norte, foco desse estudo, podem ser vistos na Figura 16. Pode-se observar que o estado Pará se destaca com 810.347,49 kW (46,23%), seguido por Tocantins com 343.421,00 kW (19,59%), Rondônia com 282.822,38 kW (16,14%), Amazonas com 158.559,48 kW (9,05%), Acre com 68.766,50 kW (3,92%), Amapá com 51.430,45 kW (2,93%) e Roraima com 37.479,24 kW (2,14%) da potência instalada no Norte do país.

Figura 16 - Potência Instalada da GD – FV em porcentagens da Região Norte



Fonte: Elaborado de acordo com (ANEEL, 2024).

#### 4.3. Análise da GD-FV na região norte do Brasil

Com o intuito de proporcionar uma compreensão mais aprofundada, nesta seção serão exploradas as características dos sistemas de Geração Distribuída Fotovoltaica (GD-FV), contemplando a modalidade de geração, classe de consumo e a evolução da potência instalada em cada estado da Região Norte.

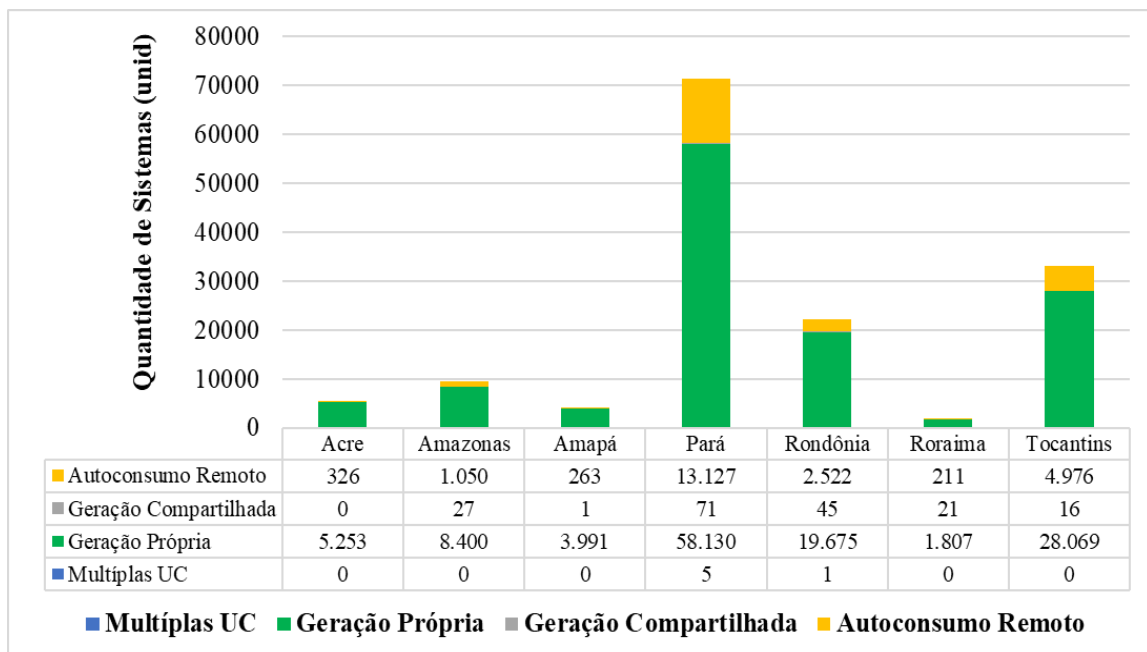
#### 4.3.1. Perfil da GD-FV por modalidade de geração

O panorama da geração fotovoltaica, categorizado por modalidade, revela que o Autoconsumo Remoto na Região Norte conta com um total de 22.475 sistemas. Nesse contexto, o estado do Pará se destaca, registrando a instalação de 13.127 sistemas, enquanto Roraima apresenta 211 sistemas.

Na categoria de Geração Compartilhada, a região abriga 181 sistemas, sendo que 71 deles estão localizados no estado do Pará, enquanto o Amapá conta com 1 sistema instalado, e o estado do Acre não apresenta nenhum registro. Já na Geração Própria, a Região Norte apresenta 125.325 unidades de sistemas instalados, com especial destaque para o estado do Pará, que contribui com 58.130 sistemas, enquanto Roraima conta com 1.807 sistemas instalados.

Quanto à modalidade Múltiplas UC, a Região Norte totaliza 6 sistemas, com 5 deles localizados no Pará e 1 em Rondônia; nos demais estados, não há registros. Podemos observar melhor esses dados na Figura 17.

