



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE ANGICOS
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

FRANCISCO MATEUS DE OLIVEIRA DA SILVA

**CENTRAIS GERADORAS SOLARES FOTOVOLTAICAS NO RIO GRANDE DO
NORTE: ANÁLISE DE DADOS GEORREFERENCIADOS**

ANGICOS

2025

FRANCISCO MATEUS DE OLIVEIRA DA SILVA

**CENTRAIS GERADORAS SOLARES FOTOVOLTAICAS NO RIO GRANDE DO
NORTE: ANÁLISE DE DADOS GEORREFERENCIADOS**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em interdisciplinar em ciências e tecnologia.

Orientador: Prof. Dr Marcos Vinicius Candido Henriques.

ANGICOS

2025

© Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

D586c Da Silva, Francisco Mateus De Oliveira Da.
Centrais geradoras solares fotovoltaicas no
rio grande do norte: análise de dados
georreferenciados / Francisco Mateus De Oliveira
Da Da Silva. - 2025.
46 f. : il.

Orientador: Marcos Vinicius Candido Henriques. Monografia
(graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2025.

1. Potencial solar. 2. Energia renovável. 3.
Sustentabilidade. 4. Tecnologia fotovoltaica. I.
Henriques, Marcos Vinicius Candido, orient. II.
Titulo.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em
conformidade com AACR2 e os dados fornecidos pelo
autor(a).

Biblioteca Campus Angicos
Bibliotecário: Helder Romero Maia
Duarte CRB: 15/673

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

FRANCISCO MATEUS DE OLIVEIRA DA SILVA

**CENTRAIS GERADORAS SOLARES FOTOVOLTAICAS NO RIO GRANDE DO
NORTE: ANÁLISE DE DADOS GEORREFERENCIADOS**

Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E
TECNOLOGIA.

Defendida em: 25 / 03 / 2025.

BANCA EXAMINADORA

Marcos Vinicius Candido Henriques, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Gustavo De Oliveira Gurgel Rebouças , Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Sebastião Ferreira Baracho Neto, Prof. Me. (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço profundamente a Deus, fonte de toda força e inspiração, por guiar meus passos e iluminar meu caminho. À minha família, porto seguro e alicerce da minha vida, expresso minha eterna gratidão pelo amor incondicional, apoio constante e incentivo que me impulsionaram a superar desafios e alcançar meus objetivos. Aos meus colegas, celebro a parceria, o aprendizado mútuo e a amizade que tornaram a jornada mais leve e enriquecedora. Ao meu orientador, Dr. Marcos Vinicius, agradeço imensamente pela orientação sábia, paciência e incentivo constante. Seu conhecimento e experiência foram essenciais para a conclusão deste trabalho.

"A maior glória em viver não está em nunca
falhar, mas em levantar cada vez que
falhamos." - Nelson Mandela

RESUMO

O estudo traz análises do cenário da energia solar no Rio Grande do Norte, um estado que se destaca no panorama nacional por seu vasto potencial de irradiação solar. A pesquisa se justifica pela crescente necessidade de fontes de energia renováveis, impulsionada pelo aumento populacional e pela urgência em mitigar o impacto ambiental causado pelos combustíveis fósseis. Nesse contexto, a energia solar emerge como uma alternativa promissora, capaz de impulsionar o desenvolvimento socioeconômico e garantir um futuro mais sustentável. A metodologia utilizada no estudo combina a análise de dados de diversas plataformas, como ANEEL, EPE, IBGE e Global Solar Atlas, com o uso de ferramentas de geoprocessamento (QGIS). Essa abordagem permite uma análise abrangente do cenário da energia solar no RN, desde o histórico e a tecnologia até os desafios e as oportunidades do setor. As conclusões do estudo revelam que o Rio Grande do Norte está se consolidando como um importante polo de energia solar, com um crescimento significativo na capacidade instalada e no número de usinas solares. No entanto, o setor ainda enfrenta desafios, como a necessidade de aprimorar a infraestrutura de transmissão e distribuição, buscar soluções de armazenamento de energia eficientes e garantir o descarte adequado das placas fotovoltaicas. Apesar desses desafios, o potencial de crescimento do setor é enorme, com oportunidades para expansão da geração distribuída, desenvolvimento de novas tecnologias e atração de investimentos.

Palavras-chave: Potencial solar. Energia renovável. Sustentabilidade. Tecnologia fotovoltaica.

ABSTRACT

The study presents analyses of the solar energy scenario in Rio Grande do Norte, a state that stands out in the national panorama due to its vast potential for solar radiation. The research is justified by the growing need for renewable energy sources, driven by population growth and the urgency to mitigate the environmental impact caused by fossil fuels. In this context, solar energy emerges as a promising alternative, capable of boosting socioeconomic development and ensuring a more sustainable future. The methodology used in the study combines the analysis of data from several platforms, such as ANEEL, EPE, IBGE and Global Solar Atlas, with the use of geoprocessing tools (QGIS). This approach allows a comprehensive analysis of the solar energy scenario in RN, from the history and technology to the challenges and opportunities of the sector. The research also benefits from an extensive bibliographical survey, which provides the theoretical basis necessary for the analysis of the data and the formulation of the conclusions. The conclusions of the study reveal that Rio Grande do Norte is consolidating itself as an important solar energy hub, with significant growth in installed capacity and in the number of solar plants. However, the sector still faces challenges, such as the need to improve transmission and distribution infrastructure, seek efficient energy storage solutions and ensure the proper disposal of photovoltaic panels. Despite these challenges, the sector's growth potential is enormous, with opportunities for expanding distributed generation, developing new technologies and attracting investment.

Keywords: Solar potential. Renewable energy. Sustainability. Photovoltaic technology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Irradiação Normal Direta sobre o Brasil.....	21
Figura 2 - Potencial de Energia Fotovoltaica do Brasil.....	22
Figura 3 - Representação de módulo fotovoltaico e sua composição.....	24
Figura 4 - Inversor Growatt MOD 4000TL3-X para painéis solares.....	24
Figura 5 - Estrutura de suporte metálico de painéis fotovoltaicos.....	25
Figura 6 - Transformadores.....	26
Figura 7- Subestação de Energia.....	26
Figura 8 - Cabo MC4.....	27
Figura 9 - Fluxograma metodológico do trabalho.....	32
Figura 10 - Captura de tela da plataforma para download de dados do SIGEL - ANEEL.....	33
Figura 11 - Captura de tela da plataforma Webmap EPE.....	34
Figura 12 - Captura de tela ilustrativa do software QGIS.....	35
Figura 13 - Captura de tela ilustrativa do solar global atlas.....	35
Figura 14 - Média anual da produção potencial de eletricidade fotovoltaica no período 1999-2018.....	39
Figura 15 - Centrais Geradoras Solares do Rio Grande do Norte.....	40
Figura 16 - Superposição das Centrais Geradoras Solares do Rio Grande do Norte e Média anual da produção potencial de eletricidade fotovoltaica no período 1999-2018.....	41
Figura 17 - Superposição das Centrais Geradoras Solares do Rio Grande do Norte, linhas de transmissão existentes e subestações existentes.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados gerais das usinas solares do campus Angicos da UFERSA.....	33
Tabela 2 - Quantidade de usinas registradas em cada fase de execução.....	47
Tabela 3 - Centrais Geradoras Solares em Operação no Rio Grande do Norte.....	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

GW	Gigawatts
kV	Quilovolts
kWh	Quilowatts-hora
kWh/m ²	Quilowatts-hora por metro quadrado
kWp	Quilowatts de potência-pico
MW	Megawatts
Vcc	Tensão de Corrente Contínua
Wp	Watts de potência-pico

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
2 ENERGIA SOLAR.....	18
2.1 HISTÓRICO DA ENERGIA SOLAR.....	18
2.2 ENERGIA SOLAR NO MUNDO.....	20
2.3 ENERGIA SOLAR NO BRASIL.....	20
2.4 Tecnologia Fotovoltaica.....	23
3 USINAS SOLARES.....	23
3.1 INTRODUÇÃO.....	23
3.2 PARTES QUE COMPÕEM AS USINAS SOLARES FOTOVOLTAICAS.....	23
3.2.1 Módulos Fotovoltaicos.....	23
3.2.2 Inversores.....	24
3.2.3 Estruturas de Suporte.....	25
3.2.4 Transformadores.....	26
3.2.5 Subestação Elétrica.....	27
3.2.6 Cabos e Conexões.....	28
3.2.7 Sistemas de Proteção Elétrica.....	29
3.2.8 Sistema de Monitoramento.....	29
3.2.9 Sistema de Armazenamento.....	29
3.2.10 Área de Infraestrutura e Logística.....	30
3.2 NORMAS TÉCNICAS DAS USINAS SOLARES.....	30
3.3 USINAS SOLARES NO RIO GRANDE DO NORTE.....	31
3.4 USINAS SOLARES DO CAMPUS ANGICOS DA UFERSA.....	32
3.5 DESCARTE DAS PLACAS FOTOVOLTAICAS.....	33
4 METODOLOGIA.....	34
5 RESULTADOS E CONCLUSÕES.....	40
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	49
REFERÊNCIAS.....	44

1 INTRODUÇÃO

Devido ao aumento populacional e também o crescente consumo de combustíveis fósseis, se faz necessária a busca por medidas mitigadoras que reduzam de maneira significativa o impacto ambiental, ao mesmo tempo em que se mantenha um equilíbrio econômico (KEMERICH et al, 2016).

