



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS

BRUNO FERNANDES MARTINS

**ANÁLISE DE INFLUÊNCIA DE TEMPERATURA NA ENERGIA GERADA
PELA USINA FOTOVOLTAICA DA UFERSA – PAU DOS FERROS**

PAU DOS FERROS

2020

BRUNO FERNANDES MARTINS

**ANÁLISE DE INFLUÊNCIA DE TEMPERATURA NA ENERGIA GERADA
PELA USINA FOTOVOLTAICA DA UFERSA – PAU DOS FERROS**

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

Orientador: Francisco Carlos Gurgel da Silva
Segundo, Prof. Dr.

PAU DOS FERROS

2020

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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central Orlando Teixeira (BCOT)
Setor de Informação e Referência (SIR)

M379a MARTINS, BRUNO FERNANDES. ANÁLISE DE INFLUÊNCIA DE TEMPERATURA NA ENERGIA GERADA PELA USINA FOTOVOLTAICA DA UFERSA - PAU DOS FERROS / BRUNO FERNANDES MARTINS. - 2020. 40 f. : il. Orientador: Francisco Carlos Gurgel da Silva Segundo. Coorientador: Cecílio Martins de Sousa Neto. Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e Tecnologia, 2020. 1. Energia renovável. 2. Geração distribuída. 3. Radiação solar. 4. Eficiência solar. 5. Fotovoltaico. I. Segundo, Francisco Carlos Gurgel da Silva, orient. II. Neto, Cecílio Martins de Sousa, co-orient. III. Título.

Bibliotecário-Documentalista
Nome do profissional, Bib. Me. (CRB-15/10.000)

BRUNO FERNANDES MARTINS

**ANÁLISE DE INFLUÊNCIA DE TEMPERATURA NA ENERGIA GERADA
PELA USINA FOTOVOLTAICA DA UFERSA – PAU DOS FERROS**

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

Defendida em: 07 / 02 / 2020.

BANCA EXAMINADORA

Francisco Carlos Gurgel da Silva Segundo

Francisco Carlos Gurgel da Silva Segundo, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Cecílio Martins de Sousa Neto

Cecílio Martins de Sousa Neto, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Ádller de Oliveira Guimarães

Ádller de Oliveira Guimarães, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

*Dedico esse trabalho ao
meu pai que não está
presente para presenciar
esse momento.*

*Dedico esse trabalho também
as duas pessoas que foram as
peças-chaves dessa caminhada,
minha mãe e minha irmã.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me proporcionar muita força, sabedoria, inteligência, paciência, fé e muita persistência, sem o senhor eu sei o que seria, a Nossa Senhora Aparecida a minha protetora. E agradeço a mim mesmo, pois sempre expôs o meu melhor, mediante as dificuldades enfrentadas no decorrer do curso.

Agradeço a razão da minha vida, minha mãe (Ozita) que sempre acreditou em mim, e nunca desistiu de está comigo, independentemente da situação que nos se encontrássemos, dedico esse trabalho a dona de toda essa luta, te amo mãe.

Agradeço também à minha irmãzinha (Bruna) que foi umas das peças chaves pra conseguir vencer essa luta, afinal sem você seria muito ruim estudar sozinho, valeu “doido” por sempre acreditar no meu potencial e vamos caminhar sempre juntos nessa carreira estudantil, que venha não só, e sim muitas conquistas ao seu lado e ao lado da nossa mãe.

Agradeço meu pai (Odenir) que me proporcionou a vida, e apesar dele não se encontrar aqui presente nesse plano, pai aquelas palavras (“...filho de pobre só tem o direito de trabalhar.”), ou seja, essas palavras me serve e me serviram como inspiração pra minha vida diária, enfim, obrigado mais uma vez pai e sei que o senhor onde estiver vai estar muito orgulhoso da pessoa que sou e vou me tornar, e sei que onde quer que esteja sempre vai estar com aquele sorriso estampado no rosto, só queria o senhor presente nesse momento importante da minha vida, porém nem sempre as coisas são como planejamos, “Eu sofro, mais eu entendo.”.

Quero ser grato pelo orientador Prof. Francisco Carlos Gurgel da Silva Segundo que me ajudou bastante no desenvolvimento desse trabalho e sempre me impulsionou a ser uma pessoa melhor mediante as dificuldades.

Agradeço a Banca Examinadora por analisar meus erros e poder acrescentar onde posso melhorar, vocês contribuem para o meu crescimento.

Jamais poderia esquecer da minha Família (minha vó Regina, meu avô Zé Melquiades, meu tio Geraldo, enfim aquelas pessoas que me ajudaram diretamente e indiretamente), aos meus amigos que são também minha Família, em especial (Arianne,

Cleanto, Alexandre, Arimateia, Rita da xerox...), são muitos, até mesmo aqueles que se afastaram no decorrer dessa caminhada, jamais vou esquecer dos nossos momentos bons.

Agradeço aos Prof. Dr. Ernandes Matos e Dr. Glaydson Barros que tiveram a grande disponibilidade de abrir algumas disciplinas para construção dessa carreira, e obrigado mais uma vez por todo conhecimento passado.

Ao Prof. Dr. Hidalyn Theodory que me ajudou e aconselhou não só na reta final e sim desde o início dessa jornada.

Agradeço a prefeitura da minha cidade (Iracema) por proporcionar um ônibus que nos leva e traz até a universidade, aos motoristas e entre outros.

EVANGELISTA, você sempre será especial pra minha pessoa.

Por fim, quero agradecer a UFERSA por fazer parte dessa minha história, e aos funcionários contidos nela.

Adrenalina todo mundo quer, agora a realidade todos fogem dela.

Bruno Fernandes Martins

RESUMO

A energia solar, a qual é proveniente dos raios do sol, é uma fonte de energia bastante utilizada para a geração de energia elétrica. O avanço da tecnologia e a busca pela diminuição dos impactos ambientais são fatores motivantes para a crescente demanda para instalação de sistemas de geração fotovoltaicas. O investimento nesse setor ainda é muito pouco em relação ao Brasil, tem muitos países que tem um alto índice de investimento nesse setor, no caso a China, mas estudos apontam que nesses últimos anos há uma faixa de crescimento na instalação de sistemas fotovoltaicos. Dessa forma, o presente trabalho tem o objetivo de realizar uma análise comparativa da geração de energia por meio do sistema fotovoltaico da UFERSA Campus Pau dos Ferros com a radiação incidente e a temperatura no módulo do sistema. Os resultados obtidos demonstraram que além da relação com a radiação solar, a temperatura no módulo influencia na geração solar fotovoltaica.

Palavras-chave: Energia renovável. Geração distribuída. Radiação solar. Eficiência solar. Fotovoltaico.

ABSTRACT

Solar energy, which comes from the sun's rays, is a widely used energy source for generating electricity. The advancement of technology and the search for the reduction of environmental impacts are motivating factors for the growing demand for installation of photovoltaic generation systems. Investment in this sector is still very low in relation to Brazil, there are many countries that have a high rate of investment in this sector, in this case China, but studies show that in the last few years there has been a range of growth in the installation of photovoltaic systems. Thus, the present work has the objective of carrying out a comparative analysis of the generation of energy through the photovoltaic system of UFERSA Campus Pau dos Ferros with incident radiation and the temperature in the system module. The results obtained demonstrated that in addition to the relationship with solar radiation, the temperature in the module influences the photovoltaic solar generation.

Keywords: Renewable energy. Distributed generation. Solar radiation. Solar efficiency. Photovoltaic.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.2. Objetivos Específicos	16
1.3. Descrição dos Capítulos	17
2. REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1. A Energia Solar	18
2.2. Radiação Solar	19
2.3. Sistemas fotovoltaicos	20
2.3.1. Sistemas isolados	20
2.3.2. Sistema híbridos	23
2.3.3. Sistemas conectados à rede	24
2.4. Módulos fotovoltaicos	25
3. MATERIAIS E METODOS	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	37

