



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

RAILTON CARLOS DA COSTA

**UTILIZAÇÃO DA FERRAMENTA *ON-LINE* DO ATLAS EÓLICO E SOLAR DO
CEARÁ NA AVALIAÇÃO PRELIMINAR DO POTENCIAL SOLAR EM DUAS
LOCALIDADES DO ESTADO**

FORTALEZA

2021

RAILTON CARLOS DA COSTA

UTILIZAÇÃO DA FERRAMENTA *ON-LINE* DO ATLAS EÓLICO E SOLAR DO CEARÁ
NA AVALIAÇÃO PRELIMINAR DO POTENCIAL SOLAR EM DUAS LOCALIDADES
DO ESTADO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Energias Renováveis da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro de Energias Renováveis.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Ana Fabiola Leite Almeida.

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- C875u Costa, Railton Carlos da.
Utilização da ferramenta on-line do Atlas Eólico e Solar do Ceará na avaliação preliminar do potencial solar em duas localidades do estado / Railton Carlos da Costa. – 2021.
79 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia de Energias Renováveis, Fortaleza, 2021.
Orientação: Profa. Dra. Ana Fabiola Leite Almeida.
1. Atlas Eólico e Solar do Ceará. 2. Energia solar fotovoltaica. 3. Energias renováveis. I. Título.
CDD 621.042
-

RAILTON CARLOS DA COSTA

UTILIZAÇÃO DA FERRAMENTA *ON-LINE* DO ATLAS EÓLICO E SOLAR DO CEARÁ
NA AVALIAÇÃO PRELIMINAR DO POTENCIAL SOLAR EM DUAS LOCALIDADES
DO ESTADO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao curso de Engenharia de Energias
Renováveis da Universidade Federal do Ceará,
como requisito parcial à obtenção do título de
Engenheiro de Energias Renováveis.

Aprovada em: 17/09/2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Ana Fabiola Leite Almeida (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^o. Dr. Francisco Nivaldo Aguiar Freire
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Daniel Alves Bezerra
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, e minha esposa.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ter permitido chegar até onde cheguei.

À minha família, em especial minha mãe, por toda a educação passada que me tornou quem sou hoje, por todo apoio e sustento durante grande parte da graduação.

À minha esposa Dayana, que sempre esteve ao meu lado, me apoiando nos momentos difíceis, me incentivando quando achei que não era capaz e comemorando comigo nos momentos felizes.

À PRAE pelo apoio financeiro com o auxílio emergencial, bolsa de iniciação acadêmica e isenção do restaurante universitário que foram de grande ajuda durante o curso.

Aos colegas de turma que conheci ao longo do curso que auxiliaram nos estudos e que tornaram a estadia na universidade mais descontraída.

Aos todos os professores que tive durante o curso, em especial, à Talita Felipe de Vasconcelos no ensino de física, à Pablyana Leila Rodrigues da Cunha no ensino de química, à Natalia Maria Cordeiro Barroso no ensino de álgebra, ao André Jalles Monteiro no ensino de estatística, ao Ivanildo Jose da Silva Junior no ensino de processos químicos, ao Abraão Freires Saraiva Junior no ensino de engenharia econômica e ao Raniere Alislan Almeida Cordeiro no ensino de libras. Estes, marcaram bastante, não apenas pelo bom ensino, mas também pelo exemplo de ser humano que são.

Ao professor Marco Tulio Ferreira da Costa do departamento de Música que permitiu cursar duas disciplinas de violão fazendo ampliar minha paixão por música e aprimorar este *hobby* que tenho.

À Prof. Dr^a. Ana Fabiola Leite Almeida, pela orientação neste trabalho e pela supervisão no estágio obrigatório.

Aos participantes da banca examinadora Francisco Nivaldo Aguiar Freire e Daniel Alves Bezerra pela disponibilidade, pelas colaborações e sugestões.

“Se quer ir rápido, vá sozinho. Se quer ir longe, vá em grupo.” (Proverbio Africano)

RESUMO

O crescimento da população e a dependência cada vez maior da tecnologia, fez com que a demanda por energia elétrica aumentasse bastante nos últimos anos. O Brasil, apesar de ter sua matriz energética, em maior parte, composta por fonte hídrica, que apesar de ser considerada renovável, ainda possui muitos impactos ambientais atrelados e muita sazonalidade como nos períodos de estiagem. Assim, torna-se necessário que o país diversifique mais sua matriz com fontes limpas como a energia solar fotovoltaica, que apesar de ter pouca participação na matriz atual o Brasil possui um potencial enorme. Dentre as regiões do Brasil, o Nordeste possui o maior potencial para esta fonte, com destaque para o estado do Ceará, que ocupa a primeira posição em potência instalada. Apesar disso, o estado ainda possui muito potencial para se apresentar. Assim, o objetivo deste trabalho foi levar o conhecimento do Atlas Eólico e Solar do Ceará e suas funcionalidades para empresas, investidores e comunidade acadêmica. Para isto, foi utilizado esta ferramenta para avaliar o potencial para instalação de um sistema solar em duas localidades do estado do Ceará explorando as principais informações que a plataforma disponibiliza afim de escolher o melhor local para se instalar um sistema de energia solar que proporcionaria uma produção mensal de 5.000 kWh. Foi feita também uma comparação dos dados de três sistemas reais com os dados fornecidos pelo Atlas observando-se uma diferença menor que 2% em dois terrenos e de 9% no terceiro terreno, mostrando assim, que o Atlas possui dados bastantes relevantes, servindo com uma fonte de dados gratuita, acessível e confiável.

Palavras-chave: Energias Renováveis, Energia solar fotovoltaica, Atlas Eólico e Solar, Avaliação preliminar.

ABSTRACT

The population growth and increasing reliance on technology has caused the demand for electricity to increase significantly in recent years. Brazil, despite having its energy matrix, for the most part, made up of a water source, which despite being considered renewable, still has many environmental impacts linked and a lot of seasonality, as in dry periods. Thus, it becomes necessary for the country to further diversify its matrix with clean sources such as photovoltaic solar energy, which despite having little participation in the current matrix, Brazil has enormous potential. Among the regions of Brazil, the Northeast has the greatest potential for this source, with emphasis on the state of Ceará, which occupies the first position in terms of installed power. Despite this, the state still has a lot of potential to present itself. Thus, the objective of this work was to take the knowledge of the Wind and Solar Atlas of Ceará and its functionalities to companies, investors and the academic community. For this, this tool was used to assess the potential for installing a solar system in two locations in the state of Ceará, exploring the main information that the platform provides in order to choose the best place to install a solar energy system that would provide a production monthly of 5,000 kWh. A comparison was also made of data from three real systems with the data provided by the Atlas, observing a difference of less than 2% in two terrains and 9% in the third terrain, thus showing that the Atlas has very relevant data, serving as a free, accessible and reliable data source.

Keywords: Renewable Energies, Photovoltaic solar energy, Wind and Solar Atlas, Preliminary assessment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - A geometria Sol-Terra e as estações do ano.....	22
Figura 2 - Ângulos da geometria solar	23
Figura 3 - Componentes da radiação solar	24
Figura 4 - Piranômetro termoeletrico	25
Figura 5 - Piranômetro fotovoltaico	26
Figura 6 - Pireliômetro	26
Figura 7 - Estações da rede SONDA e do INMET	29
Figura 8 - Módulo fotovoltaico	32
Figura 9 - Inversor solar	32
Figura 10 – Cabeamento elétrico.....	33
Figura 11 - Estrutura de fixação	34
Figura 12 - Bateria.....	34
Figura 13 - Controlador de carga.....	35
Figura 14 - Medidor bidirecional.....	35
Figura 15 - Sistema isolado com cargas em CC.....	36
Figura 16 - Sistema isolado com cargas em CA.....	37
Figura 17 - Sistema conectado à rede.....	38
Figura 18 - Influencia da temperatura na célula fotovoltaica.....	40
Figura 19 - Autoconsumo remoto.....	43
Figura 20 - Geração compartilhada	43
Figura 21 - Empreendimento com múltiplas unidades consumidoras.....	44
Figura 22 - Localização do terreno 1	52
Figura 23 - Distância do terreno 1 a unidade de conservação mais próxima	59
Figura 24 - Localização do terreno 2.....	59

Figura 25 - Distância do terreno 2 a unidade de conservação mais próxima	65
Figura 26 - Localização dos sistemas instalados	66

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Matriz elétrica brasileira	17
Gráfico 2 - Irradiação global horizontal mensal no terreno 1.....	53
Gráfico 3 - Produtividade fotovoltaica mensal no plano inclinado a 10° (orientado para o norte) no terreno 1	54
Gráfico 4 - Temperatura diurna média mensal no terreno 1	54
Gráfico 5 - Fração média de cobertura de nuvens no terreno 1.....	55
Gráfico 6 - Irradiação global total no plano inclinado 10° no terreno 1	55
Gráfico 7 - Fração média anual de produção de energia por hora no terreno 1	56
Gráfico 8 - Consumo mensal	57
Gráfico 9 - Energia gerada pelo sistema no terreno 1	57
Gráfico 10 - Saldo de energia mensal no terreno 1	58
Gráfico 11 - Consumo antes e depois do sistema no terreno 1.....	58
Gráfico 12 - Irradiação global horizontal mensal no terreno 2.....	61
Gráfico 13 - Produtividade fotovoltaica mensal no plano inclinado a 10° (orientado para o norte) no terreno 2	61
Gráfico 14 - Temperatura diurna média mensal no terreno 2.....	62
Gráfico 15 - Fração média de cobertura de nuvens no terreno 2.....	62
Gráfico 16 - Irradiação global total no plano inclinado 10° no terreno 2.....	63
Gráfico 17 - Fração média anual de produção de energia por hora no terreno 2	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados básicos do terreno 1	52
Tabela 2 - Distâncias das subestações e redes de distribuição e transmissão.....	52
Tabela 3 - Dados do recurso solar do terreno 1	53
Tabela 4 - Características do sistema no terreno 1	56
Tabela 5 - Dados básicos do terreno 2	60
Tabela 6 - Distâncias das subestações e redes de distribuição e transmissão.....	60
Tabela 7 - Dados do recurso solar do terreno 2	60
Tabela 8 - Características do sistema no terreno 2	64
Tabela 9 - Características de cada sistema.....	66
Tabela 10 - Rendimento específico em kWh/kWp - Sistema 1 (Iguatu).....	67
Tabela 11 - Rendimento específico kWh/kWp - Sistema 2 (Tanguá)	68
Tabela 12 - Rendimento específico kWh/kWp - Sistema 3 (Fortaleza)	68
Tabela 13 - Produtividade fotovoltaica sistema 1 em kWh/kWp	69
Tabela 14 - Produtividade fotovoltaica sistema 2 em kWh/kWp	69
Tabela 15 - Produtividade fotovoltaica sistema 3 em kWh/kWp	69
Tabela 16 - Comparação dos dados básicos dos terrenos.....	70
Tabela 17 - Dados do recurso solar	71
Tabela 18 - Comparação de produtividade a 10° voltado para o norte [kWh/kWp/dia].....	71
Tabela 19 – Comparação de valor em cada sistema	72
Tabela 20 - Comparação de produtividade em kWh/kWp do sistema 1	73
Tabela 21 - Comparação de produtividade em kWh/kWp do sistema 2	73
Tabela 22 - Comparação de produtividade em kWh/kWp do sistema 3	74

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ADECE	Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará
CA	Corrente alternada
CC	Corrente contínua
CENSOLAR	<i>Centro de Estudos de la Energia Solar</i>
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito
FIEC	Federação das Indústrias do Estado do Ceará
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
G	Giga
GD	Geração distribuída
INEE	Instituto Nacional de Eficiência Energética
INMET	Instituto Nacional de Metrologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
kWp	Potência do sistema fotovoltaico
M	Mega
NREL	<i>National Renewable Energy Laboratory</i>
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
ONU	Organização das Nações Unidas
PCH	Pequenas Centrais Hidrelétricas
RN	Resolução Normativa
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
Si	Silício
SiO ₂	Dióxido de silício
SONDA	Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais
SWERA	<i>Solar and Wind Energy Resource Assesment</i>
UC	Unidade consumidora
W	Potência

LISTA DE SÍMBOLOS

θ_z	Ângulo zenital
α	Altura solar
γ_s	Ângulo azimutal do Sol
γ	Ângulo azimutal da superfície
β	Inclinação da superfície
θ	Ângulo de incidência

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	MOTIVAÇÃO	19
3	OBJETIVOS	20
3.1	Objetivo geral	20
3.2	Objetivos específicos	20
4	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
4.1	Recurso Solar	21
4.1.1	<i>Geometria Sol-Terra</i>	21
4.1.1.1	<i>Ângulos solares</i>	22
4.1.3	<i>Radiação solar</i>	23
4.2	Instrumentos para medição da radiação solar	24
4.2.1	<i>Piranômetro</i>	25
4.2.1.1	<i>Piranômetro termoelétrico</i>	25
4.2.1.2	<i>Piranômetro fotovoltaico</i>	25
4.2.1	<i>Pireliômetro</i>	26
4.4	Bases de dados solarimétricos	26
4.4.1	<i>Principais bases de dados de radiação solar</i>	28
4.4.1.1	<i>INMET</i>	28
4.4.1.2	<i>Rede SONDA</i>	28
4.4.1.3	<i>Projeto SWERA</i>	29
4.4.1.4	<i>Programa SunData</i>	30
4.4.1.4	<i>Meteonorm</i>	30
4.5	Sistema solar fotovoltaico	30
4.5.1	<i>Principais componentes de um sistema fotovoltaico</i>	31
4.5.1.1	<i>Módulos fotovoltaicos</i>	31
4.5.1.2	<i>Inversor</i>	32
4.5.1.3	<i>Materiais elétricos</i>	33
4.5.1.4	<i>Estrutura de fixação</i>	33
4.5.1.5	<i>Bateria</i>	34
4.5.1.6	<i>Controlador de carga</i>	35
4.5.1.7	<i>Relógio bidirecional</i>	35

4.5.2	Tipos de sistemas fotovoltaico	36
4.5.2.1	<i>Sistema isolado</i>	36
4.5.2.2	<i>Sistema conectado à rede</i>	37
4.5.2.3	<i>Sistema conectado à rede com bateria</i>	38
4.5	Principais perdas em um sistema fotovoltaico	38
4.5.1	Irradiação	38
4.5.2	Inclinação e orientação	39
4.5.3	Sombreamento	39
4.5.3	Acúmulo de Sujeira	39
4.5.4	Temperatura	40
4.5.4	Mismatching	40
4.5.4	Cabeamento CC e CA	41
4.6	Geração distribuída	41
4.6.1	Modalidades de geração distribuída	42
4.6.1.1	<i>Geração junto a carga</i>	42
4.6.1.2	<i>Autoconsumo remoto</i>	42
4.6.1.3	<i>Geração compartilhada</i>	43
4.6.1.2	<i>Empreendimento com múltiplas unidades consumidoras</i>	44
4.6.2	Micro e minigeração distribuída	44
4.7	Atlas Eólico e Solar do Ceará	44
4.7.1	Principais características do Atlas	46
4.7.2	Base de dados do Atlas	49
4.7.2	Premissas para o cálculo de geração solar distribuída	49
5	METODOLOGIA	51
5.1	Terreno 1	51
5.1.1	Localização	51
5.1.2	Distâncias aproximadas para conexão com a rede	52
5.1.3	Dados do recurso solar	53
5.1.4	Sistema do terreno 1	56
5.2	Terreno 2	59
5.2.1	Localização	59
5.2.2	Distâncias aproximadas para conexão com a rede	60
5.1.3	Dados do recurso solar	60
5.2.4	Sistema do terreno 2	63

5.3	Comparação de dados com sistemas reais	66
5.3.2	<i>Dados de geração obtidos a partir do Atlas do Ceará</i>	68
6	DISCUSSÃO E RESULTADOS	70
7	CONCLUSÃO	75
8	PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	76
	REFERÊNCIAS	77

É possível verificar a grande dependência da fonte hídrica, que apesar de ser considerada renovável, causa um grande impacto ambiental na sua instalação devido a necessidade de alagamento de uma grande área, destruindo o habitat de plantas, animais e até populações humanas. É importante ressaltar ainda que nos períodos de estiagem é necessário acionar usinas termoelétricas para suprir a demanda energética, causando aumento da poluição ambiental e a elevação do preço final da energia para o consumidor.

Assim, para reduzir a enorme dependência das hidrelétricas é necessário que o Brasil diversifique cada mais sua matriz energética com fontes de energias renováveis como a energia solar fotovoltaica que ainda possui uma pequena participação na matriz energética, como mostrou o gráfico 1. O Brasil possui um enorme potencial para geração solar, segundo Sauer (2018), se fosse utilizado apenas a área dos telhados de todas as casas brasileiras poder-se-ia suprir toda a demanda energética nacional. Por coincidência, o período de maior demanda do sistema elétrico ocorre durante o verão que é onde a energia solar possui maior potencial de geração sendo assim uma ótima opção para aliviar o sistema elétrico (PEREIRA *et al.*, 2017)

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL 2021) a energia solar fotovoltaica vem crescendo bastante de nos últimos anos, principalmente desde de 2012, quando entrou em vigor a Resolução Normativa (RN) N° 482 que possibilitou o consumidor brasileiro gerar sua própria energia. Desde então, os preços de equipamentos caíram bastante e surgiram diversas empresas no setor, fazendo com que em 2021 a potência instalada ultrapassasse os 6 GW e 99,9% dos sistemas de geração distribuída (geração de energia ligada no sistema de distribuição com potência abaixo de 5MW) fossem de fonte solar fotovoltaica. Uma grande vantagem de sistemas como estes é que como são instalados próximo aos locais de consumo não é necessário o gasto com linhas de transmissão nem com as perdas de energia que ocorre nos sistemas de geração convencionais de grande escala.

De acordo com Pereira *et al.* (2017), o Nordeste é a região com o maior potencial para geração de energia solar, possuindo um valor médio de irradiação de 5,483 kWh/m². Este dado mostra o quanto é vantajoso o investimento neste tipo de tecnologia nesta região. Atualmente, o estado do Ceará ocupa o 1º lugar em potência instalada de energia solar no Nordeste, mas ocupa o 9º lugar a nível nacional, mostrando assim que o estado ainda possui um grande potencial de crescimento (ABSOLAR, 2021).

2 MOTIVAÇÃO

Uma das fases iniciais na elaboração de um projeto de um sistema solar fotovoltaico e de grande importância é conhecer a disponibilidade do recurso solar na localidade com precisão a fim de se identificar e selecionar o melhor local de instalação do sistema, além de servir para efetuar o dimensionamento de todos os equipamentos que compõem o sistema. Logo, utilizar uma base de dados confiáveis de radiação solar resulta em projetos de maior qualidade, evitando assim, o risco de sub ou sobredimensionamento do sistema. Isto traz prejuízos para a empresa que terá o cliente insatisfeito, gerando um marketing negativo, e traz prejuízos para o cliente que terá um sistema que não suprirá todo seu consumo ou que irá gerar mais energia sem que seja aproveitado.