Dessa forma, a energia se torna uma das condições tidas como fundamentais para o desenvolvimento humano, auxiliando no desempenho de atividades cotidianas. Essa energia é fornecida através de vários meios e fontes disponíveis. Tais matrizes energéticas são abrangentes no planeta e podem ser advindas de fontes renováveis e não renováveis (ALVES, 2019).

As fontes não renováveis como, petróleo, carvão mineral e gás natural, são provenientes de meios esgotáveis, isto é a medida em que aumenta o consumo pode-se acarretar o esgotamento de tais fontes, além de corroborar para a emissão de dióxido de carbono na atmosfera e por consequência o aumento do aquecimento global (DIAS, 2011). Com relação a matriz energética renováveis, dentre as inúmeras como biomassa, geotérmica, oceânica, hídrica, eólica, destaca-se a energia solar, proveniente da irradiação solar e pode ser aproveitada mediante a processos térmicos e fotovoltaicos (KEMERICH et al, 2016).

No Brasil, os investimentos em energia solar tornaram-se cada vez mais comuns, devido ao elevado potencial de radiação solar presente em grande parte do território nacional. O governo brasileiro tem direcionado esforços e recursos para essa área, com o objetivo de fomentar o desenvolvimento socioeconômico em níveis local e nacional, além de buscar retornos financeiros a longo prazo (DA ROSA & GASPARIN, 2016).

Visando fins lucrativos, o uso de geradores solares no território do Rio Grande do Norte tem crescido de forma exponencial. Dados indicam um aumento significativo nas instalações de sistemas fotovoltaicos, acompanhado de um crescimento linear no volume financeiro das distribuidoras de energia solar (OLIVEIRA, 2024).

O Rio Grande do Norte se destaca no cenário nacional da energia solar devido ao seu potencial de irradiação solar, um dos maiores do Brasil. Esse fator, aliado a políticas de incentivo e investimentos crescentes, têm impulsionado a instalação de usinas solares de grande porte e a expansão da geração distribuída no estado. O setor tem gerado empregos, atraído investimentos e contribuído para a diversificação da matriz energética do RN, consolidando o estado como um polo de energia renovável (ENERGIA, 2025).

Como destaca na Tribuna do Norte, 2024, apesar do crescimento significativo, o setor de energia solar no RN enfrenta desafios como a necessidade de aprimorar a infraestrutura de

transmissão e distribuição, a busca por soluções de armazenamento de energia eficientes e a garantia de acesso à energia solar para comunidades isoladas. No entanto, o potencial de crescimento do setor é enorme, com a possibilidade de expansão da geração distribuída em áreas urbanas e rurais, a implantação de projetos de energia solar em larga escala e o desenvolvimento de novas tecnologias e modelos de negócios.

2 ENERGIA SOLAR

2.1 HISTÓRICO DA ENERGIA SOLAR

A energia pode ser definida como a capacidade de realizar trabalho ou transferir calor. Com relação às sociedades humanas a energia teve origem em sua forma endossomática ou seja, oriundas de cadeias ecológicas, onde a principal fonte era o sol, ao iluminar, aquecer, transferir calor para a água, formando nuvens e chuvas e também ajudando os vegetais no processo de fotossíntese (FARIAS; SELKITTO, 2011).

Os primeiros registros do uso da energia solar datam do período Paleolítico, quando os seres humanos a empregavam para iluminação e para a produção de fogo (KEMERICH, 2016). Mediante as necessidades humanas houve avanços ligados tanto a mudança de localidade desses povos, quanto a aprimoração e incorporação de outras atividades para satisfação de atividades cotidianas.

Com relação ao emprego da energia solar propriamente dita, o efeito fotovoltaico, foi observado pela primeira vez em 1939 por Edmond Becquerel, onde verificou que as placas metálicas, de platina ou prata, mergulhadas em um eletrólito, provocava uma pequena diferença de potencial, quando expostas a luz. Logo mais, em 1977, os norte-americanos William Adam e R. E. Day utilizaram as propriedades fotocondutoras do selênio, para desenvolver o próprio dispositivo sólido de produção de eletricidade por exposição à luz (VALLÊRA; BRITO, s.d).

Dessa forma e com o passar do tempo e mediante a necessidade de aprimoramento da utilização dessa nova tecnologia, surge a primeira célula fotovoltaica moderna em 1954, onde tinha apenas dois centímetros quadrados referente a área e uma eficiência energética de apenas 6%, sendo possível gerar apenas 5 mW de potência (VALLÊRA; BRITO, s.d).

Um dos principais fatores que levou a busca por novas fontes de energia foi a crise do petróleo datada em 1973, onde surgiu a necessidade de expandir os meios de produção de energia e desapropriar a dependência totalitária com relação a essa fonte não renovável (SHIMOMAEBARA; PEYERL, 2021).

Já no Brasil, medidas foram iniciadas com relação a primeira crise do petróleo e a alternativa mais viável a ser incorporada foi a implementação da energia solar, dessa forma em 1979, fundou-se a *FontMat*, na cidade de São Paulo, sendo a primeira fábrica de módulos

fotovoltaicos no país, onde produzia a partir de células fotovoltaicas importadas da primeira empresa do mundo fundada localizada nos Estados Unidos, que produzia painéis solares a Solarex (SHIMOMAEBARA; PEYERL, 2021).

Sendo assim, fica evidente que tanto no Brasil, quanto a nível mundial, os fatores que permitiram a expansão da Energia Solar fotovoltaica datadas dos anos de 1970 a 2019, foi basicamente, fatores relacionados à crise do petróleo, diversificação da matriz energética, fatores relacionados a mudanças climáticas e fomento necessário ao desenvolvimento sustentável, fazendo com que a energia solar seja uma peça fundamental e desapropriação parcial e alternativa com relação às demais fontes energéticas (SHIMOMAEBARA; PEYERL, 2021).

Com relação a tecnologia de aquecimento térmico e seu uso, em termos históricos, teve início em 1967, quando um suíço chamado Horace De Saussure, descobriu que a água poderia ser aquecida, através de uma caixa revestida de isolamento térmico, onde observava-se que um ambiente fechado com vidros, se tornava mais quente quando os raios solares difundiam sobre a superfície do material, dessa forma, Saussure, construiu uma estufa com caixas de vidro de tamanhos variáveis para que pudessem colocar umas dentro das outras, colocou essa estufa sobre uma mesa preta e exposta ao sol, e verificou em seu experimento que a caixa interna possuía uma temperatura mais baixa que as externas (SÁLES, 2008).

Em 1981, Samuel Langley fez um estudo com relação aos efeitos da energia solar e verificou através do experimento de Saussure que a temperatura da água subiu acima do ponto de ebulição e concluiu que se podia ferver água mesmo em lugares mais frios. Tempos depois em 1896 Clarence Kemp patenteou um aquecedor comercial que era feito de cobre chamado de *Climax System*, mas o mesmo possuía um problema, já que não conservava a temperatura durante a noite. Anos mais tarde, em 1909, William Bailey patenteou um modelo baseado na ideia de Kemp, sendo que o seu modelo conservava a temperatura diferente do anterior, tal modelo é usado até os dias atuais (SÁLES, 2008).

Dessa forma, os coletores solares, é destacado como uma evolução do aquecimento térmico, caracterizados por sua conversão da energia solar em energia térmica, buscando assim o aquecimento de água ou outro fluido, além do mais, a implementação dos coletores solares, dependem do tipo de aplicação desejável e da temperatura de operação, divergindo

para uso domésticos ou industriais, tendo dessa maneira, coletores planos ou tubulares, que é indicado de acordo com a necessidade (ROSA, 2012).

2.2 ENERGIA SOLAR NO MUNDO

A energia solar, tem um enorme potencial de crescimento em todo o globo, tendo em vista que é irradiada na superfície terrestre, tem capacidade de atender dez vezes mais do que o consumo energético em toda a parte do planeta. Apenas a luz e o sol é capaz de produzir cerca de 1700 kW/h de energia elétrica para uma porção de quatro metros quadrados (LIMA, 2014).

Segundo o diretor geral da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Sandoval Feitosa, com base em uma perspectiva mundial e mesmo mediante a uma passada pandemia e também início da guerra da Ucrânia, no ano de 2022, a geração solar cresceu cerca de 22% no mundo e a Associação solar da Europa, projeta mais crescimento com ao passar dos anos, isso vem advindo a vários estímulos oferecidos por parte do governo, destacando o forte mercado de geração de energia solar da China, Europa e Estados Unidos.

2.3 ENERGIA SOLAR NO BRASIL

Segundo Bezerra (2019), a capacidade instalada de geração solar fotovoltaica no Brasil atingiu 8,9 GW, com 3,3 GW provenientes de projetos centralizados e 5,6 GW de geração distribuída. A região Nordeste concentra a maior parte desses empreendimentos, abrigando 70,7% dos projetos fotovoltaicos centralizados e 18,9% da geração distribuída do país. No Nordeste, destacam-se o Piauí (31,3%) e a Bahia (23,7%) na geração solar centralizada, e o Ceará (3,6%) e a Bahia (3,4%) na Mini e Microgeração Distribuída (MMGD). O Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica 2030 (MME; EPE, 2021) projeta um cenário otimista para a expansão da energia solar no Brasil.

O Brasil destaca-se como um país que favorece a utilização de fontes de energia renováveis, com ênfase na energia eólica e solar. Suas condições climáticas favoráveis e a abundância de radiação solar ao longo de todo o ano tornam o uso dessas fontes não apenas viável, mas também promissor em larga escala (KEMERICH, 2016).

