

ANÁLISE DO IMPACTO DOS ÍNDICES PLUVIOMÉTRICOS EM USINAS DE GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA: DADOS DE GERAÇÃO E ÍNDICES METEOROLÓGICOS REAIS DO RN

Emanuela Pereira da Silva – emanuela.pereira@escolar.ifrn.edu.br

Instituto Federal do Rio Grande do Norte, Campus Natal Central

Anna Beatrys Barbosa Ferreira

Instituto Federal do Rio Grande do Norte, Campus Natal Central

Rafael Nunes de Almeida Prado

Instituto Federal do Rio Grande do Norte, Campus Natal Central

Rayssa Silva da Trindade

Instituto Federal do Rio Grande do Norte, Campus Natal Central

Resumo. Este projeto propõe analisar o impacto dos índices pluviométricos na geração de energia solar fotovoltaica em duas usinas instaladas no Rio Grande do Norte, Brasil. Além de observar a eficiência das placas fotovoltaicas em condições reais de operação, comparando os dados de geração com os índices meteorológicos fornecidos pelo ICEA (Instituto de Controle do Espaço Aéreo) e o INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). O estudo utiliza dados de geração e precipitação de um período de oito meses, de outubro de 2022 a maio de 2023, e considera fatores como potência instalada e a potência do inversor de frequência. Os resultados mostram que há uma relação inversamente proporcional entre a quantidade de chuva e a capacidade de gerar energia solar, sendo que os meses mais chuvosos apresentaram uma queda na produção de energia em relação aos meses mais secos, através do cálculo da correlação obtivemos essa confirmação, mostrando que há uma correlação negativa entre os dados de geração e precipitação no mesmo período. Essa análise permitirá identificar as principais causas de perdas de eficiência e fornecer subsídios para aprimorar o desenvolvimento e a implementação de usinas de energia solar fotovoltaicas mais competentes e sustentáveis, destacando a importância de considerar as condições reais de operação para uma avaliação mais precisa do desempenho das usinas fotovoltaicas.

Palavras-chave: Energia Solar, Índice Pluviométrico, Geração.

1. INTRODUÇÃO

O presente projeto apresenta uma análise comparativa de usinas de geração de energia solar fotovoltaicas em instalações reais. As usinas foram instaladas por diferentes fabricantes de módulos e inversores, e foram submetidas a condições de clima. Os dados foram coletados de forma anônima em residências de Natal/RN e Macaíba/RN, na plataforma SOLARZ.

A crescente transição energética e o interesse cada vez maior em fontes renováveis enfatizam a importância da energia solar fotovoltaica por ser uma alternativa viável e sustentável. As placas fotovoltaicas são os principais componentes dos sistemas de geração de energia solar, e sua eficiência é um fator determinante para a maximização da produção de eletricidade.

De acordo com a Associação de Normas Técnicas (ABNT) e das Comissões de Estudo Especiais (ABNT/CEE), a norma ABNT/CEE-253 define módulo fotovoltaico como unidade básica formada por um conjunto de células fotovoltaicas interligadas eletricamente e encapsuladas, com o objetivo de gerar energia elétrica (ABNT, 2023).

No Brasil a ANEEL prevê que em 2023:

A expansão na matriz de geração seja de 10,3 gigawatts (GW) de capacidade instalada. A ANEEL prevê a entrada em operação comercial de 298 projetos em 2023. A estimativa da Agência é de que as usinas solares centralizadas e eólicas (fontes renováveis de energia) responderão por mais de 90% da ampliação na capacidade de geração do Brasil, com destaque para os estados da Bahia, do Rio Grande do Norte e de Minas Gerais, que respondem juntos por mais de 70% da expansão planejada. Somente a Bahia, segundo a ANEEL, deve incrementar sua capacidade instalada em mais de 3 GW no período, um aumento de quase 20% na matriz elétrica do estado. (ANEEL, 2023).

O uso de fontes renováveis de energia, principalmente fotovoltaica, tem-se tornado uma ferramenta fundamental no campo da produção mais limpa, ajudando a promover o desenvolvimento sustentável em diversos setores, inclusive na agricultura, tornando-se uma oportunidade de impulso para o setor. (IDROBO-PACHECO et al., 2021). O Rio Grande do Norte possui um grande potencial para a produção energia solar, conforme informações do jornal Tribuna do

Norte, a capacidade de produção anual do Estado é de 213 TWh por ano, em cálculo baseado em 10% das áreas aptas, excluindo áreas urbanas e outros usos e considerando apenas terrenos planos e ondulados.

No entanto, muitas vezes há discrepâncias entre a eficiência real das usinas e os dados nominais fornecidos pelos fabricantes de seus componentes. Portanto, é crucial realizar estudos comparativos para avaliar a eficiência das usinas em condições reais de operações.

A integração da tecnologia fotovoltaica (PV) em ambientes urbanos coloca novos desafios para o projeto de módulos fotovoltaicos. Em particular, a fraca tolerância ao sombreamento dos módulos fotovoltaicos convencionais limita fortemente o desempenho energético dos sistemas fotovoltaicos urbanos (CALCABRINI, 2022).

