

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
CAMPUS CAJAZEIRAS

MATHEUS CARTAXO BRAGA MORAIS DE OLIVEIRA

**POTENCIAL DO SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO NA REDE (SFCR)
DESTINADO ÀS UNIDADES CONSUMIDORAS DO TIPO B, PERÍODO 2017 A 2022,
ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE CAJAZEIRAS - PB**

Cajazeiras-PB
2023

MATHEUS CARTAXO BRAGA MORAIS DE OLIVEIRA

**POTENCIAL DO SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO NA REDE (SFCR)
DESTINADO ÀS UNIDADES CONSUMIDORAS DO TIPO B, PERÍODO 2017 A
2022, ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE CAJAZEIRAS - PB**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-*Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil, sob Orientação do Prof. José Tavares de Luna Neto.

Cajazeiras-PB
2023

IFPB / Campus Cajazeiras
Coordenação de Biblioteca
Biblioteca Prof. Ribamar da Silva
Catalogação na fonte: Cícero Luciano Félix CRB-15/750

O48p Oliveira, Matheus Cartaxo Braga Morais de.
Potencial do sistema fotovoltaico conectado na rede (SFCR) destinado às unidades consumidoras do tipo B, período 2017 a 2022, estudo de caso no município de Cajazeiras - PB / Matheus Cartaxo Braga Morais de Oliveira. - 2023.

41f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2023.

Orientador(a): Prof. Me. José Tavares de Luna Neto.

1. Energia renovável. 2. Energia solar. 3. Sistema fotovoltaico. 4. Energia limpa. I. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba. II. Título.

IFPB/CZ

CDU: 621.383.51(043.2)

MATHEUS CARTAXO BRAGA MORAIS DE OLIVEIRA

**POTENCIAL DO SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO NA REDE (SFCR)
DESTINADO ÀS UNIDADES CONSUMIDORAS DO TIPO B, PERÍODO 2017 A 2022,
ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE CAJAZEIRAS - PB**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Bacharelado em
Engenharia Civil do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba,
Campus Cajazeiras, como parte dos requisitos
para a obtenção do Título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Aprovado em 04 de julho de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. José Tavares de Luna Neto – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Orientador



Documento assinado digitalmente

FABIO ARAUJO DE LIMA
Data: 09/08/2023 19:45:49-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Fábio Araújo de Lima – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Examinador 1



Documento assinado digitalmente

FELLYPE JOSE COURAS FREITAS
Data: 31/07/2023 14:24:29-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Eng. Fellype José Couras Freitas – Teccel
Examinador 2

Aos meus pais, pois são a personificação de Deus na terra, que se dedicaram constantemente e me apoiaram incondicionalmente.

AGRADECIMENTOS

Queria agradecer primeiramente a Deus, que me guiou até esse momento e me fortaleceu para que cada obstáculo fosse superado, mesmo que, às vezes, sem preciosismo e máximo êxito.

Logo depois, agradecer à minha família, que sempre me apoiou, e sempre foi o motivo do meu esforço dia após dia, para que, no futuro, eu possa retribuir de alguma forma.

Agradecer, de forma especial, à minha irmã Marina, que também foi minha colega de turma, e, futuramente, na profissão; juntos, superamos todos os desafios dessa fase da vida.

Aos colegas que o Instituto me deu, sempre juntos e em prol de superar os desafios impostos pela Instituição.

À minha namorada, Maria Tereza, que, graças ao destino da vida, nos conhecemos no IFPB, com um curso em comum, e em uma combinação de “desbloqueamentos” estranhamente precisa, que eu chamei de destino, e nos uniu para sempre.

Ao Instituto Federal da Paraíba (IFPB), *Campus* Cajazeiras, pela oportunidade para ser discente da Instituição de um curso muito prestigiado, e em capacitar professores que gostam de transmitir o que aprenderam.

RESUMO

As energias renováveis vêm sendo uma tendência para a sustentabilidade e autonomia da matriz energética. Observando a Região do Alto Sertão Paraibano, uma região com alta irradiação solar ao longo do período de um ano, foi realizada uma análise do uso da geração fotovoltaica com sistemas conectados à rede, para consumidores residenciais, tendo como finalidade um documento de fácil entendimento e acessível a todos, pois existe uma escassez desses dados para a região. Diante disso, pode vir a ser utilizado para fomentar novos estudos mais aprofundados, ou incentivar mais investimentos na área. Assim, foram analisados dados de uma empresa nacional com autoridade no setor de estudo, para obter uma conclusão que apresentou um aumento bastante expressivo no uso da geração fotovoltaica ao longo do período delimitado de 2017 até 2022, visto que os primeiros sistemas de geração fotovoltaica conectada à rede, do município de Cajazeiras, na Paraíba, foram implantados apenas em 2017.

Palavras-chave: energia solar; fotovoltaica; sistema conectado; Cajazeiras.

ABSTRACT

Renewable energies have been a trend towards the sustainability and autonomy of the energy matrix. Observing the Alto Sertão Paraibano Region, a region with high solar irradiation over the period of one year, an analysis of the use of photovoltaic generation with systems connected to the grid, for residential consumers, was carried out, with the purpose of a document that is easy to understand and accessible to all, since there is a scarcity of this data for the region. Given this, it can be used to foster new more in-depth studies or encourage more investments in the area. Thus, data from a national company with authority in the study sector were analyzed to obtain a conclusion which presented a very significant increase in the use of photovoltaic generation over the delimited period from 2017 to 2022, since the first grid-connected photovoltaic generation systems, in the Municipality of Cajazeiras, in Paraíba, were implemented only in 2017.

Keywords: solar energy; photovoltaic; connected system; Cajazeiras.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Comparação da matriz energética do Brasil e no Mundo	15
Figura 2 – Total diário da irradiação no plano inclinado na latitude.....	16
Figura 3 – Geração Média Horária na Região Nordeste (MWmed).....	17
Figura 4 – Diagrama esquemático de SFCR	19
Figura 5 – Representação dos tipos de módulos, a esquerda o m-Si e a direita o p-Si.....	20
Figura 6 – Sistemas com inversor convencional e micro inversor	22
Figura 7 – Ilustração de um medidor bidirecional.....	23
Figura 8 – Ilustração de uma <i>string box</i>	24
Figura 9 – Painel de dados.....	29
Gráfico 1 – Potência Instalada em kWp mensal.....	28
Gráfico 2 – Sistemas instalados mensal	28
Gráfico 3 – Média e desvio padrão mensal	30
Gráfico 4 – Potência Instalada em kWp anual	31
Gráfico 5 – Sistemas instalados anual	32
Gráfico 6 – Quantitativo de sistemas de geração	31
Gráfico 7 – Potencial elétrico nos últimos 5 anos	32
Gráfico 8 – Investimento Realizado nos últimos 5 anos	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica.

CA - Corrente Alternada.

CC - Corrente Contínua.

CNPE - Conselho Nacional de Política Energética.

DPS - Dispositivo de Proteção contra Sobretenção.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética.

GD - Geração Distribuída.

GEE - Gases do Efeito Estufa.

IEA - Instituto de Economia Agrícola.

ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico.

Prodist - Regra e Procedimentos de Distribuição.

SFCR - Sistema Fotovoltaico Conectado na Rede.

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	13
2.1	OBJETIVO GERAL	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3	REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1	MATRIZ ENERGÉTICA	14
3.2	GERAÇÃO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS NO BRASIL.....	15
3.3	LEGISLAÇÃO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	17
3.3.1	Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012	17
3.3.2	Lei 14.300	18
3.4	SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA CONECTADO À REDE (SFCR).....	19
3.4.1	Módulos e Células Fotovoltaicas	20
3.4.2	Inversores	21
3.4.3	Medidor Bidirecional	22
3.4.4	String Box	23
4	METODOLOGIA	26
5	RESULTADOS E ANÁLISES	27
5.1	DADOS DA TECCEL ENERGIA SOLAR	27
5.2	DADOS DA EPE	31
5.1.1	Quantidade de sistemas de gerações implantados nos anos de 2017 a 2022	32
5.1.2	Potencial elétrico implantado nos SFCR de microgeração, nos anos 2017 a 2022 ..	33
5.1.3	Investimentos realizados nos anos de 2017 a 2022	33
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
	REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

A exigência por uma geração renovável está cada vez mais presente e necessária, assim, sabe-se da existência de diversas fontes dessa energia sustentável, como hídrica, eólica, biomassa, geotérmica, oceânica e a que o presente trabalho terá como foco: a solar. A energia solar é gerada a partir da absorção da radiação solar por meio de placas fotovoltaicas; tem sua origem, por acaso, em 1839, onde foi descoberto o efeito fotovoltaico por Alexandre Edmond Becquerel (24 de março de 1820 – 11 de maio de 1891), sendo determinante para a criação da primeira célula fotovoltaica (SCHERER *et al.*, 2015).

Já na atualidade, é destacado pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE, no Anuário Estatístico de Energia Elétrica de 2022, mediante análise das tabelas, um aumento de geração de energia solar no Brasil, assim podendo ser mais um indicativo da potência desse tipo de geração (EPE, 2023). A geração se divide em *off grid*, quando a geração estará isolada do sistema de energia pública e armazenada em baterias, e o *on grid*, onde tem sua geração conectada à rede de energia pública sem armazenamento, o que, geralmente, acontece com a energia excedente, logo, a que não for consumida, terá uma transformação em crédito, para os dias em que se consumir mais do que foi gerado.

Mediante a demanda imposta pela globalização de sustentabilidade e independência energética dos recursos renováveis, com auxílio das novas tecnologias, observa-se a restrição de dados sobre o assunto em forma de documento público e de fácil acesso e entendimento, com isso, delimitou-se a abrangência para o município de Cajazeiras, no Estado da Paraíba, usando o Sistema Fotovoltaico Conectado na Rede (SFCR) para unidades consumidoras do tipo B, sendo definidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) como consumidores que possuem alimentação em baixa tensão, abaixo de 2,3 kV, englobando residências, pequenos comércios e edifícios residenciais.