A Figura 1, de irradiação solar normal direta, em kWh/m², apresentado pela ESMAP em parceria com a SOLARGIS, revela um panorama rico e diversificado da distribuição da energia solar no país. Este mapa, crucial para o planejamento e aproveitamento da energia

solar, expressa a quantidade de energia solar que atinge diretamente a superfície da terra, e é medida em kWh/m² (quilowatt-hora por metro quadrado). O mapa, dividido em 70W, 60W, 50W, 40W e 30W, permite identificar as áreas com maior e menor potencial de irradiação solar. As regiões com cores mais quentes, como o Nordeste e parte do Centro-Oeste, destacam-se pela alta irradiação, ultrapassando os 5 kWh/m²/dia em algumas áreas.

Figura 1 - Irradiação Normal Direta sobre o Brasil



Fonte: Solargis, 2024

Figura 2 - Potencial de Energia Fotovoltaica do Brasil



Fonte: Solargis, 2024

A Figura 2 mostra o potencial de energia fotovoltaica no Brasil, em kWh/kWp, apresentado pela ESMAP em parceria com a SOLARGIS. O Brasil possui um enorme potencial para geração de energia fotovoltaica, impulsionado por seu potencial solar. O mapa e os dados apresentados evidenciam essa realidade, mostrando a distribuição da potência solar em diferentes regiões do país. A região Nordeste, em particular o semiárido, apresenta os maiores índices de irradiação solar do país. Isso se deve à sua localização geográfica, próxima à linha do Equador, e ao clima semiárido, com longos períodos de sol. O Centro-Oeste também se destaca pelo alto potencial de energia fotovoltaica, especialmente em estados como Mato Grosso e Goiás. Apesar de não ter a mesma intensidade de irradiação que o Nordeste e o Centro-Oeste, o Sudeste, com sua grande população e demanda por energia, também possui um potencial significativo para geração de energia fotovoltaica.

3 USINAS SOLARES

3.1 INTRODUÇÃO

Segundo a Neoenergia (NEOENERGIA, 2025), companhia elétrica de fornecimento de energia do estado do Rio Grande do Norte, uma usina solar é uma estação que gera energia elétrica por meio da conversão da irradiação emitida pelo sol. Além do mais, destacam-se os benefícios, nos quais um dos mais pertinentes é com relação ao meio ambiente, tendo em vista que tal estrutura limita o uso de energia elétrica derivados de combustíveis fósseis, impactando de maneira positiva o meio ambiente.

3.2 PARTES QUE COMPÕEM AS USINAS SOLARES FOTOVOLTAICAS

Nas usinas fotovoltaicas, os painéis solares, compostos por células fotovoltaicas, são os protagonistas, responsáveis por converter a luz solar em eletricidade. Usinas solares contam com inversores, transformadores, sistemas de controle e monitoramento, além de subestações para a conexão à rede elétrica. A combinação precisa desses componentes garante o funcionamento eficiente e confiável das usinas solares, impulsionando a geração de energia limpa e renovável (ENERGIA, 2025).

3.2.1 Módulos Fotovoltaicos

O módulo fotovoltaico, componente fundamental em sistemas de geração de energia solar, atua como um dispositivo de conversão de energia, captando a radiação solar e iniciando o processo de transformação em eletricidade. A estrutura do módulo é composta por células fotovoltaicas, tipicamente construídas a partir de materiais semicondutores, sendo o silício o elemento mais prevalente devido às suas propriedades eletrônicas adequadas. Também conhecidos como painéis solares, os módulos fotovoltaicos são responsáveis por captar a luz do sol e convertê-la em energia elétrica na forma de corrente contínua (CC) (CARNEIRO,2010). A Figura 3 destaca a composição de um painel fotovoltaico.

Figura 3 - Representação de módulo fotovoltaico e sua composição.



Fonte: Portal Solar, 2025.

3.2.2 Inversores

Os inversores são responsáveis por converter a corrente contínua (CC) gerada pelos painéis em corrente alternada (CA), que é compatível com a rede elétrica e aparelhos (LOPES & DE ANDRADE, 2023).

A Figura 4 mostra, como ilustração, um inversor para painéis solares da marca Growatt, com potência nominal de 4kW.

Figura 4 - Inversor Growatt MOD 4000TL3-X para painéis solares.



Fonte: Autoria própria.

3.2.3 Estruturas de Suporte

As estruturas de suporte desempenham um papel essencial na instalação de sistemas fotovoltaicos, garantindo a estabilidade e o posicionamento ideal dos painéis solares para

maximizar a captação de energia solar. Essas estruturas podem variar dependendo do tipo de instalação (telhado, solo, fachada) e das condições climáticas do local (Canal solar, 2025).

A Figura 5 apresenta uma representação esquemática de painéis fotovoltaicos sustentados por suporte metálicos da usina solar em solo do campus Angicos da UFERSA.

Figura 5 - Estrutura de suporte metálico de painéis fotovoltaicos.



Fonte: Autoria própria.

3.2.4 Transformadores

Transformadores são dispositivos eletromagnéticos cruciais para a transmissão e distribuição de energia elétrica, operando com corrente alternada para alterar níveis de tensão e corrente através da indução eletromagnética entre enrolamentos primário e secundário em um núcleo ferromagnético. A relação de transformação entre as tensões depende do número de espiras nos enrolamentos, permitindo aplicações diversas, desde a transmissão de alta tensão em longas distâncias até a adaptação de níveis de tensão em dispositivos eletrônicos e sistemas de áudio (HELERBROCK, 2025). Na Figura 6 abaixo destaca-se a representação do transformador.

Figura 6 - Transformadores



Fonte: Contrans, 2020.

3.2.5 Subestação Elétrica

A subestação elétrica é um componente de extrema importância para o sistema de energia, atuando como um ponto de conexão entre a geração e a distribuição. Ela desempenha funções vitais, como a transformação dos níveis de tensão para transmissão e distribuição eficientes, a distribuição da energia para diferentes áreas, a proteção do sistema contra falhas e o controle do fluxo de energia. Essencialmente, as subestações garantem que a eletricidade gerada nas usinas chegue aos consumidores de forma segura e confiável, adaptando a tensão para cada etapa do processo (SIEMENS, 2025)

Figura 7 - Subestação de Energia.



Fonte: Cardoso, 2014.

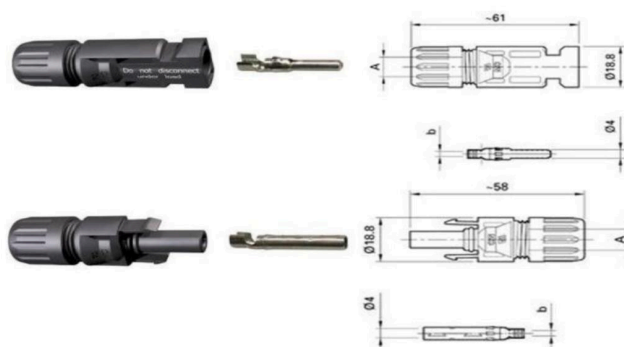
A Figura 7 retrata uma subestação elétrica ao ar livre, um componente importante do sistema de energia, responsável por transformar e distribuir eletricidade. A subestação, localizada em uma área rural, exhibe estruturas de suporte, isoladores, equipamentos de

manobra e transformadores, todos essenciais para garantir a segurança e a eficiência do fluxo de energia. As cercas e placas de identificação da RGE reforçam a importância da segurança e da gestão adequada da instalação.

3.2.6 Cabos e Conexões

Os cabos e conexões transportam a energia elétrica entre os módulos, inversores, transformadores e a subestação. A instalação de um sistema de energia solar demanda o uso de cabos e conexões específicos, como cabos solares resistentes a intempéries e conectores MC4, destacado na Figura 8 abaixo, para interligação segura dos módulos fotovoltaicos. A escolha correta desses componentes, dimensionados adequadamente para a corrente e tensão do sistema, é crucial para garantir a eficiência, segurança e durabilidade da instalação. Além disso, caixas de junção e eletrodutos são importantes para proteger as conexões e os cabos, respectivamente. Recomenda-se o uso de materiais certificados e a contratação de um profissional qualificado para a instalação, assegurando o cumprimento das normas técnicas e a realização de inspeções periódicas para manutenção preventiva (CANAL SOLAR, 2025).

Figura 8 - Cabo MC4



Fonte: Tomim, 2018.

3.2.7 Sistemas de Proteção Elétrica

Os sistemas de proteção elétrica incluem dispositivos como disjuntores, fusíveis e para-raios, que protegem os equipamentos contra sobrecargas, curto-circuitos e descargas atmosféricas (FURLAN, 2022).

Dispositivos CC operam com corrente contínua, onde o fluxo de elétrons tem direção única e polaridade constante, sendo comuns em eletrônicos portáteis, baterias e sistemas solares; já dispositivos CA funcionam com corrente alternada, cujo fluxo de elétrons inverte

periodicamente e não possui polaridade fixa, sendo amplamente utilizados em eletrodomésticos e na rede de distribuição de energia (SATO, 2013).

3.2.8 Sistema de Monitoramento

Um sistema de monitoramento solar é essencial para acompanhar a produção de energia de um sistema fotovoltaico, permitindo a detecção de falhas, otimização do desempenho e manutenção preventiva. Através de inversores com monitoramento integrado, sensores e uma plataforma *online*, os dados são coletados e exibidos em tempo real, possibilitando o acesso remoto e a geração de relatórios detalhados. A escolha de um sistema compatível e de qualidade é crucial para maximizar a eficiência e a vida útil do sistema solar (CAMELO, 2024).