A pesquisa conduzida por Santos et al. (2017), compara a eficiência de módulos fotovoltaicos em diferentes condições climáticas brasileiras. O aspecto positivo é que ele aborda a variação da eficiência dos módulos em diferentes climas, o que é importante para entender o desempenho em diversas regiões do Brasil. No entanto, um ponto negativo é que o estudo pode não cobrir todas as condições climáticas presentes no país.

Em um estudo realizado por Barbosa et al. (2018), é avaliada a eficiência de sistemas fotovoltaicos em residências populares no Brasil. O ponto positivo é que ele se concentra em um setor específico e fornece informações relevantes sobre o desempenho dos sistemas em residências populares. No entanto, um ponto negativo é que o estudo pode não abranger outras categorias de residências ou setores.

Este estudo tem como objetivo analisar a eficiência de usinas de geração de energia solar fotovoltaicas sob condições reais de operação e promover melhorias para avaliar a eficiência real das usinas. A determinação do impacto das chuvas e sombreamentos por nuvens na perda de eficiência das usinas serão possibilitadas por essa análise.

A realização dessa análise é justificada pela necessidade de avaliar a eficiência das usinas de geração solar fotovoltaicas em condições reais de operação, avaliando os índices pluviométricos e a eficiência das usinas nos períodos seco, sem chuva. Essa análise permitirá fornecer subsídios para aprimorar o desenvolvimento e a implementação de usinas de energia solar fotovoltaicas mais competentes e sustentáveis. Além disso, o estudo contribuirá para o avanço do conhecimento científico e tecnológico no campo da energia solar fotovoltaica, promovendo a disseminação de práticas mais eficientes e a otimização do uso dessa fonte de energia renovável.

2. METODOLOGIA

O método utilizado consiste em obter dados de geração e precipitação e realizar uma comparação entre eles. Essa comparação visa identificar a relação entre a produção de energia e o regime de chuvas.

2.1 Coleta de dados de clientes reais

A coleta de dados de clientes reais foi realizada por meio de parcerias com empresas que possuam instalações fotovoltaicas em funcionamento. Foram obtidos dados sobre as placas fotovoltaicas, como fabricante, modelo, características técnicas, datas de instalação, entre outros. Os dados de geração de energia elétrica foram coletados pelos inversores de frequência instalados nas usinas, que medem a potência gerada diariamente do sistema fotovoltaico e enviam essas informações para o sistema de monitoramento do cliente.

2.2 Coleta de dados pluviométricos: comparação de geração x precipitação

A coleta de dados pluviométricos foi realizada por meio de fontes oficiais, como o Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA) e o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Foram obtidos dados sobre a precipitação total horária (mm) nas localidades de São Gonçalo do Amarante/RN (cidade próxima de Macaíba/RN) e Natal/RN. Assim, foi possível comparar os dados de geração de energia elétrica das usinas, a fim de avaliar o impacto das chuvas na eficiência das usinas fotovoltaicas.

2.3 Análise da eficiência das usinas fotovoltaicas

Um período de oito meses, de outubro de 2022 a maio de 2023 foi selecionado para ambas as usinas. Posto isso, foram submetidas as seguintes métricas: desvio padrão, média e correlação entre os valores. Ainda, ao observar os gráficos de índice pluviométrico e de geração de energia de cada usina buscou-se a eficiência real das usinas.

3. DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

3.1 Dados de precipitação nas usinas solares fotovoltaicas

Um dos desafios para a geração de energia solar fotovoltaica é a variação da radiação solar ao longo do ano, especialmente em regiões com alta pluviosidade. No período de maior índice pluviométrico os dados de geração de energia capturados pelos painéis solares tendem a diminuir, afetando a eficiência da usina. Por isso, é importante

realizar um estudo prévio das condições climáticas e da demanda energética da região, bem como adotar medidas de manutenção e monitoramento dos equipamentos, para garantir o melhor aproveitamento da energia solar fotovoltaica.

Dados de precipitação usina solar fotovoltaica 1 – Macaíba/RN. A quantidade de dados de precipitação no período de geração da Usina 1, capturados por mês, foram coletados pelo ICEA (Instituto de Controle do Espaço Aéreo), que tem como finalidade realizar estudos e pesquisas no âmbito do Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro. A pesquisa do produto CLIMAER, que expõe dados de superfície das variáveis: CGT (Condição Geral do Tempo), Nuvem, Precipitação, Pressão, RVR (Alcance Visual de Pista), Temperatura, Teto, Vento e Visibilidade. Porém, nessa pesquisa inicial, considerou-se o banco de dados de precipitação na localidade: SBSG - aeroporto internacional de Natal, São Gonçalo do Amarante/RN. O motivo da escolha dessa localidade foi pela proximidade da localização da Usina 1 e da cidade de Macaíba/RN, que não dispõe de monitoramento de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro nessa plataforma de produto em questão.