Dados expostos pelo Anuário Estatístico de Energia Elétrica de 2022 (EPE, 2023) explicitam que houve um aumento de 163,24% de consumo energético residencial no Estado da Paraíba, no período de 2012 até 2021. Ainda segundo o anuário, no Nordeste, o tipo B se sobressai como a classe que mais consome energia, quando comparado ao tipo A, que, de acordo com a ANEEL, são consumidores de empresas ou indústrias. Como uma solução para resolver essa nova demanda, Shayani, Oliveira e Camargo (2006) concluem que a energia fotovoltaica, integrada ao sistema de rede elétrica, será economicamente competitiva, pois há uma ponderação de durabilidade do equipamento, impostos e custos ambientais e sociais, que

justificam tal competitividade.

Com a definição do tema do estudo proposto, sabendo que a pesquisa tem caráter quantitativo sobre o uso do Sistema Fotovoltaico, fundamentando pesquisas mais avançadas ou investimentos futuros acerca do tema, na delimitação territorial de Cajazeiras - PB, visto anteriormente inúmeros indicativos de ascensão do consumo e a tendência na escolha da geração fotovoltaica, por ser um tipo de geração de energia renovável mais simples dentre as outras, e pelo custo.

Com o acervo do tema delimitado, conclui-se a parte inicial do estudo. Já nos próximos capítulos, realizou-se uma análise dos dados reunidos no acervo anterior, seguindo para comparação dos objetivos e, posteriormente, a metodologia é apresentada, obtendo uma conclusão para a tendência do uso da geração fotovoltaica conectada à rede no município de Cajazeiras, no Sertão da Paraíba.

2 OBJETIVOS

Neste capítulo estão delineados os objetivos do Trabalho de Conclusão do Curso.

2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar análise quantitativa da tendência do Sistema Fotovoltaico Conectado na Rede (SFCR), utilizados nas unidades consumidoras residenciais da população do município de Cajazeiras, no Sertão Paraibano, no período de 2017 a 2022.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Esses elementos apresentam, de forma detalhada, o que se pretende alcançar com o TCC, contribuindo para a concretização do objetivo geral.

- apresentar os dados sobre o uso do sistema *on grid*, para consumidores residenciais;
- avaliar os dados sobre o potencial elétrico da geração fotovoltaica conectada à rede, para consumidores residenciais;
- fundamentar o desenvolvimento tecnológico para geração de energia sustentável, no município de Cajazeiras - PB;
- demonstrar a possibilidade de investimento na energia solar, para o município de Cajazeiras - PB.

3 REVISÃO DE LITERATURA

No presente capítulo mostra-se uma revisão de literatura, que serviu de base para o desenvolvimento do Trabalho de Conclusão de Curso.

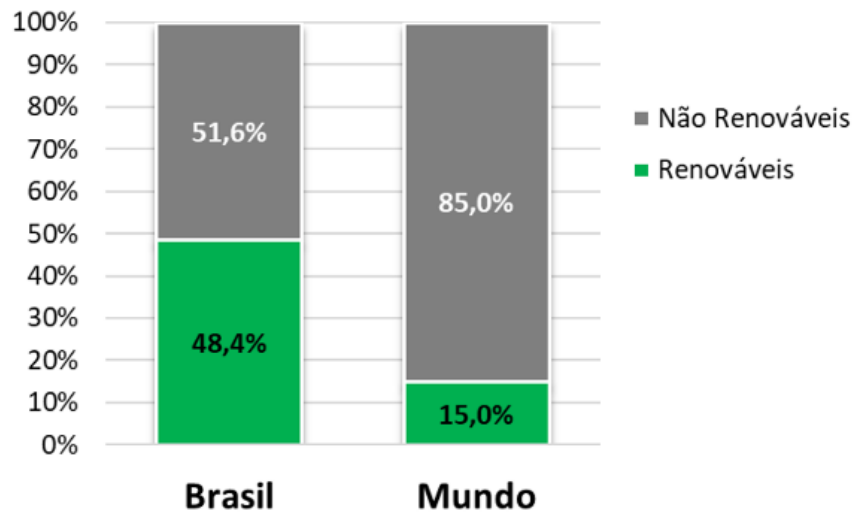
3.1 MATRIZ ENERGÉTICA

A matriz energética é definida como um conjunto de fontes disponíveis de um território, para suprir a sua demanda de energia (EPE, 2022a). Sendo segregada em fontes não renováveis, como petróleo, carvão e gás natural, e fontes renováveis, como a solar, eólica, hídrica, geotérmica e biomassa. Porém, deve-se ter um olhar mais crítico nas situações de nível mundial e no território brasileiro, observando as diferenças e avanços.

Mediante a definição anterior, destaca-se a matriz energética em nível mundial, onde o petróleo é a evidência, entrando em um cenário de competição por essa fonte de energia não renovável, tornando-o um instrumento de poder e relações geopolíticas. Segundo Barros (2007), o consumo final de energia é liderado pelos derivados de petróleo, em seguida a eletricidade, onde as energias solar, eólica e geotérmica agregam cerca de 2,5% a nível global, de acordo com o Instituto de Economia Agrícola - IEA.

Por outro lado, em nível nacional, há relatos que a primeira hidrelétrica foi construída em 1883, na cidade de Diamantina, onde aproveitava águas do Ribeirão do Inferno (BHERING, 1988), ocasionando uma justificativa para matriz energética melhor distribuída entre os tipos de fontes, por ser um país de grande extensão territorial e características agrícolas, tem-se um auxílio dos derivados de cana-de-açúcar e das hidrelétricas. De acordo com EPE (2022b), as fontes de energias não renováveis estão com 51,6%, e as renováveis com 48,4%, o que impacta, principalmente, na questão ambiental de emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) e na redução de custos de operação, onde a comparação da matriz energética nos níveis apresentados anteriormente pode ser visto na Figura 1.

Figura 1 - Comparação da matriz energética do Brasil e no mundo



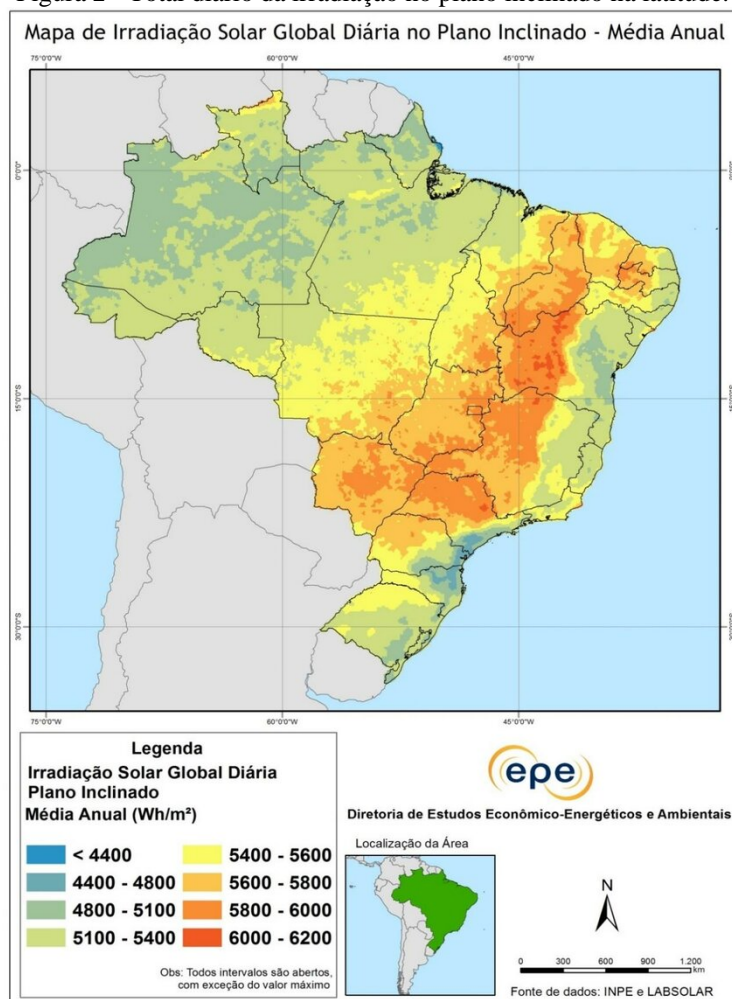
Fonte: EPE, 2022a.

3.2 GERAÇÃO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS NO BRASIL

A origem das energias renováveis vem do caráter preventivo em garantir recursos para as próximas gerações, atrelado a isso vem a emissão de GEE e esgotamento das fontes de energias não renováveis. No Brasil, na década de 70, surge essa preocupação após os choques de petróleo, ocasionados pela Segunda Guerra Mundial, assim, na década seguinte, houve um desenvolvimento considerável, tendo como recurso o etanol para a demanda necessária, ao invés dos derivados do petróleo. Tal projeto foi denominado Proálcool de 1975 (ALISSON, 2016). Segundo Galdino *et al.* (2000), a maior energia renovável disponível é a energia solar, objeto de estudo deste trabalho; ela é aproveitada diretamente no efeito fotovoltaico, na qual transforma a energia luminosa em energia elétrica, ou indiretamente com a incidência da radiação para a realização dos ciclos da água e das massas de ar, além do fornecimento da energia de biomassa, todas essas fontes de geração elétrica se configuram como renováveis.

As energias renováveis são sustentáveis e com eficiência equivalente às energias não renováveis, mas não são prioridades para a matriz energética. Mauad, Ferreira e Trindade (2017), apresentam dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), onde mostraram que existem fatores que influenciam para o tipo de produção das energias sustentáveis, podendo ser limitações territoriais, climáticas, ou algum fator socioambiental. As regiões nacionais têm suas facilidades, com destaque para a Região Nordeste, em que a energia solar é referência com as melhores taxas do mundo, como mostrado na Figura 2.