3.2.9 Sistema de Armazenamento

Em usinas solares, o armazenamento de energia por baterias é essencial para garantir o fornecimento contínuo mesmo sem luz solar, com destaque para baterias de chumbo-ácido, mais tradicionais e de custo inicial acessível, porém com vida útil menor e maior necessidade de manutenção, e baterias de íon-lítio, modernas e eficientes, oferecendo alta densidade de energia e longa vida útil, embora com custo mais elevado, além das promissoras baterias de fluxo, em desenvolvimento, com alta segurança e escalabilidade. O armazenamento em baterias é amplamente utilizado em residências como energia solar e reserva de energia, veículos elétricos como alimentação do motor e sistemas auxiliares, e locais remotos como eletrificação rural e equipamentos portáteis, sendo viável para otimizar o consumo, garantir a continuidade do fornecimento e promover a sustentabilidade energética. A escolha da bateria ideal depende de fatores como tamanho da usina, perfil de consumo e orçamento, sendo crucial considerar eficiência, vida útil e segurança (ALENCAR, 2022).

3.2.10 Área de Infraestrutura e Logística

A área de Infraestrutura e Logística engloba elementos essenciais para o funcionamento eficiente de diversas atividades, desde a produção industrial até o transporte de bens e pessoas. Ela inclui estradas de acesso, cercas de segurança, áreas administrativas, armazenagem, transporte e tecnologia da informação, visando otimizar processos, reduzir custos, aumentar a competitividade e melhorar a qualidade de vida. No Brasil, apesar da sua importância para o desenvolvimento econômico e social, a área ainda enfrenta desafios como a precariedade de estradas e ferrovias, congestionamento em portos e aeroportos, falta de investimentos e burocracia (OLIVEIRA, 2012).

3.2 NORMAS TÉCNICAS DAS USINAS SOLARES

Mediante a emergente necessidade de expansão e apropriação de novas tecnologias ligadas à exploração de novos meios energéticos, surge assim a necessidade de normas técnicas como ferramenta de padronizar, organizar e qualificar procedimentos e documentos ligados a projetos e até a execução de instalações pertinentes a usinas solares.

Dessa forma, vale destacar que em suas atribuições a ABNT, que é a Associação Brasileira de Normas Técnicas, desempenham um importante papel na adoção de normas internacionais no Brasil, a fim de promover uma melhor qualidade e segurança com relação a diversas áreas, destacando a área de engenharia e afins.

A norma ABNT NBR 5410:2004 (Instalações Elétricas de Baixa Tensão) visa estabelecer as condições que devem ser satisfeitas as instalações elétricas, nas quais se aplica às alimentadas sob uma tensão nominal igual ou inferior a 1000 V em corrente alternada com frequências de 400 Hz, ou a 1500 V em corrente contínua (ABNT, 2004).

A norma ABNT NBR 16274: 2014 (Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede) estabelece requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamentos, inspeção e avaliação de desempenho. Tal norma tem como objetivo principal a verificação e instalação dos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFVCR), podendo obter através da mesma os requisitos da documentação, contendo informações e dados que o projetista e instaladores devem fornecer ao proprietário do Sistema Fotovoltaico a ser instalado (OLIVEIRA, 2018).

A norma ABNT NBR 16690: 2019 (Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos) tem como objetivo especificar os requisitos de segurança que surgem com relação às peculiaridades referente ao sistema fotovoltaico. Ela estabelece requisitos envolvendo o projeto incluindo a disposição com relação condutores, dispositivos de proteção elétrica, dispositivos de manobra, aterramento e equipotencialização do arranjo fotovoltaico. Vale ressaltar que tal norma não se aplica aos arranjos fotovoltaicos menores que 100Wp ou com tensão de circuito aberto menor que 35 Vcc ou maior que 1500 Vcc (ABNT, 2019).

3.3 USINAS SOLARES NO RIO GRANDE DO NORTE

O Rio Grande do Norte se destaca no cenário brasileiro da energia solar fotovoltaica devido ao seu alto potencial energético, impulsionado pela localização geográfica privilegiada, que garante intensa irradiação solar. Esse fator, aliado à crescente demanda por

energia limpa e renovável, atrai investimentos e impulsiona o desenvolvimento tecnológico no setor, consolidando o estado como protagonista na transição energética do país e promovendo desenvolvimento econômico e sustentável.

Destaca-se, nessa região do RN, a Voltalia, que inaugurou as usinas Solar Serra do Mel 1 e 2 no Rio Grande do Norte, somando 320 MW de capacidade instalada e parte do maior cluster da empresa no mundo, com potencial de 2,4 GW. O evento contou com autoridades locais e representantes da Voltalia e STOA, que adquiriu 33% das usinas. As usinas possuem contratos privados de venda de energia de longo prazo com empresas como Copel e Braskem, e a previsão é que as usinas Solar Serra do Mel 3, 4, 5 e 6 entrem em operação no primeiro semestre de 2023, elevando a capacidade instalada do complexo híbrido em 80% (ABEEOLICA, 2022).

Vale ressaltar também a implantação de usinas solares em localidades de instituições de ensino, a exemplo os Institutos Federais do Rio Grande do Norte (IFRN), que mediante aos avanços pertinentes a tecnologia fotovoltaica implantou usinas solares, onde no ano de 2017, demandava cerca de 19 usinas solares fotovoltaicas instaladas com uma potência de 1.873,96 kWp, destacando a usina solar fotovoltaica do campus Natal Central, localizada no capital do estado do Rio Grande do Norte, com uma capacidade de 197 kWp (LIMA, 2019).

3.4 USINAS SOLARES DO CAMPUS ANGICOS DA UFERSA

A Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) instalou usinas solares fotovoltaicas no campus de Angicos como parte de sua iniciativa de utilizar energia renovável. Com uma capacidade total de 299,28 kWp, as usinas de minigeração distribuída incluem instalações tanto em solo quanto em telhados de edifícios, visando suprir parte do consumo de energia elétrica do campus, reduzir custos, promover a sustentabilidade e fornecer infraestrutura para pesquisa em energia solar (USINAS, 2025). As usinas utilizam módulos fotovoltaicos de alta eficiência e inversores de última geração.

A primeira usina, Angicos 01, foi instalada em setembro de 2018 e possui 62,70 kWp, localizada no solo do campus. As demais usinas foram instaladas em telhados de diferentes prédios: Angicos 02 e 03 (38,25 kWp cada) na Central de Aulas I e II, respectivamente, em julho de 2021; e Angicos 04 e 05 (80,04 kWp cada) nos blocos de docentes I e II, em novembro de 2022.

Tabela 1 - Dados gerais das usinas solares do campus Angicos da UFERSA

Usina	Potência	Tipo	Local	Data de instalação
Angicos 01	62,70 kWp	Solo	Campus	09/2018
Angicos 02	38,25 kWp	Telhado	Central de aulas I	07/2021
Angicos 03	38,25 kWp	Telhado	Central de aulas II	07/2021
Angicos 04	80,04 kWp	Telhado	Bloco de docentes I	11/2022
Angicos 05	80,04 kWp	Telhado	Bloco de docentes II	11/2022
Total	299,28 kWp	-	-	-

Fonte: adaptado de Usinas (2025).

3.5 DESCARTE DAS PLACAS FOTOVOLTAICAS

O descarte inadequado de placas fotovoltaicas representa um desafio crescente para a sustentabilidade. Esses dispositivos contêm materiais como silício, chumbo, cádmio e outros metais pesados, que podem contaminar o solo e a água se não forem gerenciados corretamente (ALVES et al., 2025).

A reciclagem de placas fotovoltaicas é fundamental para recuperar esses materiais e reduzir o impacto ambiental. No entanto, a infraestrutura de reciclagem ainda é limitada em muitos países, incluindo o Brasil, o que exige investimentos e políticas públicas para impulsionar essa área (MARTINS, 2024).

Além da reciclagem, a extensão da vida útil das placas fotovoltaicas também é uma estratégia importante para reduzir o volume de resíduos. A manutenção adequada e a substituição de componentes defeituosos podem prolongar a vida útil dos painéis, adiando a necessidade de descarte (GODOY, 2024).

4 METODOLOGIA

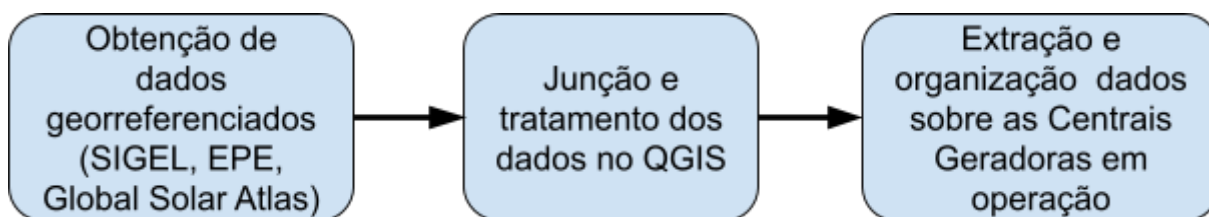
Este estudo se propõe a realizar uma análise detalhada do cenário da energia solar no Rio Grande do Norte, utilizando como base dados e pesquisas das plataformas da ANEEL e da EPE. A pesquisa focou na capacidade instalada e na localização dos parques solares a fim de fornecer um panorama abrangente sobre o uso da energia solar no estado. A ANEEL, como órgão regulador, fornece dados sobre a capacidade instalada e a localização dos parques, enquanto a EPE, com seus estudos e pesquisas, contribui com análises sobre o potencial e a viabilidade da energia solar no Brasil, permitindo um entendimento do setor no contexto do Rio Grande do Norte.