Figura 17 - Quantidade de Sistemas por modalidade de geração na Região Norte

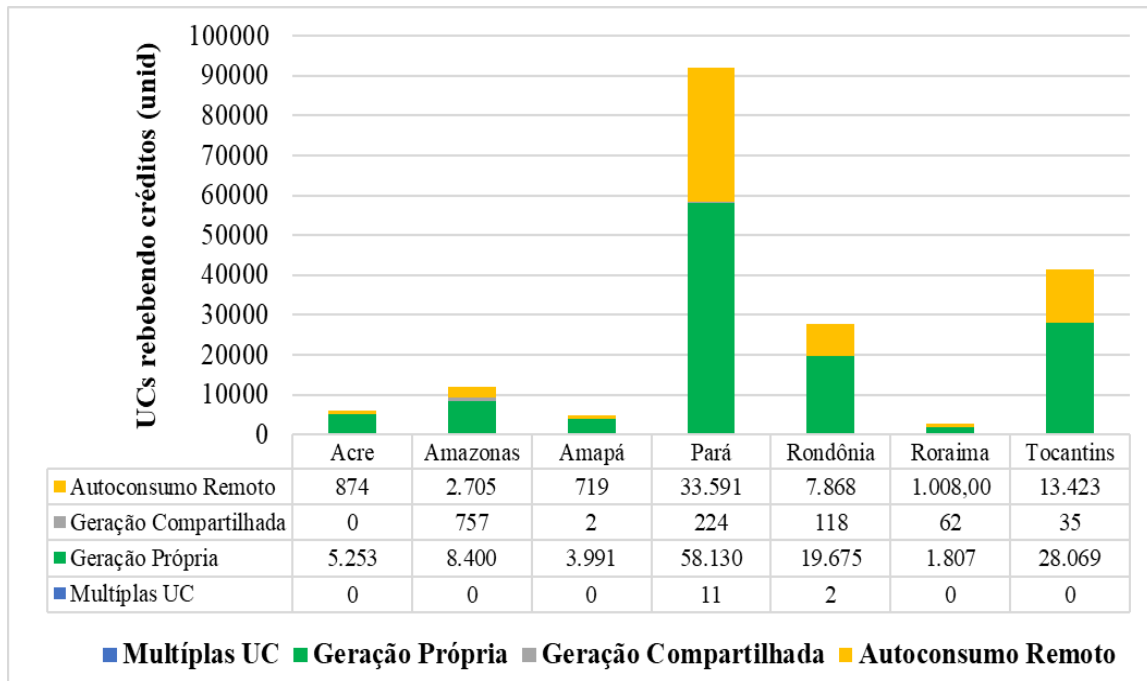


Fonte: Elaborado de acordo com (ANEEL, 2024).

A Figura 18 ilustra a quantidade de Unidades Consumidoras (UCs) beneficiadas pela geração de energia proveniente de sistemas de GD-FV na Região Norte, categorizadas de acordo com sua modalidade de geração. No caso do autoconsumo remoto, o estado do Pará

destaca-se com 33.591 UCs beneficiadas por essa fonte de energia, enquanto o estado do Amapá conta com 719 UCs beneficiadas.

Figura 18 - Quantidade de UCs por modalidade de geração na Região Norte



Fonte: Elaborado de acordo com (ANEEL, 2024).

No contexto da geração própria, observa-se que o número de sistemas instalados coincide com o número de Unidades Consumidoras (UCs) em todos os estados da Região Norte.

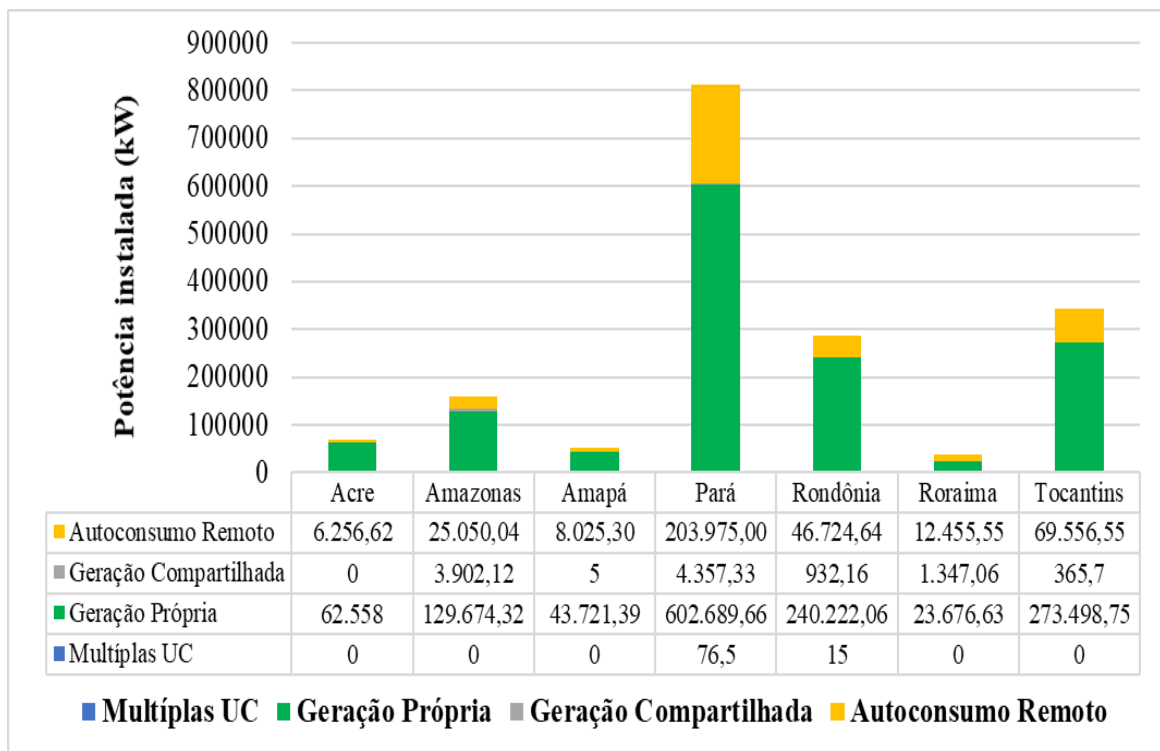
Na categoria de Geração Compartilhada, o estado do Amazonas destaca-se com 757 Unidades Consumidoras (UCs), enquanto o estado do Amapá possui apenas 1 sistema instalado, beneficiando 2 UCs. Na modalidade múltiplas UCs, o estado do Pará sobressai-se com 5 sistemas instalados, beneficiando 11 UCs. Por outro lado, os estados Acre, Amazonas, Amapá, Roraima e Tocantins não contam com nenhum sistema instalado, resultando na ausência de Unidades Consumidoras beneficiadas nessa modalidade de geração.