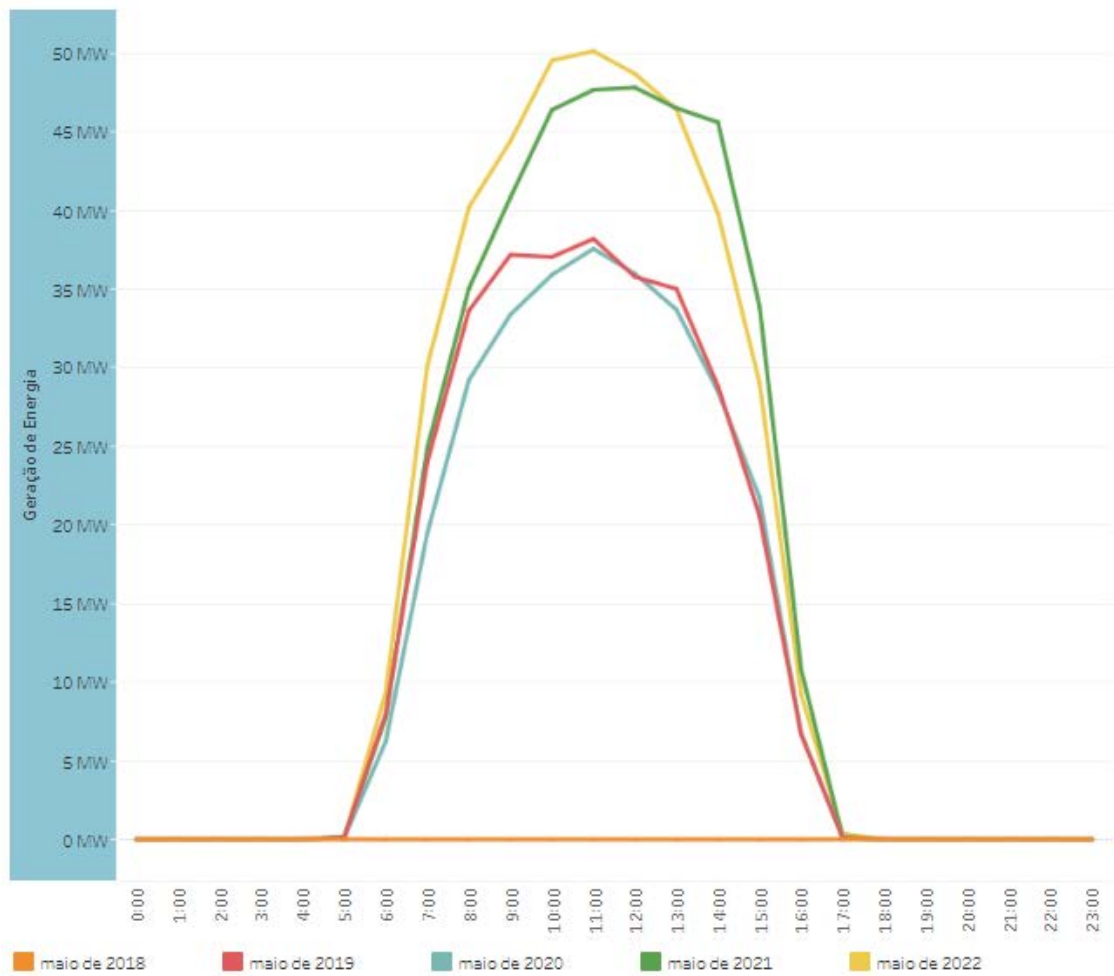
Figura 2 - Total diário da irradiação no plano inclinado na latitude.



Fonte: EPE (2018a).

Além disso, em dados destacado por Pereira *et al.* (2017), mediante análise das tabelas, é notório um aumento de geração de 113,41% de 2012 até 2019, olhando o Brasil em todo seu território. Em outro estudo, é evidenciado que, dentre as tecnologias de geração, a fotovoltaica é a mais representativa, com 82% da capacidade instalada, e 55% da energia gerada (EPE, 2018b), resultados desse estudo são considerados em uma análise da expansão energética até 2027. É possível ver essa evolução na Região Nordeste com base nos dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), na Figura 3.

Figura 3 - Geração Média Horária na Região Nordeste (MWmed).



Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2017).

Na figura 3 é possível perceber que, em maio de 2019, a geração média às 11:00 da manhã era em torno de 37MW, já no período de maio de 2022, no mesmo horário, a geração alcançava 50MW, delimitando uma evolução de 74% na geração de energia solar na região Nordeste.

3.3 LEGISLAÇÃO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Neste tópico mostra-se a apresentação do marco legal, delimitado pelo período de 2012 até 2022.

3.3.1 Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012

Fadigas (2012) apresenta em trabalho que o efeito fotovoltaico é compreendido, inicialmente, por Becquerel em 1839, porém, a primeira célula solar é produzida por Adams e Day, em 1883, com uma eficiência de conversão muito baixa; a grande evolução vem do

evento de 1973/1974, onde houve uma crise energética mundial, que necessitou de outra fonte energética. Nos dias atuais, a energia solar apresenta uma constância e eficiência que são competitivas no mercado, concluída por Shayani, Oliveira e Camargo (2006) como sendo uma possível escolha para os consumidores do tipo B, pois é sabido que se trata de consumidores que possuem alimentação em baixa tensão, abaixo de 2,3kV, englobando residências, pequenos comércios e edifícios residenciais, definidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Outra questão abordada é qual o tipo de geração será empregue, pois há o *off grid*, termo do inglês, expressando um sistema de rede elétrica isolado, de forma que não possua venda de excedente da produção ou compra de eletricidade por uma rede pública, pois esse tipo de geração é mais utilizado por polos consumidores sem acesso à rede elétrica pública. Já o *on grid*, termo do inglês, onde expressa um sistema de geração ligado à rede elétrica pública, possibilitando a venda de energia excedente, e compra ou auxílio para consumir a eletricidade da rede pública, caso não aconteça a produção calculada, por diversos fatores. Outros termos são definidos pela ANEEL, como a diferenciação de microgeração, em que a potência instalada tem que ser menor ou igual a 75 quilowatts (kW), e a minigeração, que corresponde a uma potência instalada maior que 75 kW.

Fomentado anteriormente, é possível entrar no tópico em questão sobre a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, onde, em resumo, diz que o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada, e, inclusive, fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade, ressalte-se que, antes dessa Resolução, não era possível ter a geração *on grid*, logo, desestimulava o investimento dos consumidores na energia solar. No ano de 2013, onde essa Resolução entra em vigor, é possível observar o potencial de geração da energia solar.

3.3.2 Lei 14.300

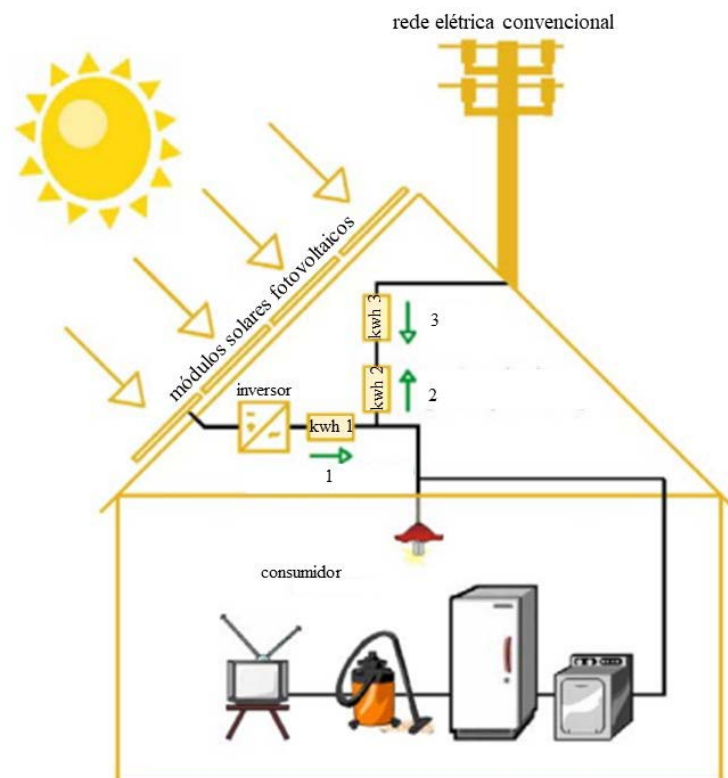
A lei 14.300, de 6 de janeiro de 2022, ainda em processo de transição em 2023, é considerada o marco legal da geração distribuída, uma década depois da Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012. Segundo o site da empresa Portal Solar, essa legislação estabelece o regramento da micro e minigeração distribuída de energia, modalidade que permite que consumidores produzam a própria eletricidade, e obtenham economia na conta de luz por meio de um sistema de compensação de créditos com a concessionária de distribuição.

Algumas mudanças são relevantes para esse documento, onde a minigeração passa a ter a divisão de fontes despacháveis, com potência instalada reduzida de 5 MegaWatts (MW) para 3 MW. A mudança mais atrativa para o indivíduo que faz uso da geração fotovoltaica são as diretrizes de cálculo, que serão publicadas considerando aspectos relacionados à transmissão, distribuição, geração, perdas e sinal locacional. Essas mudanças serão realizadas pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), e o processo do cálculo deve ser feito pela ANEEL.

3.4 SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA CONECTADO À REDE (SFCR)

Neste tópico é abordado o tipo de geração *on grid*, ou conectado à rede, sabe-se que este processo possui a ramificação de ser de grande porte, caracterizando usinas de energia solar; e de pequeno porte, definido por instalações de edificações urbanas, que é destaque para esta pesquisa. A princípio, de forma simplificada, o sistema necessita de módulos, inversores e medidor bidirecional.

Figura 4 - Diagrama esquemático de SFCR.



Fonte: A autoria própria (2023) apud Rüter (2004).

As setas verdes na Figura 4 mostram os sentidos da corrente elétrica. Na seta 1, a energia solar é captada pelos módulos solares fotovoltaicos e transformada em energia elétrica

de corrente alternada pelo inversor, pode ser utilizada pelo consumidor, configurando geração fotovoltaica. A seta 2 tem mesma captação da seta 1, no entanto, o seu destino é a rede elétrica convencional, significa a injeção de excedentes de produção, em que houve pouco consumo da residência, quando comparado ao que se produz. Por fim, a seta 3, oriunda da rede elétrica convencional com destino ao consumidor, caracteriza as situações em que se há maior demanda de consumo do que o SFCR conseguiu produzir, necessitando auxílio da energia fornecida pela rede elétrica convencional.