O QGIS (Sistema Geográfico de Informação), consiste em um software que permite a manipulação de camadas geoespaciais, permitindo em sua interface a análise espaciais, consultas e composição de camadas para a geração de mapas, além do mais tal software é livre e pode ser utilizado em pesquisas que envolva levantamento energético e afins, sendo uma importante ferramenta no auxílio de verificação de potenciais energéticos com relação a região em pesquisa.

O Solar Global Atlas é uma plataforma que tem em sua principal função mostrar toda a radiação solar que tange todo o globo terrestre, enfatizando as suas variações conforme alguns fatores geográficos como a latitude e longitude, além de outros critérios, tal ferramenta é importante pois auxilia em uma visão mais ampla de acordo com as regiões do mundo, permitindo investimentos e pesquisas com relação às regiões mais abundantes dessa fonte energética natural.

A Figura 9 ilustra o fluxo de trabalho metodológico empregado neste estudo. Inicialmente, ocorreu a obtenção de dados georreferenciados de diversas fontes, incluindo o SIGEL, a EPE e o Global Solar Atlas. Em seguida, esses dados foram integrados e processados utilizando o software QGIS. Por fim, realizou-se a extração e organização dos dados específicos sobre as Centrais Geradoras em operação.

Figura 9 - Fluxograma metodológico do trabalho.

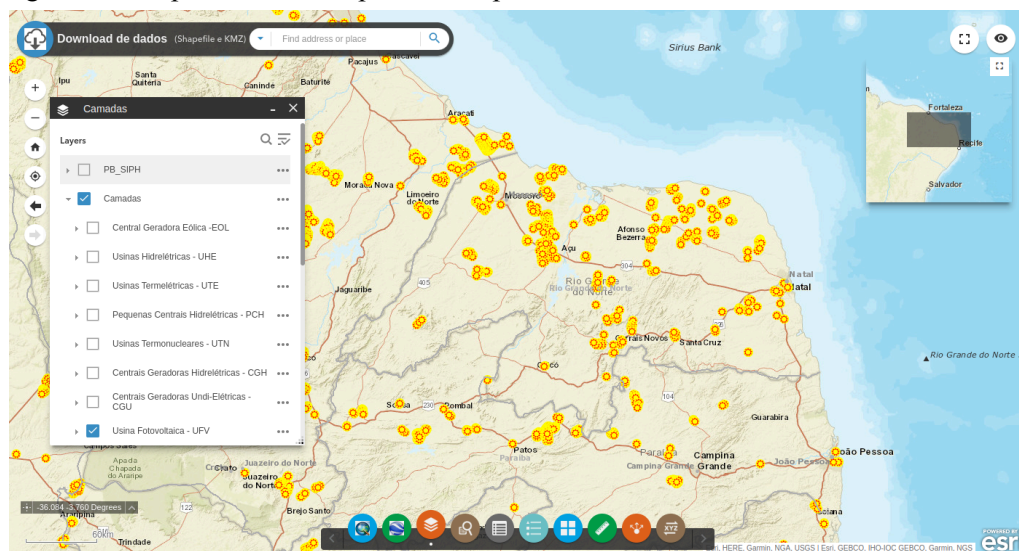


Fonte: Autoria própria.

5 RESULTADOS E CONCLUSÕES

A ANEEL, por meio do SIGEL - Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico, desempenha um papel na regulação do setor elétrico brasileiro, utilizando o sistema para planejamento, fiscalização, regulação tarifária, análise de impacto ambiental e disponibilização de informações. O SIGEL, ao integrar dados geográficos e técnicos, otimiza a gestão da infraestrutura elétrica, promovendo transparência e eficiência no setor (SIGEL, 2025). A Figura 10 mostra uma captura de tela do sistema para download de dados do SIGEL, que permite selecionar as camadas específicas das centrais geradoras solares da região do Rio Grande do Norte, por exemplo.

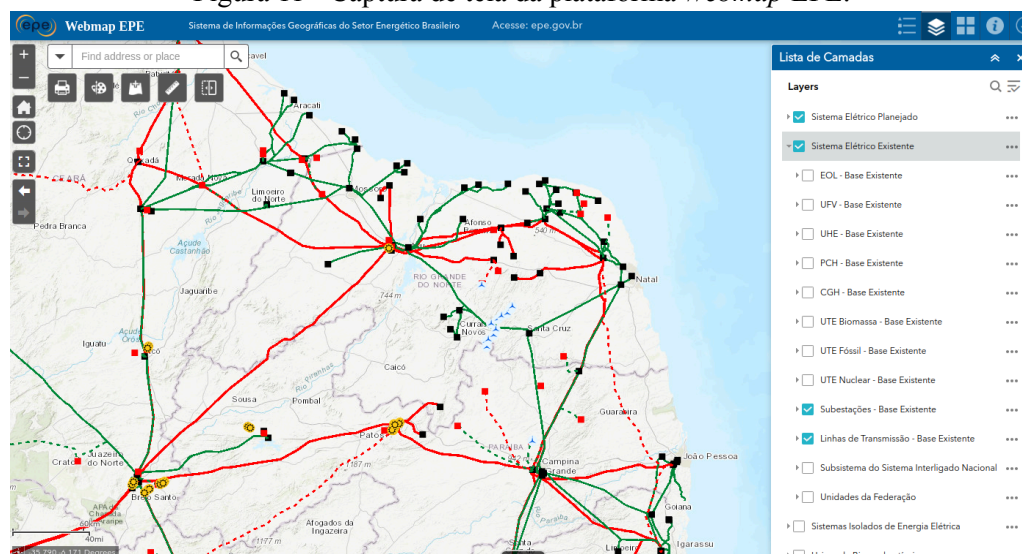
Figura 10 - Captura de tela da plataforma para download de dados do SIGEL - ANEEL.



Fonte: adaptado de Sigel (2025)

A EPE *Webmap* é uma plataforma online da Empresa de Pesquisa Energética - EPE que disponibiliza dados georreferenciados do setor energético brasileiro, permitindo a visualização e análise de informações sobre usinas, linhas de transmissão, campos de petróleo e gás, entre outros. A ferramenta, acessível gratuitamente no site da EPE, é importante para profissionais do setor, pesquisadores, órgãos governamentais e a sociedade em geral, facilitando o planejamento, a análise e o acesso à informação sobre a infraestrutura energética do país. Como exemplo, a Figura 11 apresenta uma captura de tela da plataforma focando em linhas de transmissão e subestações do Rio Grande do Norte, disponíveis para download.

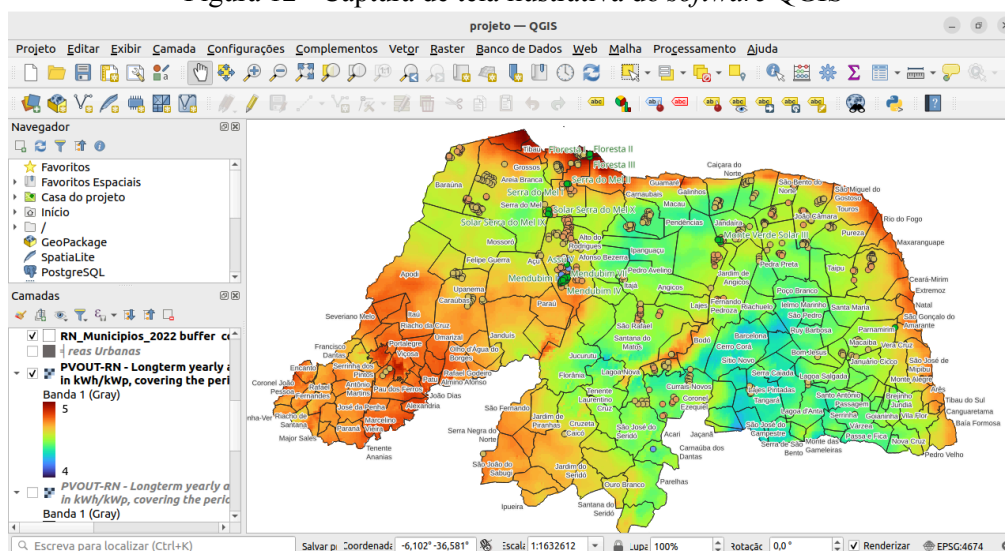
Figura 11 - Captura de tela da plataforma *Webmap EPE*.



Fonte: adaptado de EPE (2025).

Também foram utilizadas neste trabalho malhas territoriais do IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. As malhas territoriais são representações digitais georreferenciadas das divisões político-administrativas do Brasil, atualizadas constantemente e disponíveis em diversos formatos, essenciais para planejamento urbano e regional, políticas públicas, estudos e pesquisas, georreferenciamento e visualização de dados censitários, podendo ser acessadas gratuitamente no site do IBGE.