A forma mais precisa de conhecer a disponibilidade do potencial solar de uma localidade é através de medições *in loco* utilizando estações solarimétricas particulares ou adquirindo *softwares* pagos, contudo para projetos de pequeno porte como os de micro e mini geração (até 5 MW segundo a RN Nº 687) não seria economicamente viável devido ao elevado custo, além de não haver exigência regulatória para isto. Outra forma de obter estes dados é através de fontes públicas (de forma gratuita), no entanto algumas bases de dados por abranger grandes áreas não são fontes muito precisas.

Dessa forma, conforme apresentado, a principal motivação para o tema abordado neste trabalho é levar o conhecimento do Atlas Eólico e Solar do Ceará (e seus recursos) para empresas, investidores e para a comunidade acadêmica, como uma base de dados confiáveis de forma a estimular o crescimento de energias renováveis, em especial da energia solar no estado do Ceará.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Este trabalho tem por objetivo principal mostrar a utilização da ferramenta *on-line* do Atlas Eólico e Solar do Ceará (2019), na avaliação preliminar de parâmetros importantes para a realização de um projeto solar fotovoltaico em duas localidades do estado do Ceará, afim de encontrar a melhor opção.

3.2 Objetivos específicos

- a) Apresentar os principais conceitos relacionados à energia solar fotovoltaica;
- b) Apresentar as principais características e diferenciais do Atlas Eólico e Solar do Ceará para o desenvolvimento das energias renováveis no estado;
- c) Comparar os dados de previsão de geração a partir do Atlas Eólico e Solar do Ceará com dados de geração de três sistemas reais;

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 Recurso Solar

O sol é a principal fonte de energia da Terra. Além de ser de ser um recurso indispensável à vida no planeta, a quantidade de energia que chega à terra é da ordem de $3,86 \times 10^{26}$ W que pode ser aproveitada por meio de sistemas de captação e conversão em outras formas de energia como a energia térmica e elétrica (PINHO E GALDINO, 2014; PEREIRA *et al.*, 2017).

Segundo Pinho e Galdino (2014), a energia solar também é responsável pela origem de outras formas de energias conhecidas. Na geração hidrelétrica, o sol atua no ciclo da água possibilitando a formação de represas. Na geração eólica o calor do sol aquece desigualmente o ar gerando correntes de ventos. Os combustíveis fósseis foram gerados a partir de resíduos de plantas que um dia consumiram a luz do sol. Apesar disso, neste trabalho será tratado apenas a conversão da energia solar em energia elétrica.

4.1.1 Geometria Sol-Terra

O planeta Terra é o terceiro planeta do sistema solar e possui uma distância em relação ao sol de aproximadamente de 150 milhões de quilômetros em relação ao Sol. A Terra realiza dois movimentos principais: a rotação, que é o movimento em torno de seu próprio eixo, com duração de um dia ou 24 horas, e a translação, que é o movimento em torno Sol com duração de um ano.

O movimento que Terra faz ao redor do sol descreve uma trajetória elíptica com uma excentricidade de aproximadamente 0,017, ou seja, em um momento da trajetória a Terra está mais próxima do Sol, em outro, mais distante. O eixo norte-sul da terra em relação ao plano normal a elipse possui uma inclinação de aproximadamente $23,43^\circ$. A figura 1 ilustra o movimento da terra em torno do Sol (PINHO E GALDINO, 2014).

Figura 1 - A geometria Sol-Terra e as estações do ano



Fonte: Pereira *et al*, 2017

Devido a inclinação do eixo da Terra e as diferentes posições que o planeta ocupa ao longo do movimento de translação, ocorre uma distribuição desigual de luz e calor entre o hemisfério Norte e Sul, levando ao surgimento das estações do ano. Quando os raios de sol incidem igualmente no hemisfério Norte e Sul, tem-se o **Equinócio**, onde os dias e as noites possuem a mesma duração. O Equinócio marca o início do outono e da primavera, ocorrendo nos meses de março e setembro respectivamente. Quando os raios de sol incidem de forma desigual nos hemisférios Norte e Sul, tem-se o **Solstício**, onde os dias e as noites possuem duração diferentes. O Solstício marca o início do verão e do inverno, ocorrendo nos meses de junho e dezembro respectivamente (ROSSETTO, 2019).

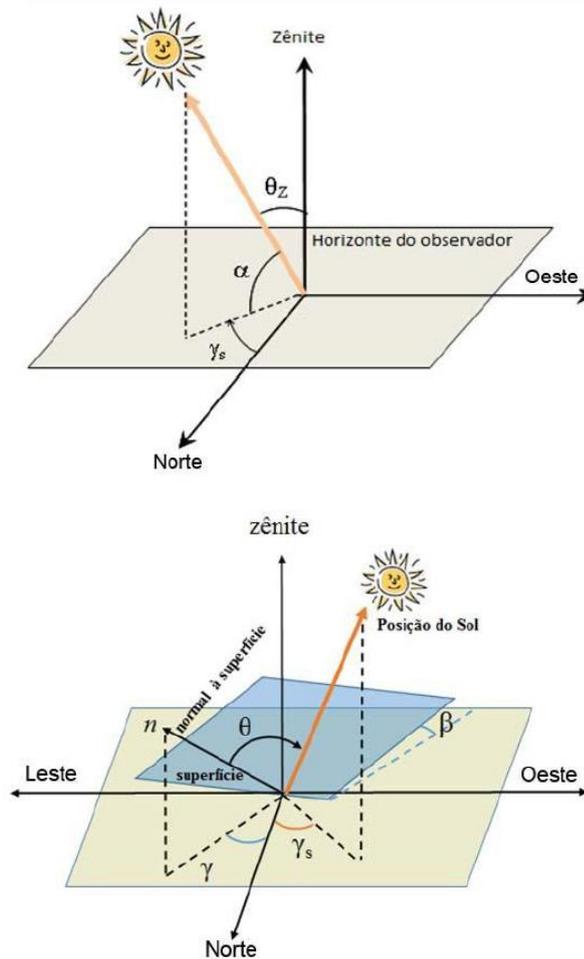
4.1.1.1 Ângulos solares

Quando os raios solares atingem uma superfície plana ou uma superfície inclinada, alguns ângulos importantes são definidos como mostra a figura 2. Estes ângulos variam de acordo como o movimento aparente que o Sol faz no céu. Pinho e Galdino (2014) define estes ângulos da seguinte forma:

- a) Ângulo zenital (θ_z): ângulo formado entre os raios de Sol e a vertical.
- b) Altura solar (α): ângulo entre os raios solares e a projeção sobre o plano horizontal.
- c) Ângulo azimutal do Sol (γ_s): ângulo entre a projeção dos raios solares no plano horizontal e a direção Norte-Sul.
- d) Ângulo azimutal da superfície (γ): ângulo entre a projeção da normal à superfície no plano horizontal e a direção Norte-Sul.

- e) Inclinação da superfície (β): ângulo entre o plano horizontal e a superfície.
- f) Ângulo de incidência (θ): ângulo entre a normal à superfície inclinada e os raios de Sol.

Figura 2 - Ângulos da geometria solar



Fonte: Pinho e Galdino, 2014

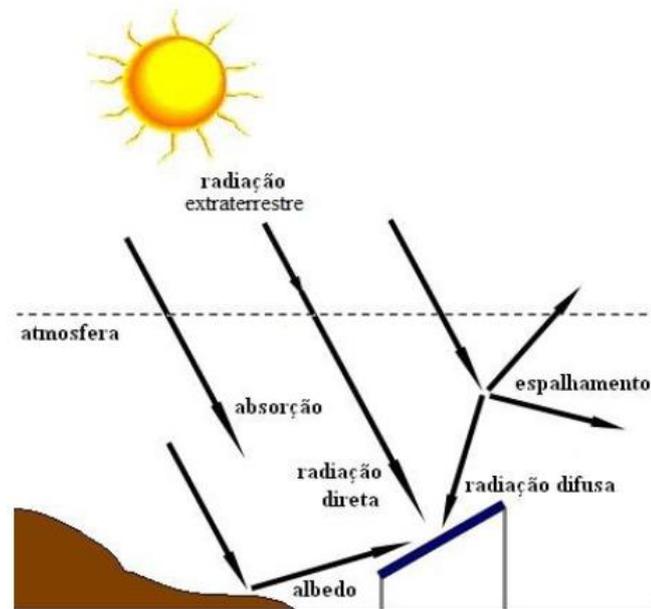
4.1.3 Radiação solar

A radiação é uma forma de transferência de energia por meio de ondas eletromagnéticas onde não é necessário um meio material para se propagar, ou seja, pode se propagar no vácuo. Logo, a radiação solar é a energia proveniente do Sol que percorre o espaço e chega à Terra na velocidade da luz. Essa radiação é gerada a partir de reações de fusão nuclear que ocorrem no interior do Sol (PLANAS, 2020).

A quantidade de radiação solar que chega à superfície terrestre é menor que a quantidade que atinge o topo da atmosfera. Isso ocorre devido as interferências com os componentes atmosféricos que a radiação sofre ao longo do caminho até chegar à superfície.

A radiação que chega à superfície e incide sobre uma superfície inclinada receptora para geração de energia pode ser composta por uma componente direta, uma difusa e uma proveniente do ambiente. A radiação direta é aquela que chega à superfície diretamente da luz do sol. A difusa é aquela que chega à superfície proveniente de todas as direções devido ao espalhamento causado pelos componentes da atmosfera. Por fim, tem-se a componente refletida do ambiente ao redor que atinge a superfície, o coeficiente de reflexão destas superfícies é denominado de albedo. O somatório de todas as componentes denomina-se radiação Global. A figura 3 ilustra as componentes da radiação.

Figura 3 - Componentes da radiação solar



Fonte: Pinho e Galdino, 2014

4.2 Instrumentos para medição da radiação solar

O conhecimento da radiação solar global e também de suas componentes direta e difusa é de extrema importância na avaliação técnica e econômica em projetos de aproveitamento do recurso solar. Para a aquisição destes dados, são utilizados instrumentos capazes de medir a potência incidente por unidade de superfície (irradiância) ou integrada ao longo do tempo (irradiação) sob os diversos comprimentos de onda. Os instrumentos mais utilizados nas coletas destes dados são o pireliômetro e o piranômetro (PINHO E GALDINO, 2014).

4.2.1 Piranômetro

Os piranômetros são equipamentos destinados a medir a radiação solar global e difusa. Existem dois tipos básicos comumente utilizados: o piranômetro de efeito termoelétrico e piranômetro de efeito fotovoltaico.

4.2.1.1 Piranômetro termoelétrico

Os piranômetros termoelétricos utilizam como sensor uma termopilha que converte a energia térmica em energia elétrica. A termopilha é um dispositivo revestido com uma tinta preta especial para simular a resposta de um “corpo negro” de modo que a energia radiante solar incidente é praticamente toda absorvida e convertida em calor, que, por sua vez, é convertido em uma diferença de potencial elétrico proporcional à irradiância solar incidente na termopilha. O piranômetro de termopilha é o instrumento com menor incerteza para medir a radiação solar, apresentando desvios inferiores a 1% dependendo de sua classificação. A figura 4 ilustra o instrumento (PEREIRA *et al.*, 2017).

Figura 4 - Piranômetro termoelétrico



Fonte: Huksefluxusa, 2017

4.2.1.2 Piranômetro fotovoltaico

Os piranômetros fotovoltaicos utilizam como sensor uma célula semicondutora (fotodiodo) que converte diretamente a radiação solar em corrente elétrica proporcional à irradiância solar incidente. Possui maiores incertezas que podem chegar a 5% comparado ao piranômetro termoelétrico, por conta disso apresenta um menor custo. A figura 5 ilustra o equipamento (PINHO E GALDINO, 2014; PEREIRA *et al.*, 2017).

Figura 5 - Piranômetro fotovoltaico



Fonte: LI-COR, 2018

4.2.1 Pireliômetro

O pireliômetro é utilizado para medição de radiação direta. Como está mostrado na Figura 6, este instrumento possui um colimador com abertura suficiente para permitir apenas a componente direta normal da radiação solar. O colimador tem um ângulo de abertura de 5° por padrão internacional. O pireliômetro deve ser conectado a um sistema rastreador solar para estar sempre direcionado para o Sol (PEREIRA *et al.*, 2017). Este equipamento possui um custo elevado e necessita de uma mão de obra frequente e especializada.

Figura 6 - Pireliômetro



Fonte: Huksefluxusa, 2017

4.4 Bases de dados solarimétricos

De acordo com Lueders (2019) o estudo e construção das bases de dados solarimétricas são baseados na radiometria, que é o conjunto de técnicas de medição de

radiação, incluindo luz solar. As medições são realizadas basicamente de duas maneiras, através de estações meteorológicas ou por satélites.

Uma estação meteorológica é um conjunto de instrumentos ou sensores que coletam dados para análise do tempo meteorológico, dentre eles tem-se os instrumentos vistos na seção anterior. Esses instrumentos/sensores são capazes de registrar a temperatura do ar, velocidade e direção do vento, umidade do ar, radiação solar, chuva, pressão atmosférica entre outras variáveis (BALBINO, 2016). Apesar da importância da análise do recurso solar as estações de medição estão distribuídas de forma muito desigual ao redor do globo, em grande parte pelos custos de instalação, operação e manutenção, armazenamento e tratamento dos dados (LUEDERS, 2019).

Existem dois tipos básicos de estações meteorológicas, as estações automáticas e as convencionais. As estações automáticas coletam dados de forma totalmente automatizada onde os sensores emitem sinais elétricos, que são captados por um sistema de aquisição de dados (*Datalogger*), possibilitando que o armazenamento e o processamento dos dados sejam informatizados. Já as estações convencionais exigem a presença diária de uma pessoa para coletar os dados medidos. Os instrumentos que compõe esse tipo de estação são normalmente de leitura direta, como os termômetros, ou com sistema mecânico de registro, como o termohigrógrafo, o pluviógrafo, o anemógrafo (BALBINO, 2016).

De acordo com Lueders (2019, p. 38)

Uma alternativa às estações no solo, são dados coletados e tratados por satélites geoestacionários, principalmente para áreas onde as estações são esparsas. A principal vantagem desse método é a grande área de cobertura pois o algoritmo cobre e processa toda a área fotografada e a disponibilidade de longas séries de fotografias, ultrapassando frequentemente 30 anos. Como desvantagem, os dados coletados por satélite têm um grau de incerteza maior devido às incertezas nos valores de aerossol, detecção de múltiplas camadas de nuvens, inexatidão em áreas com neve ou regiões de latitudes maiores que 62° e áreas polares em geral. Além disso, requer o emprego de algoritmos matemáticos complexos e com muitas variáveis.

Pinho e Galdino (2014, p. 93) alertando acerca disso relata que

As técnicas para estimar a radiação solar a partir de dados de satélites têm sido aprimoradas permitindo uma cobertura muito mais abrangente. Estudos demonstram que os dados medidos na superfície, mesmo quando são apresentados em médias mensais, tem pouco alcance de extrapolação espacial. Se o ponto de utilização da instalação estiver afastado de 50 km ou mais da estação de origem dos dados, as estimativas oriundas das análises de dados de satélites são mais precisas do que uma extrapolação.

Assim, para um projeto de um sistema fotovoltaico é necessário o conhecimento do recurso solar que mais se aproxima da realidade de um determinado local, utilizando bases de dados solarimétricos que possuam os dados mais confiáveis possíveis.

4.4.1 Principais bases de dados de radiação solar

Atualmente existem alguns sites e softwares disponíveis na internet de forma gratuita que disponibilizam dados de radiação solar compreendendo desde de estados até o planeta inteiro. As bases podem se utilizar de dados a partir de medições em superfície, satélites ou até ambas.

4.4.1.1 INMET

O Instituto Nacional de Metrologia (INMET) é órgão do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento com a missão de prover informações meteorológicas à sociedade brasileira e influir construtivamente no processo de tomada de decisão, contribuindo para o desenvolvimento sustentável do País. Possui um banco de dados meteorológicos com informações diárias coletadas desde 1961 com uma rede composta de mais de 900 estações meteorológicas tornando-se a rede de maior abrangência no território brasileiro. Os dados de irradiação solar entre outros da dados climatológicos podem ser acessados através do site www.inmet.gov.br (PINHO E GALDINO, 2014; PEREIRA *et al.*, 2017).

4.4.1.2 Rede SONDA

A rede SONDA (Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais) é uma rede coordenada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) que conta com a colaboração de vários institutos de pesquisa e universidades brasileiras. Esta rede entrou em operação em 2004, atualmente dispõe de 17 estações de observação distribuídas estrategicamente para representar as diferentes características climáticas do Brasil. Doze dessas estações são operadas pelo INPE, enquanto instituições parceiras mantêm e operam as outras cinco. Possui como principal objetivo uma infraestrutura física e de recursos humanos destinada à montagem e melhoramento da base de dados de superfície necessária ao levantamento dos recursos de energia solar e eólica no Brasil. A rede SONDA pode ser

acessada através do site <http://sonda.ccst.inpe.br/index.html> (PINHO E GALDINO, 2014; PEREIRA *et al.*, 2017).

A figura 7 a seguir mostra como está a distribuída as estações da rede SONDA e do INMET ao longo do território brasileiro.

Figura 7 - Estações da rede SONDA e do INMET



Fonte: Pereira *et al.*, 2017

4.4.1.3 Projeto SWERA

O projeto *Solar and Wind Energy Resource Assesment* (SWERA) desenvolvido pela *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) foi uma colaboração de parceiros mundiais com a missão de fornecer informações sobre recursos de energia renovável para todos os países do mundo. Desde 2001, o SWERA promove a utilização de energias renováveis solar e eólica com dados obtidos por meio de satélites O projeto visa fornecer informações necessárias para que governo e iniciativa privada tomem decisões embasadas em conhecimento técnico-científico. Os dados solarimétricos podem ser acessados por meio do site <https://globalsolaratlas.info/map> (INPE, 2015).