3.4.1 Módulos e Células Fotovoltaicas

Os módulos são definidos como conjunto de células, onde ocorre o efeito fotovoltaico, é o local de captação e transformação de energia luminosa em energia elétrica com Corrente Contínua (CC). Por se tratar de um produto de comercialização, existem variações de materiais para sua composição e características técnicas específicas (PROJETEEE, 2023).

Um dos materiais usados para a fabricação das células é o silício cristalino, líder de aplicações terrestres em diferentes escalas, podendo ser de dois segmentos que influenciam no custo de fabricação e na eficiência de conversão. O silício monocristalino (m-Si) possui um alto custo de produção, pois é necessário um banho de silício fundido de alta pureza, com restrições no ambiente e velocidade controladas, em altas temperaturas, por um longo período de tempo, justificando seu alto valor de produção, porém, com uma maior eficiência, comparada com o silício policristalino (p-Si), que tem uma produção mais simples e de baixo custo, porém, menos eficiente na conversão, mesmo assim, Maycock (2003) apud Rüther (2004) afirma que mais de 50% da produção mundial utilizam esse material.

Figura 5 - Representação dos tipos de módulos, a esquerda o m-Si e a direita o p-Si.



Fonte: Portal Solar (2023).

Outras tecnologias também foram experimentadas para a geração de energia solar em grande escala. O silício amorfo hidrogenado (a-Si) foi uma decepção para esse propósito por sua baixa eficiência de conversão, antes fora considerado viável devido ao baixo custo para sua fabricação, e por ser perfeito para equipamentos com baixo consumo elétrico. Já o Telureto de cádmio (CdTe), outra tecnologia mais recente com baixo custo de produção, e com uma taxa de conversão aceitável, torna-se um grande competidor no mercado fotovoltaico, porém, a pouca disponibilidade de materiais envolvidos em sua produção e sua alta toxicidade devem ser postas na balança, para suportar a proposta de energia sustentável. Outra tecnologia desenvolvida foi o módulo de Disseleneto de Cobre Índio e Gálio (CIS e CIGS), com características técnicas bem parecidas ao anterior quanto ao custo e ascensão no mercado fotovoltaico, não divergindo das mesmas adversidades para sua aplicação ser considerada uma energia sustentável.

Tabela 1 - Comparativo de eficiência entre células fotovoltaicas de diversos materiais.

Material	Eficiência		
	Máxima Teórica	Em Laboratório	Produção em Série
Silício Mono	24,7%	18%	14%
<u>Silício Poli</u>	19,8%	15%	13%
Silício Amorfo	15%	10,5%	7,5%
CIGS	18,8%	14%	10%
CdTe	16,4%	10%	9%

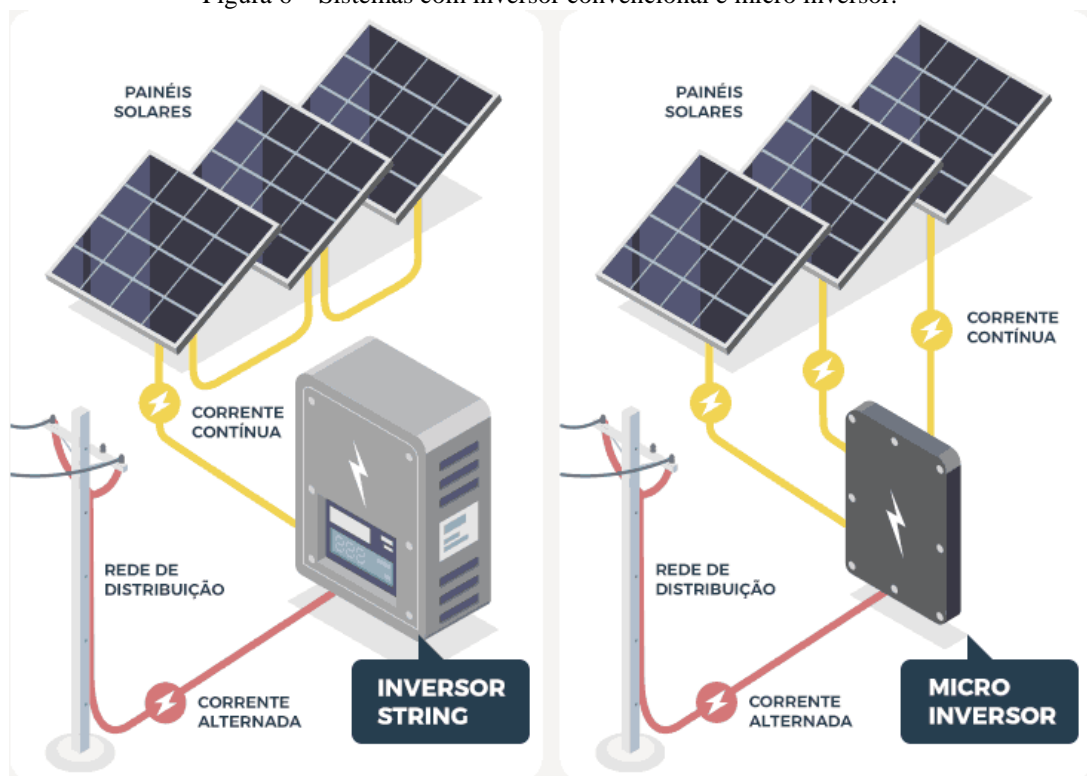
Fonte: Green Pro *apud* Blue Sol Energia Solar (2022).

3.4.2 Inversores

Os inversores são fomentados pela ProjEEE, como o equipamento responsável por transformar a eletricidade captada pelos módulos em CC para uma eletricidade de corrente alternada (CA), tendo sua quantidade dependendo diretamente do tamanho do sistema adotado, e respeitando as exigências da concessionária quanto à sincronização da corrente elétrica na saída do inversor e da rede pública.

Um avanço desse equipamento é o micro inversor, tornando um componente em conjunto, ao invés de uma parte isolada do sistema. Na figura 6 são apresentados os dois tipos de inversores, bem como seu funcionamento dentro do sistema adotado.

Figura 6 – Sistemas com inversor convencional e micro inversor.



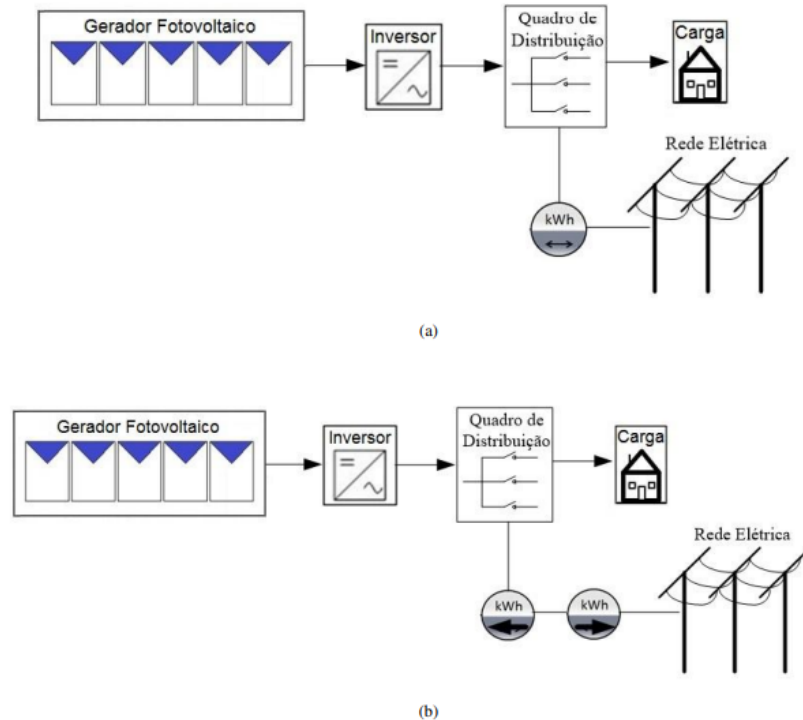
Fonte: Sunus (2021).

Quando o micro inversor é utilizado, resolve-se um grande desafio enfrentado no arranjo de módulos em série. Quando utilizado o inversor convencional, se o módulo apresentasse falha na geração ou sombreamento, as demais subsequentes interromperiam sua geração, já com o módulo com micro inversor, possuindo uma saída direta para alimentação elétrica desejada, esse problema é resolvido.

3.4.3 Medidor Bidirecional

Trata-se de uma parte importante para o tipo de geração *on grid*. O medidor bidirecional é apresentado pela ProjEEE como um equipamento que é capaz de medir a quantidade de energia utilizada pela rede pública, e a produzida e injetada pelo SFCR, representado na Figura 7.

Figura 7 - Ilustração de um medidor bidirecional.



Fonte: Pinho e Galdino (2014).

Já que é um item comercial, existem requisitos mínimos para o tipo de medição da energia elétrica, onde o documento de Regras e Procedimentos de Distribuição (Prodist) destaca que deve ser empregado o medidor bidirecional, se houver uma potência instalada menor ou igual a 75 quilowatts (kW).

3.4.4 String Box

A *string box* trata-se de um equipamento de proteção da CC, onde a mesma recebe toda a fiação vinda dos módulos e conecta ao inversor, garantindo a proteção contra sobretensão e sobrecorrente, além de possibilitar a segregação do circuito, se necessário. É composto por um invólucro, onde as conexões, dispositivos de proteção e o dispositivo seccionador são fixos, existe ainda a possibilidade de adotar um disjuntor ou uma chave seccionadora, e o dispositivo de proteção contra sobretensão (DPS), representado na Figura 8.

Figura 8 - Ilustração de uma *string box*



Fonte: FAS Energia Solar (2023).

4 METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido em quatro etapas, buscando, assim, satisfazer objetivos gerais e específicos. O método utilizado abrangeu: a) revisão bibliográfica, b) identificação e investigação do objeto de estudo, c) avaliação dos objetivos propostos e d) análise dos resultados obtidos. Cada etapa está apresentada, juntamente, com os recursos necessitados por cada uma delas.