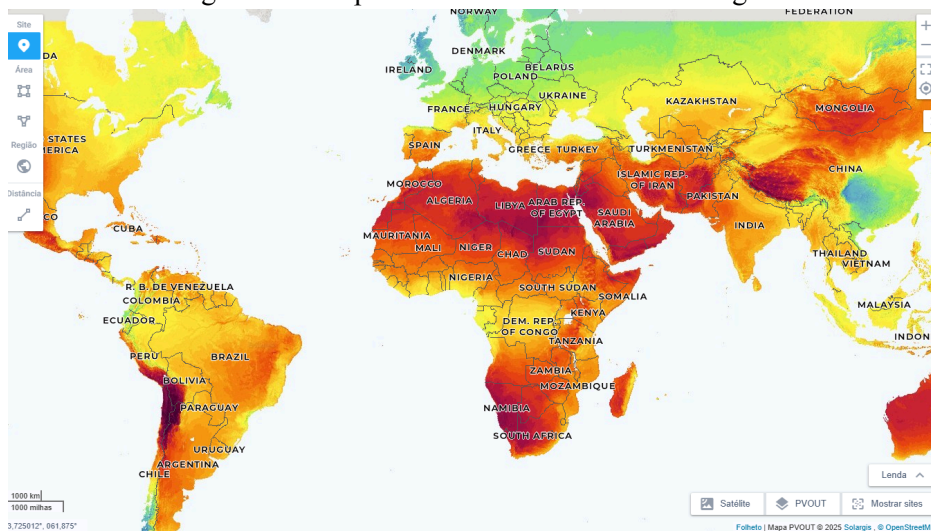
O QGIS (*Quantum GIS*) é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) de código aberto e gratuito, amplamente utilizado para visualização, edição e análise de dados georreferenciados. Destacando-se por sua versatilidade e capacidade de lidar com diversos tipos de dados espaciais, o QGIS oferece funcionalidades como visualização e edição de dados vetoriais e matriciais, análise espacial com ferramentas para cálculos de distância e sobreposição de camadas, criação de mapas personalizados, e uma vasta biblioteca de plugins para tarefas específicas. A Figura 12 mostra, a título de ilustração, uma captura de tela do programa sendo usado para tratar várias camadas de informações georreferenciadas com dados usados por este trabalho.

Figura 12 - Captura de tela ilustrativa do *software* QGIS

Fonte: autoria própria (2025), utilizando o *software* QGIS.

Por fim, usamos dados do *Global Solar Atlas*, que mostra a radiação solar global, que varia significativamente em todo o planeta devido a fatores como latitude, altitude, cobertura de nuvens e estações do ano. O *Global Solar Atlas*, uma plataforma *online* que utiliza dados de radiação solar global, fornece mapas detalhados e informações valiosas para o planejamento e desenvolvimento de projetos de energia solar em todo o mundo.

Figura 13 - Captura de tela ilustrativa do solar global atlas



Fonte: Autoria própria (2025), utilizando o *Solar Global Atlas*

A Figura 13 apresenta a média anual da produção potencial de eletricidade fotovoltaica no período 1999-2018, com base em dados do *Global Solar Atlas* (2025). A unidade kWh/kWp (quilowatt-hora por quilowatt-pico) é um indicador da análise de desempenho de sistemas solares fotovoltaicos, fornecendo informações sobre a eficiência e produtividade de um sistema em relação à sua capacidade instalada. O mapa utiliza uma escala de cores para representar a quantidade de energia fotovoltaica que pode ser gerada em

diferentes áreas do estado. As cores mais “quentes”, como o amarelo e o laranja, indicam regiões com maior potencial, enquanto as cores mais “frias”, como o verde e o azul, representam áreas com menor potencial.

Ao analisar o potencial fotovoltaico de uma determinada região, é essencial considerar todos os fatores mencionados, incluindo altitude, proximidade do litoral, cobertura de nuvens e outros elementos relevantes. A combinação desses fatores determinará a viabilidade e a eficiência da instalação de sistemas solares fotovoltaicos.

A Figura 14 apresenta a localização das Centrais Geradoras Solares do Rio Grande do Norte, segundo dados de janeiro de 2025 da ANEEL. O mapa mostra as usinas solares do estado em diferentes fases de desenvolvimento: em operação (usinas em funcionamento), em construção (obras em andamento), construção não iniciada (autorizadas, mas sem obras), planejamento (DRO - Despacho de Registro do Requerimento de Outorga) e pré-cadastro. As usinas em operação já contribuem para a matriz energética com energia limpa, enquanto as demais representam potencial de crescimento futuro, com diferentes graus de planejamento e investimento. O mapa fornece uma visão geral do panorama da energia solar no estado, com informações sobre o *status* de cada usina.

A região central do estado se destaca pela alta irradiação solar, disponibilidade de áreas planas e proximidade da rede de transmissão, que são fatores que favorecem o desenvolvimento de usinas fotovoltaicas. Observa-se no 5 uma grande concentração de projetos solares nesta região, abrangendo municípios como Carnaubais, Serra do Mel e principalmente em Assu, que apresenta uma maior concentração de centrais geradoras em operação. Algumas delas podem ser visualizadas no mapa, indicadas pelos pontos verdes. A região de Assú possui características favoráveis para a geração de energia solar, como alta irradiação solar, subestações e linhas de transmissão. O município de Serra do Mel também possui centrais geradoras solares em funcionamento, conforme pode ser observado no mapa. A região de Serra do Mel é conhecida por seus projetos de energia renovável, incluindo tanto usinas solares quanto eólicas. Assim como Carnaubais que possui potencial para impulsionar o desenvolvimento econômico e social do estado de forma sustentável.

A Figura 16 mostra a Superposição das Centrais Geradoras Solares do Rio Grande do Norte e Média anual da produção potencial de eletricidade fotovoltaica no período 1999-2018. O mapa evidencia uma clara relação entre as áreas de maior potencial fotovoltaico e a concentração de Centrais Geradoras Solares Fotovoltaicas (CGs). As áreas com cores mais “quentes”, indicando um potencial fotovoltaico mais elevado (próximo de 5 kWh/kWp), são

as que concentram o maior número de CGs, representadas pelos círculos no mapa. Essa relação é lógica, já que as CGs são instaladas em locais onde a irradiação solar é maior, garantindo uma produção de energia mais eficiente. No entanto, outros fatores também podem influenciar a localização das CGs, como a disponibilidade de áreas planas, a proximidade de redes de transmissão e a legislação ambiental.

A análise espacial da relação entre potencial fotovoltaico e a concentração de CGs é fundamental para o planejamento e expansão da geração de energia solar, maximizando o aproveitamento dos recursos naturais e contribuindo para o desenvolvimento de uma matriz energética mais sustentável.

O Rio Grande do Norte possui condições climáticas e geográficas extremamente favoráveis para a geração de energia solar, conforme podemos observar na Figura 14. Essas condições climáticas e geográficas favoráveis tornam o Rio Grande do Norte com maior potencial para a geração de energia solar no mundo. O mapa demonstra como as áreas de maior irradiação solar, representadas pelas cores mais claras, coincidem com a localização das Centrais Geradoras Solares Fotovoltaicas (CGs). Entretanto, é importante ressaltar que outros fatores também influenciam a viabilidade da energia solar, como a disponibilidade de infraestrutura, a legislação ambiental e os incentivos governamentais. Apesar disso, as condições naturais favoráveis são um diferencial importante para o desenvolvimento da energia solar no Brasil.

A Figura 17 mostra a superposição das Centrais Geradoras Solares do Rio Grande do Norte, linhas de transmissão existentes e subestações existentes. O mapa demonstra a relação entre a localização das Centrais Geradoras Solares Fotovoltaicas (CGs), as linhas de transmissão de energia elétrica (230 kV e 500 kV) e as subestações existentes. As linhas de transmissão de 230 kV, representadas em azul, conectam as CGs às subestações e a outros pontos da rede elétrica, permitindo o escoamento da energia gerada. As linhas de 500 kV, em vermelho, fazem parte de um sistema de transmissão de alta capacidade, conectando o estado a outras regiões do país. As subestações, em laranja, são pontos de conexão e transformação da energia elétrica, adequando-a para distribuição aos consumidores.