4.4.1.4 Programa SunData

O programa SunData destina-se ao cálculo da irradiação solar diária média mensal em qualquer ponto do território nacional. É disponibilizado pelo Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito (CRESESB). É uma ferramenta de apoio ao dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. O programa é baseado nos valores médios de irradiação solar sobre o solo do *Centro de Estudos de la Energia Solar* (CENSOLAR), contendo valores de irradiação solar diária média mensal no plano horizontal para cerca de 350 pontos no Brasil e em países limítrofes. O programa fornece os dados de irradiação solar em kWh/m².dia no plano horizontal e inclinado com ângulo igual a latitude. Está disponível para acesso no site <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata> (MOREIRA JÚNIOR; SOUZA; FRAINER, 2020)

4.4.1.4 Meteonorm

O programa METEONORM é um *software* muito utilizado comercialmente desenvolvido por MOTEOTEST (Suíça) que possui uma base de dados climatológicos para todo globo terrestre para aproveitamento energético. A interpolação dos dados de irradiação global, gerada pelo *Meteonorm*, é baseada em informações de medidas no solo e em dados de satélite. Possui cerca de 800 estações de solo espalhadas pela América Central e do Sul e 8.350 espalhadas por toda a Terra, somadas a cinco satélites geoestacionários. Este aplicativo pode ser baixado a partir do site <https://meteonorm.meteotest.ch/en/> (PINHO E GALDINO, 2014; MOREIRA JÚNIOR; SOUZA; FRAINER, 2020)

4.5 Sistema solar fotovoltaico

A matéria prima mais importante para a produção de energia solar fotovoltaica é o Silício (Si). O silício apresenta-se na natureza sob a forma de dióxido de silício (SiO₂) o constituinte principal do quartzo mineral muito abundante na areia e no granito.

Um sistema solar fotovoltaico funciona por meio do efeito fotovoltaico, gerando eletricidade. Este fenômeno ocorre quando partículas de luz solar (fótons) colidem com os átomos de silício presentes no painel solar gerando assim um deslocamento dos elétrons, que cria uma corrente elétrica contínua, chamada de energia solar fotovoltaica.

O efeito fotovoltaico foi observado pela primeira vez em 1839 por Edmund

Bequerel e consiste na criação de tensão elétrica ou de uma corrente elétrica correspondente num material, após a sua exposição a luz (AYRÃO, 2018)

4.5.1 Principais componentes de um sistema fotovoltaico

Santos (2020) e Sunergia (2017), destacam as funções e características dos sete principais elementos de um sistema solar fotovoltaico que são:

4.5.1.1 Módulos fotovoltaicos

O módulo é formado por pequenas células fotovoltaicas conectadas e encapsuladas para produzir tensão e corrente necessária. Apesar dos diferentes modelos, a função é uma só. É a partir deles que a energia elétrica é gerada, de maneira muito simples: a luz do sol incide sob as células fotovoltaicas, fazendo com que os elétrons se movimentem e produzam a corrente elétrica. Ou seja, fazem o papel de coração, “bombeando” a energia para o sistema. Além disso, podem ser um ou mais módulos e são dimensionados de acordo com a energia necessária a ser produzida.

A grande maioria dos painéis solares são construídos a base de silício, tendo sua eficiência determinada pela pureza do mineral e seu método de fabricação na placa. Existem duas formas de fabricação de módulos de silício, os monocristalinos que são mais eficientes formados por um único cristal de silício e os policristalinos que são menos eficientes formados por múltiplos cristais. Há também módulos feitos com outros materiais, como índio, gálio, elementos orgânicos, telureto de cádmio entre outros. A vida útil de um painel fotovoltaico pode ser de até 30 anos, dependendo de sua matéria-prima e qualidade. A figura 8 mostra a imagem de um módulo vendido comercialmente.

Figura 8 - Módulo fotovoltaico



Fonte: Komeco, 2019

4.5.1.2 Inversor

Se o módulo solar é o “coração” do sistema, o inversor faz o papel de “cérebro”. A função do inversor, em síntese, é transformar de contínua para alternada a corrente elétrica, além de possuir dispositivos para garantir a segurança e garantir o fluxo regular de eletricidade.

No caso de sistemas conectados à rede, este equipamento também é responsável pela sincronia com a rede da concessionária. Pois, a energia elétrica gerada a partir de um módulo fotovoltaico, está em corrente contínua (CC), enquanto que a corrente da rede elétrica está em corrente alternada (CA). A figura 9 ilustra um inversor solar.

Figura 9 - Inversor solar



Fonte: SMA, 2021

4.5.1.3 Materiais elétricos

O sistema solar fotovoltaico possui elementos que ajudam a proteger e conservar o sistema, garantindo maior segurança para os equipamentos. Entre os principais materiais, estão os disjuntores de proteção das correntes contínuas e alternadas, bem como conectores dos módulos e a parte de cabeamento elétrico.

A parte de cabos em sistemas de energia solar fotovoltaica precisam atender a uma série de requisitos na hora o dimensionamento. Um dos fatores a serem analisados, por exemplo, é o revestimento que obrigatoriamente tem que ser diferenciado para aguentar à incidência constante de luz solar, ao calor e à queima, além de suportar também a tensão de cada sistema de energia solar fotovoltaica como ilustra a figura 10.

Figura 10 – Cabeamento elétrico



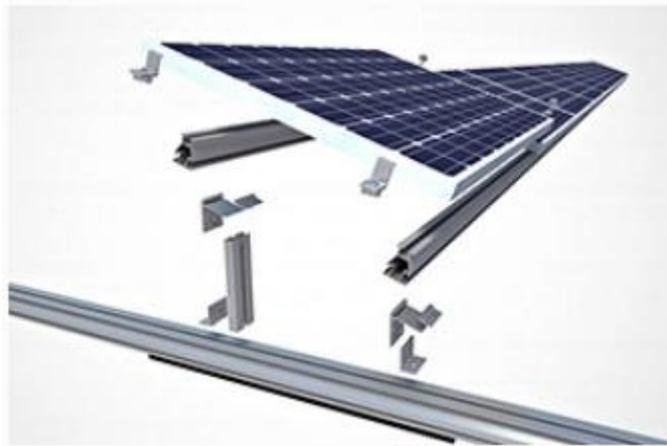
Fonte: Santos (2020)

4.5.1.4 Estrutura de fixação

A estrutura de fixação dá sustentação e apoio aos módulos fotovoltaicos, levando em consideração o local de instalação, o material dos módulos e a inclinação necessária para a melhor captação de radiação solar como ilustra a figura 11.

As estruturas e mecanismos de fixação, são feitos na maioria das vezes de alumínio ou aço inoxidável, materiais extremamente resistentes ao tempo, mantendo assim o padrão e a qualidade na vida útil dos equipamentos.

Figura 11 - Estrutura de fixação



Fonte: Santos (2020)

4.5.1.5 Bateria

Trabalham como “pulmões” dos sistemas *off grid* (sem ligação com a rede pública) armazenando a energia elétrica gerada pelos módulos para utilizá-la assim que necessário. Assim, precisa-se de uma ou mais baterias para armazenar a energia de forma segura e estável.

Além disso, elas também fornecem a energia necessária em tempo constante, evitando o desperdício quando a produção é baixa e armazenando para quando necessário. As mais comuns para esta utilização são as de chumbo-ácido estacionárias por suportar descargas completas várias vezes.

Figura 12 - Bateria



Fonte: Santos (2020)

4.5.1.6 Controlador de carga

Este é um item obrigatório no sistema de energia solar *off grid*. É ele que faz a conexão entre o módulo fotovoltaico e a bateria de forma correta, além de evitar sobrecargas ou descargas exageradas na bateria, aumentando sua vida útil e desempenho como ilustra a figura 13.

Figura 13 - Controlador de carga



Fonte: Santos (2020)

4.5.1.7 Relógio bidirecional

Como o sistema de energia solar fotovoltaico *on grid* gera energia que será cedida à rede pública de eletricidade, é preciso saber exatamente quanto de energia está sendo gerada para o sistema, e o quanto está sendo consumido pela unidade geradora a fim de calcular quanto será emitido em créditos energéticos para futuras compensações. Para isso serve o relógio bidirecional. É semelhante a um relógio de energia comum, com a capacidade de medir também a saída de energia da casa geradora e fazer o saldo como ilustrado na figura 14.

Figura 14 - Medidor bidirecional



Fonte: Aldo Componentes Eletrônicos (2019)

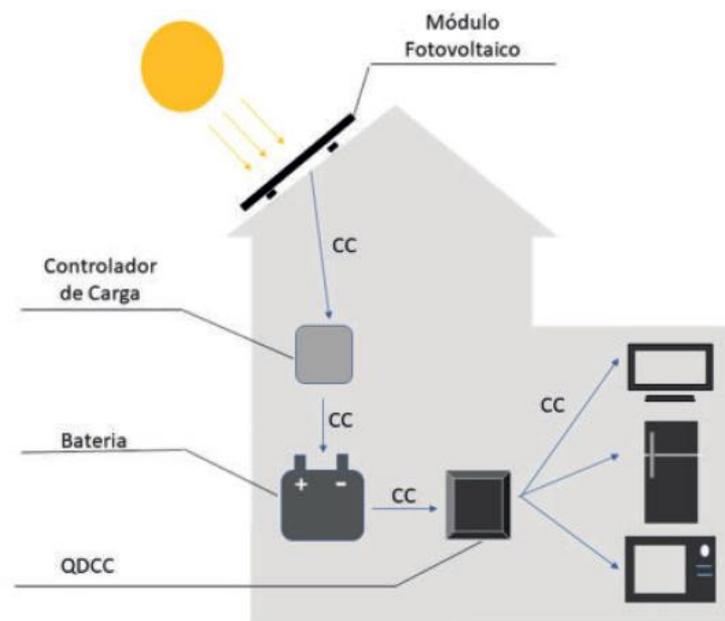
4.5.2 Tipos de sistemas fotovoltaico

Existem basicamente três maneiras de se conectar um sistema fotovoltaico, são elas: sistema isolado (*off grid*), conectado à rede (*on grid*) e conectado à rede com bateria.

4.5.2.1 Sistema isolado

O sistema isolado não tem ligação com a rede de distribuição de energia elétrica. Visa atender o consumo próprio e pode alimentar cargas diretamente em corrente contínua (CC) como mostra a figura 15 (AYRÃO, 2018).

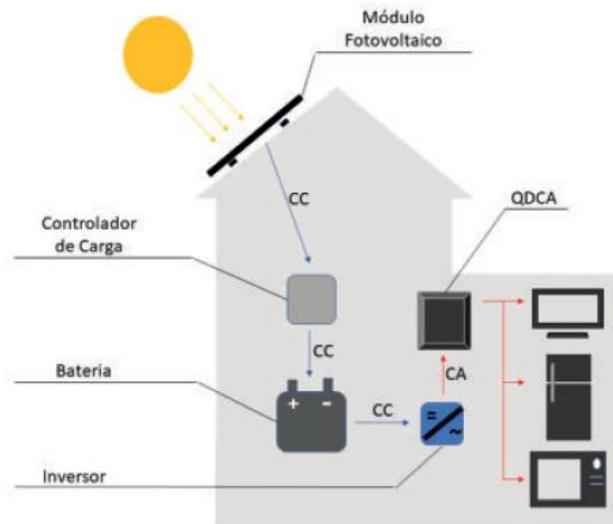
Figura 15 - Sistema isolado com cargas em CC



Fonte: Ayrão, 2018

O sistema isolado pode ainda empregar dispositivos de acondicionamento de potência como os inversores para atender cargas em corrente alternada (CA) como descrito da figura 16 (AYRÃO, 2018).

Figura 16 - Sistema isolado com cargas em CA



Fonte: Ayrão, 2018

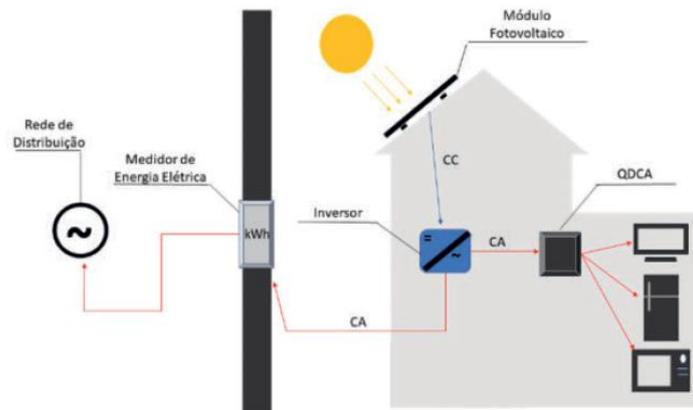
Os sistemas sem inversor têm aplicações típicas em bombeamento. Os sistemas com acondicionamento de energia têm seus usos típicos em iluminação (“poste solar”), na área de telecomunicações, sinalização náutica ou sistemas localizados em áreas distantes da rede elétrica de alguma concessionária (AYRÃO, 2018).

4.5.2.2 Sistema conectado à rede

Os sistemas conectados à rede estão interligados à rede de distribuição de energia elétrica da concessionária: se conectam a esta rede e alimentam as cargas em corrente alternada, necessariamente, como ilustra a figura 17.

Nesse tipo de sistema, quando o consumo de energia é inferior à geração, o excedente é injetado na rede da concessionária, como se fosse um empréstimo, e devolvido quando a geração for inferior ao consumo. Na prática a concessionária funciona como uma grande bateria. Uma das características de um sistema conectado à rede, é que, com a ausência de energia da concessionária, mesmo que haja incidência de energia solar sobre os módulos fotovoltaicos, não haverá alimentação das cargas (AYRÃO, 2018).

Figura 17 - Sistema conectado à rede



Fonte: Ayrão, 2018

4.5.2.3 Sistema conectado à rede com bateria

Esse tipo de sistema fotovoltaico está interligado a rede de distribuição da concessionária e possui armazenamento de energia por baterias. A ligação permite, mesmo na ausência de energia da concessionária, manter as cargas alimentadas, ou controlar os horários em que a energia será injetada na rede da concessionária, possibilitando um melhor gerenciamento energético (AYRÃO, 2018).

4.5 Principais perdas em um sistema fotovoltaico

Ao se fazer um dimensionamento de um sistema fotovoltaico é preciso levar em consideração os principais fatores de perdas associados a cada sistema, pois poderão impactar bastante a geração final. Assim, um sistema com a mesma potência instalado em locais diferentes de forma diferente poderá ter uma geração também diferente devidos a certos fatores que influenciam na geração. Silva, Florian e Pestana (2018) destaca os seguintes fatores:

4.5.1 Irradiação

A irradiância expressa o quanto de radiação incide em uma determinada área. Cada localidade possui uma irradiância diferente. Há também a irradiância refletida do ambiente que se denomina albedo que é a capacidade de uma superfície de refletir o absorver a irradiância. Assim, quanto maior for a irradiância e a refletida do ambiente ao redor, maior

será a geração do sistema solar.

4.5.2 Inclinação e orientação

A inclinação refere-se à angulação dos módulos em relação ao plano horizontal, já a orientação refere-se à posição geográfica em que os módulos estão direcionados. Para obter a inclinação ideal para que haja a incidência solar máxima em um período de um ano, a inclinação das placas deve ser igual à latitude local e a orientação sempre em direção ao norte (para o caso dos sistemas instalados no hemisfério sul). Se a inclinação e orientação forem diferentes disso a geração do sistema será menor.

4.5.3 Sombreamento

A presença de árvores, prédios, ou quaisquer outros objetos próximos ao sistema solar podem causar sombra nos módulos levando a uma perda considerável na produção de energia. Isso ocorre devido os módulos serem formados por células conectadas em série e o sistema geralmente é formado por módulos conectados em série, fazendo com que a corrente, potência e operação de todo o sistema seja igual àquele módulo que recebe a menor quantidade de radiação.

Além disso, quando uma célula está parcialmente sombreada tem-se o efeito *hot spot*, onde ela atua como uma carga no sistema (resistência), levando assim o mesmo a um aquecimento excessivo, podendo causar até a destruição do módulo. Ou seja, a potência do módulo é dissipada na forma de calor.

4.5.3 Acúmulo de Sujeira

Em áreas industriais com grande tráfego de automóveis, ou com clima seco, por exemplo, ocorre maior acúmulo de sujeira nos painéis fotovoltaicos causando um bloqueio da luz solar diminuindo assim a geração do sistema. O efeito do acúmulo de sujeira é remediado naturalmente quando o módulo é limpo com a água da chuva. Uma angulação de pelo menos 10° é normalmente suficiente para que isto ocorra.

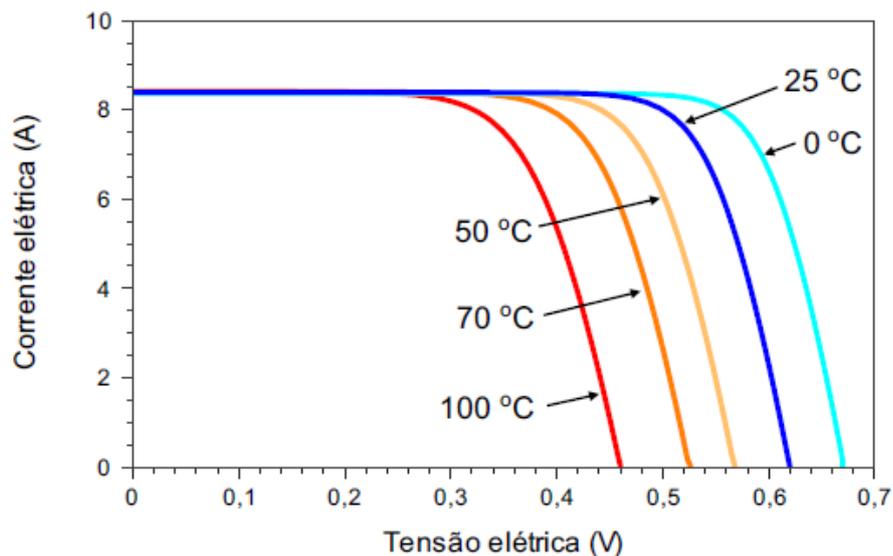
Se o sistema estiver localizado em áreas com muito acúmulo de poeira, uma limpeza periódica irá aumentar significativamente o desempenho do sistema.

4.5.4 Temperatura

A maioria das pessoas pensam que é o calor o principal fator que incide sobre a produção de energia solar. Só que, na verdade, é a luz do sol que desempenha esse papel importante para geração desse tipo de energia. Assim os painéis solares costumam funcionar muito melhor quando instalados em localidades que têm temperaturas mais amenas. Entretanto, a temperatura que precisa ser analisada não é a do ambiente, mas sim a da placa solar em si.

O mais recomendado é instalar o sistema onde proporcione uma boa ventilação para que possam dissipar calor facilmente e evitar as perdas por excesso de temperatura. Conforme observado na figura 18, de acordo com o aumento da temperatura a elevação que ocorre na corrente é muito menor que a perda de tensão levando a uma perda de eficiência na célula. Nos *datasheets* dos módulos esta informação é fornecida através de coeficientes de variação com a temperatura para a tensão, corrente e potência.