A Figura 19 apresenta a potência instalada em cada estado da Região Norte, conforme sua modalidade de geração. Destacam-se as seguintes observações: Na modalidade geração própria, o estado do Pará lidera com uma potência instalada de 602.689,66 kW, enquanto Roraima registra uma potência de apenas 23.676,63 kW. No autoconsumo remoto, o estado do Pará destaca-se com 203.975,00 kW de potência instalada, contrastando com o estado do Acre, que apresenta apenas 6.256,62 kW. Em geração compartilhada, o estado do Pará possui

4.357,33 kW de potência instalada, enquanto o Amapá exibe a menor potência instalada na região nessa modalidade, com apenas 5 kW.

Quanto à modalidade Múltiplas UCs, o estado do Pará possui 5 sistemas instalados, totalizando 76,5 kW, e Rondônia possui um sistema, com 15 kW de potência instalada. Nos estados Acre, Amazonas, Amapá, Roraima e Tocantins, não há sistemas instalados, resultando na ausência de dados de potência instalada nessa modalidade de geração.

Figura 19 - Potência instalada por modalidade de geração na Região Norte

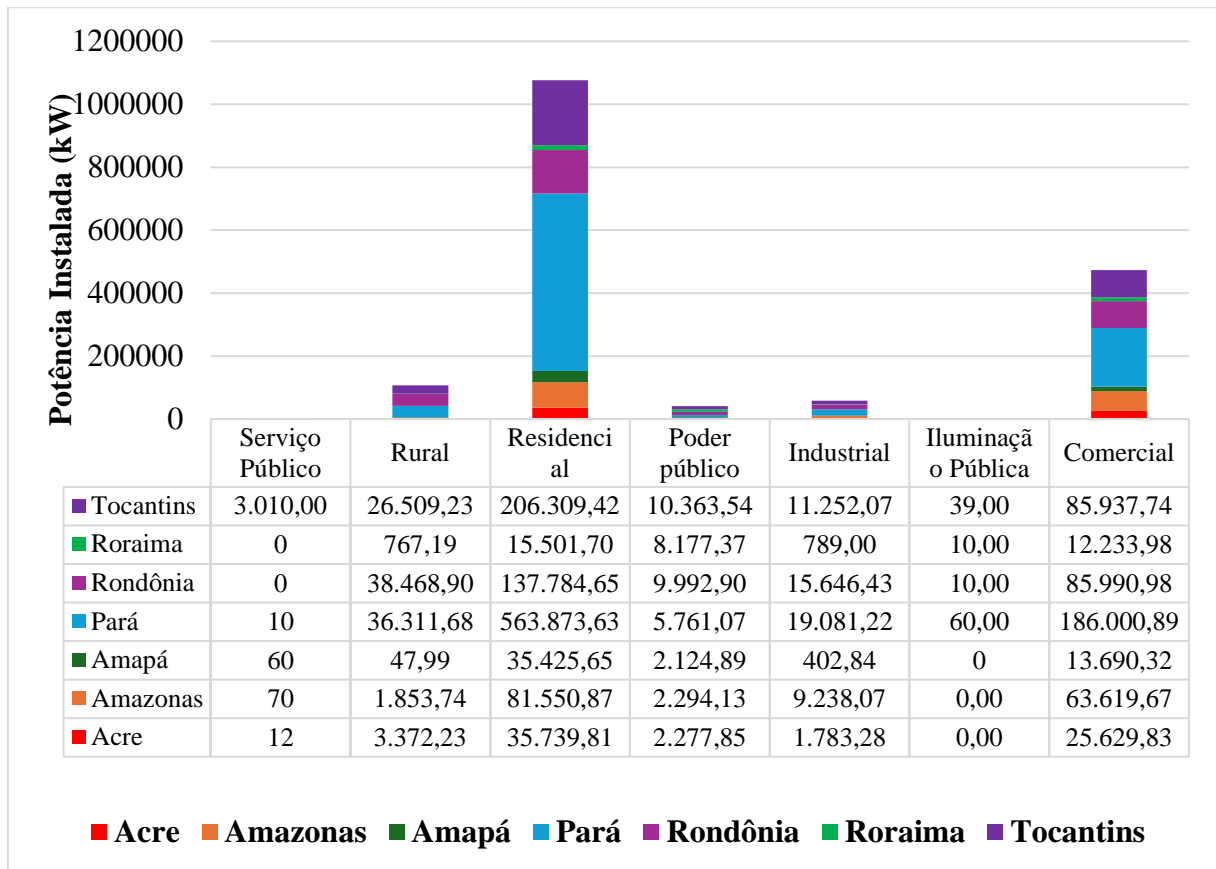


Fonte: Elaborado de acordo com (ANEEL, 2024).