Em vista do exposto, o levantamento de dados revela a seguinte quantidade de informações coletadas mensalmente como se apresentam na Tab. 1:

Tabela 1 – Dados de precipitação mensal e da quantidade de dados coletados pelo posto de coleta de precipitação no período: 18/10/2022 – 18/05/2023.

Mês/Ano	Quantidade de dados coletados pelo posto por mês	Precipitação Mensal (mm)
out/22	332	10,2
nov/22	724	9,6
dez/22	737	20,1
jan/23	752	45
fev/23	679	15,8
mar/23	786	222,5
abr/23	736	118,9
mai/23	442	8,3

Observou-se algumas inconsistências nos dados do sensor do ICAE, pois havia registros de chuva por determinados horários, mas a tabela de precipitação não mostrava esses dados para as mesmas datas e horários.

O mês com maior precipitação, conforme mostrado no gráfico da Fig.1, é o mês de março, seguido pelo mês de abril. Esses valores podem ter algumas variações devido a erros de sensores ou falta de medição provenientes do ICAE do produto da CLIMAER. No entanto, eles são consistentes com a tendência sazonal observada na região. Nesse período de maior índice pluviométrico, também houve um aumento na quantidade de dados coletados.

Os dados coletados na pesquisa sobre a precipitação nos meses de janeiro, fevereiro, março e abril de 2023 indicaram que a média diária de chuva desses meses, excluindo os dias sem chuva (0 mm), foram: janeiro = 3,8 mm, fevereiro = 2,6 mm, março = 12,43 mm e abril = 9,1 mm.

Apresenta-se os seguintes gráficos pluviométricos do mês de março e abril pertencentes ao período decidido da Usina 1 na Fig.1 e 2:

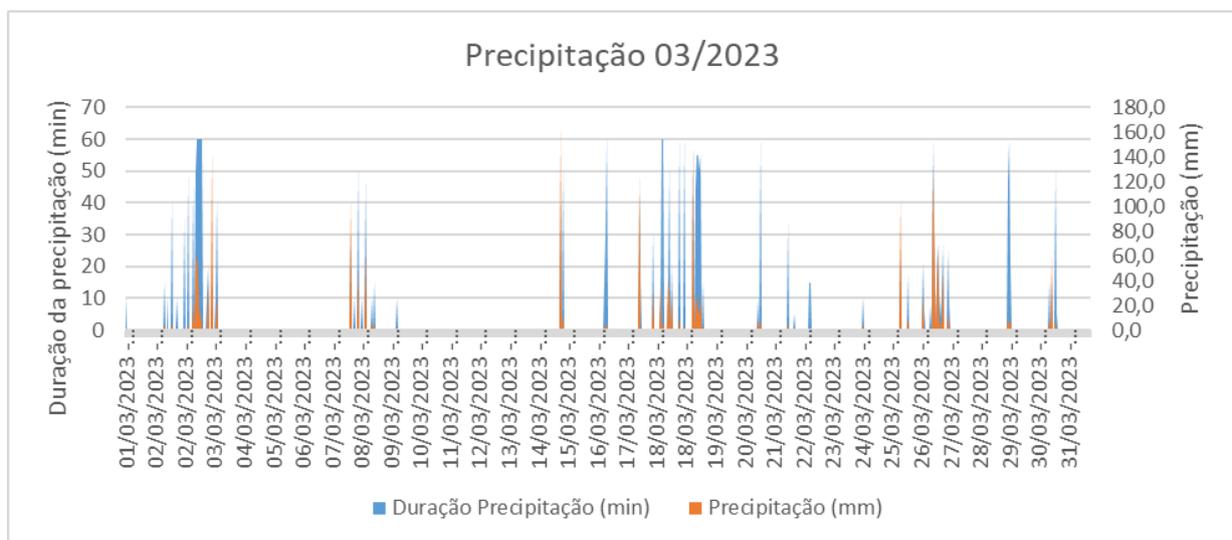


Figura 1- Precipitação 03/2023 Macaíba/RN do ICEA.

A Fig.1 mostra que o mês de março teve três períodos de alta pluviosidade: (01 a 09/03), (15 a 19/03) e (24 a 30/03), sendo o dia 03/03 o mais chuvoso, com 41,9 mm de precipitação. Já a Fig.2 apresenta que as chuvas de abril se distribuíram entre os dias (05 a 09/04), (14 a 17/04) e (26 a 30/04), com o pico de 23,8 mm de água no dia 05/04. Em todo o período o desvio padrão é igual a 6,60, indicando que os dados estão distribuídos de forma relativamente uniforme, porém chove pouco e que é provável que haja dias com precipitações muito maiores ou muito menores do que a média.