Figura 18 - Influencia da temperatura na célula fotovoltaica



Fonte: Pinho e Galdino, 2014

4.5.4 Mismatching

O *mismatching* ou descasamento de módulos, como também pode ser chamado, se dá pela utilização de módulos com características incompatíveis, isto é, cada painel fotovoltaico possui suas particularidades devido às células fotovoltaicas neles contidos, uma célula de menor fotocorrente presente no painel pode comprometer a eficiência de todo o

sistema.

Assim é preciso que os módulos sejam os mais parecidos possíveis para evitar perdas, mas ainda assim, mesmo com a utilização de equipamentos exatamente iguais e de excelente qualidade, é uma prática usual a consideração de um certo valor de perda, denominado internacionalmente pelo termo da língua inglesa “*mismatching losses*”.

4.5.4 Cabeamento CC e CA

Ao ser percorrido por uma corrente elétrica em um fio, ocorre um fenômeno chamado queda de tensão causado pela resistência do fio. Quanto maior a distância dos cabos maior será a perda do sistema por queda de tensão, tanto no lado CC (cabeamento que vai do módulo até o inversor) quanto no lado CA (cabeamento que vai do inversor até o quadro de distribuição). Assim, é preciso evitar ao máximo as grandes distâncias nos cabeamentos para minimizar as perdas.

4.6 Geração distribuída

De acordo com o Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE) é uma expressão usada para designar a geração elétrica realizada junto ou próxima do(s) consumidor(es) independente da potência, tecnologia e fonte de energia. As tecnologias de Geração distribuída (GD) têm evoluído para incluir potências cada vez menores. A GD inclui:

- a) Co-geradores;
- b) Geradores que usam como fonte de energia resíduos combustíveis de processo;
- c) Geradores de emergência;
- d) Geradores para operação no horário de ponta;
- e) Painéis fotovoltaicos;
- f) Pequenas Centrais Hidrelétricas - PCH's.

De forma geral, a presença de pequenos geradores próximos às cargas pode proporcionar diversos benefícios para o sistema elétrico, dentre os quais pode-se destacar a postergação de investimentos em expansão nos sistemas de distribuição e transmissão; o baixo impacto ambiental; a melhoria do nível de tensão da rede no período de carga pesada; a diversificação da matriz energética e a diminuição de perdas na transmissão de energia (ANEEL, 2016)

Apesar de ser um ótimo tipo de investimento a GD possuía uma série de restrições

estabelecidas que impedia de se injetar energia na rede da concessionária de energia elétrica. A geração distribuída era, praticamente, para o consumo no mesmo momento da geração (AYRÃO, 2018).

Este cenário se altera quando em 2012 a ANEEL publica a RN nº 482 criando o Sistema de Compensação de Energia Elétrica, onde o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada com possibilidade de injetar a energia produzida de maneira independente nas redes das concessionárias de energia elétrica a título de empréstimo. E, ainda mais, a possibilidade de “receber”, de volta, a quantidade de energia por ele “gerada” (AYRÃO, 2018; ANEEL, 2016).

No ano de 2015 a RN nº 482 foi atualizada para a RN nº 687 trazendo importantes melhorias como:

- a) Ampliação do limite das Usinas de 1 MW para 5 MW de fontes renováveis e para 3MW para PCH;
- b) Ampliou o período de créditos válidos de 36 meses para 60 meses;
- c) Criou três novas modalidades de geração de energia solar: Empreendimento com múltiplas unidades consumidoras, Geração compartilhada e o Autoconsumo remoto.

4.6.1 Modalidades de geração distribuída

4.6.1.1 Geração junto a carga

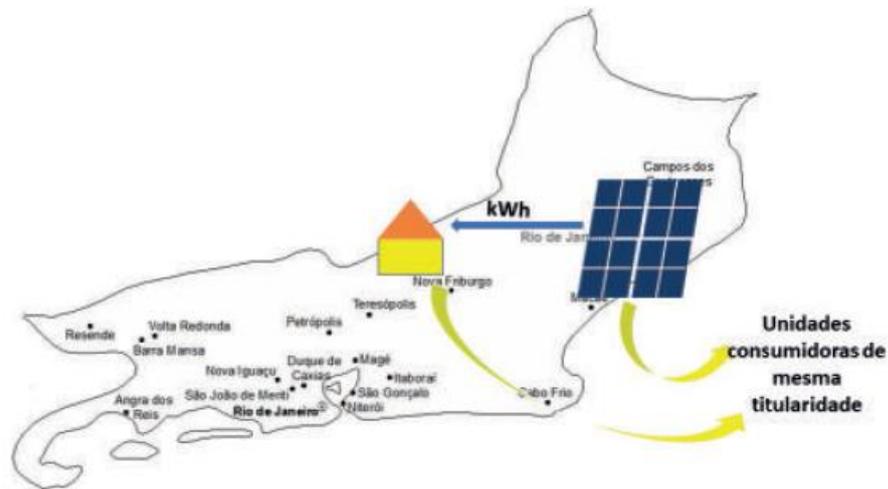
Nesta modalidade o consumidor possui seu sistema de geração de energia elétrica no mesmo local de consumo. Ou seja, o sistema de geração deste consumidor compartilha do mesmo ponto de conexão de energia da unidade consumidora (UC) com a distribuidora. A única unidade consumidora que receberá os créditos de energia será a unidade no local onde o projeto está instalado.

4.6.1.2 Autoconsumo remoto

É permitido que se gere energia em um endereço e que o abatimento seja direcionado a outro, desde que as unidades consumidoras sejam do mesmo titular e que o local da instalação da usina e das unidades consumidoras que terão o abatimento de energia

esteja localizadas na área de concessão de uma mesma concessionária (AYRÃO, 2018).

Figura 19 - Autoconsumo remoto

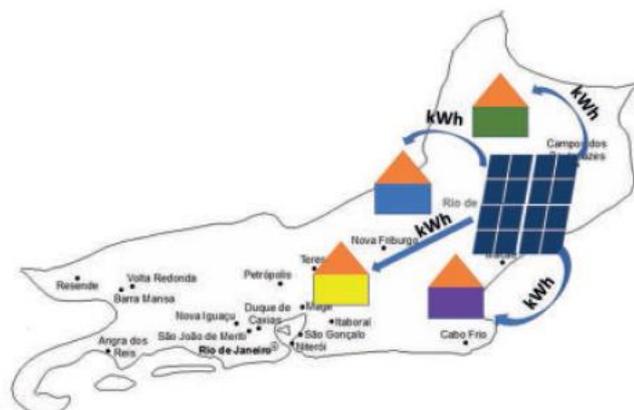


Fonte: Ayrão, 2018

4.6.1.3 Geração compartilhada

Esta modalidade, aplicada a um conjunto de consumidores, quer sejam pessoas físicas ou jurídicas, autorizando compartilhamento da geração de energia elétrica de uma usina fotovoltaica, desde que o local da instalação da usina e as unidades consumidoras que terão o abatimento de energia esteja localizadas na área de concessão de uma mesma concessionária (AYRÃO, 2018).

Figura 20 - Geração compartilhada



Fonte: Ayrão, 2018

4.6.1.2 Empreendimento com múltiplas unidades consumidoras

Facultado aos condomínios horizontais ou verticais a instalação de uma usina em sua área comum e a utilização da energia gerada para compensar tanto a energia elétrica consumida nas áreas comuns quanto a energia consumida nas unidades autônomas (AYRÃO, 2018).

Figura 21 - Empreendimento com múltiplas unidades consumidoras



Fonte: Ayrão, 2018

4.6.2 Micro e minigeração distribuída

A micro e a minigeração distribuída consistem na produção de energia elétrica a partir de pequenas centrais geradoras que utilizam fontes renováveis de energia elétrica ou cogeração qualificada, conectadas à rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras (ANEEL, 2016).

Para efeitos de diferenciação, a microgeração distribuída refere-se a uma central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 quilowatts (kW), enquanto que a minigeração distribuída diz respeito às centrais geradoras com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 megawatt (MW), para a fonte hídrica, ou 5 MW para as demais fontes (como a solar fotovoltaica).

4.7 Atlas Eólico e Solar do Ceará

O estado do Ceará está localizado em uma região com excelentes condições para projetos de energias renováveis, principalmente eólica e solar. Com intuito de democratizar

informações sobre o potencial da região e fomentar cada vez mais este setor, atraindo investimentos para o estado, foi concebido, ao longo de dois anos, o Atlas eólico e solar do Ceará, a partir de um convênio entre a Federação das Indústrias do Estado do Ceará (FIEC), a Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará (ADECE) e o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE).

A concepção técnica do projeto foi desenvolvida pela Secretaria da infraestrutura do Estado a partir de demandas do setor identificadas pela Câmara Setorial de Energias Renováveis do Ceará alinhada com o planejamento de longo prazo estabelecido pelo Programa Ceará 2050 do Governo do Estado do Ceará. A condução dos trabalhos foi coordenada pela FIEC e executada pela consultoria Camargo Schubert com participação da UL Truepower, empresas com reconhecida competência no setor de energias renováveis (CAMARGO SCHUBERT *et al.*, 2019, p. 7)

De acordo com Camargo Schubert *et al.* (2019) alguns eventos contribuíram bastante para posicionar o estado do Ceará em uma posição de destaque no cenário das energias renováveis que resultou na elaboração do Atlas, dentre os quais, pode-se citar:

- 1979 – Inclusão, no Plano de Metas do Governo do Estado da meta de “identificar e levantar as potencialidades energéticas não-convencionais do Ceará – solar, eólica e biomassa”;
- 1996 - Inauguração do Parque Eólico do Mucuripe com 4 aerogeradores de 300 kW cada. Por ser uma área turística, o parque deu bastante visibilidade a energia eólica;
- Realização da 1ª Conferência Nacional de Energias Renováveis, resultando na implantação das primeiras usinas eólicas comerciais do País: Prainha (10 MW) e Taíba (5 MW);
- 2000 – Publicação do Atlas do Potencial Eólico do Estado do Ceará, o primeiro do Brasil.
- 2002 - Inauguração da fábrica de pás e torres para geração eólica da Wobben Windpower;
- 2005 - Lançamento do Programa de Desenvolvimento da Cadeia Produtiva Geradora de Energia Eólica concedendo benefício fiscal a fabricantes de equipamentos utilizados na geração eólica;
- 2009 – Criação da Câmara Setorial de Energia Eólica pela ADECE;
- 2010 – Lançamento do Atlas Solarimétrico do Ceará pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME);
- 2011 - Inauguração da primeira usina solar centralizada do Brasil com 1 MWp de capacidade instalada em Tauá;

- 2013 – Liderança do Ceará da geração distribuída no Nordeste em números de unidades;
- 2014 - Implementação de Núcleo de Energia na Federação das Indústrias do Ceará que possui com prioridade o desenvolvimento de negócios em energias renováveis;
- 2015 – Criação da Secretaria Adjunta de Energia na Secretaria de Infraestrutura do Ceará;
- 2015 – Adesão do Ceará ao convênio de isenção do ICMS para a geração distribuída;
- 2016 – Inauguração da maior usina solar de minigeração distribuída do Brasil, com 3 MWp, no município de Pindoretama;
- 2017 – Assinatura do convênio ADECE/FIEC/SEBRAE para elaboração do novo Atlas Eólica e Solar do Ceará;
- 2017 – Lançamento do Programa de Incentivos da Cadeia Produtiva Geradora de Energias Renováveis;
- 2017 – Criação do Fundo de Incentivo à Eficiência Energética e Geração Distribuída
- 2018/2019 – Elaboração do Atlas Eólico e Solar do Ceará pela empresa de consultoria Camargo Schubert.

A concepção do projeto contou com investimento de R\$ 1,4 milhão, sendo R\$ 800 mil da Adece, R\$ 300 mil do Sebrae e R\$ 300 mil de contrapartida econômica da FIEC (FUNCEME, 2019)

4.7.1 Principais características do Atlas

O Atlas apresenta, além dos dados de potencial eólico e solar do estado, diversas informações e funcionalidades que auxiliam na análise técnico-econômica de um empreendimento de geração de energia trazendo uma concepção pioneira e inovadora frente a outros Atlas elaborados no Brasil. Dentre as principais características e funcionalidades que diferenciam este Atlas de outros similares pode-se destacar:

- a) **Híbrido:** O Atlas do Ceará é o primeiro do Brasil a trazer um conceito híbrido (sistema formado por duas ou mais fontes de energias renováveis), ou seja, além de mostrar as melhores áreas para geração solar e para geração eólica ele mostra também as melhores áreas para geração híbrida eólico-solar. Este tipo de combinação torna-se bastante satisfatória já que uma fonte complementa a outra, uma vez que o sistema solar funciona apenas durante o dia a energia eólica costuma ser mais forte a noite e em períodos do ano em há menor geração eólica há uma maior geração solar e vice-versa. Isto acarreta em uma geração mais contínua, eliminando a dependência da rede da distribuidora e em um melhor aproveitamento de espaço havendo uma maior geração por metro quadrado.
- b) **Interatividade:** Além de possuir a versão impressa o Atlas está disponível para baixar em PDF e para visualizar no formato *e-book* através do site <http://atlas.adece.ce.gov.br> sendo necessário realizar apenas um pequeno cadastro informando nome, *e-mail* e criando uma senha para ter acesso. Além disso, no site é possível acessar os diferentes mapas de forma interativa podendo visualizar qualquer região do estado. O site possui ainda uma ferramenta de simulação voltada para geração distribuída eólica e solar onde é possível pesquisar um local e obter os dados de potencial para cada tipo de energia, é possível ainda baixar uma planilha de excel com todos os dados do local de forma detalhada. Além disso, possui um aplicativo interativo desenvolvido pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) onde é possível fazer o *download* para acessar os mapas e também para fazer simulações.
- c) **Bilíngue:** O Atlas está disponível em duas línguas, português e inglês, permitindo maior facilidade para que investidores estrangeiros interessados em realizar empreendimentos de geração de energia vejam o potencial do estado.
- d) **Mapeamento eólico *offshore*:** Atento às demandas futuras, o Atlas faz um mapeamento de toda a costa do estado para produção de energia eólica *offshore* (em alto mar) que vem se mostrando uma excelente forma de expandir ainda mais o potencial eólico.
- e) **Potencial de áreas pouco desenvolvidas:** O Atlas destaca áreas degradadas que possuem pouca atratividade para investimentos convencionais, mas que possuem um

alto potencial de geração de energia gerando assim um incentivo para o desenvolvimento da região, criação de empregos etc.

- f) **Infraestrutura:** O Atlas apresenta também mapas e informações sobre a infraestrutura de transporte em todo o estado como podemos citar a infraestrutura hídrica, ferroviária e aérea. Dispor destas informações é bastante relevante quando se pensa na logística de um empreendimento, já que podem levar a custos adicionais ao projeto.

- g) **Sistema elétrico:** O Atlas possui um mapa de todo sistema elétrico do estado mostrando todas as linhas de transmissão e distribuição. Isto é bastante importante para saber se um determinado projeto terá uma linha de conexão próxima para poder ligar o sistema, caso contrário haverá custos adicionais que podem até vir a inviabilizar um projeto.

- h) **Dados climatológicos:** Além dos dados de radiação solar e regime de ventos o Atlas possui dados de outros parâmetros ambientais como temperatura, precipitação de chuva e nebulosidade que podem influenciar na geração de um sistema além de serem utilizados para previsão de geração.

- i) **Áreas preservadas:** O Atlas possui informações sobre as áreas protegidas do estado alertando sobre a importância do processo de licenciamento ambiental para sistemas de micro e minigeração distribuída. O Atlas mostra ainda as áreas com unidades de conservação (áreas com objetivo de preservar espécies vegetais e animais), terras indígenas, quilombolas e assentamentos agrícolas. Todas estas áreas possuem certas limitações para implantação de projetos de geração de energia sendo necessário estudos mais rigorosos de impactos ambientais para projetos em áreas assim.

- j) **Impactos ambientais:** O Atlas mostra que mesmo se tratando de fontes de energias consideradas renováveis, a energia solar e eólica possui impactos ambientais atrelados, seja na fabricação dos equipamentos, na operação ou na manutenção. Isto é de fundamental importância para que as empresas do ramo ou os clientes que adquiriram um sistema de geração saibam dos impactos relacionados e busquem formas de remedia-los ao máximo.

4.7.2 Base de dados do Atlas

De acordo com Camargo Schubert *et al.* (2019, p.69)

Os mapeamentos dos potenciais eólico e solar do Ceará foram obtidos por meio de simulação de mesoescala realizadas pela empresa *UL TruePower*, com as modelagens ajustadas e validadas por dados solarimétricos e anemométricos processados pela Camargo-Shubert. No caso do mapeamento do potencial eólico, o modelo utilizado foi o MesoMap e, no caso do mapeamento solar, foi utilizado o *Weather Research and Forecasting Model* – WRF. Os dados utilizados são provenientes de 52 estações meteorológicas e solarimétricas da FUNCEME, 14 Estações Meteorológicas Automáticas – EMAs do INMET, 35 torres anemométricas pertencentes a empreendedores e 9 piranômetros instalados em estações privadas. Totaliza-se assim, 75 pontos de medição de irradiância solar e 35 pontos de medição anemométrica. Nas simulações, é considerado um período de simulação cobrindo um ano meteorológico típico, representativo de 15 anos de dados climatológicos

Como é possível ver o Atlas utiliza-se de dados de diversas outras bases de dados com intuito de obter um maior número de medições possibilitando a elaboração de mapas com maior precisão. Todos os dados passaram por um processo de filtragem, validação, organização, consolidação e compilação para que assim formasse a base de dados do Atlas eólico e solar do Ceará.

O Atlas foi concebido com uma resolução final de malha de 2,5 km x 2,5 km, ou seja, é como se o estado fosse dividido em quadrados de 2,5 km de lado e os dados variassem de 2,5 km em 2,5 km. De forma geral, quanto menor a resolução de um mapa mais detalhado será e terá menos erros. A título de comparação a resolução do Atlas Brasileiro de Energia Solar é de 10 km x 10 km, ou seja, é quatro vezes maior.

4.7.2 Premissas para o cálculo de geração solar distribuída

Para as simulações de geração de energia solar no Atlas foram utilizadas as seguintes premissas:

- a) Eficiência do módulo de 17% nas condições padrões de testes;
- b) Módulos policristalino de silício;
- c) Ângulo de inclinação de 10° orientado para o norte;
- d) Refletância do módulo de 0,16 para perdas ópticas;
- e) Temperatura de operação da célula de 44 °C;
- f) Coeficiente de temperatura da célula de 0,03 °C/W;
- g) Perdas de temperatura na potência máxima de -0,44%/°C;
- h) Eficiência do inversor de 97,5%;

- i) Perdas por sujeira de 3,5%;
- j) Perdas no cabeamento 2,5%;
- k) Perdas por *mismatch* 0,5%;
- l) Perdas no transformador de 1,5%.