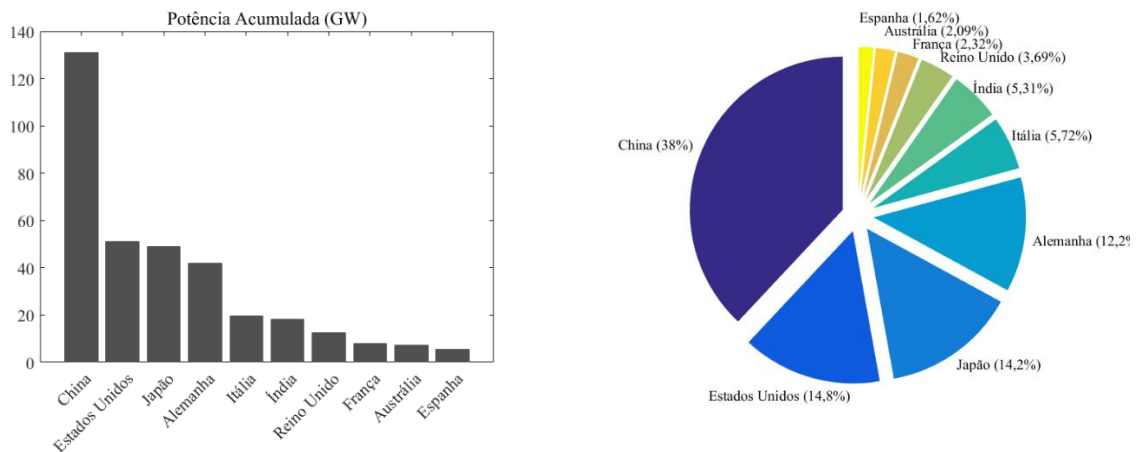
1. INTRODUÇÃO

A energia solar, como o próprio nome diz, depende exclusivamente da energia proveniente dos raios solares, isso ocorre devido a dois efeitos que são eles, o efeito termoelétrico e o efeito fotovoltaico, e a partir desses dois efeitos surge dois parâmetros, um e a diferença de potencial devido a junção de dois metais e outro são os fótons de luz que está integrado nos raios solares e consequente é convertido em energia elétrica (ANEEL, 2000).

No ano de 1839, o grande físico francês Alexandre Edmond Becquerel fez um experimento com eletrodo que observou o efeito fotovoltaico, e o mesmo ficou conhecido como o pai da energia solar. E a sua primeira utilidade da energia solar foi no século VII a.C, que usavam materiais de vidro para fabricação de lupas para focalizara luz em um único ponto, e assim ascender fogueiras (FONTES, 2019).

Com o avanço da tecnologia e a necessidade de novas energias renováveis, a geração de energia solar no mundo vem evoluindo e se tornando uma das principais opções da produção da eletricidade. Os grandes setores de energia solar vêm se transformando constantemente em todo o mundo. Dados recentes apontam um significativo aumento no que diz respeito ao mercado financeiro da produção de energia solar. Com base nos dados publicados pela Aneel, no ano de 2016, o Brasil cresceu cerca de 407% o número de microgeradores de energia solar, isso na maioria dos casos sendo instalados em residências. As previsões que a Aneel disponibiliza é que no ano de 2024 um total de 886,7 mil unidades consumidoras. Vale salientar que esse alto crescimento da energia solar fotovoltaica decorre na redução dos valores dos painéis solares (DINO, 2018).

O Brasil possui um excelente potencial para produção de energia através do sol. O estado do Nordeste se destaca com índice de radiação solar de 200 a 250 W/m², com isso coloca a região com maior potência gerada do mundo (MARQUES *et al.*, 2019). Embora com grande potencial, a produção nacional ainda não chega aos patamares de geração de outros países, como China, Estados Unidos e Japão que se destacam como os três países que lideram o mundo em potência acumulada. A Figura 1 ilustra os dez países que possuem maior potência acumulada no mundo (SNAPSHOT OF GLOBAL PV MARKETS, IEA PVPS, 2018).

Figura 1: Potência acumulada nos 10 países de maior produção solar

a) Potência acumulada nos 10 países de maior produção de Energia Solar

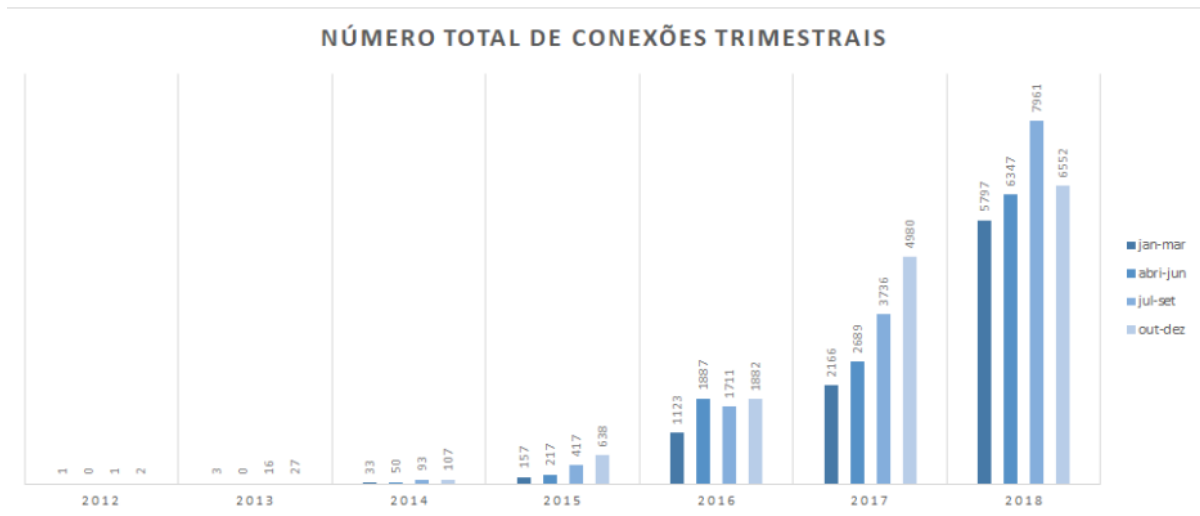
b) Representação em percentual de cada potência gerada.

Fonte: (SNAPSHOT OF GLOBAL PV MARKETS, IEA PVPS, 2020.)

A China desponta como maior potência na produção de energia solar com 131 GW de potência acumulada, representando 38% entre os 10 países. Enquanto a Espanha representa 1,62% entre os 10 países, com 5,6 GW. Com esses dados e o potencial solar brasileiro, percebe-se que a tendência de crescimento nessa área será enorme. Com base nos dados recentes, o setor de energia solar no Brasil bateu recorde de potência instalada, ultrapassando os 2 GW de potência no mês de janeiro de 2020 (ABSOLAR, 2020).

A quantidade de sistemas de geração distribuída de energia solar fotovoltaica no Brasil representa 99,8% da geração distribuída no país. Em números, os consumidores residenciais representam 72,6% de sistemas fotovoltaicos instalados, 18% setores de comércio e serviços, 6,2% de consumidores rurais, 2,7% para as indústrias e o restante se divide em poder e serviços públicos, iluminação pública etc (ABSOLAR, 2020).

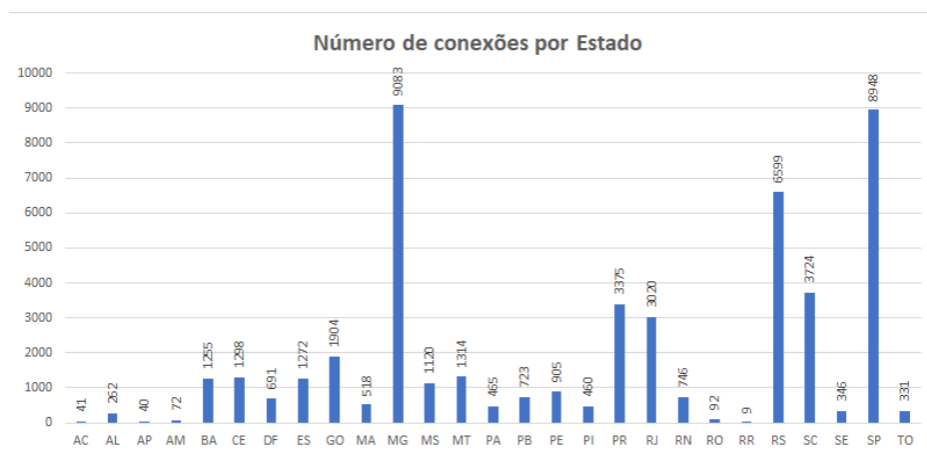
A Figura 2 representa o aumento das conexões de sistemas fotovoltaicos a cada trimestre do ano entre 2012 e 2018.

Figura 2: Número total de conexões a cada trimestre.

Fonte: (COLAFERRO, 2018).

A partir da Figura 2, pode-se perceber um aumento entre o final de 2015 e 2016 e, a partir daí, houve um aumento crescente na quantidade de sistemas conectados. Somente no ano de 2018 foram instalados 26.657 sistemas, sendo a maior quantidade acumulada entre todos os anos.

No Brasil, os estados de Minas Gerais, Rio Grande do Sul e São Paulo são os que se destacam na produção nacional, conforme Figura 3.

Figura 3: Conexões instaladas de cada estado no Brasil

Fonte: (COLAFERRO, 2018).