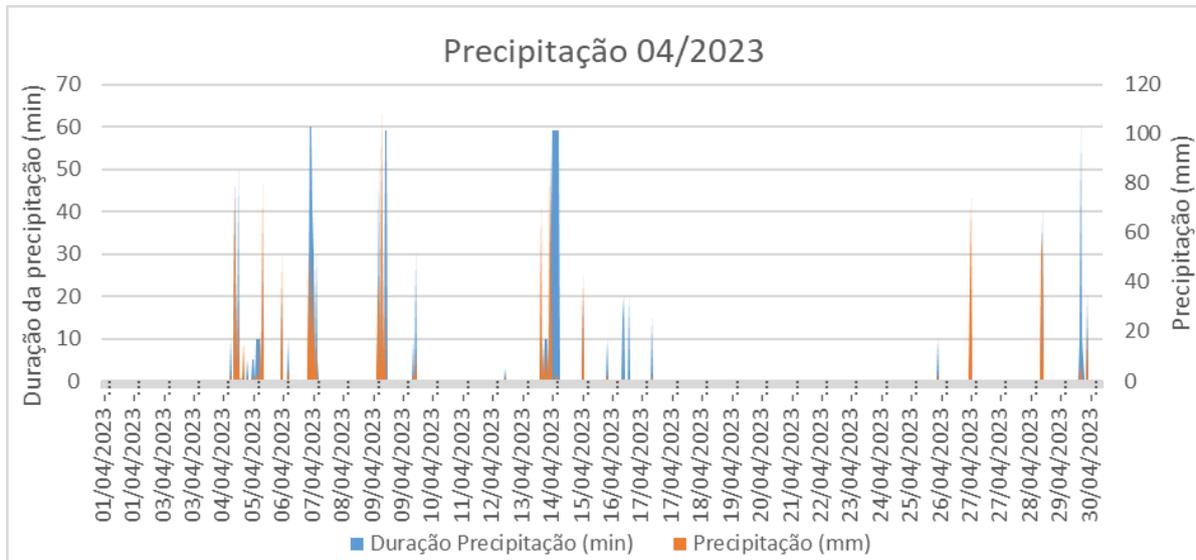


Figura 2 - Precipitação 04/2023 Macaíba/RN do ICEA.

Dados de precipitação usina solar fotovoltaica 2 – Natal/RN. A pesquisa dos dados de precipitação no período de operação da Usina 2, registrados por dia e hora pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) do ministério da agricultura e pecuária, abrange as capitais e alguns municípios de todos os estados do Brasil. Os dados incluem precipitação total horário (mm), pressão atmosférica ao nível da estação horaria (mb), pressão atmosférica máxima na hora anterior (aut) (mb), pressão atmosférica mínima na hora anterior (aut) (mb), radiação global (kJ/m²), temperatura do ar - bulbo seco horaria(°C), temperatura do ponto de orvalho (°C), temperatura máxima na hora anterior (aut) (°C), temperatura mínima na hora anterior (aut) (°C), temperatura do orvalho máxima na hora anterior (aut) (°C), temperatura do orvalho mínima na hora anterior (aut) (°C), umidade relativa máxima na hora anterior (aut) (%), umidade relativa mínima na hora anterior (aut) (%), umidade relativa do ar, horaria (%), vento, direção horaria (gr) (° (gr)), vento, rajada máxima (m/s), vento e velocidade horaria (m/s).

Posto isso, utilizou-se os dados de precipitação total horário (mm), na localidade: Natal/RN, onde se situa a Usina 2. Diante disso, o levantamento de dados se apresenta na Tab. 2 a respeito do índice pluviométrico de cada mês e a quantidade de informações coletadas por mês:

Tabela 2 - Quantidades de dados capturados e de precipitação por mês INMET.

Quantidades de dados capturados por mês INMET		
mês/ano	Quantidades de dados capturados pelo posto por mês	Precipitação Mensal (mm)
dez/22	0	0
jan/23	743	34
fev/23	743	64,2
mar/23	743	295,6
abr/23	743	171,8
mai/23	743	64,6
Total	3715	630,2

Segundo os dados INMET revelou que o volume de chuvas em Natal/RN aumentou significativamente nos meses de fevereiro, março e abril de 2023. Na pesquisa sobre a precipitação nos meses de fevereiro, março e abril de 2023 mostrou que a média diária de pluviométrica desses meses, descartando os dias que não choveram (0 mm), foram: janeiro = 5,7 mm, fevereiro = 4,3 mm, março = 14,3 mm e abril = 10 mm. Isso indica que março foi o mês mais chuvoso e fevereiro o menos chuvoso. Detectaram-se algumas inconsistências nos dados do sensor do INMET, possivelmente devido a uma falha no sistema de monitoramento. Na planilha, há células vazias ou com valor zero no mês de dezembro de 2022. Porém, eles refletem a tendência sazonal que se verifica nessa área.

Conforme mostrado na Fig.3, o período entre 15 e 19 de março de 2023 foi o mais chuvoso do mês, com um pico de 69,2 mm de precipitação. Em contraste, a Fig.4 revela que as chuvas de abril se concentraram entre os dias 05 e 16, sendo o dia mais úmido o que registrou 51 mm de água.