- a) Revisão bibliográfica: para informações técnicas de caráter quantitativo que foram utilizadas com auxílio para o estudo em questão, já que consistem em buscas de dados estatísticos, em fontes, como sites, artigos, notícias, TCC e livros, para a fundamentação da tese.
- b) Identificação e investigação do objeto de estudo: esta etapa consistiu na aplicação das delimitações do presente trabalho, filtrando as pesquisas feitas no item passado, fazendo uma análise mais específica e precisa sobre o tema descrito, assim tendo possibilidade de passar de etapa.
- c) Avaliação dos objetivos propostos: destaca-se uma pesquisa básica e descritiva, tendo como uma tese para novos estudos e investimentos, caracterizando o problema e relacionando variáveis, para atender os objetivos mencionados anteriormente.
- d) Análise dos resultados obtidos: com todas as etapas concluídas, houve condições de analisar os dados das pesquisas realizadas, sendo elas em fontes autênticas, para obter uma conclusão, sendo assim, possível comparar com os objetivos propostos e ter um veredito sobre o que foi abordado.

5 RESULTADOS E ANÁLISES

Neste tópico são apresentados os resultados obtidos e as análises desses resultados, comparando-os com informações obtidas na literatura.

5.1 DADOS DA TECCEL ENERGIA SOLAR

Para a obtenção dos resultados, foi realizada consultas à empresa privada Teccel Energia Solar, os dados disponibilizados em planilha mostram os primeiros indícios de geração fotovoltaica no Município de Cajazeiras - PB, que aconteceu somente no ano de 2017, justificado por algumas condições difíceis, como a legalização da geração apenas em 2013 no Brasil, e visto que, se trata de uma região interiorizada, sem referência em processos tecnológicos ou polos industriais.

Os dados foram fornecidos em planilha de execução de serviço que continham informações mensais acerca do número de sistemas e potência instalados e qual cidade destino do sistema, a pesquisa delimitou-se somente aos consumidores da cidade de Cajazeiras –PB e com potência instalada inferior a 150 kWp, representando o grupo tipo B.

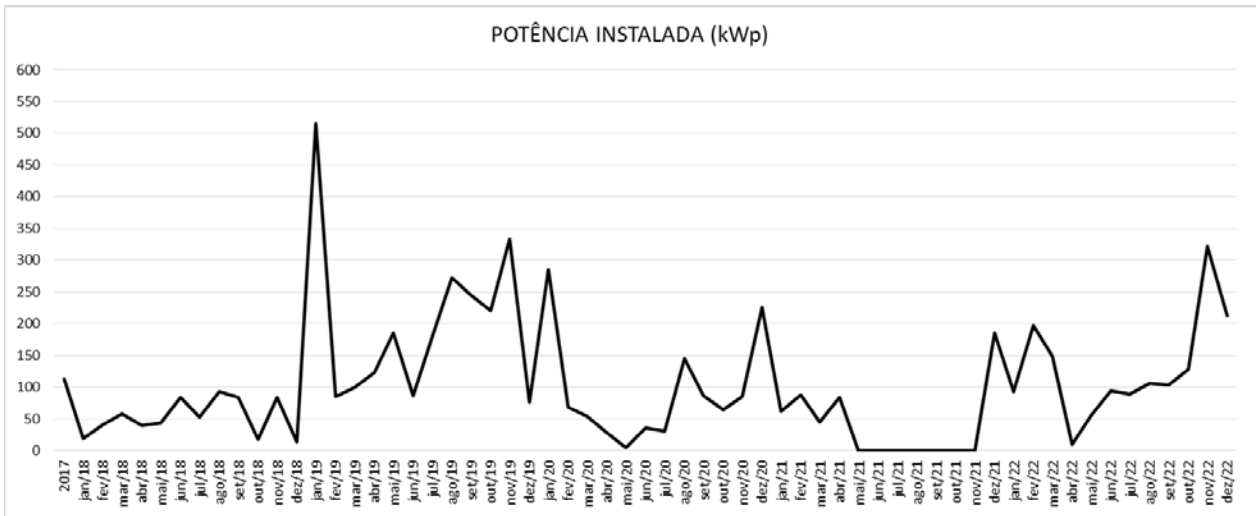
A Teccel Energia Solar, pioneira em Cajazeiras – PB, foi fundada em outubro de 2017, em seu primeiro ano, o valor da potência instalada foi de 112,45kWp, representando 6 sistemas instalados. Já em 2018, a potência instalada totaliza o valor de 631,56 kWp, e representa 60 sistemas instalados.

Assim de forma cronológica, limitando o período até 2022, tempo esse proposto pelo presente estudo, tem-se que no ano de 2019, a potência instalada era de 2422,85 kWp, representando 157 sistemas instalados. Já no ano de 2020, os dados somam 1115,51 kWp, sendo traduzidos em 100 sistemas instalados.

Em 2021, auge da pandemia, onde empresas e cidadãos estavam em *lockdown*, termo em inglês para expressar o confinamento, houve uma drástica e notória queda nos dados apresentados, onde a potência instalada era de 464,73 kWp, representando 58 clientes instalados. Tendo o retorno das atividades em 2022, expressando o valor de 1562,73 kWp, representando 157 clientes instalados.

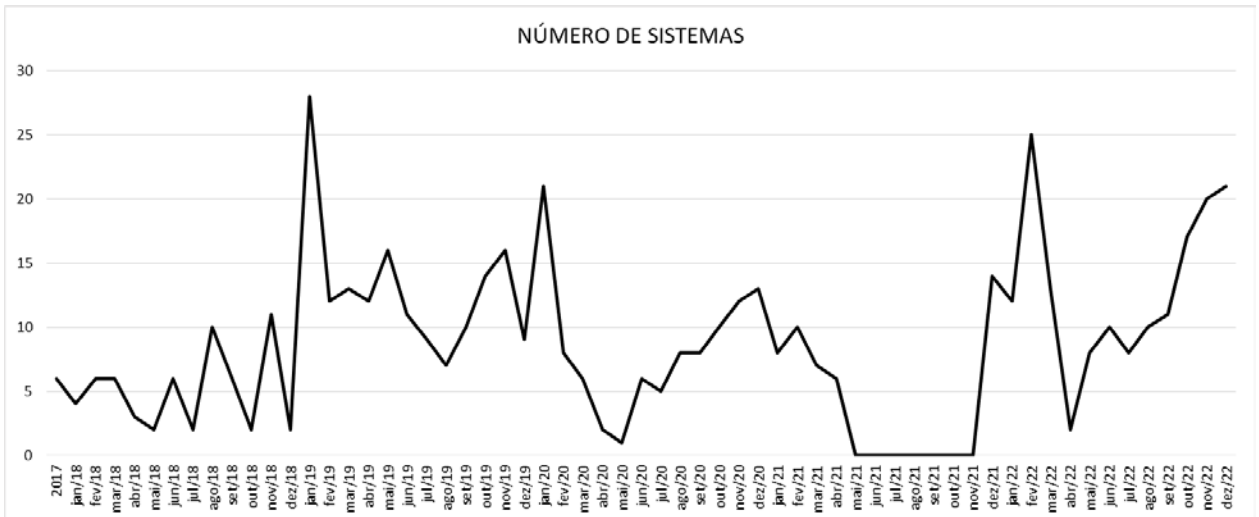
Os dados mensais são apresentados nos Gráficos 1 e 2.

Gráfico 1 – Potência Instalada em kWp mensal.



Fonte: Autoria própria (2023).

Gráfico 2 – Sistemas instalados mensal.

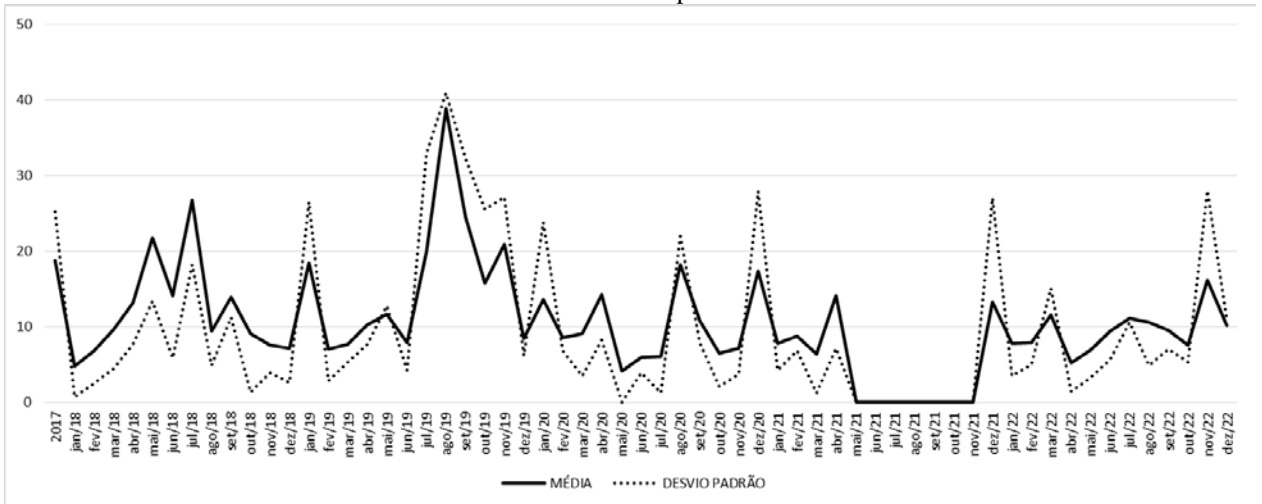


Fonte: Autoria própria (2023).

A partir da análise do Gráfico 1, percebe-se que a maior potência instalada foi no mês de Janeiro do ano de 2019, totalizando 516,04 kWp, assim, o Gráfico 2, mostra que nesse mesmo período a quantidade de sistemas instalados correspondeu a 28.