#### 4.3.2. Perfil da GD-FV por classe de consumo

Na Figura 20 é apresentada a distribuição da potência instalada em cada estado da Região Norte considerando as classes de consumo. No tocante as classes de consumo, tem-se a seguinte classificação: comercial, serviço público, rural, residencial, poder público, industrial e iluminação pública.

Figura 20 - Potência Instalada por classe de consumo na Região Norte



Fonte: Elaborado de acordo com (ANEEL, 2024).

Nas classes de consumo comercial e residencial, o estado com maior potência instalada é o Pará, em contrapartida nessas duas classes de consumo o estado do Roraima encontra-se com a menor potência instalada da região. Já na rural o estado com maior potência instalada é Rondônia 38.468,90 kW e o menor é o estado do Amapá com 47,99 kW.

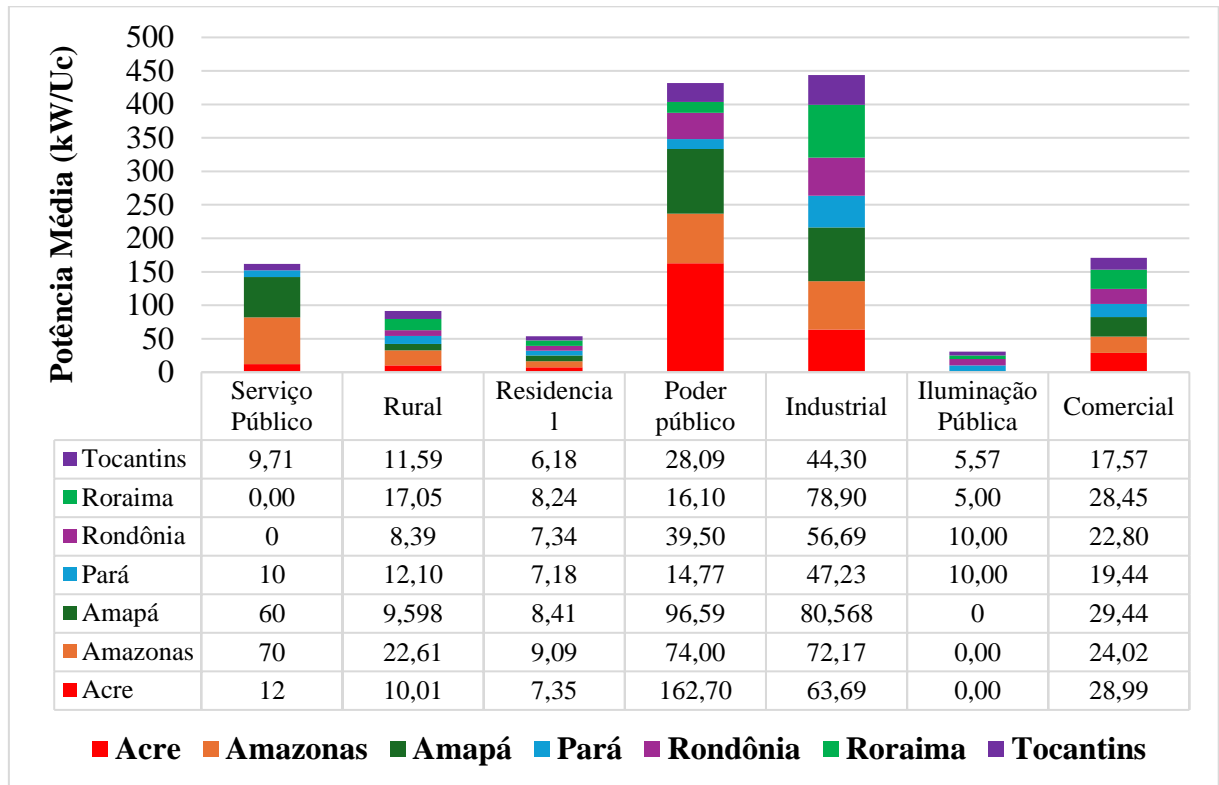
Na classe serviço público, o estado do Tocantins encontra-se com maior índice de potência instalada da região 3.010,00 kW, enquanto a Pará encontra-se com a potência instalada 10 kW e os estados de Roraima e Rondônia não registram nenhuma potência instalada. Na classe poder público, o estado do Tocantins possui a maior potência instalada 10.363,54 kW, já o estado de Amapá é o que possui a menor potência instalada nessa classe 2.124,89 kW.