Como pode ser visto o cálculo de geração já prevê diversas perdas que ocorrem em sistema reais fazendo que a previsão seja mais próxima da realidade. Além disso a produtividade no ângulo de 10° orientado para o norte é bem próxima do valor ótimo para o estado do Ceará que varia de 3° a 9°, lembrando que, todavia, é recomendado pelos fabricantes uma inclinação de no mínimo 10°, para auxiliar na autolimpeza dos módulos (Camargo Schubert *et al.*, 2019).

5 METODOLOGIA

Para a presente pesquisa foi proposta uma situação fictícia onde um investidor que tivesse interesse em adquirir um sistema de energia solar fotovoltaica para suprir um consumo médio de 5.000 kWh/mês de sua empresa avaliar dois terrenos distintos para escolher a melhor opção. Este valor de consumo foi suposto considerando um estabelecimento comercial de médio porte como por exemplo, um supermercado ou uma padaria. Para isto, utilizou-se a ferramenta online do Atlas Eólico e Solar do Ceará¹ afim de fazer uma avaliação preliminar do potencial e a viabilidade de instalação nessas duas localidades do estado do Ceará.

As localizações dos terrenos foram escolhidas considerando locais distantes um do outro com diferentes características como temperaturas, altitude, proximidade com o mar, etc.

Afim de fazer um comparativo, foi feito um confronto com dados de geração de três sistemas reais extraídos da plataforma de monitoramento do inversor SMA com os dados de previsão de geração do Atlas nas mesmas localizações dos sistemas reais.

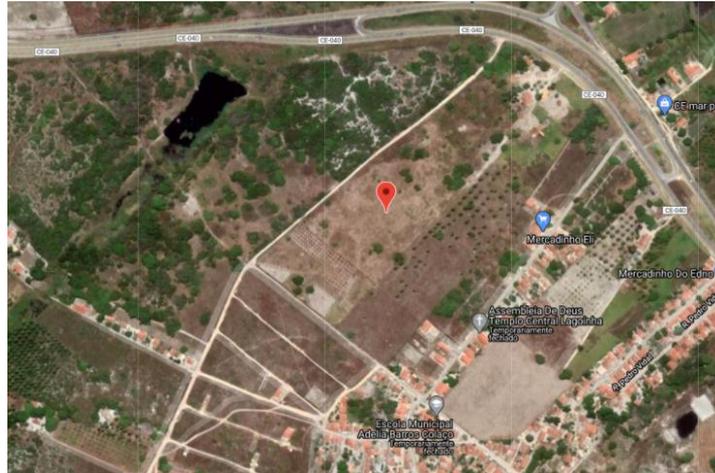
5.1 Terreno 1

5.1.1 *Localização*

O terreno 1 está localizado no município de Beberibe situado na microrregião de Cascavel, mesorregião do Norte Cearense. Beberibe dista cerca de 85 km da cidade de Fortaleza (capital do Ceará). A figura 22 mostra uma imagem em modo satélite do terreno 1.

¹ Disponível no site <http://atlas.adece.ce.gov.br>

Figura 22 - Localização do terreno 1



Fonte: Camargo Schubert *et al.*, 2019

Ao clicar em um ponto do estado o Atlas fornece uma série de dados referente ao local. Primeiramente, como mostra a tabela 1, temos os dados de localização do terreno como as coordenadas geográficas, altitude e endereço. Temos ainda a temperatura média e a densidade do ar.

Tabela 1 - Dados básicos do terreno 1

Latitude: -4.1887°	Temperatura da superfície: 26.9° C
Longitude: -38.1379°	Densidade do Ar: 1.16 kg/m³
Altitude média: 21 m	
Endereço: CE-040, Beberibe - CE, 62840-000, Brasil	

Fonte: Camargo Schubert *et al.*, 2019

5.1.2 Distâncias aproximadas para conexão com a rede

O Atlas fornece um dado bastante relevante que pode vir a inviabilizar um projeto de sistema fotovoltaico conectado à rede. Trata-se da distância do local de geração ao ponto de conexão com a rede da concessionária. A Tabela 2 mostra as distâncias do terreno 1 as subestações e redes de distribuição e transmissão mais próximas.

Tabela 2 - Distâncias das subestações e redes de distribuição e transmissão

DISTÂNCIAS APROXIMADAS	Rede de Média Tensão (13,8 kV): 0.2 km
Subestação mais próxima: 2.3 km	Rede de Alta Tensão - Distribuição (69 kV): 0.8 km
Subestação de transmissão mais próxima: 41.2 km	Rede de Alta Tensão - Transmissão (230 e 500kV): 41.1 km

Fonte: Camargo Schubert *et al.*, 2019

5.1.3 Dados do recurso solar

O Atlas mostra na tabela 3 os principais dados do recurso solar em médias mensais anuais. Têm-se os dados de irradiação direta, difusa e global. Tem-se o índice albedo que se refere a quantidade de irradiação que é refletida pelo ambiente ao redor e ainda um importante índice utilizado para comparar diferentes sistemas que é o índice de produtividade ou *Yield* que é a relação da energia gerada (kWh) em um determinado período, e a potência instalada em kWp¹.

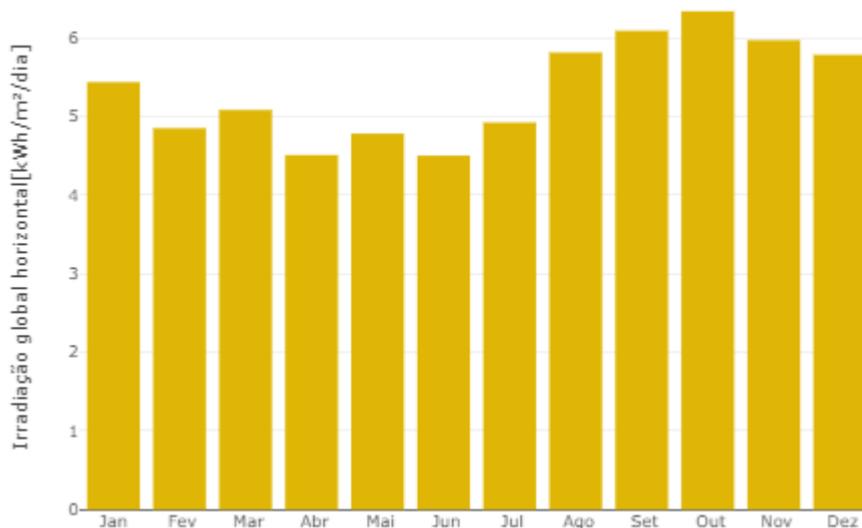
Tabela 3 - Dados do recurso solar do terreno 1

5.3 kWh/m²/dia	Irradiação Global Horizontal Anual	1.7 kWh/m²/dia	Irradiação Difusa Horizontal Anual
4.9 kWh/m²/dia	Irradiação Normal Direta Anual	4.0 kWh/kWp	Produtividade fotovoltaica anual no plano inclinado a 10°
20 %	Albedo Médio Anual	27.9 °C	Temperatura Média Diurna Anual
66 %	Nebulosidade média anual		

Fonte: Camargo Schubert *et al.*, 2019

A seguir, tem-se uma série de gráficos mostrando a variação destas variáveis durante os meses do ano. No gráfico 2, tem-se a irradiação global ao longo do ano em média diária mensal.

Gráfico 2 - Irradiação global horizontal mensal no terreno 1



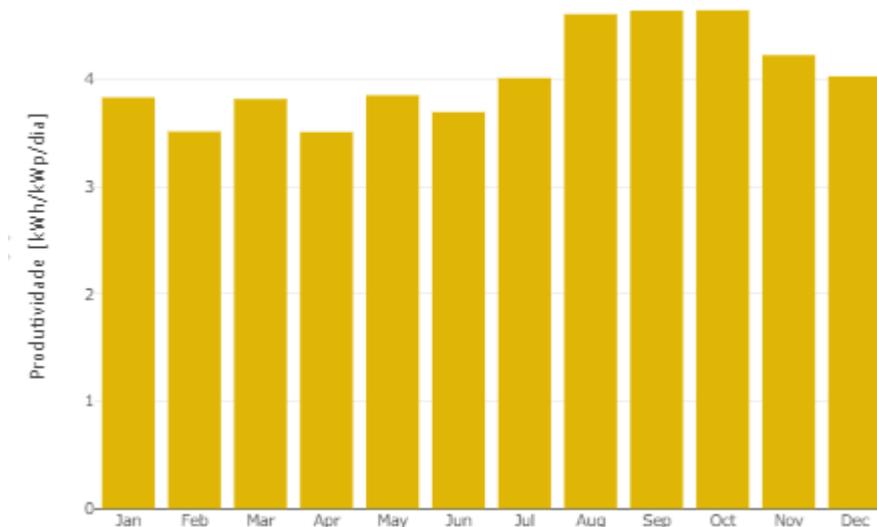
Fonte: Camargo Schubert *et al.*, 2019

O gráfico 3 mostra o dado mais importante para avaliar o potencial de geração de

¹ kWp é a unidade básica de potência de um sistema fotovoltaico que significa o máximo de energia produzida em condições ideais de laboratório.

energia solar que é a produção de energia por cada unidade de potência do sistema considerando as principais perdas e já com uma inclinação de 10° orientado para o norte para o norte.

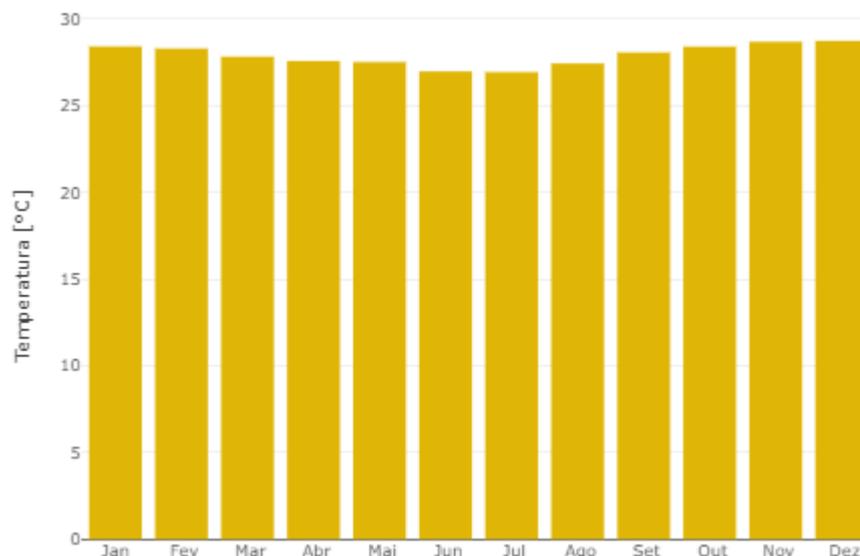
Gráfico 3 - Produtividade fotovoltaica mensal no plano inclinado a 10° (orientado para o norte) no terreno 1



Fonte: Camargo Schubert *et al.*, 2019

No gráfico 4, tem-se a temperatura média mensal de cada mês do terreno 1. Este dado é importante para prever as perdas relacionadas a temperatura, já que, como foi apresentado, quanto maior a temperatura maior as perdas de geração do sistema.

Gráfico 4 - Temperatura diurna média mensal no terreno 1

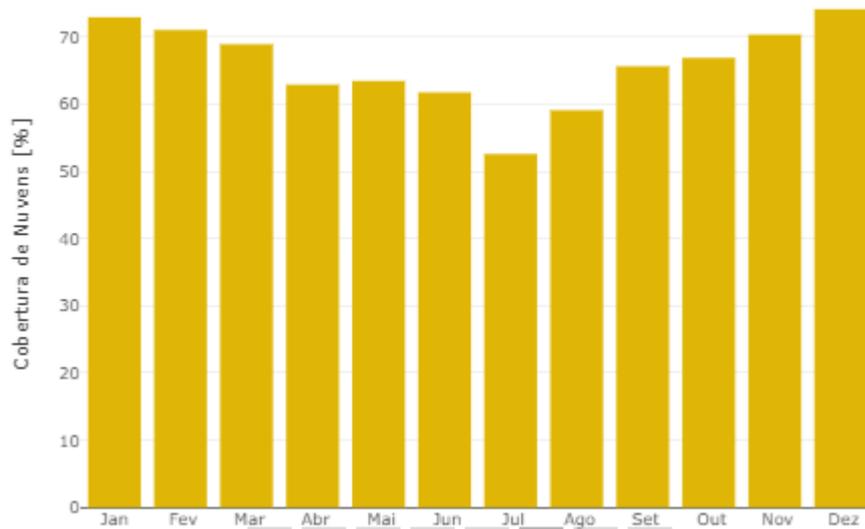


Fonte: Camargo Schubert *et al.*, 2019

O gráfico 5 mostra o dado de nebulosidade (cobertura de nuvens) que representa a

fração da abóboda celeste (forma como o céu aparentemente se arqueia sobre a cabeça do observador) que, em dado momento, encontra-se encoberta por nuvens. Na prática a nebulosidade é estimada visualmente, imaginando-se todas as nuvens arrumadas juntas e arbitrando-se, aproximadamente, a fração do céu que isso representa (VAREJÃO SILVA, 2001).

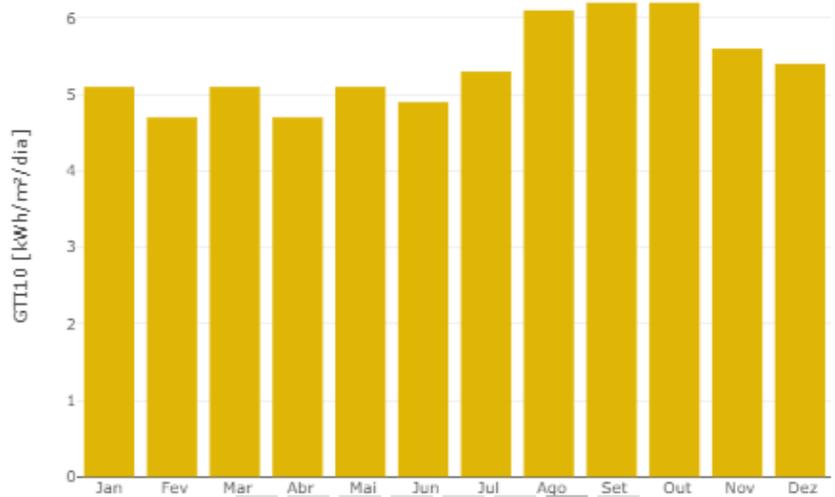
Gráfico 5 - Fração média de cobertura de nuvens no terreno 1



Fonte: Camargo Schubert *et al.*, 2019

A seguir, tem-se uma série de gráficos mostrando a variação destas variáveis durante os meses do ano. No gráfico 2, tem-se a irradiação global ao longo do ano em média diária mensal.

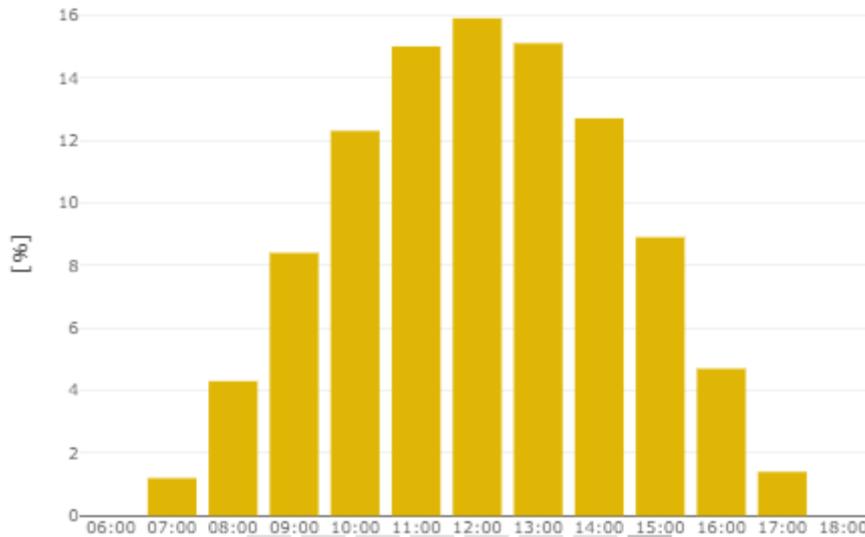
Gráfico 6 - Irradiação global total no plano inclinado 10° no terreno 1



Fonte: Camargo Schubert *et al.*, 2019

No gráfico 7, tem-se o percentual de energia gerada em cada hora do dia em uma média anual. Este dado é importante para que se saiba os horários que possuem maior geração e que se houver algum tipo de sombreamento nesses horários a perda de energia será considerável.

Gráfico 7 - Fração média anual de produção de energia por hora no terreno 1



Fonte: Camargo Schubert *et al.*, 2019

5.1.4 Sistema do terreno 1

Ao selecionar a opção “simulador” é possível digitar o consumo e o tipo de conexão da unidade (monofásico, bifásico ou trifásico), este dado é importante, pois, para cada tipo há um custo de disponibilidade que é necessário pagar mesmo que não haja consumo, de acordo com a Aneel é de 30 kWh para monofásico, 50 kWh para bifásico e 100 kWh para trifásico. Como foi dito anteriormente este trabalho será utilizado um consumo de 5.000 kWh por mês considerando uma ligação trifásica. A tabela 4 mostra as características do sistema necessário para este consumo no terreno 1.

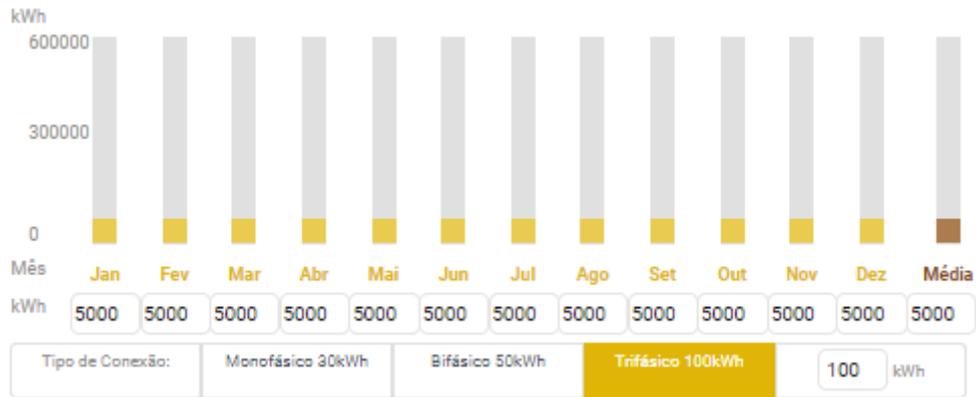
Tabela 4 - Características do sistema no terreno 1

39.9 kWp	Capacidade do sistema (Potência)	319 m²	Área aproximada de painéis
4.789 kg	Peso aproximado	1.474 KWh/kWp/ano	Produtividade fotovoltaica
58.800 kWh / ano	Consumo anual		

Fonte: Camargo Schubert *et al.*, 2019

No gráfico 8, pode ser visto o consumo mês a mês que pode ser digitado e na última coluna tem-se a média anual.