Para uma análise estatística dos dados fornecidos, foi calculado a média por mês da potência instalada e o desvio padrão, como mostrado no Gráfico 3.

Gráfico 3 – Média e desvio padrão mensal.

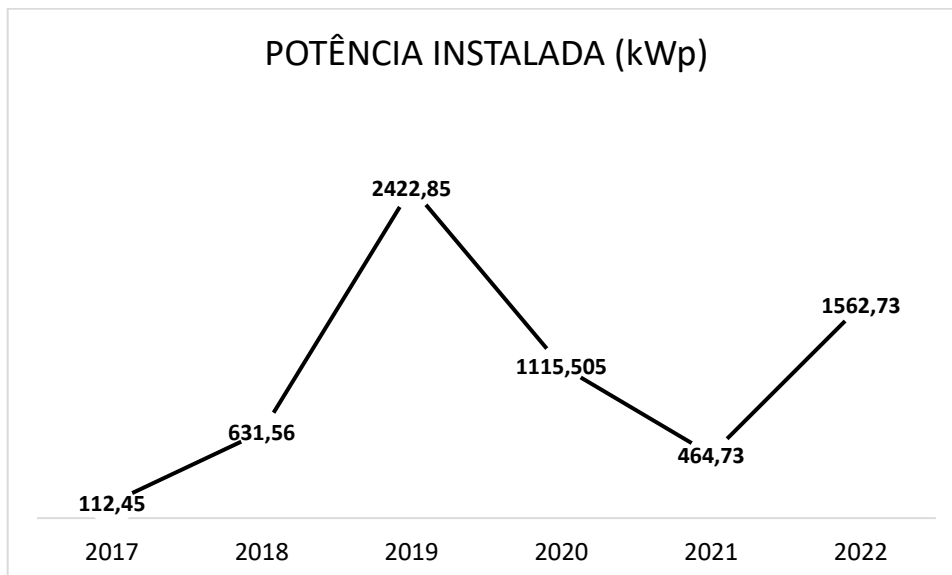


Fonte: Autoria própria (2023).

Analisando o gráfico 3 estatisticamente, nota-se que o desvio padrão apresenta valores distantes da média, caracterizando maior dispersão de dados e menor concentração em torno da média.

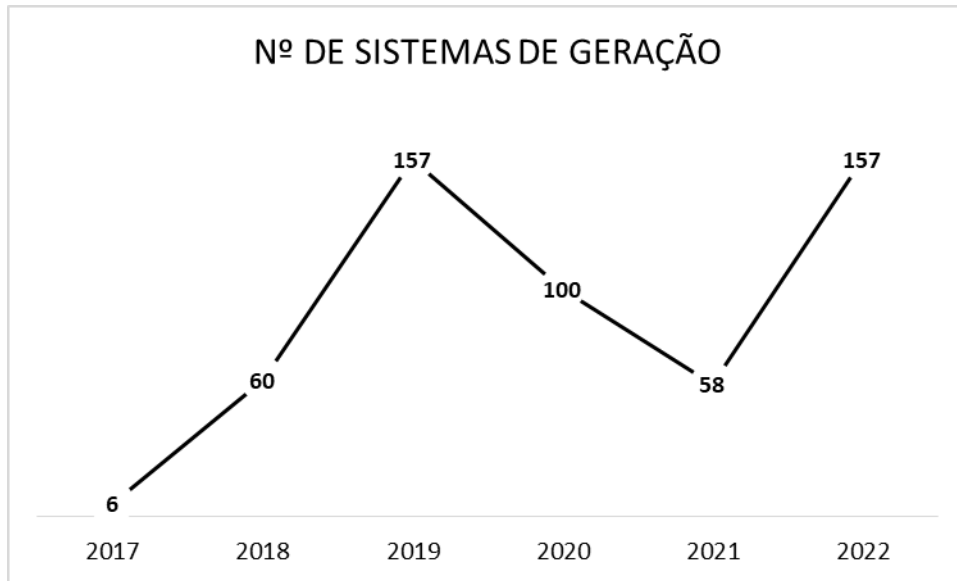
Ainda assim, foi feita uma disposição anual desses dados apresentados pela Teccel Energia Solar, afim de comparar resultados com os fornecidos pela EPE, descritos nos Gráficos 4 e 5.

Gráfico 4 – Potência Instalada em kWp anual.



Fonte: Autoria própria (2023).

Gráfico 5 – Sistemas instalados anual.



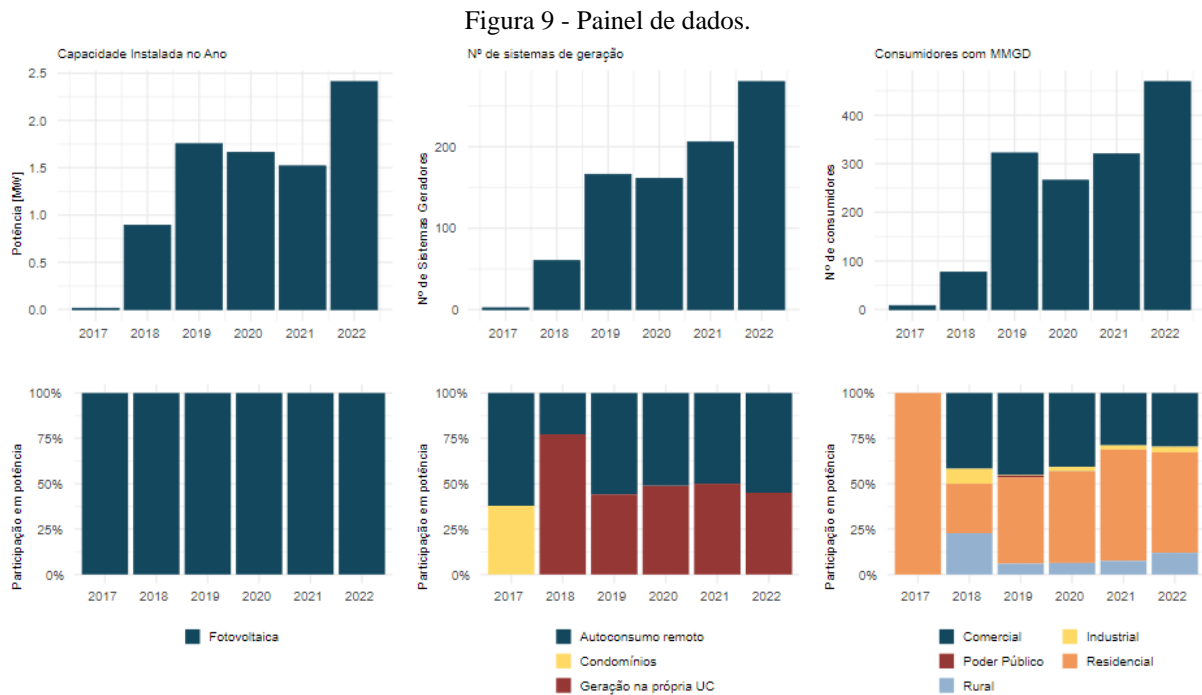
Fonte: Autoria própria (2023).

Tendo 2019 como o ano com maior potência instalada, totalizando 2422,25 kWp e representando 157 sistemas instalados. Ressalta-se que em 2022, houve o mesmo número de sistemas instalados, no entanto, a potência instalada correspondeu somente à 1562,73 kWp.

5.2 DADOS DA EPE

Para a obtenção dos resultados, foi realizado consultas a órgãos, ANEEL e EPE, que tinha algum ou total controle e autoridade sobre a geração fotovoltaica. Já para as análises, confrontaram-se dados de diferentes fontes, com mesma época e a aplicação das delimitações, para não ter equívoco de dados.

De início, houve uma consulta à EPE, que disponibilizou um painel de dados de micro e minigeração distribuída, onde foram analisados os seguintes pontos, (Paraíba, Cajazeiras, Energisa Paraíba, Fotovoltaica, B1/B2/B3/B4, Micro GD (Geração Distribuída), Comercial (baixa tensão) / Residencial / Residencial Remoto), e obteve-se um resultado, mostrado na Figura 9.



Fonte: EPE (2023).

A figura 9 apresenta dados dos anos de 2017 a 2022 em gráficos compostos de três partes. Na coluna da esquerda é apresentada a capacidade instalada no ano, mostrando uma evolução, a participação é apenas de geração fotovoltaica. Na coluna central, é exposto o número de sistemas de geração, em 2017 não havia muitos sistemas, os que haviam configuravam autoconsumo remoto e condomínios; em 2022, o número de sistemas já ultrapassava 250, e a participação se dava, em maioria, por autoconsumo remoto, e outra parcela por geração na própria unidade consumidora.

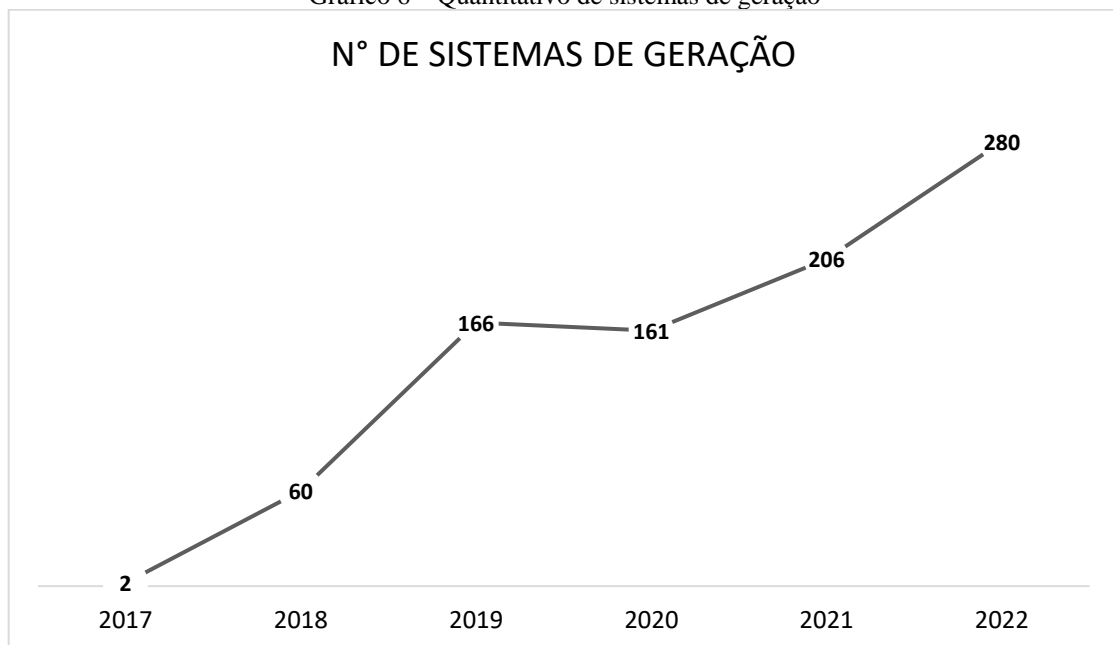
Na coluna da direita, são apresentados os consumidores com microgeração, além disso, é explicitada qual a classe desses consumidores, por exemplo, em 2021 o número de consumidores era um pouco maior que 300, e os consumidores eram comerciais, industriais, residenciais e rurais. Ressalta-se que os consumidores em 2017 eram, predominantemente, residenciais e, ao longo do tempo, passou a ser utilizado por outras classes de consumidores.