O Rio Grande do Norte sendo um estado do Nordeste que possui um excelente índice solar, e que o mesmo, necessita também de um maior financiamento no setor energético, logo, há carência no espaço de geração de eletricidade, que seja produzida por meio de fonte

alternativas de energia (energia solar, energia eólica). No ano de 2019, o Rio Grande do Norte cresceu cerca de 175% no setor de energia solar, e com futuras previsões pra 2040 e que o próprio estado represente cerca de 32% da matriz energética do Brasil, sabendo que o investimento foi satisfatório com base na economia que gera anualmente (MINASOL, 2019).

O intuito da geração de energia solar, vem proporcionando a redução da poluição, que visa também uma solução ecológica para todos nós. Mesmo sendo uma fonte de produção energética não deixa de causar alguns impactos ambientais, agora com base nas outras fontes de energia como, energia eólica, energia nuclear e entre outras, a energia solar se torna a menos que causadora de danos a natureza, porém com uma certa desvantagens, pois nem toda população brasileira pode adquirir o sistema fotovoltaico, pois custo ainda se torna cada vez mais inviável pra algumas pessoas.

Com todo esse desenvolvimento solar e potencial do Rio Grande do Norte, a Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), realizou a instalação de sete usinas solares fotovoltaicas, distribuídas entre o Campus Central, em Mossoró, com quatro usinas (Mossoró I – 3,43 kWp; Mossoró II – 150,8 kWp; Mossoró III – 15,6 kWp; Mossoró IV – 147 kWp), uma em Angicos (62,5 kWp), uma em Caraúbas (62,5 kWp) e uma em Pau dos Ferros (62,7 kWp). Essa última será a fonte de estudo do presente trabalho.

Com a instalação da usina no Campus de Pau dos Ferros, surgiu a seguinte indagação: Como está a potência gerada pelo sistema? Será que a temperatura nos módulos afeta na geração da energia?

Na seção seguinte são apresentados os objetivos e o que será apresentado durante este trabalho.

1.1. Objetivo Geral

Realizar o estudo comparativo da incidência solar, potência gerada e temperatura dos módulos com a produção de energia elétrica da usina fotovoltaica da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) Campus Pau dos Ferros.

1.2. Objetivos Específicos

- Descrever o sistema fotovoltaico da UFERSA Campus Pau dos Ferros;
- Realizar o levantamento da radiação solar e potência gerada nos últimos 30 dias;

- Realizar a captura de temperatura em um módulo e comparar com a potência gerada.

1.3. Descrição dos Capítulos

No Capítulo 2 será realizado um levantamento bibliográfico a cerca da energia solar fotovoltaica, tipos de sistemas e alguns componentes de um sistema fotovoltaico.

No Capítulo 3 é realizado uma descrição da usina solar fotovoltaica da UFERSA, Campus Pau dos Ferros, como também, como foi realizada a captação da temperatura em um módulo do sistema solar fotovoltaico.

No Capítulo 4 são apresentados os resultados e discussões do trabalho.

No Capítulo 5 encontra-se a conclusão do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

No Capítulo 6, as referências bibliográficas utilizadas neste trabalho.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste Capítulo, é abordado a fundamentação teórica sobre assuntos relacionado ao tema e os objetivos propostos desta pesquisa.

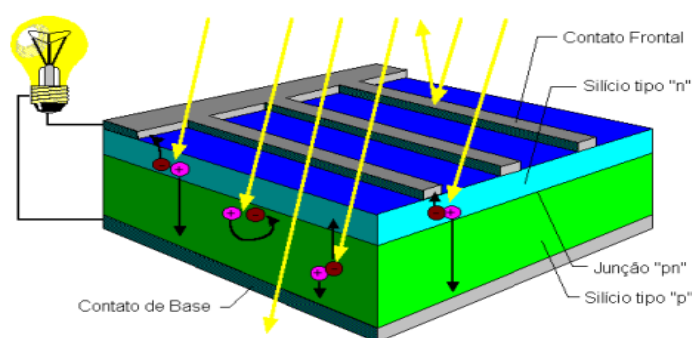
2.1. A Energia Solar

O sol sendo uma fonte energética utilizada para produção de energia elétrica, consiste em uma conversão direta de fótons de luz solar em eletricidade, devido um efeito solar remoto, foi usado por Arquimedes nas antigas civilizações para atacar uma frota de inimigos, onde o mesmo utilizou grandes espelhos, e assim sendo direcionado a uma frota de inimigos em 212 a.C. A aplicabilidade da energia solar foi muito usada por grandes cientistas da época, como aquecer um metal usando um espelho e entre outros.

Segundo Gómez *et al.* (2018), “a energia solar está diretamente relacionada com os processos químicos, físicos e biológicos, ou seja, está associada com a vida na Terra”. A energia solar está diretamente associada com a luz emitida do sol, onde incorpora o âmbito da vida do ser humano e da própria natureza, tendo em vista que quanto maior for essa radiação propícia do sol, maior será a energia gerada.

O processo dessa transformação é dado pelos fótons de luz que incide nas placas solares, utilizando o princípio fotoelétrico e o fotovoltaico fazendo assim a excitação das cargas elétricas, e a partir dessa excitação, faz com que elas se movimentem e gerem uma corrente, ou seja, é o processo inverso da produção de luz em um LED. É importante ressaltar que o material mais usado para a conversão, é o silício. A Figura 4 ilustra o princípio de funcionamento e a estrutura das placas.

Figura 4: Princípio de funcionamento das placas e sua estrutura.



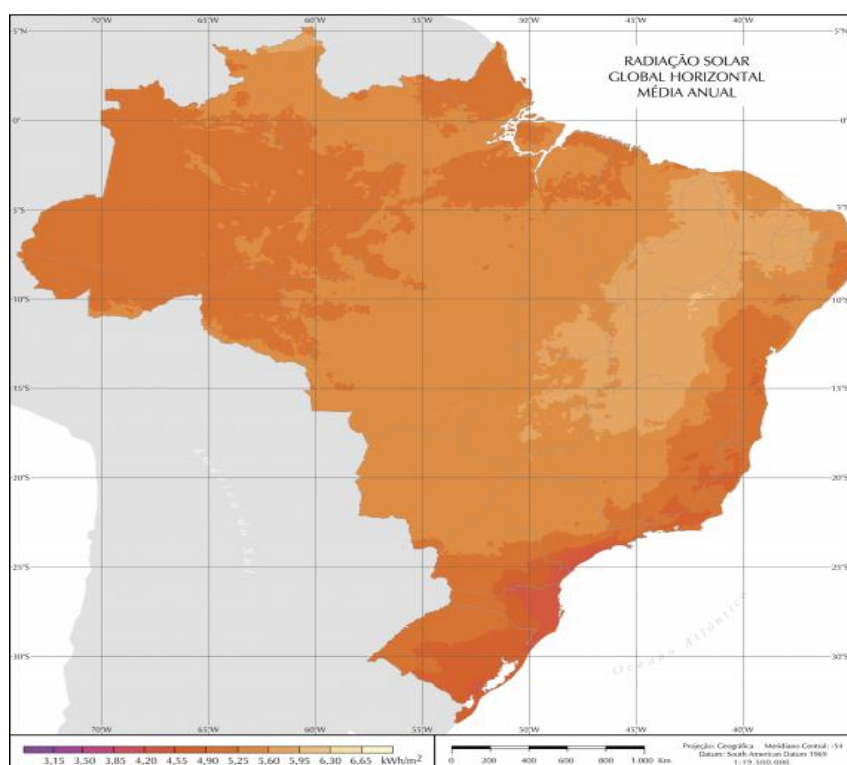
Fonte: (CRESESB, 2019)

A conversão que a Figura 4 ilustra é o princípio de conversão dos fótons de luz que são emitidos sobre as células, que a partir da junção PN vai existir um fluxo de elétrons. O elemento responsável pelo processo de geração de energia elétrica, é a célula onde a mesma gera corrente contínua, que foram absorvidas pelos filamentos dos próprios condutores (SOLAR, 2017). Portanto, a radiação solar, é um fator de suma importância para o processo de conversão da energia solar fotovoltaica em energia elétrica.

2.2. Radiação Solar

A radiação solar, na verdade, é a energia emitida em nosso meio, que tem o sol como principal fonte. A luz proveniente do mesmo, chega na Terra de uma forma direta ou indireta, e sua finalidade existe tanto no crescimento dos seres vivos como na forma de aproveitamento, visto a partir de conversão, isso sendo que a produção de energia solar fotovoltaica depende fortemente da radiação solar. A Figura 5 ilustra a irradiação solar no Brasil.

Figura 5: Mapa brasileiro de radiação solar incidente no Brasil.



Fonte: (PEREIRA et al., 2006)

A Figura 5 ilustra uma média anual de radiação global. A partir da mesma, pode-se perceber que mesmo com climas divergentes em nosso país, é possível observar que existe uma média parcialmente alta, dando uma ênfase ao estado do Nordeste que possui um valor máximo de 6,5kWh/m²; dando ênfase ao estado Bahia e também na fronteira com estado Piauí (PEREIRA *et al.*, 2016).