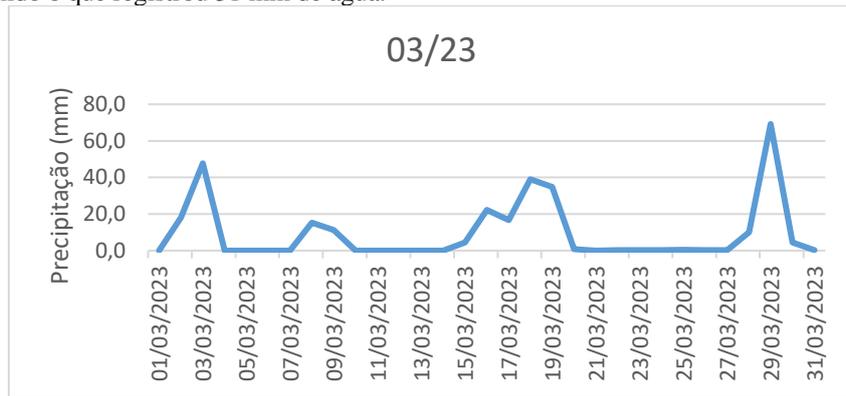


Figura 3- Precipitação 03/2023 Natal/RN dados do INMET.

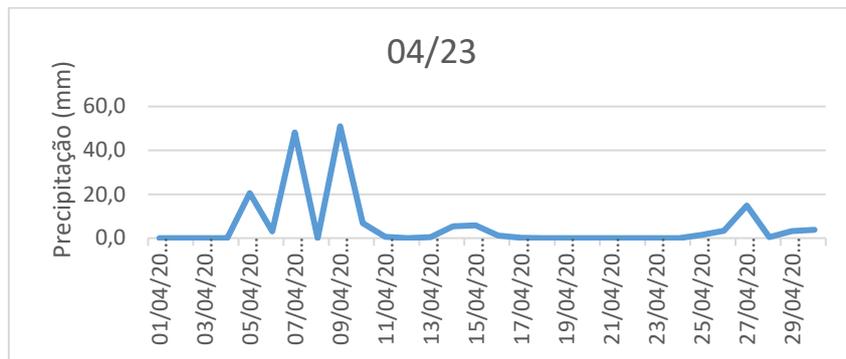


Figura 4 - Precipitação 04/2023 Natal/RN dados do INMET.

Durante o período total da pesquisa, a média calculada de precipitação foi de 8,86 mm, o que é considerado um valor baixo para a maioria das regiões do mundo. Portanto, um desvio padrão de 10 milímetros, excluindo os dias não chuvosos.

Devido às chuvas, houve uma queda de 5% na produção de energia em março, em relação ao mês de maior produção (4694,47 kWh). Em abril, a redução foi de 2%, também comparando com o mês de maior geração. Esses dados mostram o impacto das condições climáticas na geração de energia elétrica

3.2 Usina solar fotovoltaica 1 – Macaíba/RN

A instalação da Usina Solar Fotovoltaica 1 de geração distribuída de energia ligada à Companhia Energética do Rio Grande do Norte (COSERN) é localizada no município de Macaíba/RN. O sistema foi dimensionado para gerar uma média mensal de 2.853 kWh, possui 40 módulos fotovoltaicos com potência de 550 W da fabricante *Sunova Solar* e um inversor de frequência de 30 kW de potência da fabricante *Growatt*. Ou seja, um sistema com potência de geração de 22,00 kWp.

A perspectiva da cobertura e organização dos módulos instalados é representada pelas Figuras 5 (a) e 5 (b):

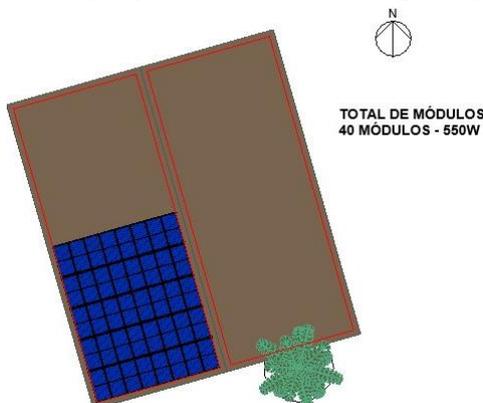


Figura 5 (a) - Cobertura dos módulos da Usina 1.

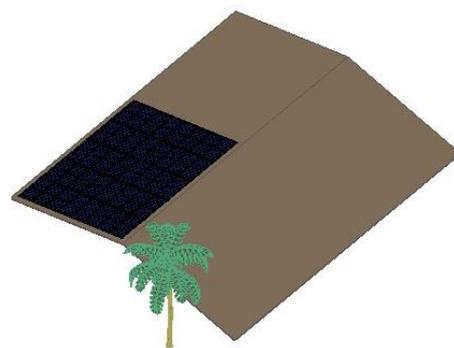


Figura 5 (b) - Perspectiva da cobertura dos módulos da Usina 1.