A partir disso, os primeiros indícios de geração fotovoltaica, no município de Cajazeiras - PB, foram apenas no ano de 2017, podendo ser justificado, nesse tempo de implementação, condições dificultosas, já que a legalidade da geração entra em vigor em 2013 no Brasil, e chega à Paraíba apenas em 2014, além de se tratar de uma região do interior, sem referência em processos tecnológicos ou polos industriais.

5.2.1 Quantidade de sistemas de gerações implantados nos anos de 2017 a 2022

Com base na pesquisa realizada para a obtenção do Gráfico 6, foram analisados os dados disponibilizados pela EPE, representados anteriormente na Figura 9, porém com maior aprofundamento e precisão dos dados, em comparação ao que é apresentado na plataforma disponibilizada, dando ênfase ao número de sistemas de geração fotovoltaica.

Gráfico 6 – Quantitativo de sistemas de geração



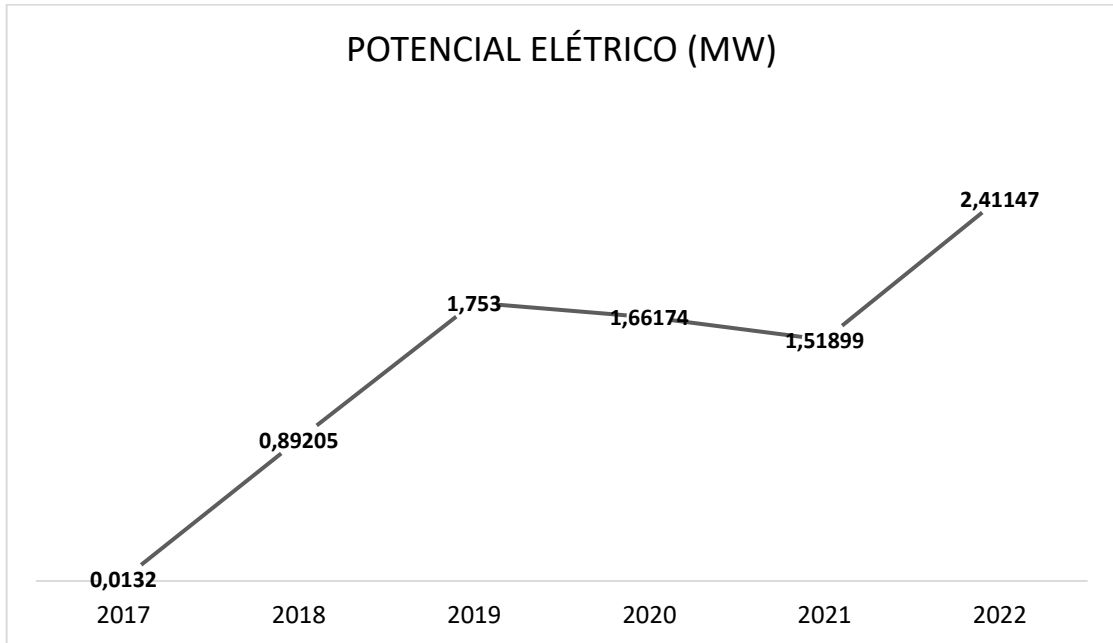
Fonte: Autoria própria (2023).

Fazendo a análise do Gráfico 6, é destacado que no período de 2017 até 2022, totalizou-se a quantidade de 875 sistemas de geração fotovoltaica implantados, esse valor equivale a 1462 unidades atendidas pelos sistemas implantados.

5.2.2 Potencial elétrico implantado nos SFCR de microgeração, nos anos 2017 a 2022

Com base na pesquisa realizada para a obtenção do Gráfico 7, foram analisados os dados disponibilizados pela EPE, representados anteriormente na Figura 9, porém com maior aprofundamento e precisão dos dados, em comparação ao que é apresentado na plataforma disponibilizada, dando ênfase ao potencial elétrico da geração fotovoltaica.

Gráfico 7 – Potencial elétrico nos últimos 5 anos



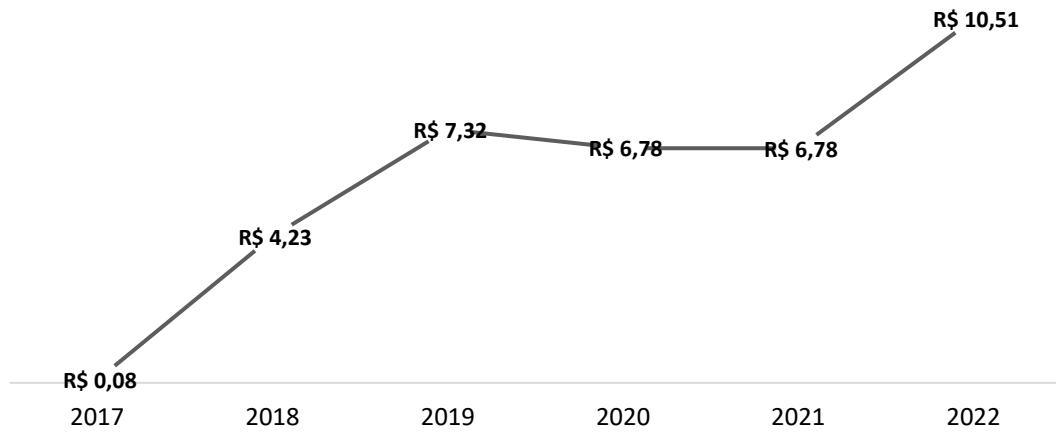
Fonte: Autoria própria (2023).

Fazendo a análise do Gráfico 7, é destacado que no período de 2017 até 2022 totalizou-se o valor de 8,25045 MW de potencial elétrico da geração fotovoltaica, representando cerca de 4,5% da geração fotovoltaica do estado da Paraíba, e conhecendo as dificuldades expostas anteriormente.

5.2.3 Investimentos realizados nos anos de 2017 a 2022

Com base na pesquisa realizada para a obtenção do Gráfico 8, foram analisados os dados disponibilizados pela EPE, representados na Figura 9 anteriormente, porém com maior aprofundamento e precisão dos dados, em comparação ao que é apresentado na plataforma disponibilizada, dando ênfase ao investimento realizado na geração fotovoltaica.

Gráfico 8 – Investimento Realizado nos últimos 5 anos
INVESTIMENTO REALIZADO (MILHÕES)



Fonte: Autoria própria (2023).

Considerando as implantações realizadas das microgerações no município de Cajazeiras - PB, no período de 2017 a 2022, tratando-se de investimentos individuais realizados pelos proprietários, na análise do Gráfico 3 destaca-se a totalidade do valor de R\$ 35.714.130,31 de investimento realizado na geração fotovoltaica, com potencial elétrico de 8,25045 MW, comparando a usina solar da Energisa Geração Central Solar Rio do Peixe II S.A, custará R\$ 138,5 milhões, sabendo que se espera uma geração de 36 MW, sendo assim, valores equivalentes em mesma proporção de geração e investimento.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho pretendeu entender, de forma quantitativa, o uso da geração fotovoltaica conectado à rede para consumidores do tipo B, em delimitações territoriais de Cajazeiras - PB, sendo justificada a escassez sobre o assunto e a região delimitada. Buscou-se disponibilizar dados mais acessíveis e de maior entendimento acerca do tema abordado, além de ser importante instrumento de convencimento para utilização de empresas aos seus clientes.

Ao fazer análise estatística dos dados mês a mês fornecidos pela Teccel Energia Solar, foi possível concluir que os dados apresentam desvio padrão elevados quando comparados aos valores médios, caracterizando uma dispersão de dados.

Além disso, os dados fornecidos pela Teccel Energia Solar, quando comparados aos dados da EPE, apresentaram divergência tanto na potência quanto ao número de sistemas instalados. Uma possível justificativa é que os dados fornecidos pela Teccel Energia Solar foram através de planilhas de execução, onde há imprecisão no mês final de cada ano, havendo remanejamento de execução para o ano seguinte. Outro ponto, é que a empresa também não informa o tipo de geração, nem os subgrupos.

Sendo assim, apenas os dados coletados na EPE foram utilizados por se tratar de uma empresa que presta serviços para o Ministério de Minas e Energia e por ser possível delimitar todos os dados necessários para a pesquisa, afim de comparar com os objetivos propostos, e se obter uma conclusão.

Para se atingir uma compreensão da análise quantitativa da tendência do sistema fotovoltaico conectado à rede, para os consumidores de energia de Cajazeiras - PB, sendo apenas do tipo B, definiram-se quatro objetivos específicos. O primeiro apresentar os dados sobre o uso do sistema *on grid*, para consumidores residenciais, em que se verificou um crescimento do uso da geração solar fotovoltaica com um aumento de 13900%, mesmo com baixas no período de 2020 a 2021 (por se tratar de um período pandêmico), apresentados nos tópicos de resultados e análises, tendo êxito neste objetivo.