Já na classe Industrial, o Pará possui 19.081,22 kW, maior potência instalada, enquanto no Amapá observa potência instalada de 402,84 kW. Na classe iluminação pública, o Pará possui a maior potência instalada de 60 kW, enquanto nos estados de Roraima e Rondônia possuem 10 kW de potência instalada e os estados Amapá, Amazonas e Tocantins, não há nenhum sistema instalado nessa classe de consumo.

Durante as análises, observou-se uma variação significativa na potência instalada, na quantidade de sistemas e no número de Unidades Consumidoras (UCs) que recebem créditos

provenientes da geração de energia GD-FV nas classes de consumo estudadas. Com o objetivo de facilitar a análise dos dados, realizou-se uma média da potência instalada por unidade de consumo (UC), permitindo a identificação das classes de consumo que se destacam em cada localidade, conforme ilustrado na Figura 21.

Figura 21 - Potência instalada média por UC por classe de consumo na Região Norte



Fonte: Elaborado de acordo com (ANEEL, 2024).

Visualiza-se que na classe Industrial, na maioria dos estados da Região Norte a potência média por UCs é a maior, enquanto na classe iluminação pública, apresenta-se com a menor relação de potência por UCs, sendo que, os estados do Amapá, Amazonas e Acre não apresentam nenhuma potência instalada.

Nota-se que na classe poder público, é a segunda classe a se destacar na maioria dos estados da Região Norte. O maior índice de potência média registrada foi no estado do Acre com 162,70 kW/UC e a menor foi no estado do Pará 14,77 kW/UC.

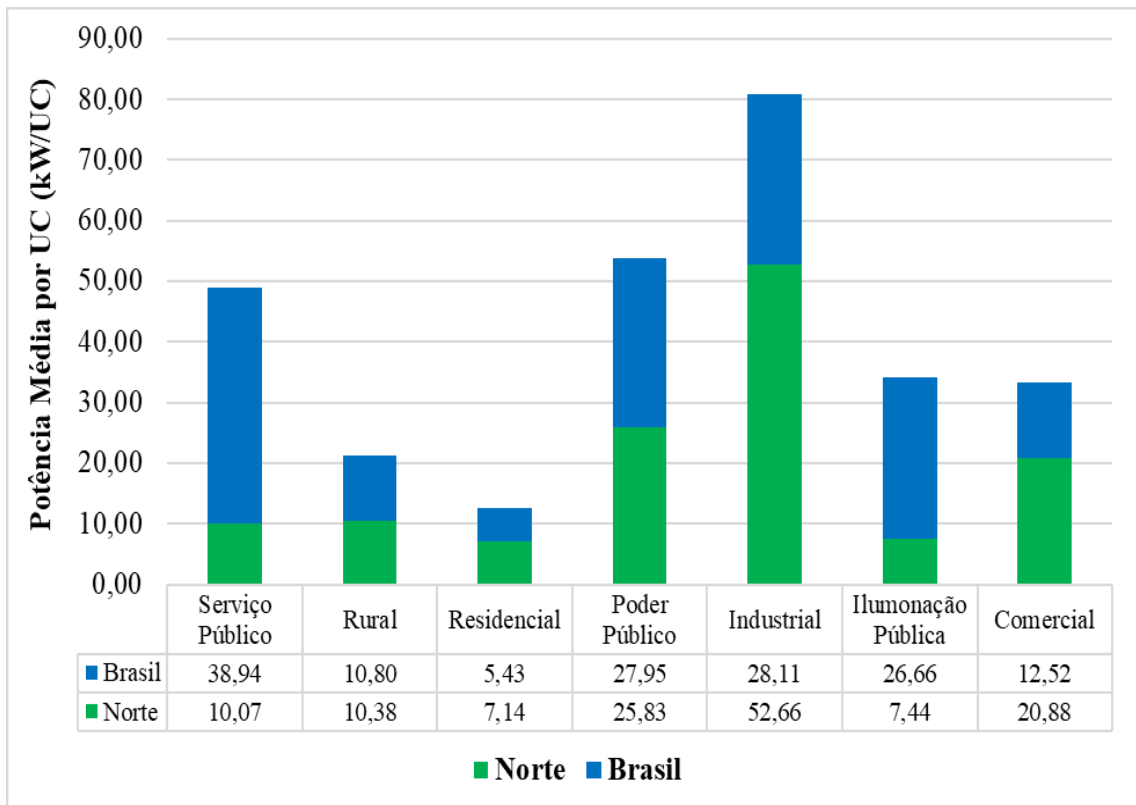
A classe Comercial foi a terceira, com um maior valor médio de potência registrado no estado do Acre com 28,99 kW/UC e o menor no estado de Tocantins com 17,57 kW/UC. Em seguida veio a classe Rural com o maior índice de potência média instalada no Amazonas com 22,61 kW/UC e o menor no estado de Rondônia com 8,39 kW/UC.