Geração usina solar fotovoltaica 1 – Macaíba/RN de 18/10/2022 a 18/05/2023. A respeito da geração nesse período na Usina 1, os dados de geração foram apurados diariamente pelo inversor de frequência. Além de converter a corrente contínua gerada pelos módulos fotovoltaicos em corrente alternada para alimentar a rede elétrica, o inversor também realiza o apuramento diário dos dados de geração. Também é responsável por monitorar e controlar a potência gerada pelas placas fotovoltaicas. O inversor mede a potência gerada diariamente pelas placas fotovoltaicas através da análise da tensão e corrente produzidas pelas células solares. Usando um algoritmo de rastreamento do ponto de máxima potência (MPPT) por ter WIFI integrada encaminha esses dados para o sistema de monitoramento do cliente. Após, gera planilhas com essas informações de monitoramento foi possível construir gráficos para analisar e comparar as variáveis em questão. Na Tab.7 pode-se ver o apanhando total do período. Com a análise feita, a média diária de geração é de 104,11 kWh, excluindo os zeros. Considerando o período de 7 meses.

Tabela 5- Geração mensal Usina 1.

Geração por mês	
mês	Geração de energia (kWh)
out/22(18 a 31/10)	1457,1
nov/22	3552,1
dez/22	3527,2
jan/23	3544,2
fev/23	3111,4
mar/23	2876,3
abr/23	2916,9
mai/23(01 a 18/05)	1650,1

A geração da Usina 1 foi afetada pelas chuvas nos meses de fevereiro, março e abril de 2023. Nesses meses, a geração foi menor do que no mês de janeiro de 2023, que teve a maior produção do período (3544,2 kWh) e o menor índice pluviométrico. A menor incidência de luz solar reduziu a capacidade da usina de gerar energia. Em fevereiro, a produção foi 12,22% menor do que em novembro. Em março, a queda foi de 18,85% e em abril, de 17,7%.

Podemos verificar no gráfico na Fig. 6 a precipitação e geração. Este gráfico mostra a relação entre a quantidade de chuva e a produção de energia elétrica na Usina 1. Podemos observar que há uma tendência de aumento da geração de energia conforme diminui a precipitação, isso se observa claramente quando no período de março e abril há picos de queda de geração em relação aos picos de aumento nos índices de precipitação

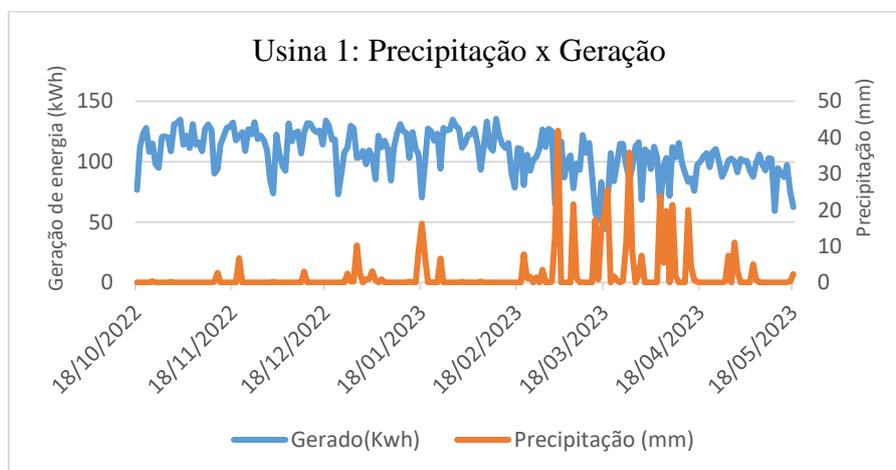


Figura 6 - Usina 1: Precipitação x Geração.

A correlação entre precipitação versus geração de elétrica através dos módulos fotovoltaicos é de -0,47. Considerando a correlação negativa e moderada, bem como a natureza inversa da relação entre precipitação e geração de energia solar, podemos inferir que em dias chuvosos, a quantidade de energia solar gerada tende a diminuir.

A média da geração de energia solar foi de 104 kWh, com um desvio padrão de 18,60 kWh. Isso significa que a maioria dos dias, a geração de energia solar foi entre 85,4 kWh e 122,6 kWh, isso sugere que os valores de precipitação variam significativamente em relação à média, indicando uma grande variação na quantidade de chuva observada ao longo do período analisado.

3.3 Usina solar fotovoltaica 2 – Natal/RN

A Usina Solar Fotovoltaico conectada à COSERN, está situada no município de Natal/RN. O projeto foi elaborado para produzir uma média mensal de 4590 kWh contando com 76 módulos fotovoltaicos de 460 W cada da fabricante

JINKO e um inversor de frequência de 30 kW de potência da fabricante *Chint Power*. Assim, o sistema possui uma potência de geração de 34,96 kWp.