O segundo avaliar o potencial elétrico do uso do sistema *on grid* para consumidores residenciais; verificou-se que atingiu o valor de 8,25045 MW, representando 4,5% da geração solar fotovoltaica na Paraíba. O terceiro objetivo específico buscou fomentar o desenvolvimento tecnológico para a geração de energia sustentável no município de Cajazeiras; e o quarto demonstrar a possibilidade de investimento na energia solar no mesmo

Município, mediante essa retomada, os objetivos foram alcançados com a conclusão desse documento.

Como é observado, os resultados obtidos não demonstram valores de anos de 2012 até 2016, porém isso não significa que o estudo não incluiu esses anos, na realidade houve a análise e obtenção de resultados nulos para esse período. Relembrando as dificuldades decorridas para implantação da geração fotoelétrica, tem-se que o início se dá na Resolução Normativa nº 482 da ANEEL, onde entra em vigor apenas em 2013, outro fator é a apresentação dos primeiros sistemas na Paraíba somente em 2014, sendo a maior parte na zona metropolitana do Estado, porém sem expressividade de geração. Seguindo para o município de Cajazeiras, foi observado que introduz seus primeiros sistemas de geração fotovoltaica apenas no ano de 2017, visto que se trata de uma região de interior, sem destaque em tecnologia e sem polos industriais.

Mediante os resultados obtidos da EPE, com o potencial elétrico acumulado de 8,25045 MW, e levando em consideração os dados do Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia (LABREN), responsável por apresentar os valores de irradiação solar anual média de cada município do país, estima-se um alívio do uso da energia vinda das hidrelétricas (geração mais comum e representativa), no valor de 479,63MWh/ ano para o município de Cajazeiras - PB, mesmo incluindo apenas consumidores do tipo B neste estudo.

É notório que o problema proposto sobre a escassez de dados sobre o assunto nessa região territorial, é comprovado com êxito a partir das discussões realizadas. Além disso, a análise de dados estatísticos dos resultados obtidos fomenta uma base sólida para seu futuro uso em diversas utilidades acadêmicas, que variam de aquisição de conhecimento sobre o tema até aprofundamento acerca de assuntos satélites que foram abordados, como sugestão seria uma pesquisa sobre a irradiação solar para a região. Ainda assim, outra opção seria o estudo para redução de emissão de CO₂, que se evita pelo uso de sistema fotovoltaico conectado à rede.

Afinal, conclui-se que existem indícios suficientes apresentados neste documento, que ocasionam um maior uso da geração fotovoltaica. Por ser uma fonte de energia renovável com baixo custo operacional e com retorno garantido a longo prazo, além da região que, fazendo uma análise básica, possui alta incidência de raios solares durante o período anual, possuindo um ponto negativo relevante, que é o alto custo de implantação inicial. Porém, há a esperança de um maior investimento do país no setor, para que aconteça uma maior integração do

sistema à rede elétrica, maior desenvolvimento tecnológico e econômico na região, resultando no amadurecimento da rede elétrica e um aumento nos índices de sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Micro e minigeração distribuída. **Governo Federal do Brasil**, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida>. Acesso em: 20 mar. 2023.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Regras e procedimentos de distribuição. **Governo Federal do Brasil**, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/procedimentos-regulatorios/prodist>. Acesso em: 21 mar. 2023.
- ALISSON, E. Proálcool: uma das maiores realizações do Brasil baseadas em ciência e tecnologia. **Agência FAPESP**, 2016. Disponível em: <https://agencia.fapesp.br/proalcool-uma-das-maiores-realizacoes-do-brasil-baseadas-em-ciencia-e-tecnologia/24432/>. Acesso em: 21 mar. 2023.
- BARROS, E. V. de. A matriz energética mundial e a competitividade das nações: bases de uma nova geopolítica. **Engevista**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 1, p. 47-56, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.22409/engevista.v9i1.183>. Acesso em: 13 mar. 2023.
- BHERING, M. P. Depoimento de Mario Penna Bhering. [Entrevista cedida a] Eduardo Raposo. Centro da Memória da Eletricidade no Brasil, Rio de Janeiro, 1988. *Entrevista*. Disponível em: <https://memoriadaeletricidade.com.br/acervo/@id/20258>. Acesso em: 13 mar. 2023.
- BLUE SOL ENERGIA SOLAR. **Célula fotovoltaica**: o guia técnico absolutamente completo. 2022. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/celula-fotovoltaica-guia-completo/>. Acesso em: 13 mar. 2023.
- BRASIL. Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS). **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 2022. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/l14300.htm. Acesso em: 20 mar. 2023.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Anuário estatístico de energia elétrica 2023**: ano base 2022. 2023. Disponível em: <https://dashboard.epe.gov.br/apps/anuario-livro/>. Acesso em: 25 jan. 2023.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Potencial dos Recursos Energéticos no Horizonte 2050**. Nota Técnica PR 04/18, Série Recursos Energéticos. Rio de Janeiro: EPE, 2018a. 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: 20 mar. 2023.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE 2027**. Rio de Janeiro: EPE, 2018b. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/sala-de-imprensa/noticias/Documents/Informe%20EPE%20-%20PDE%202027.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. Matriz energética e elétrica. **Empresa de Pesquisa Energética**, 2022a. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 13 mar. 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. Fontes de energia. **Empresa de Pesquisa Energética**, 2022b. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia#:~:text=S%C3%A3o%20exemplos%20de%20fontes%20renov%C3%A1veis>. Acesso em: 20 dez. 2022

FADIGAS, E. A. de F. A. **Energia solar fotovoltaica: fundamentos, conversão e viabilidade técnico-econômica**. São Paulo: Grupo de Energia Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2012. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/56337/mod_resource/content/2/Apostila_solar.pdf. Acesso em: 21 mar. 2023.

FAS ENERGIA SOLAR. **String box**. 2023. Disponível em: <https://fasenergiasolar.com.br/stringbox/>. Acesso em: 22 mar. 2023.

GALDINO, M. A. E.; LIMA, J. H. G. RIBEIRO, C. M.; SERRA, E. T. O contexto das energias renováveis no Brasil. **Revista da Direng**. Rio de Janeiro, p 17-25, 2000. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Direng.pdf>. Acesso em: 20 mar. 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, p. 80, 2017. Disponível em: https://cenariossolar.editorabrasilenergia.com.br/wp-content/uploads/sites/8/2020/11/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao_compressed.pdf. Acesso em: 21 mar. 2023.

LABORATÓRIO DE MODELAGEM E RECURSOS RENOVÁVEIS DE ENERGIA - LABREN. **Dados de irradiação para o Estado da Paraíba**. 2021. Disponível em: http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017_PB.html. Acesso em: 16 jun. 2023.

LANA, L. T. C.; ALMEIDA, E.; DIAS, F. C. L. S.; ROSA, A. C.; SANTO, O. C. do E.; SACRAMENTO, T. C. B.; BRAZ, K. T. M. Energia solar fotovoltaica: revisão bibliográfica. **Engenharias On-line**, v. 1, n. 2, p. 21–33, 2015. Disponível em: <http://revista.fumec.br/index.php/eol/article/view/3574>. Acesso em: 20 mar. 2023.

MACHADO, C. T.; MIRANDA, F. S. Energia solar fotovoltaica: uma breve revisão. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 1, p. 126–143, 2015. Disponível em: <https://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/664>. Acesso em: 20 mar. 2023.

MAUAD, F. F.; FERREIRA, L. da C.; TRINDADE, T. C. G. **Energia renovável no Brasil: Análise das principais fontes energéticas renováveis brasileiras**. São Carlos: EESC/USP, p. 349, 2017. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/7bde/974086b502c13e84ba4515df5538b7a5d4e4.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2023.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO - ONS. Geração média diária e horária. **Operador Nacional do Sistema Elétrico**, 2023. Disponível em <https://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/geracao-media-diaria-horaria.aspx>. Acesso em 21 mar. 2023.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPTEL-CRESESB, p. 530, 2014. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf. Acesso em: 23 mar. 2023.

PORTAL SOLAR. **Painel solar**: o que é, como funciona e tipos. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>. Acesso em: 21 mar. 2023.

PROJETANDO EDIFICAÇÕES ENERGETICAMENTE EFICIENTES - PROJETEEE. **Sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCR ou On-Grid)**. 2023. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/projeteee/equipamento/sistema-fotovoltaico-conectado-a-rede-sfcr-ou-on-grid/>. Acesso em: 21 mar. 2023.

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos**: o potencial da geração de energia fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil. 1. ed. Florianópolis: LABSOLAR, 2004. Disponível em: <https://fotovoltaica.ufsc.br/sistemas/livros/livro-edificios-solares-fotovoltaicos.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2023.

SUNUS. **Inversor x micro inversor solar**: Vantagens e desvantagens. 2021. Disponível em: <https://sunus.com.br/2021/01/20/inversor-x-microinversor-vantagens-e-desvantagens/>. Acesso em: 07 ago. 2023.

SCHERER, L. A.; SESSEGOLO, M. E. D.; BARCAROLO, T. B.; EDLER, M. A. R. Fonte alternativa de energia: energia solar. *In*: SEMINÁRIO INTERINSTITUCIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 20. **Anais**. Cruz Alta-RS: UNICRUZ, 2015. Disponível em: <https://home.unicruz.edu.br/seminario/anais/anais-2015/XX%20SEMIN%C3%81RIO%20INTERINSTITUCIONAL%202015%20-%20ANAIS/Graduacao/Graduacao%20-%20Resumo%20Expandido%20-%20Exatas,%20Agrarias%20e%20Ambientais/FONTE%20ALTERNATIVA%20DE%20ENERGIA%20ENERGIA%20SOLAR.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2022.

SHAYANI, R. A.; OLIVEIRA, M. A. G. de; CAMARGO, I. M. de T. Comparação do custo entre energia solar fotovoltaica e fontes convencionais. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 5. **Anais**. Brasília-DF. 2006. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3427159/mod_resource/content/1/solar.pdf. Acesso em 13 mar. 2023.