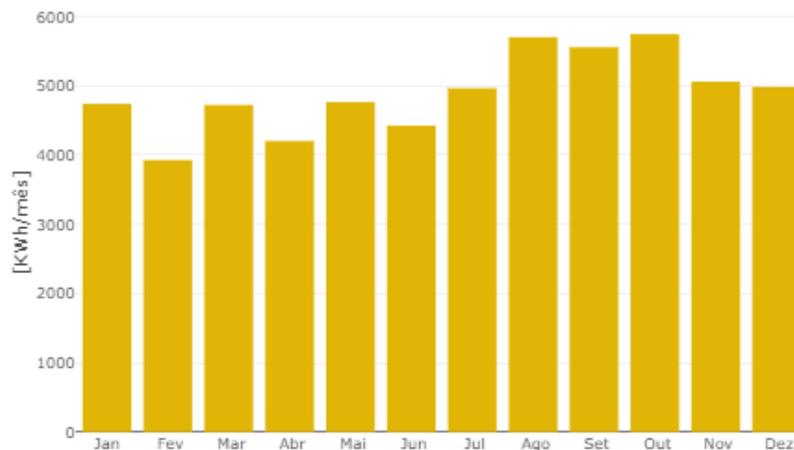
Gráfico 8 - Consumo mensal



Fonte: Camargo Schubert *et al.*, 2019

No gráfico 9, tem-se a produção de energia do sistema de cada mês. Como é possível constatar no primeiro semestre há uma menor geração de energia em relação ao segundo semestre.

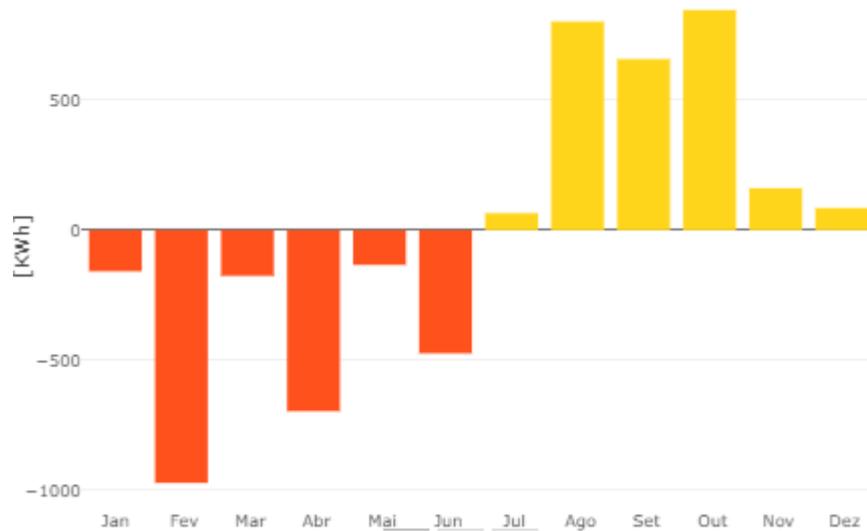
Gráfico 9 - Energia gerada pelo sistema no terreno 1



Fonte: Camargo Schubert *et al.*, 2019

No gráfico 10, tem-se o saldo de energia do sistema de cada mês. No primeiro semestre, como a geração é menor, haverá um consumo não abatido que será pago pelo cliente, contudo no segundo semestre haverá um saldo positivo que se tornará créditos de energia para ser usado no primeiro semestre do ano seguinte.

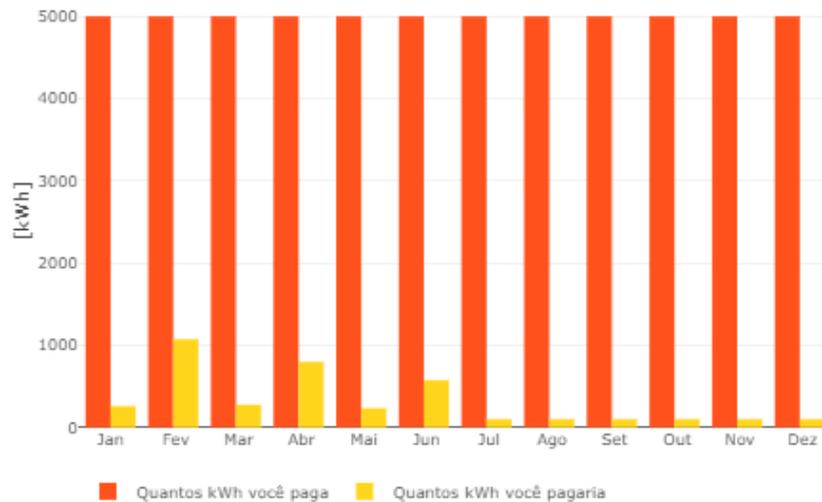
Gráfico 10 - Saldo de energia mensal no terreno 1



Fonte: Camargo Schubert *et al.*, 2019

No gráfico 11, tem-se uma comparação do consumo pago a concessionária antes do sistema instalado (em vermelho) e depois do sistema instalado (em amarelo) no primeiro ano de funcionamento, uma vez que, nos anos seguintes será pago apenas o mínimo de 100 kWh por mês.

Gráfico 11 - Consumo antes e depois do sistema no terreno 1



Fonte: Camargo Schubert *et al.*, 2019

O Atlas possui a função de medir a distância entre dois pontos e ainda de traçar uma poligonal, círculo e um retângulo para medir a área de uma superfície. Na figura 23, tem-se uma linha medindo a distância do local analisado e a unidade de conservação mais próxima distando 1,89 km. Neste caso, trata-se de uma unidade de conservação de uso sustentável

estadual.

Figura 23 - Distância do terreno 1 a unidade de conservação mais próxima



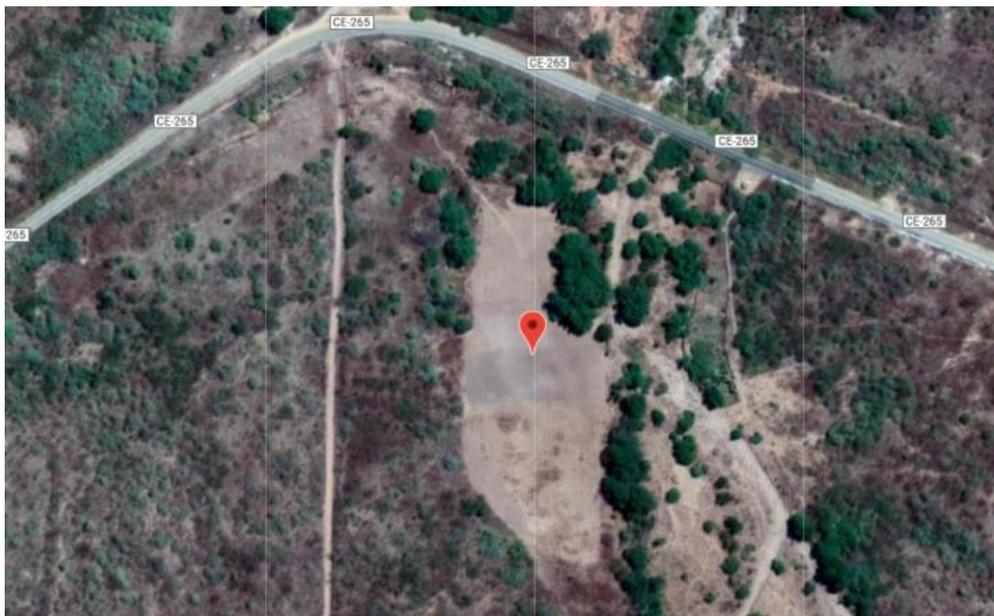
Fonte: Camargo Schubert *et al.*, 2019

5.2 Terreno 2

5.2.1 Localização

O terreno 2 está localizado em Catunda é um município brasileiro no interior do estado do Ceará, Mesorregião do Noroeste Cearense. Possui uma distância de 256 km para a capital cearense. A figura 24 mostra uma imagem em modo satélite do terreno 2.

Figura 24 - Localização do terreno 2



Fonte: Camargo Schubert *et al.*, 2019

Na tabela 5 mostra os dados básicos de localização do terreno como as coordenadas geográficas, altitude e endereço. É possível verificar ainda a temperatura média e a densidade do ar.

Tabela 5 - Dados básicos do terreno 2

Latitude: -4.7439° Longitude: -40.1879° Altitude média: 345 m	Temperatura da superfície: 25.9° C Densidade do Ar: 1.11 kg/m³
Endereço: CE-265, Catunda - CE, 62297-000, Brasil	

Fonte: Camargo Schubert *et al.*, 2019

5.2.2 Distâncias aproximadas para conexão com a rede

A Tabela 2 mostra as distâncias do terreno 2 as subestações e redes de distribuição e transmissão mais próximas.

Tabela 6 - Distâncias das subestações e redes de distribuição e transmissão

DISTÂNCIAS APROXIMADAS	Rede de Média Tensão (13,8 kV): 0.0 km
Subestação mais próxima: 12.9 km	Rede de Alta Tensão - Distribuição (69 kV): 12.9 km
Subestação de transmissão mais próxima: 119.3 km	Rede de Alta Tensão - Transmissão (230 e 500kV): 115.5 km

Fonte: Camargo Schubert *et al.*, 2019

5.1.3 Dados do recurso solar

A tabela 3 possui os principais dados do recurso solar em médias mensais anuais para o terreno 2.

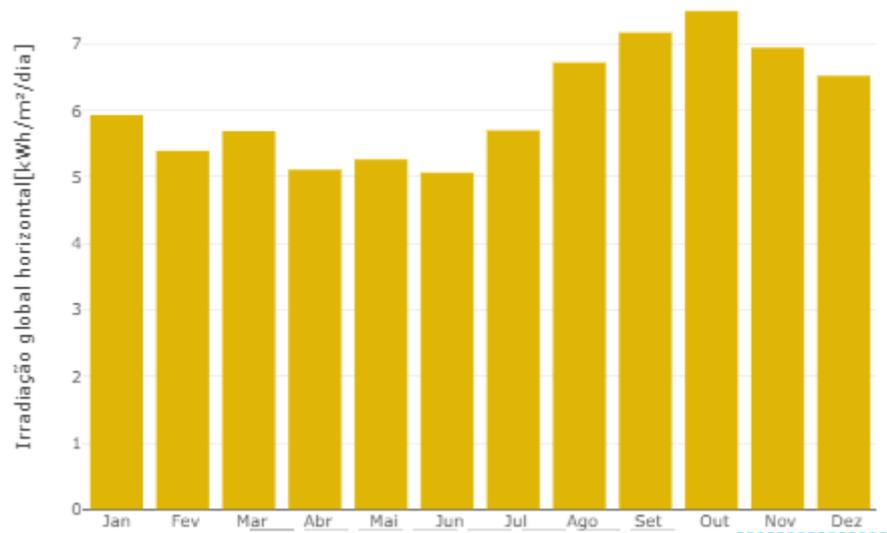
Tabela 7 - Dados do recurso solar do terreno 2

6.1 kWh/m²/dia	Irradiação Global Horizontal Anual	1.5 kWh/m²/dia	Irradiação Difusa Horizontal Anual
6.2 kWh/m²/dia	Irradiação Normal Direta Anual	4.6 kWh/kWp	Produtividade fotovoltaica anual no plano inclinado a 10°
18 %	Albedo Médio Anual	27.6 ° C	Temperatura Média Diurna Anual
42 %	Nebulosidade média anual		

Fonte: Camargo Schubert *et al.*, 2019

A seguir, tem-se uma série de gráficos mostrando a variação destas variáveis durante os meses do ano. No gráfico 12, tem-se a irradiação global ao longo do ano em média diária mensal do terreno 2.

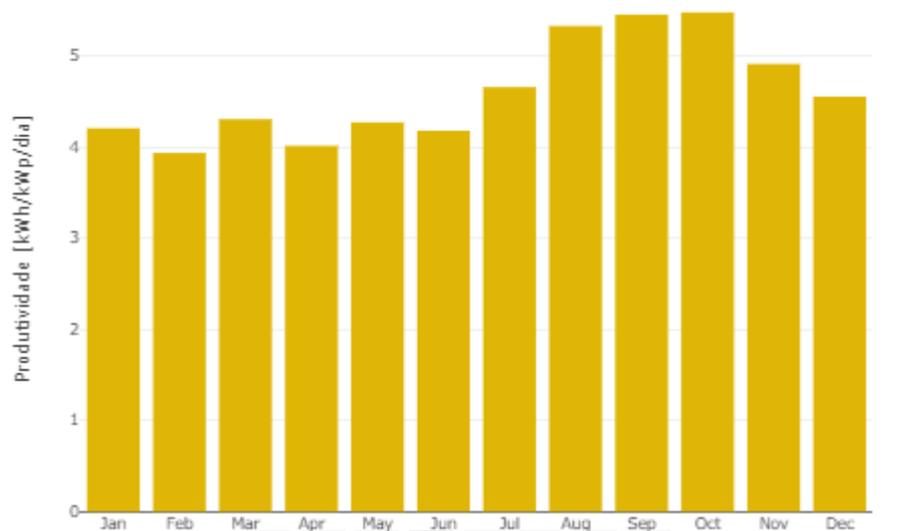
Gráfico 12 - Irradiação global horizontal mensal no terreno 2



Fonte: Camargo Schubert *et al.*, 2019

No gráfico 13 é possível observar a produção de energia por cada unidade de potência do sistema considerando as principais perdas e já com uma inclinação de 10° orientado para o norte para o norte no terreno 2.

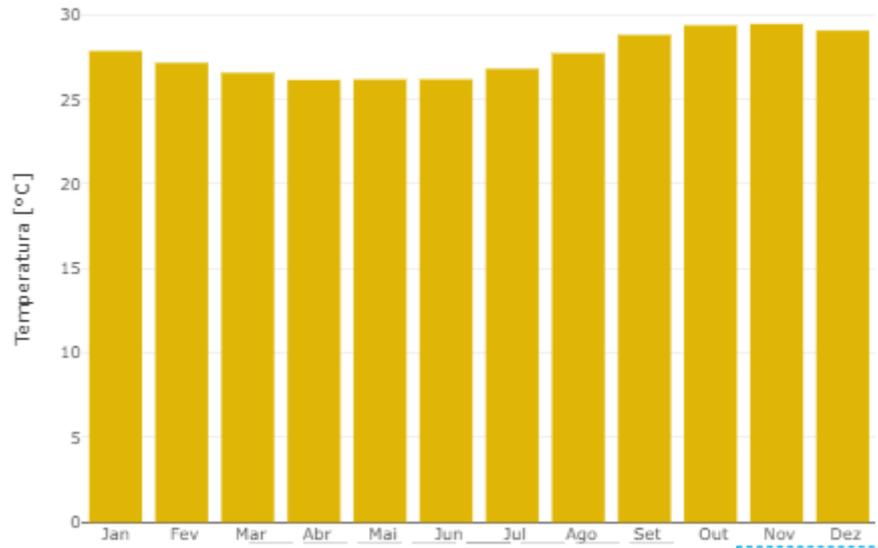
Gráfico 13 - Produtividade fotovoltaica mensal no plano inclinado a 10° (orientado para o norte) no terreno 2



Fonte: Camargo Schubert *et al.*, 2019

No gráfico 14, tem-se a temperatura média mensal de cada mês do terreno 1.

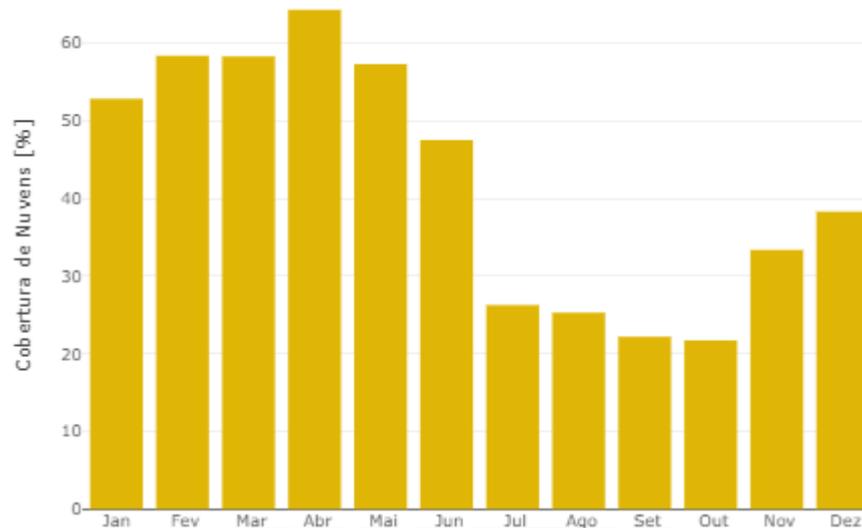
Gráfico 14 - Temperatura diurna média mensal no terreno 2



Fonte: Camargo Schubert *et al.*, 2019

O gráfico 15 mostra o dado de cobertura de nuvens durante o ano no terreno 2.

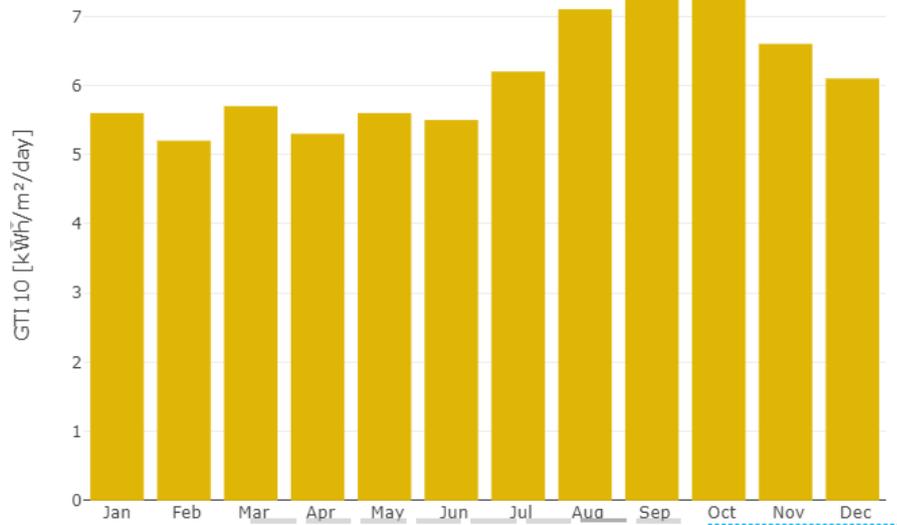
Gráfico 15 - Fração média de cobertura de nuvens no terreno 2



Fonte: Camargo Schubert *et al.*, 2019

O gráfico 16 mostra a irradiação global sobre um plano inclinado de 10° no terreno 2.