A partir da Figura 5, pode-se visualizar um potencial enorme do Nordeste na geração de energia solar fotovoltaica proveniente do sol por meio dos sistemas fotovoltaicos. A seção seguinte apresenta os tipos de sistemas fotovoltaicos e alguns equipamentos necessários.

2.3. Sistemas fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos (SFV) podem ser classificados em três formas: isolados, híbrido e conectado à rede. Esses sistemas necessitam de uma unidade de controle que possa converter em unidades de potência, e também em unidade de armazenamento (CRESESB, 2006).

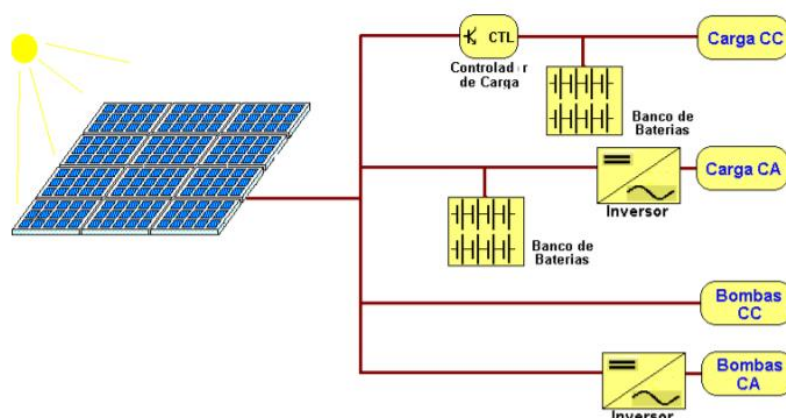
A necessidade de uma fonte energética depende da situação em que ela vai ser empregada, sendo que existe requisitos que acompanhe o projeto inicial, com alguns fatores que pode afetar diretamente na aplicação do sistema (PINHO, 2014).

2.3.1. Sistemas isolados

Como o próprio nome já diz, esses sistemas isolados (SFI) necessitam de unidades de armazenamento, que o mesmo precisa de baterias isso quando se fala em questão de usar aparelhos eletrodomésticos, ou seja, a corrente de alimentação desses aparelhos tem que ser corrente alternada (AC), e alimentação das baterias que acumula cargas tem que ser corrente contínua (CC) que no caso, a corrente que vem diretamente da fonte geradora que são os painéis fotovoltaicos. Com isso, no caso desses sistemas o mesmo necessita de unidade de controle também, senão assim o uso de inversores de frequências e controladores de cargas.

Em alguns casos, o sistema isolado não necessita de armazenamento como por exemplo em unidades rurais existem sistemas de irrigações que são alimentados pelo mesmo. Onde a água que foi bombeada é consumida ou enviada pra grandes reservatórios (CRESESB, 2006). A Figura 7 demonstra o diagrama de sistemas isolados.

Figura 6: Diagrama de sistema fotovoltaicos.



Fonte: (CRESESB, 2006)

A partir da Figura 6, alguns equipamentos são necessários nesse sistema, tais como: controlador de carga, banco de baterias e o inversor.

Os controladores de cargas, de acordo Pinho *et al.* (2014) “Controladores de cargas são incluídos na maioria dos SFI com objetivo de proteger a bateria (ou banco de baterias) contra cargas e descargas excessivas, aumentando a sua vida útil”. Os controladores de cargas têm função especial quando se fala em armazenamento de energia, que seu principal papel no sistema é controlar sobrecargas e descargas das baterias. Em muitos sistemas, os controladores de cargas têm que ser muito bem dimensionados, porque será de acordo com as baterias que vai ser usadas no sistema.

Ainda segundo Pinho *et al.* (2014) “Os controladores devem desconectar o gerador fotovoltaicos quando a bateria atingir a carga plena e interromper o fornecimento de energia quando o estado de carga da bateria atingir um nível mínimo de segurança”. Mesmo sabendo que os controladores tem vários dispositivos de proteção, em determinado momento o mesmo abre o circuito fazendo com que assim as baterias não se aqueçam para manter sua vida útil de acordo com a fabricação especificada. Vale lembrar que existe vários tipos de controladores de cargas, porém ficará a critério do próprio profissional que vai fazer a instalação do sistema, se acordo com os parâmetros que o projeto foi feito.

O banco de baterias, de acordo com Pinho *et al.* (2014) uma bateria “é um dispositivo eletroquímico que converte energia química em energia elétrica e vice-versa”. As baterias são dispositivos que acumula diferença de potenciais devido a suas reações químicas nela contida, e são empregadas em sistemas que necessitam de armazenamento de energia.

Segundo Villalva (2012) “Existem muitos tipos de baterias elétricas, sendo que as baterias de chumbo ácido as mais conhecidas e utilizadas”. São várias especificações das mesmas, em que depende do fabricante, porém existe uma certa utilização da bateria de

chumbo ácido, devido ela ser seladas, ou seja, não têm como inserir ou retirar soluções químicas. Mas, também elas podem ser abertas no intuito de fazer manutenção da mesma. Vale lembrar que tem uma infinidade de tipos de baterias, algumas mais caras que as outras com vida útil prolongada e entre os aspectos.

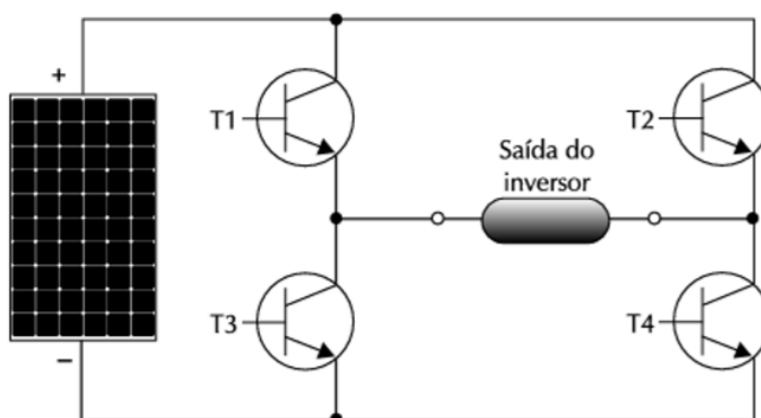
E os inversores, de acordo com Villalva (2012), “O inversor é necessário nos sistemas fotovoltaicos para alimentar consumidores em corrente alternada a partir da energia elétrica da corrente contínua produzida pelo painel fotovoltaico ou armazenada na bateria”. Os inversores tem finalidade de converter as frequências e seu princípio de funcionalidade é de acordo com circuito eletrônico, e nele está contido transistores para fazer seu papel no sistema. Os nossos aparelhos eletrodomésticos são alimentados em corrente alternada que estão ligados diretamente da rede, no caso onde tem sistema fotovoltaicos é necessário de um inversor CC-CA.

Por ser um equipamento indispensável em um sistema fotovoltaico, abaixo será descrito o princípio de funcionamento de um inversor.

O princípio de funcionamento dos inversores de frequência se dar por componentes eletrônicos contido no mesmo, onde basicamente existem quatro transistores que podem estar em forma de condução, ou em forma de não condução, para emitir tensões e correntes que vem diretamente dos módulos para saídas dos inversores (VILLALVA, 2012).

A figura 10 mostra basicamente o circuito dos inversores.

Figura 10: Circuitos eletrônico de inversor CC-CA.



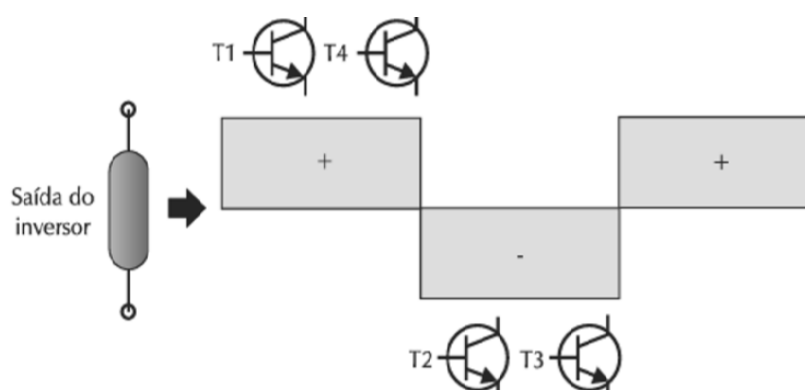
Fonte: (VILLALVA, 2012)

A forma de onda que sairá do próprio inversor será uma forma de onda quadrada, isso após passar por esses componentes eletrônicos que está contido no circuito, sendo que dois

desses transistores vão conduzir no semiciclo positivo no caso T1 e T4, e T2 e T3 vão conduzir no semiciclo negativo. Logo vai existir dois tipos de sentidos do fluxo de correntes, devido a polarização está invertida dos transistores.