A visão geral da disposição e do arranjo dos módulos instalados pode ser observada na Fig. 7 (a) e 7 (b):

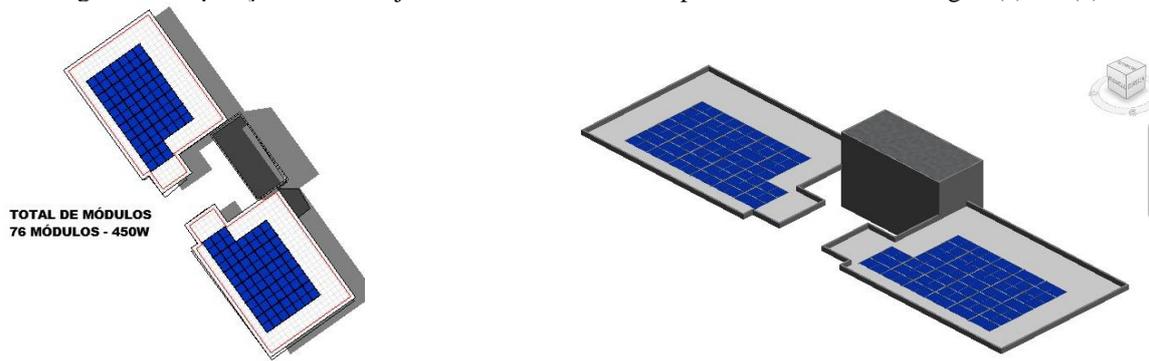


Figura 7 (a) - Cobertura dos módulos da Usina 2.

Figura 7 (b) - perspectiva da cobertura dos módulos da Usina 2.

Nos meses de outubro de 2023 a janeiro de 2024, conforme evidenciado na Fig.8, apresenta uma lacuna na coleta de dados de geração da usina que pode ser explicada por eventuais interrupções no fornecimento de energia elétrica da COSERN ou uma falha na conexão de internet WiFi, ou ainda se o cliente alterar a rede ou o IP estiver configurado como dinâmico. Esses eventos podem ter impactado a capacidade do inversor de frequência em transmitir as informações para o monitoramento, resultando na falta de dados nesse período específico.



Figura 8 - Gráfico de Geração da Usina 2 09/12/2022 à 18/05/2023.

Na fig.8, é apresentada a variação da geração no período de 8 meses, com destaque para os períodos de maior e menor produção. É possível observar que a geração da usina é influenciada por diversos fatores, como temperatura, umidade e quantidade de chuvas. Em períodos mais chuvosos, observa-se uma redução na geração da usina.

Feita a análise, a média diária de geração da Usina 2 é de 155 kWh, excluindo os zeros. Considerando o período de 5 meses, os resultados de geração mensal são mostrados na Tab.6:

Tabela 6 - Geração mensal Usina 2.

Geração por mês	
mês	Geração de energia (kWh)
Out/22 (18 a 31/10)	0
nov/22	0
dez/22	3315
jan/23	3109,83
fev/23	4694,47
mar/23	4470,77
abr/23	4625,21
mai/23(01 a 18/05)	2660,26

Os meses mais produtivos foram os de abril e março, mesmo com as constantes chuvas no mês de março. Isso demonstra que o módulo fotovoltaico da *Jinko*, nessa comparação geração versus precipitação, se adaptou aos dias chuvosos. Porém, também é importante destacar que, quando usamos a potência dos módulos perto da potência máxima do inversor, ele inicia a produção mais cedo e, conseqüentemente, gera mais energia, mesmo havendo perdas no aquecimento dos módulos, do inversor e do cabeamento.

Na Fig. 9 no gráfico de precipitação x geração da usina 2, é visto que quando há aumento da precipitação verifica-se queda na geração da usina 2 analisando os picos de precipitação em março e abril, mesmo fenômeno foi observado na usina 1. Na linha de precipitação houve um aumento significativo no índice de chuvas no mês de março, em comparação ao mês anterior. Além disso, é demonstrado a ausência na captação de dados de geração na usina 2 nos seguintes períodos: de 01/12/2022 a 08/12/2022 e de 05/01/2023 a 16/01/2023.