Já se tratando da classe de Serviço Público, os estados do Amazonas e Amapá se destacam com maior índice de potência média instalada com 70 kW/UC e 60 kW/UC, respectivamente. Já os estados Roraima e Rondônia não possuem sistemas desta classe de consumo.

De modo geral, a classe residencial apresentou baixo índice de potência instalada por UCs, onde o maior valor de potência por UC registrado, foi de 9,09 kW/UC no estado do Amazonas e o menor foi no estado do Tocantins com 6,18 kW/UC.

A título de comparação na Figura 22 é apresentada uma comparação da potência média por UC na Região Norte e no Brasil. Sendo observada que tendências similares ao considerar as classes com maiores e menores potências médias, havendo divergência nas classes de iluminação pública e serviço público. A classe industrial, apresenta maior potência média instalada por UC (Norte: 52,66 kW/UC e Brasil: 28,11 kW/UC) e a Residencial a menor (Norte: 7,14 kW/UC e Brasil: 5,43 kW/UC).

Figura 22 - Comparação da potência instalada média na Região Norte e Brasil



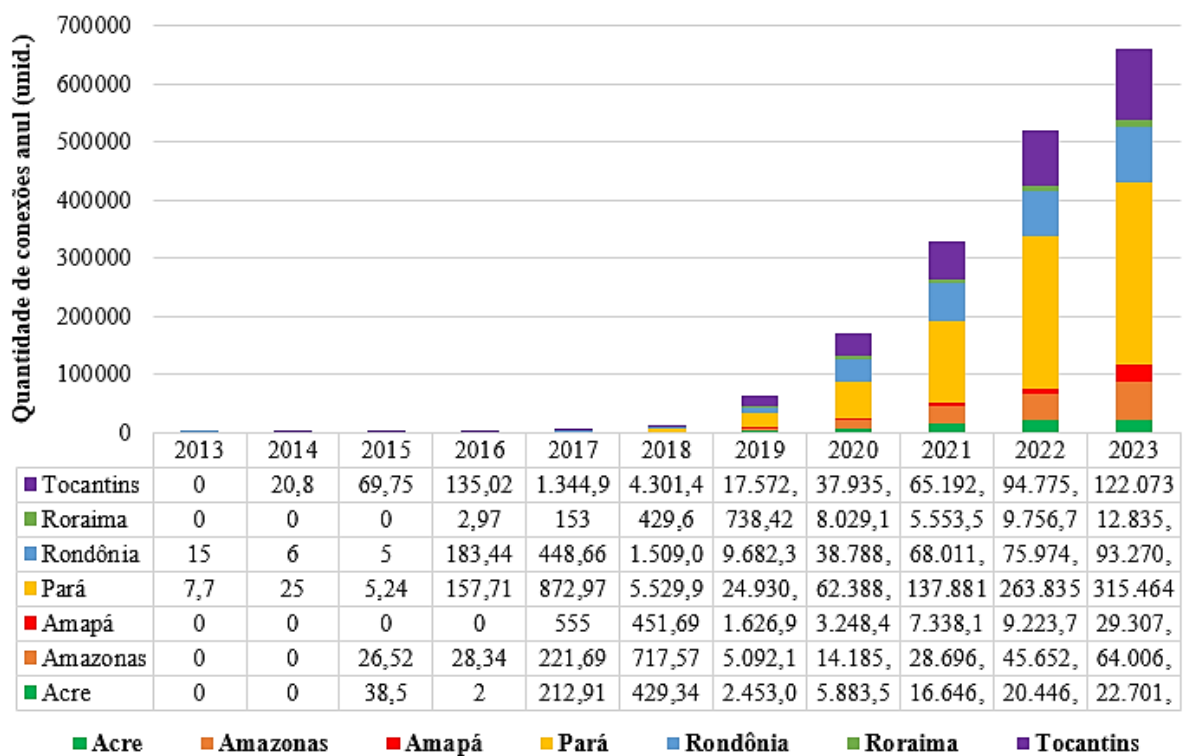
Fonte: Elaborado de acordo com (ANEEL, 2024).