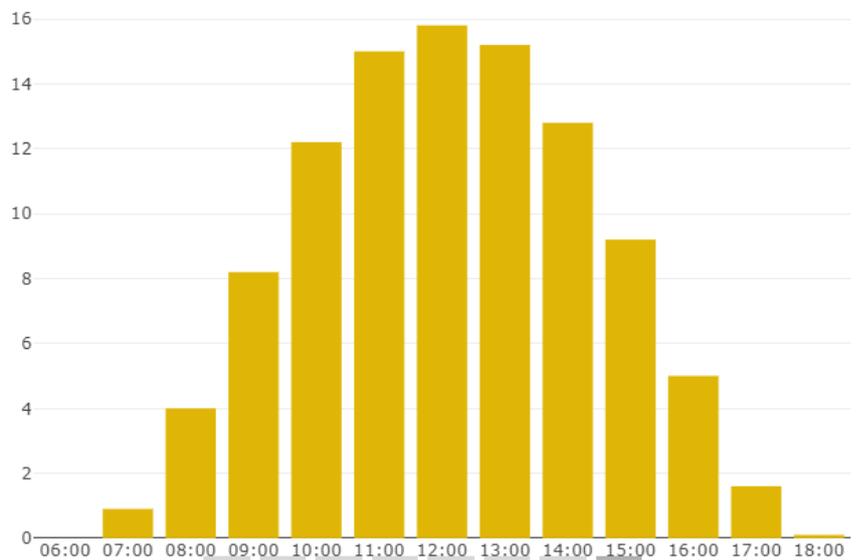
Gráfico 16 - Irradiação global total no plano inclinado 10° no terreno 2



Fonte: Camargo Schubert *et al.*, 2019

No gráfico 7, tem-se o percentual de energia gerada em cada hora do dia em uma média anual para o terreno 2.

Gráfico 17 - Fração média anual de produção de energia por hora no terreno 2



Fonte: Camargo Schubert *et al.*, 2019

5.2.4 Sistema do terreno 2

De forma semelhante ao terreno 1, seleciona-se a opção de simulador considerando uma conexão trifásica e um consumo de 5.000 kWh por mês. A tabela 8 mostra as características do sistema necessário para suprir este consumo.

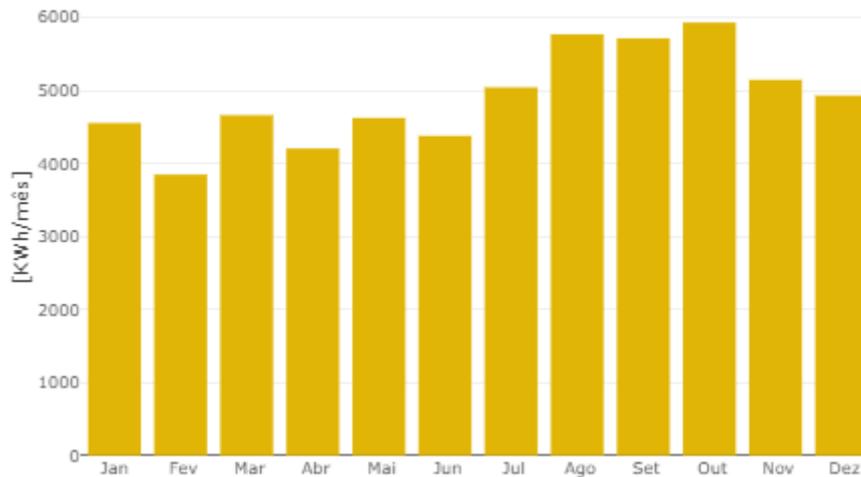
Tabela 8 - Características do sistema no terreno 2

34.9 kWp	Capacidade do sistema (Potência)	279 m²	Área aproximada de painéis
4.191 kg	Peso aproximado	1.684 KWh/kWp/ano	Produtividade fotovoltaica
58.800 kWh / ano	Consumo anual		

Fonte: Camargo Schubert *et al.*, 2019

No gráfico 18, tem-se a produção de energia do sistema a cada mês.

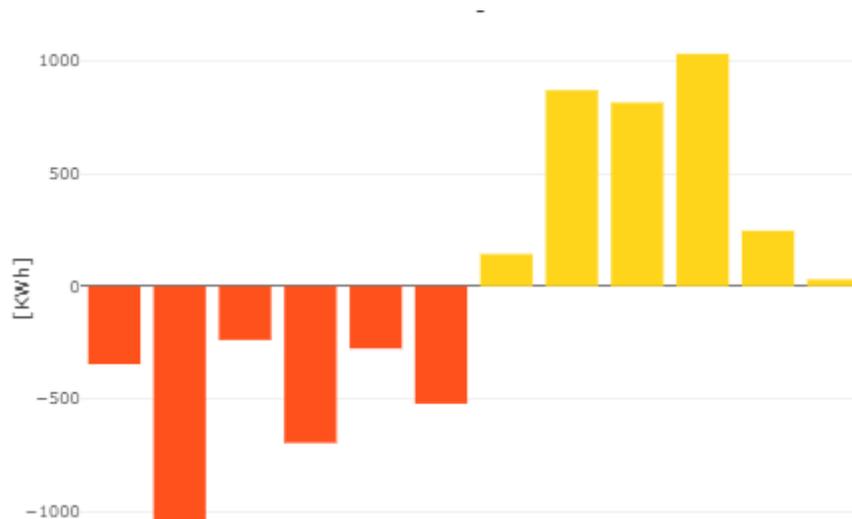
Gráfico 18 - Energia gerada pelo sistema no terreno 2



Fonte: Camargo Schubert *et al.*, 2019

No gráfico 19, tem-se o saldo de energia do sistema de cada mês.

Gráfico 19 - Saldo de energia mensal no terreno 2

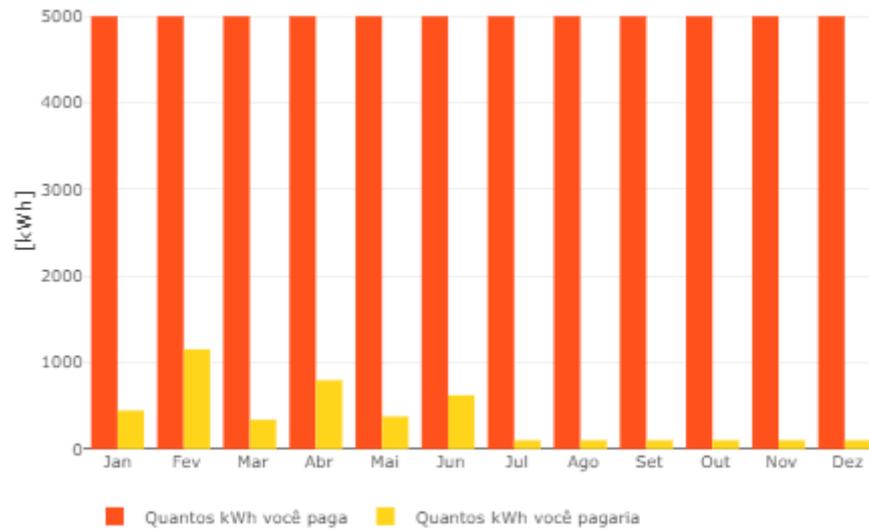


Fonte: Camargo Schubert *et al.*, 2019

No gráfico 20, tem-se uma comparação do consumo pago a concessionária antes do sistema instalado (em vermelho) e depois do sistema instalado (em amarelo) no primeiro

ano de funcionamento.

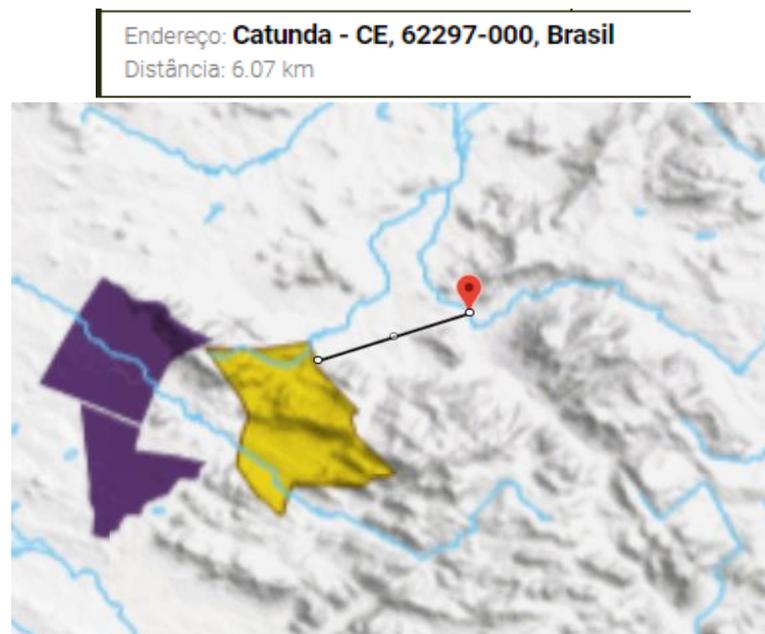
Gráfico 20 - Consumo antes e depois do sistema no terreno 2



Fonte: Camargo Schubert *et al.*, 2019

Na figura 25, tem-se uma linha medindo a distância do local analisado e a unidade de conservação mais próxima distando 5,07 km. Neste caso, trata-se de um assentamento rural (em amarelo) e um quilombo (em lilás).

Figura 25 - Distância do terreno 2 a unidade de conservação mais próxima

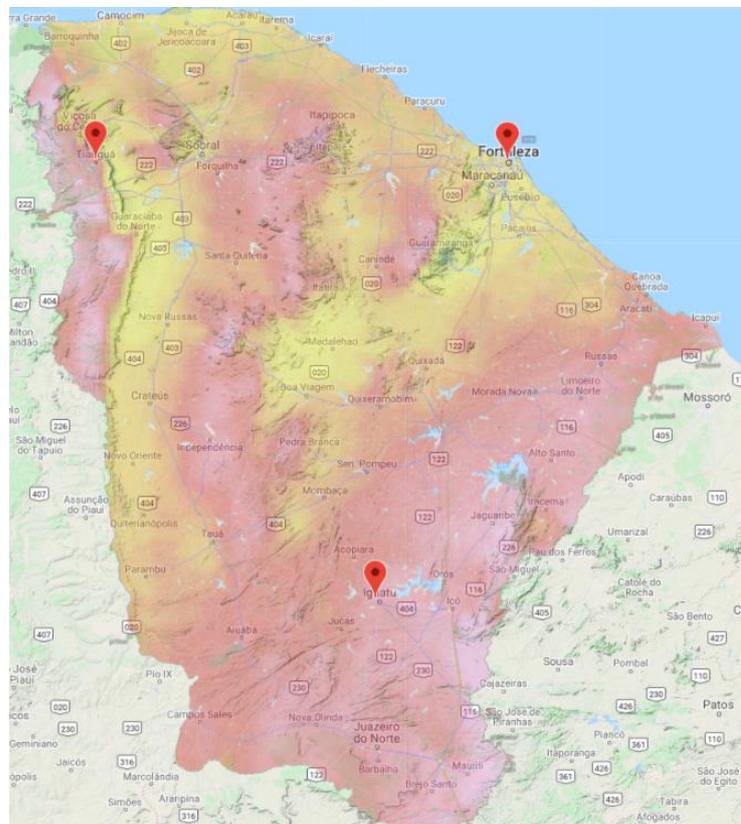


Fonte: Camargo Schubert *et al.*, 2019

5.3 Comparação de dados com sistemas reais

Para fazer um comparativo dos dados do Atlas foi feito um confronto com dados de três sistemas reais. O critério utilizado para a escolha dos sistemas foi que fossem localizados distantes entre si como ilustra a figura 26 e que tivessem pelo menos 3 anos de operação afim de se coletar uma amostra maior de dados e evitar possíveis distorções. A figura abaixo foi obtida a partir da plataforma online do Atlas onde as cores mais próximas da cor lilás possuem maior incidência de radiação solar.

Figura 26 - Localização dos sistemas instalados



Fonte: Camargo Schubert *et al.*, 2019

A tabela 9 abaixo mostra as principais características de cada sistema.

Tabela 9 - Características de cada sistema

Sistema	Localização	Potência (kWp)	Início da operação
1	Av. Agenor Araújo, 424 - Jardim Iguatu, Iguatu	99,66	22/07/2017
2	Rua MTE. Zezito - Centro, Tianguá	2,12	20/02/2017
3	R. Sena Madureira, 1047 - Centro, Fortaleza	29,7	23/02/2017

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021

Os dados de geração de energia dos sistemas foram coletados da plataforma de

monitoramento do inversor SMA, que foram cedidos pela empresa que faz o monitoramento afim de se realizar este estudo.

O parâmetro que foi utilizado para a comparação foi apenas o de produtividade fotovoltaica, ou seja, a quantidade de energia por unidade de potência. É possível extrair esta informação diretamente na plataforma de monitoramento que possui o nome de “rendimento específico do sistema”.

5.3.1 Dados de geração real de cada sistema

Ao acessar a plataforma de monitoramento escolher o sistema desejado, tem-se opção de rendimento específico mensal do sistema mês a mês desde que o sistema foi instalado. Os meses na cor laranja não foram considerados na média mensal de cada sistema por um dos três seguintes motivos:

- Mês inicial: já que o sistema não iniciou sua operação no primeiro dia do mês;
- Último mês: já que a data em que esse dado foi coletado não foi o último dia do mês;
- Quando o menor valor de um mês ao longo dos anos é 20% menor que a média do mesmo mês nos outros anos, pois deve ter ocorrido algum problema no inversor ou nos módulos;

O sistema 1 está localizado na seguinte coordenada (-6.358834,-39.296965), a tabela 10 mostra os dados de rendimento específico do sistema 1.

Tabela 10 - Rendimento específico em kWh/kWp - Sistema 1 (Iguatu)¹

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2017							4,49	136,8	151,9	162,1	140,4	138,6
2018	131,6	112,8	135	123,5	130,4	124,9	139,6	151	147,5	139,1	139,1	139,8
2019	131,2	123,3	131	121,8	129,6	119	118,1	136,6	144,1	147,7	105,7	171,8
2020	113,9	111,6	96,1	127,2	123,6	118,7	137,3	147,9	144,5	156,4	128	137,8
2021	114	114,7	128,5	130,7	121,6	121,7	130	120,1				
Média	122,67	115,59	131,48	125,81	126,28	121,07	131,27	143,08	146,99	151,31	135,82	146,99

Fonte: Sunny Portal, 2021

O sistema 2 está localizado na seguinte coordenada (-3.729645,-40.992286), a tabela 11 mostra os dados de rendimento específico do sistema 2. Como é possível observar

¹ Disponível em: <https://www.sunnyportal.com/Templates/PublicPage.aspx?page=6216e1e0-7584-49d4-980b-c354fcff95d3>

alguns meses estão zerados representando algum mal funcionamento do sistema.

Tabela 11 - Rendimento específico kWh/kWp - Sistema 2 (Tianguá)¹

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2017		0,05		96	61,31	71,37	114,7	131,4				
2018	63,57	64,23	75,42	110,6	122,7	122	124,8	140,3	147,7	152,5	138,9	127,1
2019	128,2	105,9	128,6	113,3	117,1	111,8	126,5	142,6	147,3	152,6	136,4	135,7
2020	114,5	110	124,5	115,3	120,1	2,01	97,48	146,4	163,2	170,4	149,4	153,7
2021	132,6	116,3	132,6	131,1	125,6	118,3	130,8	109,2				
Média	125,11	110,73	128,56	113,26	121,35	117,37	124,21	140,19	152,72	158,49	141,57	138,83

Fonte: Sunny Portal, 2021

O sistema 3 está localizado na seguinte coordenada (-3.729884, -38.525333), a tabela 12 mostra os dados de rendimento específico do sistema 3.

Tabela 12 - Rendimento específico kWh/kWp - Sistema 3 (Fortaleza)²

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2017		0	21,64	121,8	145,6	157,4	160	179	166,9	155,9	127,7	120,9
2018	115,2	97,14	124	132,9	142	159,3	165,2	169,2	159,3	147,8	127,8	117,6
2019	113,7	95,88	102,2	105,4	137,6	156,8	162,5	173,1	155,8	153,8	132,8	123,6
2020	112,7	99,66	122,6	113,5	139,9	133,3	157,8	157	127,3	127,7	114,4	112,2
2021	104,9	99,63	98,82	118,9	135	157,8	165,6	148,8				
Média	111,60	98,08	111,89	118,49	140,02	152,90	162,22	169,56	160,68	146,29	125,71	118,57

Fonte: Sunny Portal, 2021

5.3.2 Dados de geração obtidos a partir do Atlas do Ceará

Ao entrar na plataforma do Atlas, digita-se o endereço de cada local (não é possível pesquisar um local apenas com as coordenadas). Ao ver o local selecionado, procura-se pelo gráfico de produtividade fotovoltaica a 10° de inclinação e voltado para o norte. No Atlas do Ceará os valores fornecidos são em médias diárias mensais, logo, multiplica-se o valor de cada mês pela quantidade de dias do mês correspondente.

A tabela 13 mostra os dados obtidos na localização do sistema 1, localizado em Iguatu, a tabela 14 mostra os dados do sistema 2 em Tianguá e a tabela 15 e os dados do sistema 3 em Fortaleza.