A figura 11 mostra a forma de onda após ser invertida, mostrando assim os dois semiciclos.

Figura 11: Resposta final após a saída do inversor.



Fonte: (VILLALVA, 2012)

Por questão de curiosidade, na Figura 11 demonstra a saída do inversor de frequência, com onda quadradas isso sabendo que o circuito se torna mais complexo, e na Figura 10 é uma simples demonstração de um circuito de um inversor de frequência, porém, os inversores tem circuitos mais complexos.

Nas seções seguintes são apresentados os sistemas híbridos e o conectado à rede elétrica, a qual é o tipo de sistema instalado na UFERSA Campus Pau dos Ferros.

2.3.2. Sistema híbridos

Esses sistemas podem ser associados com outras fontes energéticas como, turbinas eólicas, geração diesel e módulos fotovoltaicos. Vale ressaltar que o mesmo pode ser conectado à rede ou isolados, isso sabendo que o grau de complexidades aumenta devido ter várias fontes em sintonia, tendo em vista que em alguns casos necessita de controle para otimização e a eficiência da energia gerada que vai usada pelo o usuário. As aplicações desses

sistemas, são em grandes portes devido a esse grau de complexidade com análise de cada caso (CRESESB, 2006). Na Figura 7 está ilustrado o sistema híbrido.

Figura 7: Demonstração de um sistema híbrido.



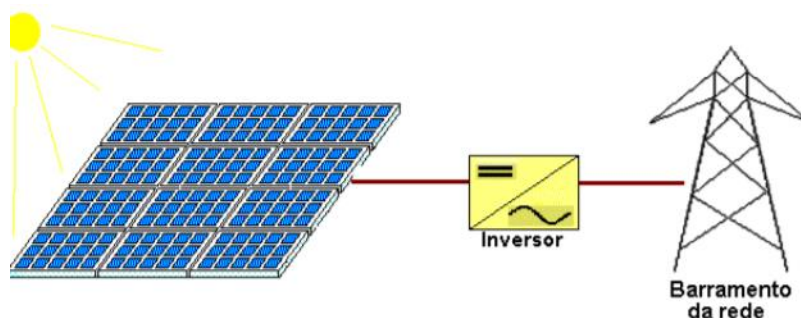
Fonte: (CRESESB, 2006)

Nesses sistemas em alguns casos necessitam de controladores de cargas que vai ter o acúmulo de tensão (bancos de baterias) e inversores para utilidades dos usuários.

2.3.3. Sistemas conectados à rede

Sistemas interligados a rede é uma forma de complementar o sistema elétrico que existe naquela localidade de grandes portes, onde o mesmo utiliza grandes números de painéis fotovoltaicos. A saída dos painéis é conectada ao inversor de frequência pra inverter a corrente contínua (CC) que vem dos módulos, em corrente alternadas (CA) que está em sintonia com a mesma da rede. Vale ressaltar que o mesmo não necessita de bancos de baterias porque não existe acúmulo de tensão, sendo inviável o uso de controlador de cargas. A Figura 9 ilustra um sistema conectado à rede.

Figura 8: Sistema conectado à rede.



Fonte: (CRESESB, 2006)

Pela ilustração da Figura 8, pode-se perceber que o sistema conectado à rede é o mais simples, pois basicamente há necessidade apenas do inversor de tensão para fazer a conversão de corrente contínua para corrente alternada.

A partir do exposto, percebe-se que o painel fotovoltaico é o principal componente no sistema, pois o mesmo é o transdutor do sistema. Dessa forma, na seção seguinte será dada uma atenção especial aos módulos fotovoltaicos.

2.4. Módulos fotovoltaicos

Os módulos fotovoltaicos são os transdutores que, a partir da energia solar incidente, gera-se a energia elétrica. Nos últimos anos, a tecnologia e o material utilizado na confecção do módulo fez com que esses obtivessem melhores eficiências.

A estrutura dos materiais usados na fabricação dos painéis solares são: células fotovoltaicas; vidro especial; filme encapsulante (EVA); *backsheet*; caixa de junção e moldura de alumínio (SOLAR, 21-?).

A Figura 9 ilustra detalhadamente os materiais que compõem os painéis solares.

Figura 9: Componentes usados na composição dos painéis solares.



Fonte: (ABREU, 2019)

As 36 células que formam o módulo é produzida por lâminas de silício cristalino. Essa produção deu-se a partir do avanço da eletrônica, e pela tecnologia BSF (*Back Surface Field*), assim melhorando que os fótons de baixa carga que atinge as células. A Figura 10 ilustra a tabela das eficiências dos painéis solares.

Figura 10: Eficiência das placas.

eficiência	percentual do total de painéis produzidos	de uma forma simples
$\geq 18\%$	~ 10%	OS PAINÉIS MAIS EFICIENTES
17-17.9%	~ 30%	ACIMA DA MÉDIA DE EFICIÊNCIA
16-16.9%	~ 30%	EFICIÊNCIA OK
15-15.9%	~ 20%	ABAIXO DA MÉDIA DE EFICIÊNCIA
$< 15.0\%$	~ 10%	OS PAINÉIS MENOS EFICIENTES

Fonte: (PORTAL, 21-?)

Atualmente, no mercado o rendimento é na faixa de 17 a 19 %, porém, estudo recentes apontam que na Suíça conseguiram fabricar painéis com rendimento cerca de 29 %, a partir de novos modelos de sistemas ópticos visíveis que concentra a luz solar em uma única célula (CICLOVIVO, 2019).

Um dos problemas que a tecnologia das placas solares enfrenta, é a eficiência da mesma. Elas funcionam com uma eficiência muito baixa, e tem que estar em constante manutenção, como por exemplo, manter as placas solares limpas, a sua conexão também pode influenciar, com isso gera uma discrepância na saliência da energia captada.

O grau de desenvolvimento de eficiência das placas solares está em um processo muito lento, isso se deve permanecer até que apareça uma nova forma de produção das células fotovoltaicas, e uma forma de baratear e ficar um preço acessível para todos (TREVELIN, 2014).

Segundo Pinho *et al.* (2014) ressalta que a eficiência do módulo não deve ser utilizada como indicador de qualidade do mesmo. Um dos aspectos externos que podem influenciar nas eficiências dos módulos é como os mesmos são compostos, a sua durabilidade, entre outros. Na tabela 1 são apresentadas as diversidades dos materiais usados na fabricação dos módulos.

Tabela 1: Tipos de painéis solares.

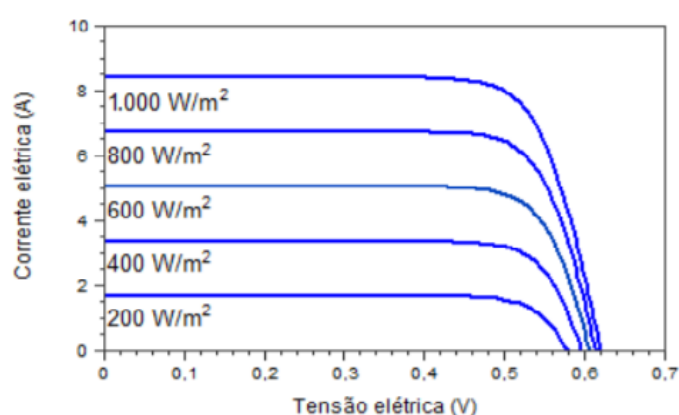
Tecnologia	Potência/Área (Wp/m²)
Silício monocristalino	150
Silício policristalino	135
Silício amorfo	85
Disseleneto de Cobre-Índio	100
Telureto de Cádmio	110

Fonte: (PINHO *et al.*, 2014)

Conforme observado na Tabela 1, a tecnologia de Silício monocristalino é a que possui maior relação potência/área com 150 Wp/m². Nas seções seguintes, serão abordados dois fatores que serão analisados no trabalho, a radiação solar e a temperatura.

2.6 A radiação solar e sua influência

Uns dos fatores que influênciam diretamente no desempenho dos módulos será mencionado nesse tópico, assim tem-se na Figura 11 a qual ilustra a corrente crescendo linearmente de acordo com a incidência solar, e a tensão crescendo de forma logarítmica, sabendo que a temperatura é fixa, no caso, 25 °C.

Figura 11: Curva característica I-V quando a temperatura é fixada em 25 °C.