### 4.3.3. Perfil da GD-FV por ano de conexão

Nessa análise é apresentada a evolução temporal do número de novas conexão por ano de sistemas de GD-FV em cada estado do Norte. Vale destacar que foi observado o início da a partir de 2013 até 2023. Na Figura 23, é possível observar um constante crescimento na quantidade de conexões com o avanço dos anos. O estado de Roraima não apresentou novas conexões de sistemas de GD-FV em 2013 a 2014. Já o estado Amapá não apresentou novas conexões no período de 2013 a 2016.

O estado do Pará apresenta-se como o maior destaque no número de novas conexões durante o período de 2013 a 2023, sendo superado nos anos de 2015 e 2017 pelo estado do Tocantins.

Figura 23 - Evolução da potência instalada na Região Norte



Fonte: Elaborado de acordo com (ANEEL, 2024).

Analisando o período de 2020 a 2022, observa-se que a maioria dos estados da região Norte experimentou um aumento nas conexões, coincidindo com o cenário da pandemia de COVID-19. Esses dados evidenciam uma notável expansão das energias renováveis, especialmente da energia solar fotovoltaica, na região.

Nesse contexto, diversos setores têm adotado a implementação de projetos fotovoltaicos como uma estratégia eficaz para atenuar os custos associados à energia elétrica. Essa tendência pela adoção de sistemas de geração fotovoltaica tem se intensificado nos últimos cinco anos, ganhando relevância, especialmente durante o período da pandemia de COVID-19. Durante essa crise, o aumento nos custos de energia elétrica motivou os consumidores, sobretudo nas classes industrial, comercial, rural e residencial, entre outras, a buscar alternativas para reduzir essas despesas, impulsionando a adoção de soluções sustentáveis, principalmente devido ao atrativo sistema de compensação de créditos estabelecido nas Resoluções 482 e 687.

Esse sistema proporciona aos proprietários de sistemas de energia fotovoltaica conectados à rede elétrica a capacidade de gerar créditos de energia sempre que produzem um excedente em relação ao seu consumo. Esses créditos, por sua vez, podem ser utilizados para compensar o consumo de eletricidade nos momentos em que a geração solar não é suficiente, como à noite ou em dias nublados. O resultado é uma redução substancial na fatura de energia e, em alguns casos, a possibilidade de receber uma compensação financeira, contribuindo não apenas para a eficiência econômica, mas também para a sustentabilidade e autonomia energética dos consumidores.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A radiação solar, destaca-se como uma fonte renovável que oferece energia renovável, sem causar danos ao meio ambiente. O Sol desempenha um papel fundamental na evaporação da água, contribuindo para a formação de reservatórios de rios e permitindo a geração de energia em hidrelétricas. Além disso, a circulação atmosférica impulsionada pela radiação solar possibilita a captura de energia eólica em parques eólicos. Essa abordagem sustentável ressalta a importância da energia solar como um recurso fundamental para a produção de eletricidade, aproveitando os elementos naturais de maneira eficiente.

Na matriz energética brasileira as fontes renováveis são as mais utilizadas, correspondendo ao percentual de pouco mais de 70% no ano de 2022. Destacando-se nesse contexto a utilização da geração de energia é oriunda das hidrelétricas.

Contudo, o país apresenta disponibilidade de outros recursos, como altos níveis de radiação solar e elevado regime de vento. Sendo tais recursos utilizados na matriz elétrica do país. No tocante aos sistemas de GD, nesse trabalho foi apresentada a distribuição nos sistemas em todo território nacional. Desses sistemas, a maior parte é do tipo FV, o que justificou o foco adotado no estudo apresentado. A Região Sudeste do país apresenta o maior índice de potência instalada (39,49%) enquanto a Região Norte possui a menor potência instalada (7,03%).

Com a realização desse estudo de caso foi possível identificar as características dos sistemas de GD-FV na Região Norte, por meio da sua classificação de acordo com a modalidade de geração, classe de consumo e pela evolução temporal do número de novas instalações. No decorrer da pesquisa notou-se que na Região Norte, o Pará foi o estado que se destacou com maior potência instalada, sendo que a classe de consumo de maior participação do estado é a Residencial com 69,51% e cerca de 563.873,63 kW de potência instalada. Já em relação a modalidade de geração, a modalidade de Geração Própria possui 602.689,66 kW de potência instalada distribuídos em 58.130 sistemas e beneficiando 58.130 UCs.