¹ Disponível em: <https://www.sunnyportal.com/Templates/PublicPage.aspx?page=0cef29df-a04e-488d-b1b8-0810fc432f8e>

² Disponível em: <https://www.sunnyportal.com/Templates/PublicPage.aspx?page=6c947f6c-cba3-4a43-b747-14c836c2ef94>

Tabela 13 - Produtividade fotovoltaica sistema 1 em kWh/kWp

Mês	Média diária	Q. de dias	Média mensal
Jan	4,168	31	129,208
Fev	3,888	28	108,864
Mar	4,216	31	130,696
Abr	4,033	30	120,990
Mai	4,120	31	127,720
Jun	3,890	30	116,700
Jul	4,274	31	132,494
Ago	4,942	31	153,202
Set	5,102	30	153,060
Out	5,186	31	160,766
Nov	4,710	30	141,300
Dez	4,433	31	137,423

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021

Tabela 14 - Produtividade fotovoltaica sistema 2 em kWh/kWp

Mês	Média diária	Q. de dias	Média mensal
Jan	3,960	31	122,760
Fev	3,638	28	101,864
Mar	4,065	31	126,015
Abr	3,821	30	114,630
Mai	4,192	31	129,952
Jun	4,138	30	124,140
Jul	4,543	31	140,833
Ago	5,124	31	158,844
Set	5,143	30	154,290
Out	5,150	31	159,650
Nov	4,618	30	138,540
Dez	4,265	31	132,215

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021

Tabela 15 - Produtividade fotovoltaica sistema 3 em kWh/kWp

Mês	Média diária	Q. de dias	Média mensal
Jan	3,960	31	122,760
Fev	3,638	28	101,864
Mar	4,065	31	126,015
Abr	3,821	30	114,630
Mai	4,192	31	129,952
Jun	4,138	30	124,140
Jul	4,543	31	140,833
Ago	5,124	31	158,844
Set	5,143	30	154,290
Out	5,150	31	159,650
Nov	4,618	30	138,540
Dez	4,265	31	132,215

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021

6 DISCUSSÃO E RESULTADOS

6.1 Análise dos dados dos terrenos 1 e 2 utilizando o Atlas do Ceará

Quando se consulta uma localidade na plataforma *on-line* do Atlas, além de mostrar os dados e gráficos, é possível baixar um arquivo no formato de tabela com todos os resultados obtidos do potencial solar e eólico. Para fazer a comparação dos dois terrenos foram construídas algumas tabelas com os dados extraídos das planilhas baixadas de cada terreno.

Tabela 16 - Comparação dos dados básicos dos terrenos

	Terreno 1	Terreno 2
Distância da capital	85 km	256 km
Altitude	21 m	345 m
Temperatura média	27,9 °C	27,6 °C
Densidade do Ar	1,16 kg/m ³	1,11 kg/m ³
Rede de 13,8 kV	0,2 km	0,0 km

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021

A partir da tabela 16 pode-se perceber que há grande diferença de altitude entre os dois terrenos o que se confirma no dado de densidade do ar, já que quanto maior a altitude menor a densidade do ar. Percebe-se também que o terreno 1 possui uma temperatura média cerca de 0,3 °C a mais em relação ao terreno 2, logo haverá uma pequena perda no terreno 1 relacionada à temperatura.

Com relação a distância à rede elétrica, como se trata de o projeto de microgeração a rede que será ligada é a de baixa tensão (220/380V), contudo o Atlas só informa a partir da rede de média tensão de 13,8 kV que seria para projetos de minigeração (acima de 75 kW). Como geralmente a rede de 13,8 kV é usada no mesmo poste onde vai a de 220/380V, podemos dizer que o terreno 2, a priori, possui a rede mais próxima facilitando a conexão do sistema com a rede da concessionária, contudo seria preciso confirmar esta informação em alguma outra fonte de dados, como o site do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), ou verificando *in loco*.

A tabela 17 apresenta uma comparação dos dados médios anuais do recurso solar nos dois terrenos. Como é possível perceber o terreno 2 possui cerca de 15% mais irradiação global comparado ao terreno 1. O terreno 2 possui cerca de 36% menos de cobertura de nuvens o que proporciona um melhor aproveitamento da luz solar. Este dado pode justificar a

irradiação difusa no terreno 2 ser menor. O terreno 2 possui ainda um índice de albedo cerca de 12% maior, o que seria de bastante relevância se o sistema que será instalado fosse de composto por módulos fotovoltaicos bifaciais, ou seja, que captam a energia solar na parte superior e na inferior do módulo.

Tabela 17 - Dados do recurso solar

	Terreno 1	Terreno 2	Diferença
Irradiação global [kWh/m ² /dia]	5,3	6,1	15,09%
Irradiação difusa [kWh/m ² /dia]	1,7	1,5	-11,76%
Irradiação direta [kWh/m ² /dia]	4,9	6,2	26,53%
Albedo [%]	17,9	20,1	12,29%
Cobertura de nuvens [%]	65,8	42,0	-36,17%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021

Na tabela 18, há uma comparação da produtividade fotovoltaica nos dois terrenos. Este dado significa a quantidade de energia gerada em kWh que cada unidade de potência do sistema em kWp irá produzir em um dia. Como é possível ver, o terreno 2 apresenta uma produtividade cerca de 15% em relação ao terreno 1, podendo chegar a 20% em alguns meses do ano. Isso quer dizer que se fosse instalado um sistema igual nos dois terrenos o terreno 2 iria gerar 15% a mais de energia.

Tabela 18 - Comparação de produtividade a 10° voltado para o norte [kWh/kWp/dia]

Mês	Terreno 1	Terreno 2	Diferença
Janeiro	3,8	4,2	10,53%
Fevereiro	3,5	3,9	11,43%
Março	3,8	4,3	13,16%
Abril	3,5	4	14,29%
Maio	3,9	4,3	10,26%
Junho	3,7	4,2	13,51%
Julho	4	4,7	17,50%
Agosto	4,6	5,3	15,22%
Setembro	4,6	5,5	19,57%
Outubro	4,6	5,5	19,57%
Novembro	4,2	4,9	16,67%
Dezembro	4	4,6	15,00%
MÉDIA	4,02	4,62	14,94%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021

Como foi observado, para abater um consumo de 5.000 kWh é preciso um sistema de 39,9 kWp no terreno 1 e um sistema de 34,9 kWp no terreno 2, ou seja, o terreno 1 precisa

de um sistema 5 kWp maior que terreno 2. Na tabela 12 tem-se uma comparação do valor de cada sistema supondo um valor por kWp constante de R\$ 4.500,00. Assim, considerando este fator, instalar o sistema no terreno 2 levaria a uma economia de cerca de R\$ 22.500,00.

Tabela 19 – Comparação de valor em cada sistema

Local	Potência	Valor do kWp	Valor do sistema
terreno 1	39,9 kWp	R\$ 4.500,00	R\$ 179.550,00
terreno 2	34,9 kWp	R\$ 4.500,00	R\$ 157.050,00

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021

6.2 Análise dos dados dos sistemas reais com os dados do Atlas

A partir dos dados de geração dos sistemas reais foram construídas as tabelas 20, 21 e 22 para cada sistema em comparação com os dados obtidos pelo Atlas do Ceará. Para cada tabela foi feita uma coluna de diferença percentual entre os dois valores.

Para o sistema 1 o valor médio obtido na plataforma ficou apenas 0,71% acima do valor de geração real. No sistema 2, o valor final foi de 1,98% acima do valor real e por fim no sistema 3 a diferença foi de 8,99% para menos. Ou seja, a diferença obtida foi muito próxima da realidade e mesmo no sistema 3 que obteve uma diferença maior, essa diferença foi para menos, o que é melhor do que ter sido para mais, pois assim a avaliação seria mais conservadora.

Esta diferença de quase 9% no sistema 3 se deve ao fato de o sistema estar possivelmente instalado em uma condição ótima. Foi possível acessar alguns dados do sistema 3, e foi possível observar que o sistema está na orientação ideal, para o norte. O que pode ter contribuído ainda para uma melhor geração pode ser por uma boa ventilação nos módulos, evitando as perdas por temperatura, e ainda, por não haver muitos obstáculos causando sombreamento.

Tabela 20 - Comparação de produtividade em kWh/kWp do sistema 1

Mês	Sistema real	Atlas do Ceará	Diferença
Jan	122,67	129,21	+5,33%
Fev	115,59	108,86	-5,82%
Mar	131,48	130,70	-0,60%
Abr	125,81	120,99	-3,83%
Mai	126,28	127,72	+1,14%
Jun	121,07	116,70	-3,61%
Jul	131,27	132,49	+0,93%
Ago	143,08	153,20	+7,07%
Set	146,99	153,06	+4,13%
Out	151,31	160,77	+6,25%
Nov	135,82	141,30	+4,03%
Dez	146,99	137,42	-6,51%
Média	133,20	134,37	+0,71%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021

Tabela 21 - Comparação de produtividade em kWh/kWp do sistema 2

Mês	Sistema real	Atlas do Ceará	Diferença
Jan	125,11	122,76	-1,88%
Fev	110,73	101,86	-8,00%
Mar	128,56	126,02	-1,98%
Abr	113,26	114,63	+1,21%
Mai	121,35	129,95	+7,09%
Jun	117,37	124,14	+5,77%
Jul	124,21	140,83	+13,38%
Ago	140,19	158,84	+13,31%
Set	152,72	154,29	+1,03%
Out	158,49	159,65	+0,73%
Nov	141,57	138,54	-2,14%
Dez	138,83	132,22	-4,76%
Média	131,03	133,64	+1,98%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021

Tabela 22 - Comparação de produtividade em kWh/kWp do sistema 3

Mês	Sistema real	Atlas do Ceará	
		Valor	Diferença
Jan	111,60	116,28	+4,19%
Fev	98,08	94,44	-3,70%
Mar	111,89	113,71	+1,63%
Abr	118,49	100,68	-15,03%
Mai	140,02	116,47	-16,82%
Jun	152,90	111,12	-27,32%
Jul	162,22	126,42	-22,07%
Ago	169,56	144,03	-15,06%
Set	160,68	138,90	-13,55%
Out	146,29	142,26	-2,76%
Nov	125,71	124,68	-0,82%
Dez	118,57	122,61	+3,41%
Média	134,67	120,97	-8,99%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021

7 CONCLUSÃO

Dessa forma, os objetivos propostos neste trabalho foram alcançados e foi possível constatar que o Atlas possui dados relevantes e confiáveis que precisam ser disseminados. Através dos dados obtidos da plataforma, foi visto que o terreno 2 possui uma capacidade de geração de energia por unidade de potência 15% maior em relação ao terreno 1. O fator de distância da rede elétrica não foi relevante, pois em ambos as redes está bastante próxima. Considerando um valor de kWp de R\$ 4.500,00, instalar no terreno 2 levaria a uma economia de R\$ 22.500,00. Esta economia poderia variar de acordo com a localização da empresa que realizaria o projeto pois haveria custos logísticos para levar o material e para a realização da instalação. Assim, a partir desta análise preliminar, o terreno 2 seria o melhor terreno para se instalar este sistema

Ao fazer o confronto dos dados de previsão de geração do Atlas com dados de geração de sistemas reais foi possível observar que nos sistemas 1 e 2 a diferença foi +0,71% e +1,98% respectivamente, no sistema 3 houve uma diferença de -9%. Logo, a ferramenta apresentou uma boa aproximação na previsão de geração de um sistema sendo uma ótima opção para empresas do setor tornem suas propostas mais confiáveis.

8 PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

Para propostas de novos trabalhos envolvendo esta ferramenta do Atlas Eólico e Solar pode-se citar as seguintes sugestões:

- a) Comparação de dados de irradiação do Atlas eólico e solar com outras plataformas utilizadas no mercado como *SunData*, *SWERA*, *PV*Sol* entre outras;
- b) Comparação dos dados de previsão de geração eólica do Atlas com dados de sistemas reais;
- c) Análise de viabilidade técnica e econômica de usinas eólica *offshore*, frente ao grande potencial de 117 GW que o Atlas aponta;
- d) A viabilidade e benefícios de empreendimentos de energia solar e eólica em áreas degradadas frente ao potencial de 190 GWp apontado pelo atlas.

REFERÊNCIAS

- ABSOLAR (São Paulo). **Infográfico ABSOLAR: energia solar fotovoltaica no brasil.** Energia solar fotovoltaica no brasil. 2021. Disponível em: <http://www.absolar.org.br/noticia/artigos-da-absolar>. Acesso em: 10 jun. 2021.
- ALDO COMPONENTES ELETRÔNICOS. **Como funciona um medidor bidirecional?** 2019. Disponível em: <https://www.aldo.com.br/blog/conheca-mais-sobre-o-medidor-bidirecional/>. Acesso em: 17 mar. 2021.
- ANEEL. **Cadernos Temáticos ANEEL Micro e Minigeração Distribuída: sistema de compensação de energia elétrica.** 2. ed. Brasília: 2016. 34 p. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/documents/656877/14913578/Caderno+tematico+Micro+e+Minigeracao+Distribuida+-+2+edicao/716e8bb2-83b8-48e9-b4c8-a66d7f655161>. Acesso em: 28 mar. 2021.
- ANEEL. **Resolução Normativa nº 687**, de 24 de novembro de 2015. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Brasília, 2015. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2020.
- AYRÃO, Vinicius. **Energia solar fotovoltaica no Brasil: conceitos, aplicações e estudo de caso.** Rio de Janeiro: Cupper Allience, 2018. 102 p.
- BALBINO, Amanda. **Estação meteorológica: como funciona e sua importância na agricultura.** 2016. Agrosmart. Disponível em: <https://agrosmart.com.br/blog/estacao-meteorologica-funciona-importancia-agricultura/#:~:>. Acesso em: 08 fev. 2021.
- CAMARGO SCHUBERT ENGENHEIROS ASSOCIADOS et al. **Atlas Eólico e Solar: Ceará.** Curitiba: Camargo Schubert; Fortaleza: ADECE, FIEC, SEBRAE, 2019. 188 p. Disponível em: <http://atlas.adece.ce.gov.br/ebook/mobile/index.html>. Acesso em: 26 maio 2020.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (Rio de Janeiro). **Matriz Energética e Elétrica.** Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 10 jun. 2020.
- FUNCEME. **Eólico e Solar do Ceará é apresentado em evento na Fiec.** 2019. Disponível em: <http://www.funceme.br/?p=6115>. Acesso em: 13 set. 2021.
- HUKSEFLUXUSA (Manorville). **Pyranometers & Solar Radiometers.** 2017. Disponível em: <http://www.huksefluxusa.com>. Acesso em 12 de jan. 2020.
- INEE. (Rio de Janeiro, Brasil). **O que é geração distribuída.** [20--?]. Disponível em: <https://www.osetoreletrico.com.br/eletricidade-e-desenvolvimento/>. Acesso em: 28 mar. 2021.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (Brasil). **INPE coordena atividades do Projeto SWERA no Brasil.** 2005. Disponível em: http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=324. Acesso em: 02 mar. 2021.

KOMEÇO. **Módulos fotovoltaicos**. 2019. Disponível em: <https://www.komeco.com.br/solucoes/modulos-fotovoltaicos/>. Acesso em: 17 mar. 2021.

LI-COR (Lincoln). **LI-200R Pyranometer**. 2018. Disponível em: <https://www.licor.com/env/products/light/pyranometer.html>. Acesso em 12 de jan. 2020.

LUEDERS, Gustavo Walther. **Estudo comparativo de performance de um sistema fotovoltaico utilizando as bases de dados solarimétrico**. 2019. 85 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/200156/TCC%20Gustavo%20Walther%20Lueders-V2.p>. Acesso em: 01 fev. 2021.

MOREIRA JÚNIOR, O.; SOUZA, C. C.; FRAINER, D. M. **Uso de diferentes bases de dados de irradiação solar na geração de energia elétrica de um sistema fotovoltaico**. Agrometeoros, Passo Fundo, v.28, e026645, 2020.

PEREIRA, Enio Bueno et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2. ed. São José dos Campos: Inpe, 2017. 88 p. Disponível em: <http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP3W34P/3PERDJE>. Acesso em: 16 jun. 2020.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio (org.). **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2014. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/downloads/livro-manual-de-engenharia-sistemas-fotovoltaicos-2014.pdf>. Acesso em: 18 maio 2020.

PLANAS, Oriol. **RADIAÇÃO SOLAR**. 2020. Disponível em: <https://pt.solar-energia.net/que-e-energia-solar/radiacao-solar>. Acesso em: 21 jul. 2020.

ROSSETTO, Maria Júlia. **Solstício e Equinócio**. [S. l.], 24 abr. 2019. Disponível em: <https://querobolsa.com.br/enem/geografia/solsticio-e-equinocio>. Acesso em: 13 jul. 2020.

SANTOS, Thuany. **Quais são os componentes de um sistema fotovoltaico?**. 2020. Disponível em: <https://www.oaenergia.com/blog/energia-solar/quais-sao-os-componentes-sistema-fotovoltaico/#:~:text=Em%20suma%2C%20os%20principais%20componentes,controladores%20de%20carga%20e%20baterias>. Acesso em: 17 mar. 2021.

SANTOS, Thuany. **Quais são os componentes de um sistema fotovoltaico?** 2020. Disponível em: <https://www.oaenergia.com/blog/energia-solar/quais-sao-os-componentes-sistema-fotovoltaico/#:~:text=Em%20suma%2C%20os%20principais%20componentes,controladores%20de%20carga%20e%20baterias>. Acesso em: 17 mar. 2021.

SAUAIA, Rodrigo Lopes. **POTENCIAL SOLAR BRASILEIRO PODERIA ATENDER DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA DE 170 BRASIS**. 2018. Disponível em: <http://absolar.org.br/noticia/noticias-externas/potencial-solar-brasileiro-poderia-atender-demanda-de-energia-eletrica-de-170-brasis.html>. Acesso em: 16 jun. 2020.

SILVA, Pedro Henrique Tronco; FLORIAN, Fabiana; PESTANA, Fernando Augusto Baptistini. **Estudo de perdas em sistemas fotovoltaicos**. 2018. 21 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de Araraquara, Araraquara, 2018. Disponível em: https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/artigo_pedrohenriquetronco_04dez2018.doc_3.pdf. Acesso em: 25 mar. 2021.

SIMONS, Paul. **World Energy Outlook 2018**: perspectivas energéticas globais a longo prazo. Rio de Janeiro: 2019. 17 slides, color. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/sala-de-imprensa/noticias/Documents/12%20April%20_%20EPE%20WEO%20launch_Clean%20\(002\).pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/sala-de-imprensa/noticias/Documents/12%20April%20_%20EPE%20WEO%20launch_Clean%20(002).pdf). Acesso em: 10 jun. 2020.

SMA SOLAR TECHNOLOGY AG (Alemanha). **Sunny Portal**. Disponível em: <https://www.sunnyportal.com/Templates/Start.aspx?ReturnUrl=%2f>. Acesso em: 25 ago. 2021.

SMA. **SUNNY TRIPOWER 25000TL-JP**. 2021. Disponível em: <https://www.sma.de/en/products/solarinverters/sunny-tripower-25000tl-jp.html>. Acesso em: 17 mar. 2021.

SUNERGIA (ed.). **Quais os componentes de um sistema solar fotovoltaico?** 2017. Disponível em: <https://sunergia.com.br/blog/quais-os-componentes-de-um-sistema-energia-solar-fotovoltaica/>. Acesso em: 17 mar. 2021.

UNITED NATIONS. **Department Of Economic And Social Affairs**. World Population Prospects 2019: highlights. New York: 2019. 46 p. Disponível em: https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf. Acesso em: 10 jun. 2020.

VAREJÃO SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Brasília: INMET, Gráfica e Editora Pax, 2001.