Fonte: (PINHO *et al.*, 2014)

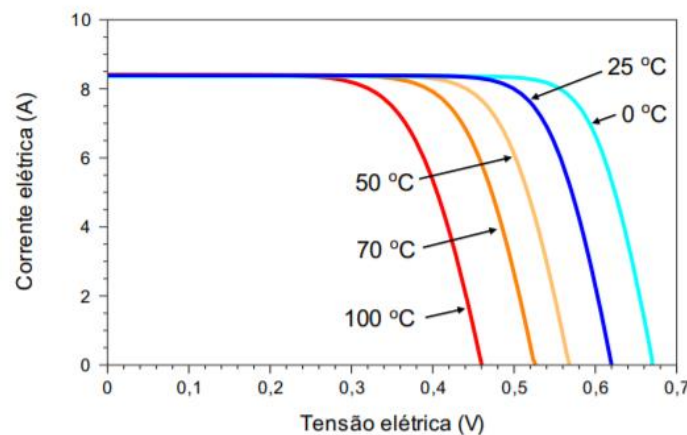
Analisando o gráfico anterior, onde um painel que recebe 1000 W/m² de irradiância solar e, que sua produção seja de 240 W, caso o mesmo tenha a metade da constante solar para uma intensidade luminosa durante o dia, visto que sua geração depende exclusivamente das condições mencionadas anteriormente (SOLARPRIME, 2019).

2.6.2 Influência da temperatura

Um dos maiores fatores que podem ocasionar variações nas eficiências dos módulos, será a temperatura, em que pode-se ver que quanto maior for a temperatura menos eficiente serão os módulos, logo sua produção cai. Mesmo sabendo que a tensão nos módulos será afetada diretamente enquanto que a corrente vai se manter quase constante, e como já mencionado anteriormente a eficiência cai devido o superaquecimento das células (PINHO et al., 2014).

A Figura 12 ilustra o que foi mencionado.

Figura 12: Influência da temperatura nas células.



Fonte: (PINHO et al., 2014)

A influência das alterações da irradiância solar incidente e da temperatura do meio, pode afetar diretamente no processo das células fotovoltaicas e, visto que o gráfico aborda algumas temperaturas com um decaimento quase desprezível da corrente, sendo que a mesma se mantém constante até um certo intervalo, e à medida que a temperatura aumenta a tensão diminui de modo considerável (PINHO et al., 2014).

3. MATERIAIS E METODOS

A pesquisa deste trabalho foi realizada na usina solar fotovoltaica instalada na UFERSA, Campus Pau dos Ferros. A usina foi instalada no mês de novembro de 2018 e inaugurada em 14 de Junho de 2019 e possui uma potência instalada de 62,7 kWp. Estima-se que a mesma represente 20,7% do consumo do Campus. Na Figura 13, pode-se visualizar a usina solar fotovoltaica do Campus Pau Dos Ferros, a qual foi utilizada para o desenvolvimento dessa pesquisa.

Figura 13: Usina solar fotovoltaica da UFERSA Campus Pau dos Ferros.



Fonte: (Autor, 2020)

A Figura 13 demonstra os painéis solares a partir da sua inclinação, segundo dados da UFERSA, a sua localização da longitude é 06° 06' 21" S, e a sua altitude é 036° 36' 56" W, a usina é composta de 190 módulos. Na Tabela 2, consta a ficha técnica da mesma.

Tabela 2: Dados da usina solar Campus Pau dos Ferros.

Tipo	Solar fotovoltaica
Número de módulos	190
Fabricante e modelo dos módulos	Trina Solar DUOMAX Dual Glass 72-Cell module 330 W
Potência de pico dos módulos (Wp)	330
Potência de pico total (kWp)	62,7
Área do arranjo (m²)	372,4

Azimute	339°
Ângulo de inclinação	10°
Tipo de instalação do arranjo	Em solo

Fonte: (USINA UFERSA, 2020)

Por ser um sistema do tipo conectado à rede, a usina é composta basicamente dos módulos fotovoltaicos, inversores e dispositivos de proteção e manobra. Na Figura 14, pode-se visualizar os três inversores utilizados na usina. A partir dos inversores, a saída é em corrente alternada e o sistema é trifásico.

Figura 14: Inversores da usina Campus Pau dos Ferros.



Fonte: (AUTOR, 2020)

Na Tabela 3, há informações a respeito dos inversores.

Tabela 3: Dados dos inversores da usina do Campus Pau dos Ferros.

Tipo	Conectado à rede
Número de inversores	2+1
Fabricante e modelo	SMA Sunny Tripower 25000TL (2 unidades) + 15000TL (1 unidade)
Potência de pico dos módulos (Wp)	330
Potência (kW)	2x25 + 1x15
Tensão de operação (Vca)	380 f-f

Fonte: (USINA SOLAR, 2020)

A partir dos inversores, há uma conexão via sistema que emite a quantidade de energia gerada, o qual pode ser acessado pelo seguinte endereço eletrônico:

<https://www.sunnyportal.com/Templates/PublicPage.aspx?page=f2a1cbbc-a69b-4b22-abe4-857cdb4388ba>. Nesse portal foram extraídas as informações de potência gerada da usina.

Além da usina, existe uma estação meteorológica próximo a mesma que capta dados como a velocidade do vento, radiação solar, temperatura, umidade etc. A estação meteorológica pode ser vista na Figura 15.

Figura 15: Estação meteorológica do Campus Pau dos Ferros.

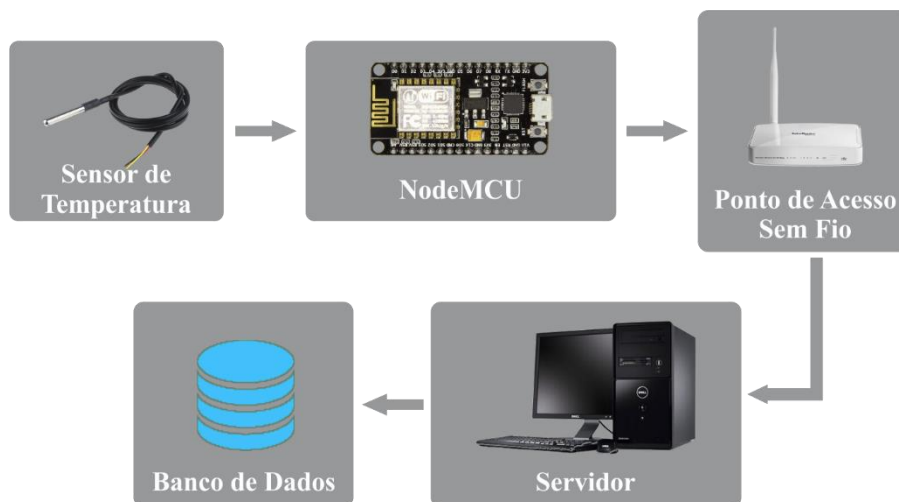


Fonte: (AUTOR, 2020)

Os dados da radiação solar utilizados neste trabalho foram captados pela estação meteorológica e foram disponibilizados pela comissão responsável pela mesma, conforme portaria UFERSA/GAB N° 0727/2019 de 13 de Novembro de 2019.

Para captação da temperatura, foi instalado um sensor de temperatura DS18B20 que pode medir temperatura entre -55°C e 125°C. Esse sensor foi instalado apenas em um módulo. Por sua vez, o sensor estava conectado a uma placa NodeMCU que realizava a leitura da tensão no sensor e enviava via rede sem fio para um computador servidor e este computava o dado colhido em um banco de dados. A Figura 16 ilustra como era realizado a captação da temperatura.

Figura 16: Sistema de captação de temperatura no módulo.



Fonte: (AUTOR, 2020)

Esse sistema foi desenvolvido no trabalho de conclusão de curso do discente Francisco Vinícius Lopes Costa (COSTA, 2019).

Os dados foram coletados entre 10 de Dezembro de 2019 e 15 de Janeiro de 2020, com intervalo de leitura de 1 em 1 minuto. Na Figura 17, pode-se visualizar o sensor fixado no módulo fotovoltaico.