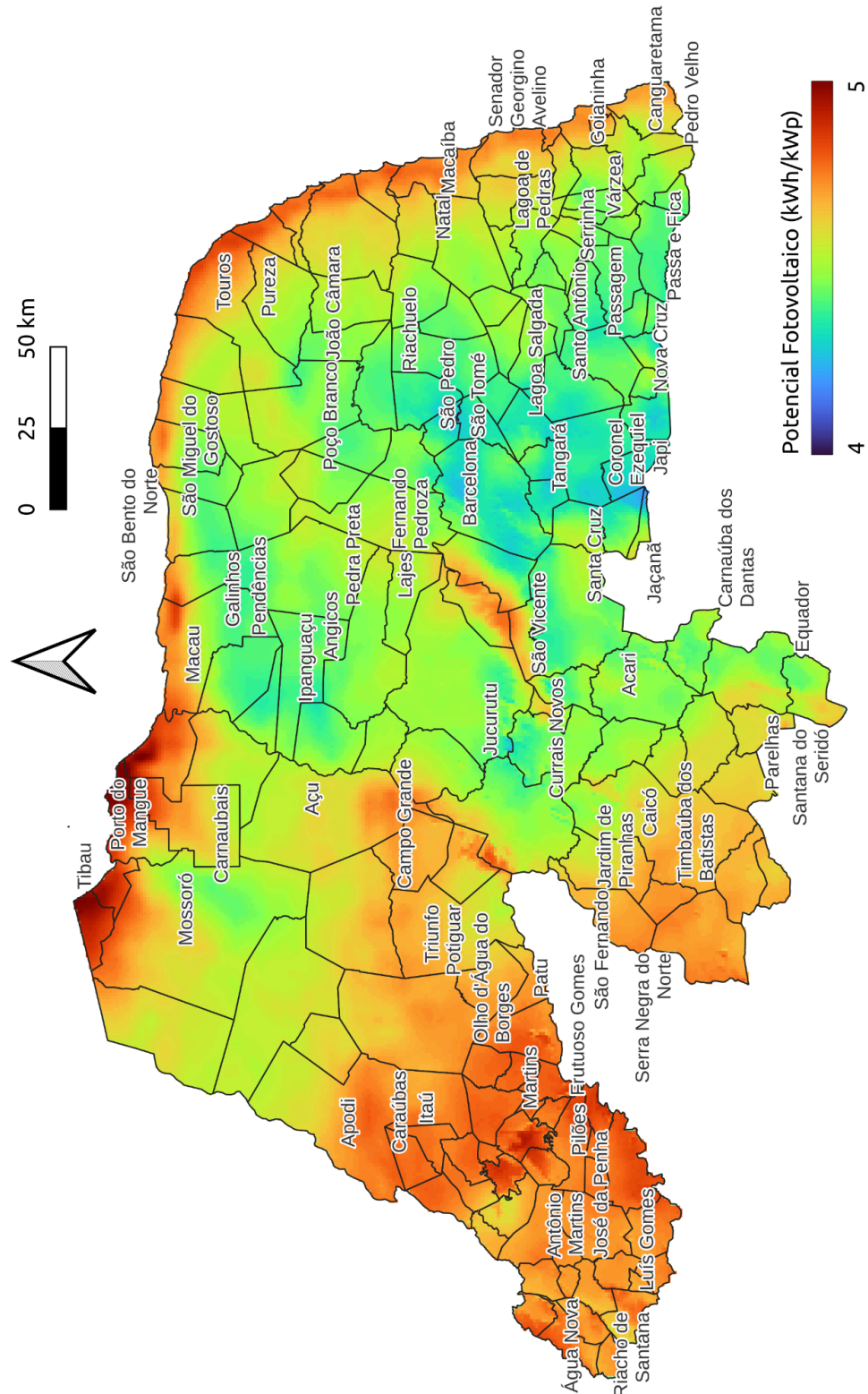
A proximidade das centrais solares às subestações é fundamental para garantir a eficiência, a economicidade e a segurança na integração da energia solar ao sistema elétrico. Essa proximidade permite minimizar perdas, reduzir custos, facilitar a manutenção e aumentar

a confiabilidade do sistema, beneficiando tanto as centrais solares quanto os consumidores de energia.

A concentração de CGs em áreas específicas e a distância entre algumas CGs e as subestações podem sobrecarregar a rede e aumentar as perdas de energia. Além disso, a capacidade limitada das linhas de transmissão existentes pode impedir o escoamento da energia gerada por novas CGs. Para solucionar esses problemas, são necessários investimentos na expansão da malha de transmissão, com a construção de novas linhas e subestações, e na modernização da infraestrutura existente.

A proximidade das CGs às áreas urbanas pode trazer benefícios como a redução de perdas na transmissão e menores custos de conexão, além de possibilitar a geração distribuída de energia. No entanto, é preciso considerar os desafios relacionados à disponibilidade de áreas, sombreamento e impacto visual. A Figura 15 revela que a maioria das CGs está localizada em áreas rurais, o que indica que a expansão da energia solar no estado exige investimentos em linhas de transmissão e subestações para garantir a integração eficiente da energia gerada.

Figura 14- Média anual da produção potencial de eletricidade fotovoltaica no período 1999-2018



Fonte: Feito com o QGIS a partir de dados do Global Solar Atlas (2025)

A tabela 2 apresenta a quantidade de usinas registradas em cada fase de execução, extraídos a partir dos dados disponibilizados pela Aneel de janeiro de 2025.

Tabela 2 - Quantidade de usinas registradas em cada fase de execução

Fase da usina	Quantidade
Operação	26
Construção	6
Construção não iniciada	150
Planejamento (DRO ¹)	360
Pré-Cadastro	4
Total	546

Fonte: Aneel (2025)

A Tabela 2 revela um cenário promissor para a energia solar, com 546 usinas registradas, mas com um desequilíbrio entre as fases de desenvolvimento: predominância de projetos em planejamento (360) e construção não iniciada (150) contrasta com a baixa quantidade em operação (26), indicando desafios na transição para a fase operacional; o pré-cadastro e o planejamento (DRO) sinalizam o início do desenvolvimento, com potencial para expansão futura, mas dependem de superação de obstáculos regulatórios e financeiros.

A tabela 3 apresenta às Centrais Geradoras Solares em Operação no Rio Grande do Norte, ordenadas por potência.

Tabela 3 - Centrais Geradoras Solares em Operação no Rio Grande do Norte

Nome	Proprietário	Município	Potência (kW)
Serra do Mel I	Sol Serra do Mel I SPE S.A	Serra do Mel	137.480,00
Serra do Mel II	Sol Serra do Mel II SPE S.A.	Serra do Mel	103.110,00
Monte Verde Solar V	Central Geradora Fotovoltaica Monte Verde Solar V S.a, Bozel Brasil S.a	Pedro Avelino	49.450,00
Serra do Mel VII	Sol Serra do Mel V SPE S.A.	Serra do Mel	48.118,00
Solar Serra do Mel IX	Sol Serra do Mel III SPE S.A	Serra do Mel	48.118,00
Solar Serra do Mel X	Sol Serra do Mel IV SPE S.A	Serra do Mel	48.118,00
Serra do Mel VIII	Sol Serra do Mel VI SPE S.A.	Serra do Mel	48.118,00
Mendubim II	Sol de Cristóvão Energia Ltda	Açu	46.000,00

Mendubim XI	Sol de Pipa Energia Ltda	Açu	46.000,00
Monte Verde Solar II	Central Geradora Fotovoltaica Monte Verde Solar II S.A.	Jandaíra	42.471,13
Monte Verde Solar III	Central Geradora Fotovoltaica Monte Verde Solar III S.A.	Jandaíra	42.471,13
Mendubim XIII	Sol de Baía Formosa Energia Ltda	Açu	41.700,00
Mendubim IX	Sol de Genipabu Energia Ltda	Açu	40.250,00
Mendubim III	Sol de Ponta do Mel Energia LTDA	Açu	37.375,00
Mendubim VII	Sol de Zumbi Energia Ltda.	Açu	36.140,00
Mendubim I	Sol de Tibau Energia Ltda	Açu	34.500,00
Assú V	Central Fotovoltaica Assú V S.A.	Açu	34.000,00
Mendubim VIII	Sol de Maracajaú Energia Ltda.	Açu	33.360,00
Floresta I	Solaire Floresta I Energia Solar SPE S.A.	Areia Branca	32.000,00
Floresta II	Solaire Floresta II Energia Solar SPE S.A.	Areia Branca	32.000,00
Mendubim IV	Sol de Galinhos Energia Ltda.	Açu	31.625,00
Mendubim VI	Mendubim VI Geração de Energia Ltda	Açu	30.580,00
Mendubim V	Sol de São Miguel do Gostoso Energia Ltda	Açu	22.240,00
Mendubim XII	Sol de Barra Do Cunhaú Energia Ltda	Açu	22.240,00
Floresta III	Solaire Floresta III Energia Solar S.A.	Areia Branca	22.000,00
Indústria Chapinha Fab	Indústria e Comércio Chapinha Ltda	Macaíba	280,00
Total			1.109.744,26

Fonte: ANEEL (2025)

A Tabela 3 lista as Centrais Geradoras Solares em operação no Rio Grande do Norte, detalhando o nome da central, o proprietário, o município onde está localizada e a potência em kW. Destaca-se a concentração de centrais em Serra do Mel e Açu, a variedade de proprietários e a diversidade de potências, evidenciando o crescimento e a importância da energia solar no estado. Das 7 (sete) maiores centrais geradoras solares, segundo o critério de potência, 6 (seis) estão situadas em Serra do Mel. E de todas as centrais geradoras em operação, 13 (treze) encontram-se no município de Açu.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Rio Grande do Norte destaca-se como um polo de energia solar no Brasil, impulsionado por um potencial excepcional de irradiação solar, evidenciado na Figura 14 com áreas de alta produção anual de eletricidade fotovoltaica (kWh/kWp), revela também um desenvolvimento acelerado do setor, com numerosas Centrais Geradoras Solares (CGs) em diversas fases, concentradas principalmente na região central do estado, em municípios como Assú, Serra do Mel e Carnaubais, complementado pela Tabela 3 que detalha as CGs em operação. A Figura 17 ressalta a importância da infraestrutura de transmissão, com linhas de alta capacidade e subestações, para a integração eficiente da energia solar à rede elétrica, apesar dos desafios de sobrecarga e perdas de energia em algumas áreas. A figura 16, ao sobrepor dados de potencial fotovoltaico e localização das CGs, confirma a forte correlação entre esses fatores, demonstrando a otimização da produção de energia em áreas de maior irradiação solar. Apesar dos desafios, como a necessidade de investimentos em infraestrutura e considerações ambientais, o Rio Grande do Norte possui um futuro promissor na geração de energia limpa e sustentável, com um dos maiores potenciais solares do mundo e um desenvolvimento contínuo do setor.

O setor de energia solar brasileiro demonstra um grande potencial, com um número expressivo de usinas registradas, embora a maioria ainda esteja em fases iniciais de desenvolvimento, como planejamento e construção. Existe uma diferença considerável entre o grande volume de projetos em planejamento e construção e o número reduzido de usinas em operação, o que sugere dificuldades na passagem para a fase operacional, possivelmente ligadas a questões regulatórias e financeiras.