Através da evolução temporal desses sistemas, pode-se observar um crescimento no número de novas conexões de sistemas na Região Norte, sendo que em 2013 foi observado o primeiro registro desses sistemas de GD-FV nos estados do Pará e Rondônia. Somente no ano de 2017 se observou o registro de sistemas GD-FV em todos os estados, sendo que no período 2013 a 2018 o Pará obteve maior destaque na quantidade de novas conexões, porém sendo superado nos anos de 2015 e 2017 pelo estado do Tocantins, entretanto nos anos após 2018, houve um crescimento exponencial do estado do Pará

Diante disso, como contribuições para trabalhos futuros sugere-se:

- Estudo da evolução temporal nas características dos sistemas de GD-FV no Norte;
- Estudo do potencial de mercado dos sistemas de GV-FV pertencentes a classe Industrial no Norte.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Relação de empreendimentos de Geração Distribuída**. 2024. Disponível em: <https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/relacao-de-empreendimentos-de-geracao-distribuida> Distribuída. Acesso em: 24 de jan. de 2024.

ALVES, M. O. L. **Energia solar: estudo da geração de energia elétrica através dos sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid**. 2019. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) - Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, 2019. Acessado em: 23 de jan. de 2024.

ANEEL. **Micro e Minigeração Distribuída**. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida>. Acesso em: 22 de jan. de 2024.

BEZERRA, Francisco Diniz. **Infraestrutura: Energia Solar**. Fortaleza: BNB, ano 8, n. 295, jul. 2023.(Caderno Setorial Etene).

BRASIL. DECRETO Nº 5.163 DE 30 DE JULHO DE 2004. **Presidência da República - Casa Civil**, 2004. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/decreto/D5163.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/D5163.htm). Acesso em: 30 de nov. de 2023.

BONJORNO, José Roberto *et al.* **Física Fundamental**: volume único. São Paulo: Ftd, 1999.

DUARTE, Flávia Victória Souto. **GERAÇÃO DISTRIBUÍDA PARA MÚLTIPLAS UNIDADES CONSUMIDORAS E PROJETO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA UM CONDOMÍNIO**. 2022. 85 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2022. Disponível em: <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/23780>. Acesso em: 25 de jan. de 2024.

EPE. **Matriz Energética e Elétrica**, 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 30 de nov. de 2023.

IEA. **Key World Energy Statistics**, 2021. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2021>. Acesso em: 30 de nov. de 2023.

IRENA. **Renewable capacity statistics**, 2023. Disponível em: <https://www.irena.org/Publications/2023/Mar/Renewable-capacity-statistics-2023>>. Acesso em: 29 de nov. de 2023.

INEE. O que é Geração Distribuída. **INEE - Instituto Nacional de Eficiência Energética**, 2020. Disponível em: [http://www.inee.org.br/forum\\_ger\\_distrib.asp#:~:text=Gera%C3%A7%C3%A3o%20Distribu%C3%ADa%20\(GD\)%20%C3%A9%20uma,Co%2Dgeradores/](http://www.inee.org.br/forum_ger_distrib.asp#:~:text=Gera%C3%A7%C3%A3o%20Distribu%C3%ADa%20(GD)%20%C3%A9%20uma,Co%2Dgeradores/). Acesso em: 30 de nov. de 2023.

LAGE, E., **Os fundamentos do eletromagnetismo**, Rev. Ciência Elem., V9(1):016, 2021. Disponível em: <http://doi.org/10.24927/rce2021.016>

Luz Solar. **Como funciona o sistema fotovoltaico?**, 2021. Disponível em: <https://luzsolar.com.br/como-funciona-o-sistema-fotovoltaico/>. Acessado em: 25 de dez. de 2023.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. **G. Atlas brasileiro de energia solar**. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80p. Disponível em: <http://doi.org/10.34024/978851700089>

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Cepel, 2014.

RAMALHO, Francisco Junior *et al.* **Os Fundamentos da Física 1: mecânica**. 9. ed. São Paulo: Moderna, 2007.

RAMPINELLI, Giuliano Arns. **ESTUDO DE CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS E TÉRMICAS DE INVERSORES PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE**. 2010. 254 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica,

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/27935/000764646.pdf?sequence=1>. Acesso em: 17 de nov. de 2023.

SANTOS, L. G. P., RIBEIRO, I. M., & MIRANDA, E. C. F. (2012). **Energia alternativa: a ponte para o futuro**. Bolsista de valor: Revista de divulgação do projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense, 261-269.

TREVI SOLAR. **SISTEMA FOTOVOLTAICO “OFF-GRID”**, 2017. Disponível em: <https://consultrevisolar.com.br/sistema-fotovoltaico-off-grid/>. Acessado em: 01 de fev. de 2024.

WEG. **Como funciona a geração compartilhada de energia e quais são seus benefícios?** Disponível em: <https://www.weg.net/solar/blog/como-funciona-a-geracao-compartilhada-de-energia-e-quais-sao-seus-beneficios/>. Acesso em: 21 de jan. de 2024.