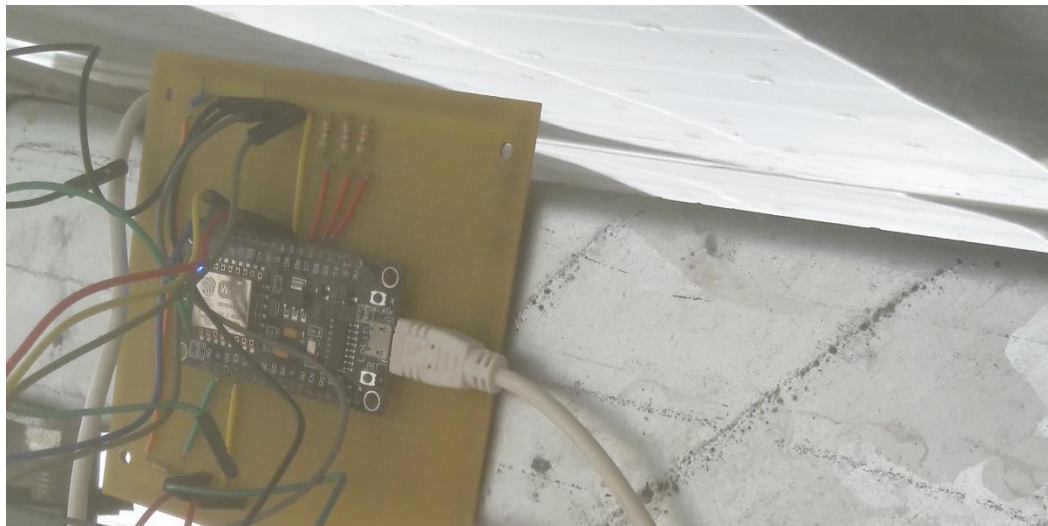
Figura 17: Sensor de Temperatura fixo no módulo.



Fonte: (AUTOR, 2020)

Na Figura 18, a placa confeccionada com o NodeMCU pode ser vista. Esta placa foi fixada na estrutura de fixação dos módulos fotovoltaicos.

Figura 18: NodeMCU conectado ao sensor de temperatura



Fonte: (AUTOR, 2020)

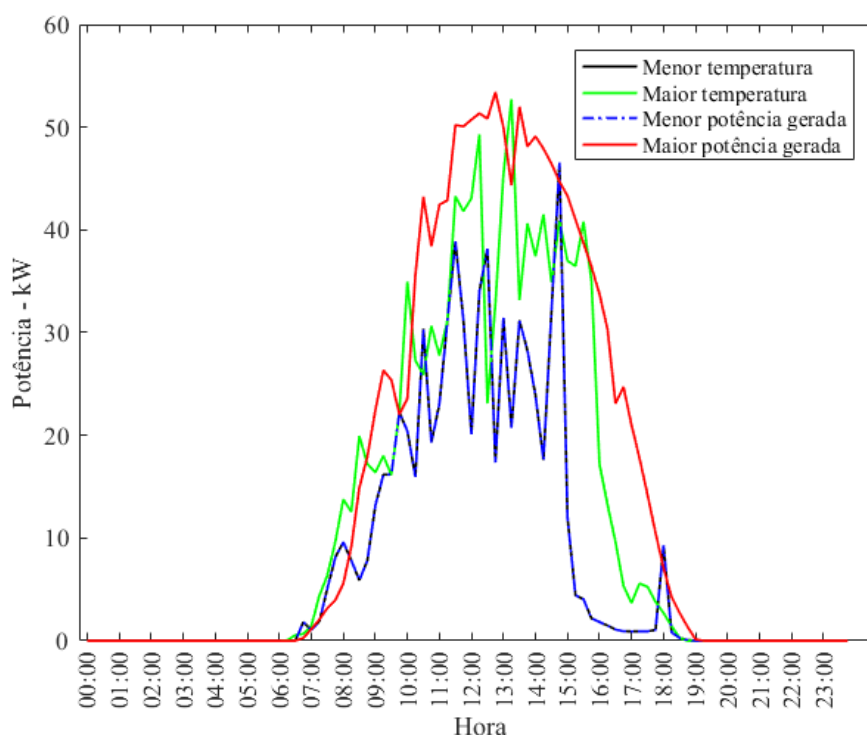
A partir dos dados coletados, foram realizadas análises que serão apresentadas no Capítulo 4.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos dados coletados entre 10 de Dezembro de 2018 e 15 de Janeiro de 2020 da potência gerada, radiação solar e temperatura nos módulos, buscou-se analisar os dados a partir do seguinte critério: dia de menor temperatura registrado pelo sensor de temperatura, dia de menor temperatura registrado pelo sensor de temperatura, dia de menor potência gerada e dia de maior potência gerada pelo sistema.

Todos os dados gerados foram analisados utilizando um *software* matemático em que pode-se plotar os gráficos de potência gerada, temperatura no módulo e radiação global. Na Figura 19, estão dispostas as curvas de potência gerada com relação ao dia de menor temperatura captada no módulo, maior temperatura captada no módulo, o dia de menor potência gerada e o dia de maior potência gerada no período considerado.

Figura 19: Potência gerada pela usina.



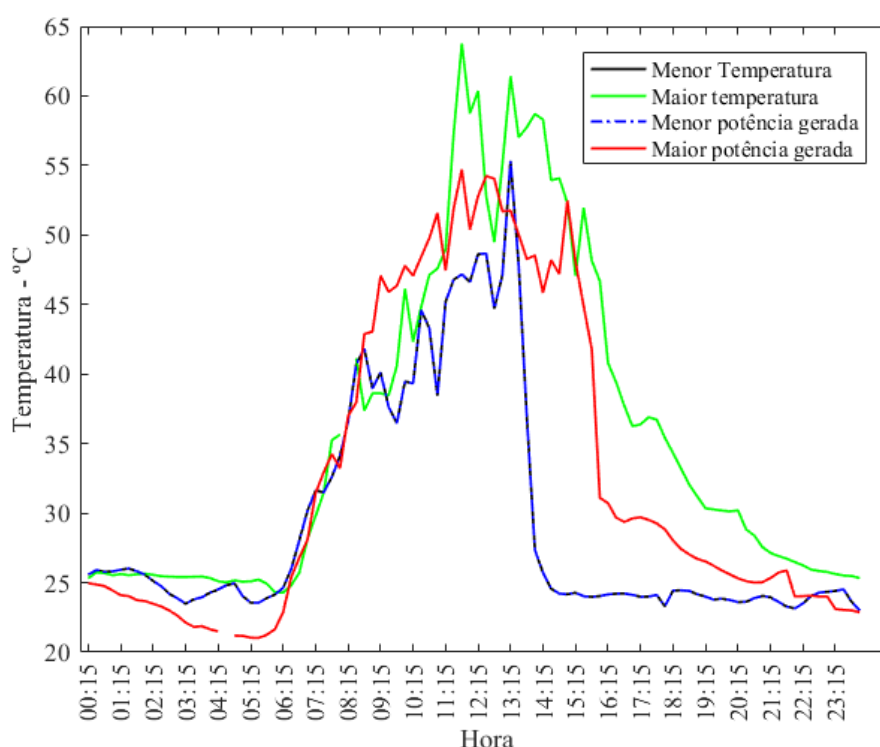
Fonte: (AUTOR, 2020)

Pela Figura 19 é possível observar que o dia de maior potência gerada, 11 de Janeiro de 2020, obteve um valor de pico acima de 50 kW em torno de meio dia. Já o dia de menor potência gerada, 08 de Janeiro de 2020, é justamente o dia de menor temperatura captado no módulo fotovoltaico. A partir dos resultados pode-se perceber que houve uma concordância

do dia de menor temperatura com o dia de menor potência gerada, porém, o dia de maior potência gerada não foi o dia de maior temperatura captado no módulo. Isso mostra que o aumento da temperatura pode influenciar diretamente no rendimento do módulo. No dia de maior potência gerada, o rendimento total foi de 355,004 kWh, no dia de maior temperatura registrada, foi de 278,641 kWh.

Na Figura 20, pode-se ver a evolução da temperatura captada no módulo.

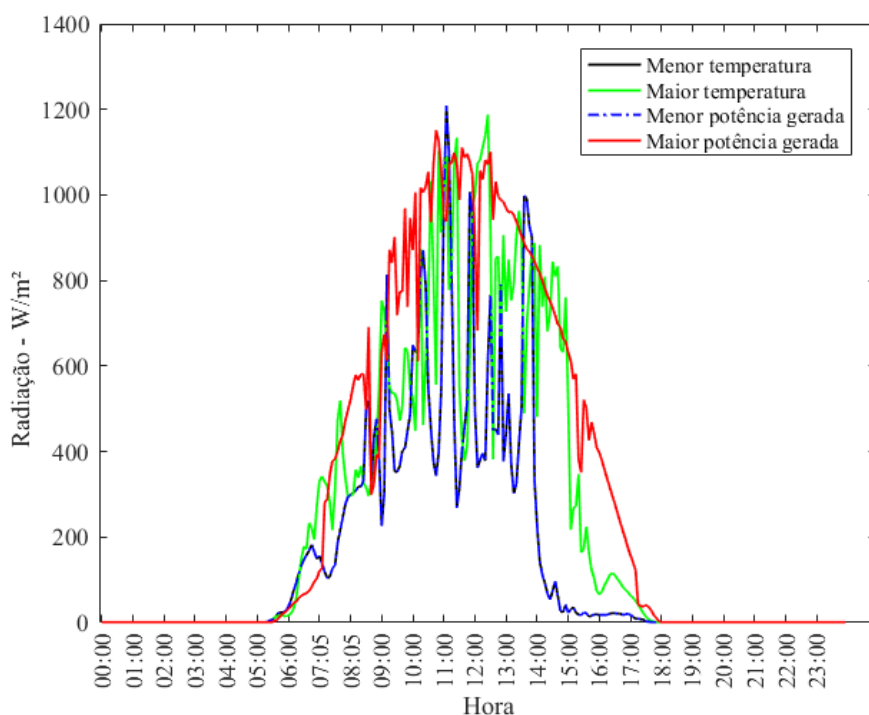
Figura 20: Temperatura captada no módulo.