As centrais geradoras solares em operação no Rio Grande do Norte, a primeira seção foca em centrais em Serra do Mel, com a maioria pertencente à Sol Serra do Mel SPE S.A. e potências que chegam a 137.480,00 kW. A segunda seção abrange outras localidades como Açu e Jandaíra, com diversos proprietários e potências variadas, indicando uma diversificação na propriedade e localização das centrais solares no estado.

Para impulsionar a energia solar em regiões com pouca infraestrutura, é focar em pesquisa e inovação em quatro áreas principais: mapeamento detalhado do potencial solar, desenvolvimento de tecnologias acessíveis e eficientes, criação de modelos de negócios sustentáveis e políticas públicas eficazes. Isso envolve desde a identificação de áreas

prioritárias e o desenvolvimento de sistemas off-grid de baixo custo, até a exploração de financiamentos inovadores e a criação de regulamentações que facilitem a microgeração e minigeração distribuída. Ao abordar esses pontos, podemos garantir que a energia solar beneficia as comunidades mais necessitadas, promovendo desenvolvimento socioeconômico e sustentabilidade.

O Rio Grande do Norte se destaca como um polo de energia solar no Brasil, impulsionado por seu alto potencial de irradiação solar e pelo desenvolvimento acelerado do setor, com diversas Centrais Geradoras Solares (CGs) em operação e em construção, principalmente na região central do estado. A infraestrutura de transmissão, com linhas de alta capacidade e subestações, é crucial para a integração eficiente da energia solar à rede elétrica, apesar dos desafios de sobrecarga e perdas de energia em algumas áreas. O setor de energia solar brasileiro demonstra grande potencial, com um alto número de usinas registradas, embora a transição para a fase operacional ainda enfrente obstáculos regulatórios e financeiros. A diversificação na propriedade e localização das centrais solares no Rio Grande do Norte, com destaque para as CGs em Serra do Mel, evidencia o crescimento e a relevância do estado no cenário nacional de energia solar.

Considerando o cenário promissor da energia solar no Rio Grande do Norte e os desafios identificados na transição para a fase operacional em nível nacional, futuros trabalhos poderiam se concentrar em investigar as barreiras regulatórias e financeiras específicas que dificultam a entrada em operação das usinas solares no Brasil, com um estudo de caso aprofundado no Rio Grande do Norte para identificar soluções e melhores práticas que possam acelerar o desenvolvimento do setor, especialmente em regiões com infraestrutura limitada.

REFERÊNCIAS

- ABEEOLICA - Associação Brasileira de Energia Eólica. Disponível em: <https://abeeolica.org.br/voltalia-inaugura-usinas-solar-serra-do-mel-12/>. Acesso em: 13 mar. 2025.
- ALENCAR, Rayssa Ferreira et al. Estudo comparativo de desempenho entre acumuladores íon-lítio e chumbo-ácido para uso na energia solar residencial off-grid. 2022.
- ALVES, Ana Paula Antão; OLIVEIRA, Luciana; BRANCHINI, Rocha. Placas fotovoltaicas: um futuro brilhante com um pós-vida sombrio. Revista Brasileira de Casos de Ensino em Administração, v. 15, n. 1, p. cr1-cr1, 2025.
- ARCGIS Web Application. Disponível em: <https://gisepeprd2.epe.gov.br/WebMapEPE/>. Acesso em: 13 mar. 2025.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16690: Instalações Elétricas de Arranjos Fotovoltaicos- Requisitos de Projeto. 2019. Rio de Janeiro, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5410: Instalações Elétricas de Baixa Tensão. 2004. Rio de Janeiro, 2004.
- CARDOSO, Alexandre; JÚNIOR, Edgard A. Lamounier; A BARCELOS, Mariana. Ferramentas de apoio ao ensino de componentes de subestações de energia elétrica com uso de realidade virtual e aumentada. Iniciação-Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e Artística, v. 4, n. 3, 2014.
- CAMELO, Ana Letícia de Oliveira et al. Proposta de método para gestão de manutenção de módulo solar fotovoltaico com apoio de Building Information Modeling. In: Anais Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS. 2024.
- CARNEIRO, Joaquim AO. Módulos fotovoltaicos: Características e associações. 2010.
- DE OLIVEIRA, MS Jucelaine Lopes; GAVIOLI, Marcel Klemm. A importância da Gestão da Cadeia de Suprimentos na Construção Civil. 2012.
- DIAS, Reinaldo. Gestão ambiental: responsabilidade social e sustentabilidade. In: Gestão ambiental: responsabilidade social e sustentabilidade. 2011. p. 220-220.
- ENERGIA Solar no Rio Grande do Norte. Portal Solar. São Paulo. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-fotovoltaica-no-rio-grande-do-norte>. Acesso em: 13 mar. 2025.
- FURLAN, Gabriel. 5 Dispositivos elétricos essenciais para segurança elétrica. Blog Schneider Electric, 2022. Disponível em: <https://blog.se.com/br/eletrica/2022/06/03/5-dispositivos-essenciais-para-seguranca-eletrica/>. Acesso em: 13 mar. 2025.

GLOBAL SOLAR ATLAS. Disponível em: <https://globalsolaratlas.info>. Acesso em: 6 dez. 2024.

GODOY, Vinny Rafael Rodrigues. Estratégias sustentáveis para o descarte de painéis solares: desafios da reciclagem e reutilização no final do ciclo de vida dos painéis fotovoltaicos. 2024.

GROWATT. Growatt MOD 4000TL3-X inverter for solar panels. Disponível em: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b1/Growatt_MOD_4000TL3-X_inverter.jpg. Acesso em: 5 dez. 2024.

HELERBROCK, Rafael. "O que é um transformador?"; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilestola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-um-transformador.htm>. Acesso em 26 de fevereiro de 2025

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 13 mar. 2025.

INVESTIMENTOS em energia solar no RN superaram os R\$ 625 milhões em 2023. Tribuna do Norte, Natal, 20 jan. 2024. Disponível em: <https://tribunadonorte.com.br/economia/investimentos-em-energia-solar-no-rn-superaram-os-r-625-milhoes-em-2023/>. Acesso em: 13 mar. 2025.

KEMERICH, Pedro Daniel da Cunha et al. Paradigmas da energia solar no Brasil e no mundo. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 20, n. 1, p. 241-247, 2016.

LANA, Luana Teixeira Costa et al. Energia solar fotovoltaica: revisão bibliográfica. Engenharias On-line, v. 1, n. 2, p. 21-33, 2015.

LEONEL, Farias; MIGUEL, Sellitto. Uso da energia solar ao longo da história: evolução e perspectivas futuras. Revista Liberato, v.12, n.17, p.07, 2011.

LIMA, Gabriel Constantino. Eficiência energética e energia solar fotovoltaica em prédios públicos no setor de educação no Nordeste do Brasil: O caso de expansão do IFRN. 2019. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

LIMA, Cláudio Moreira de. Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira. Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2014. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/18358/1/CL%C3%81UDIO%20MOREIRA%20DE%20LIMA%20-%20TCC%20ENG.%20EL%C3%89TRICA%202014.pdf>. Acesso em 22 de jan. de 2025.

LOPES, João Paulo de Carvalho; DE ANDRADE, José Antônio Bento. Esquematização de estrutura de usina de energia solar no Brasil: uma revisão de literatura. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, v. 9, n. 4, p. 1528-1537, 2023.

NEOENERGIA. Como funciona uma usina solar e quais são suas vantagens. *Neoenergia*, 2025. Disponível em: <https://www.neoenergia.com/w/como-funciona-uma-usina-solar> Acesso em 22 de jan. de 2025.

OLIVEIRA, Alan Batista de. Abordagem de Aspectos Normativos da ABNT NBR16274:2014 Para Contribuição na Melhoria de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica Durante As Etapas de Projeto e Execução. *Curso de Graduação de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza*, 2018.

ROSA, Fabio Niemezewski. Aplicabilidade de Coletores Solares com Tubo Evacuado no Brasil. *Mestrado em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre*, 2012. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/62073>. Acesso em 22 de jan. de 2025.

SATO, André Kiyoshi Coutinho. Transmissão de potência em corrente contínua e em corrente alternada: estudo comparativo. 2013.

SHIMOMAEBARA, Lena Ayano; PEYERL, Drielli. Energia Solar no Brasil: histórico e planejamento energético. *Revista de Políticas Públicas*, v.25, n.2, p. 854-869, 2021.

SIGEL - Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico (ANEEL). Disponível em: <https://sigel.aneel.gov.br/portal/home/index.html>. Acesso em: 26 fev. 2025.

SOLARGIS. Solar Resource Map © 2021 Solargis. Disponível em: <https://solargis.com>. Acesso em: 6 dez. 2024.

TOMIM, José Carlos Pereira. Memorial Descritivo. *Memorial Descritivo Usina Solar Fotovoltaica: FGD ANGICOS*, Brasília, ano 1, v. 1, n. 1, p. 5-13, 2018. Disponível em: <https://usinasolar.ufersa.edu.br>. Acesso em: 18 fev. 2025.

TRANSFORMADORES: Contrans. Diadema, São Paulo, 2020. Disponível em: <https://www.cootrans.com.br/>. Acesso em: 4 fev. 2025.

USINAS. Usinas Solares da UFERSA. Disponível em: <https://usinasolar.ufersa.edu.br>. Acesso em: 25 fev. 2025.

WANDERLEY, Silvanney Stonny Cordeiro. Energia solar fotovoltaica: potencial nordestino com enfoque em alagoas e seus impasses políticos e econômicos para a micro e mini geração distribuída. 2017. Tese (Bacharel em Economia) – Universidade Federal de Alagoas, Santana do Ipanema, 2017.