Fonte: (AUTOR, 2020)

A partir da Figura 20, pode-se perceber que o dia de maior temperatura, 03 de Janeiro de 2020, houve um pico acima de 63°C. E no dia de maior potência gerada, a temperatura máxima registrada foi em torno de 55°C. Pelo exposto, pode-se perceber que o sistema possui um maior rendimento com temperatura em torno de 50°C.

Na Figura 21, estão representados os dados de radiação global levando em consideração os dias de menores e maiores temperaturas registradas no módulo, maior e menor potência gerada.

Figura 21: Radiação global.

Fonte: (AUTOR, 2020)

Pela Figura 21, pode-se perceber que na maior potência gerada, houve maiores índices de radiação solar durante mais horas do dia. Mas, pode-se perceber que a curva de radiação no dia de maior temperatura se aproxima do dia de maior potência gerada, porém a diferença do rendimento da geração nesses dias é de 76,363 kWh.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O intuito dessa pesquisa foi realizar uma análise comparativa entre a temperatura registrada no módulo e a radiação solar incidente, levando-se em consideração o dia de maior temperatura registrada no módulo fotovoltaico, o dia de menor temperatura registrada no módulo fotovoltaico e dos dias de maiores e menores potências registradas. Com objetivo de analisar o impacto da temperatura no módulo.

A partir dos resultados expostos, pode-se perceber que a radiação solar está diretamente ligada a produção de energia elétrica, mas também a temperatura no módulo afeta diretamente o rendimento do sistema.

Uma boa geração de energia elétrica não depende só dos equipamentos que forma todo o sistema, e sim da própria temperatura que as placas estão recebendo de toda forma, o índice de radiação solar pode afetar diretamente na produção de energia solar, onde o mesmo é visto que quanto maior é o índice, maior será a produção de energia onde na verdade isso não acontece, pode existir outros fatores externos que pode afetar a produção, como por exemplo a poeira em cima das placas fotovoltaicas, o excesso de temperatura como já foi mencionado anteriormente e entre outros.

Para trabalhos futuros, pode-se analisar esses dados levando em consideração um ano e não somente praticamente um mês como realizado. Outra sugestão seria realizar o estudo em outras áreas do Brasil.

REFERÊNCIAS

ABREU, Jeferson. **Energia Solar Residencial: Por que Você Deveria Pensar em Utilizar.** 2019. Disponível em: <<https://www.codonoticias.com.br/2019/09/energia-solar-residencial-por-que-voce-deveria-pensar-em-utilizar/>>. Acesso em: 09 jan. 2020.

ALVES, Dennys Lopes. **Geração Solar Fotovoltaica.** [S.L.]. Disponível em: <file:///C:/Users/bruni/Downloads/Apostila_Geracao_Solar_Fotovoltaica_Versao_0.9.1%20IF.pdf>. Acesso em: 07 jan. 2020.

ANEEL,. **ENERGIA SOLAR.** Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em : <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf)>. Acesso em: Setembro de 2019. Atlas.

BORTIGNON, Simone. **Painéis Solares.** 2011-2019. Disponível em: <<https://www.mpptsolar.com/pt/paineis-solares-em-paralelo.html>>. Acesso em: 23 dez. 2019.

BRAUN-GRABOLLE, PRISCILA. **A integração de sistemas solares fotovoltaica em larga escala no sistema elétrico de distribuição urbana.** Orientador: Ricardo Rüther. 2010. 260 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

CICLOVIVO. **Suíços criam painel solar com 29% de eficiência e batem recorde.** 2019. Disponível em: <<https://ciclovivo.com.br/planeta/energia/suico-recorde-painel-solar-eficiencia/>>. Acesso em: 25 jan. 2020.

COLAFERRO, Luis. **Energia solar no Brasil: Um panorama pra [Você] entender tudo.** 2018. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/energia-solar-no-brasil-panorama/>>. Acesso em: 02 jan. 2020.

COSTA, Francisco Vinícius Lopes. **Sistema de Monitoramento da Qualidade de Água para a Piscicultura.** Orientador: Francisco Carlos Gurgel da Silva Segundo, 2019, Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência e Tecnologia - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros, 2019.

CRESESB,. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. **Energia Solar Princípios e Aplicações.** 2006.

DINO. **Energia solar cresce 407% em um ano, impulsionada por painéis em residências instalados no Brasil.** 2018. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/negocios/dino/energia-solar-cresce-407-em-um-ano-impulsionada-por-paineis-em-residencias-instalados-no-brasil/>>. Acesso em: 25 jan. 2020. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf>.

ENERGIA, Solstício. **COMO FUNCIONA UMA CÉLULA FOTOVOLTAICA?** 2017. Disponível em: <<https://www.solsticioenergia.com/2017/08/17/como-funciona-celula-fotovoltaica/>>. Acesso em: 25 jan. 2020.

PEREIRA, Enio Bueno et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 1. ed. São José dos Campos: [s. n.], 2006. Atlas.

FONTES, Ruy. **Origem da Energia Solar: Uma Breve História Do Sol Como Fonte Energética do Mundo**. 2019. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/origem-da-energia-solar/>>. Acesso em: 30 jan. 2020.

GÓMEZ, J.M. Rodríguez et al. **A irradiância solar: conceitos básicos**, [S. l.], ano 2018, v. 40, n. 3, p. 1-12, 11 dez. 2018.

MARQUES, Rubéria Caminha Marques; KRAUTER, Stefan C. W. Krauter; LIMA, Lutero C. de Lima. **Energia solar fotovoltaica e perspectivas de autonomia energética para o nordeste brasileiro**, [S. l.], v. 30, ed. 2, p. 153-162, 2009.

MINASOL. **Geração de energia solar cresce 175% no RN**. 2019. Disponível em: <<https://www.minasolpaineis.com.br/noticias/2019/12/11/geracao-de-energia-solar-cresce-175-no-rn/>>. Acesso em: 06 jan. 2020.

PEREIRA, Enio Bueno et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 1. ed. São José dos Campos: [s. n.], 2006. Atlas.

PINHO, João Tavares et al. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: [S.l.], 2014.

SOLAR, Blue Sol Energia. **Energia Solar Como Funciona? Entenda de Forma Simples e Direta**. 2017. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/energia-solar-como-funciona/>>. Acesso em: 25 jan. 2020.

SOLAR, **Energia Solar passo a passo - Do orçamento a instalação.**, [S.l.], ed. [S.l.] [201-]. Disponível em: <<http://nossabh.org.br/midias/Portal-Solar-E-book.pdf>>.

Acesso em: 3 out. 2019.

SOLAR, Portal. **Energia Solar Fotovoltaica**. [S.L.]. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/energia-fotovoltaica.html>>. Acesso em: 25 jan. 2020.

SOLAR, Portal. **Passo a Passo da Fabricação do Painel Solar**. [S.L.]. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/passo-a-passo-da-fabricacao-do-painel-solar.html>>. Acesso em: 09 jan. 2020.

SOLAR, Portal. **Tudo sobre a Eficiência do Painel Solar**. [S.L.]. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/tudo-sobre-a-eficiencia-do-painel-solar.html>>. Acesso em: 25 jan. 2020.

SULTHERM. **Energia Fotovoltaica**. Disponível em: <<https://www.sultherm.com/formas-funcionamento---fotovoltaica>>. Acesso em: 25 jan. 2020.

TREVELIN, Felipe Camargo. **Estudo Comparativo Entre Métodos de Rastreamento Solar Aplicados a Sistemas Fotovoltaico.**, São Carlos, p. 1-67, 2014 2014.

VIDA, Escola da (Org.). **Inversores de Frequencia - Descrição de Funcionamento**. [2019?]. Disponível em: <http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/planejamento_12009/Inversores_de_Frequencia.pdf>. Acesso em: 26 dez. 2019.

VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia Solar Fotovoltaica: conceitos e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Érika, 2012. 228 p. Disponível em: <<file:///C:/Users/Downloads/Livro%20de%20energia%20solar%20fotovoltaica%20-%20conceito%20e%20aplica%C3%A7%C3%B5es.pdf>>. Acesso em: 25 dez. 2019.