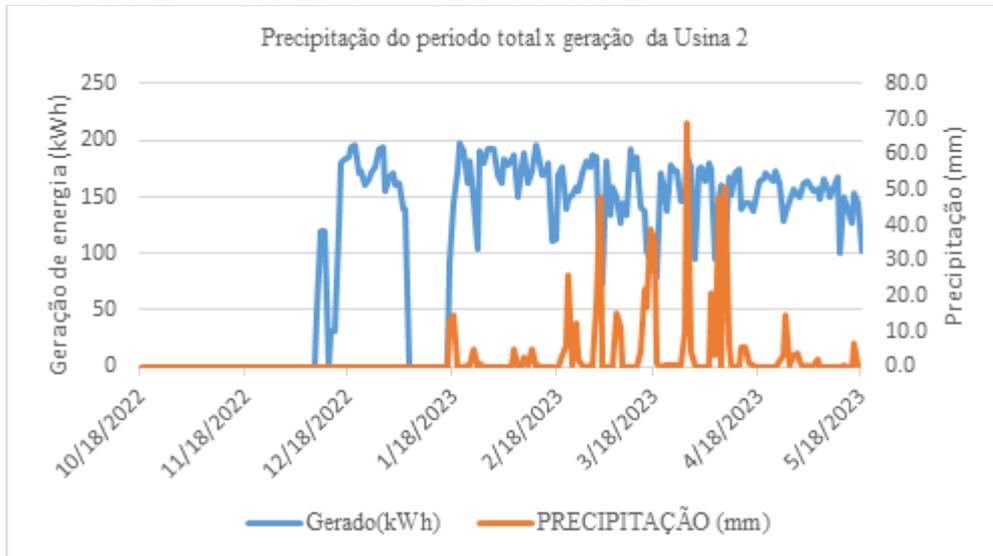


Figura 9 - Precipitação do período total x geração da Usina 2.

No gráfico de precipitação da Fig.10, observa-se que fevereiro foi o período de máxima geração, pois choveu bem menos. Esse fato indica que houve maior irradiação solar.

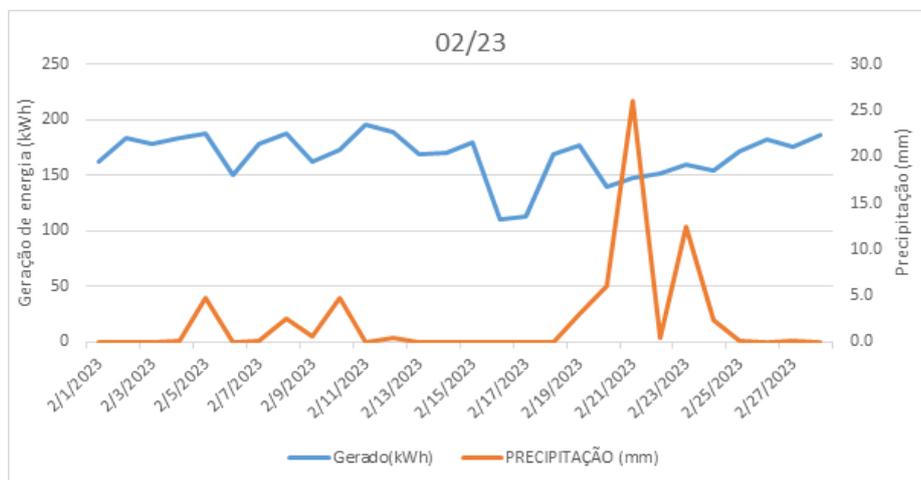


Figura 10 - Precipitação do período x geração 2 02/23.

No gráfico de precipitação x geração da Fig.11, observa-se que março registrou o maior índice de precipitação, indicando chuvas significativamente mais intensas em comparação aos outros meses. Essa maior pluviosidade associou-se a uma notável queda na geração da usina, evidenciando a influência direta das condições de chuvas na geração de energia, provavelmente devido a redução da incidência solar.

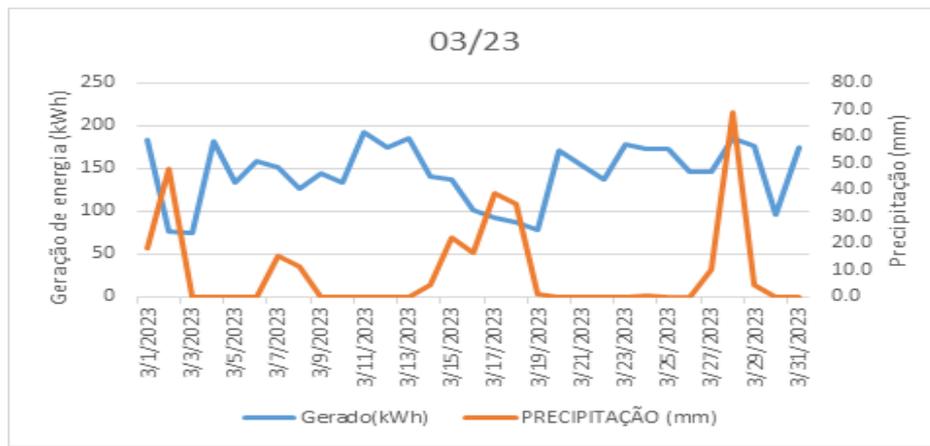


Figura 11 - Precipitação do período x geração 2 03/23.

No gráfico de precipitação do período inteiro, pode-se ver como a chuva afeta a geração de energia solar. Porém, no mês mais chuvoso, a Usina 2 apresentou um bom desempenho, com uma queda de apenas 4,765% na produção, em relação à Usina 1. Isso significa que é necessário considerar nas comparações a quantidade de chuva que ocorre durante as horas de sol, em vez de usar os dados pluviométricos do dia todo.

Na Fig. 12 observa-se claramente no período de 03/04 até 11/04 a relação inversamente proporcional da curva de precipitação em relação a curva de geração, que quando há aumento da precipitação, verifica-se queda na produção na produção e vice-versa.

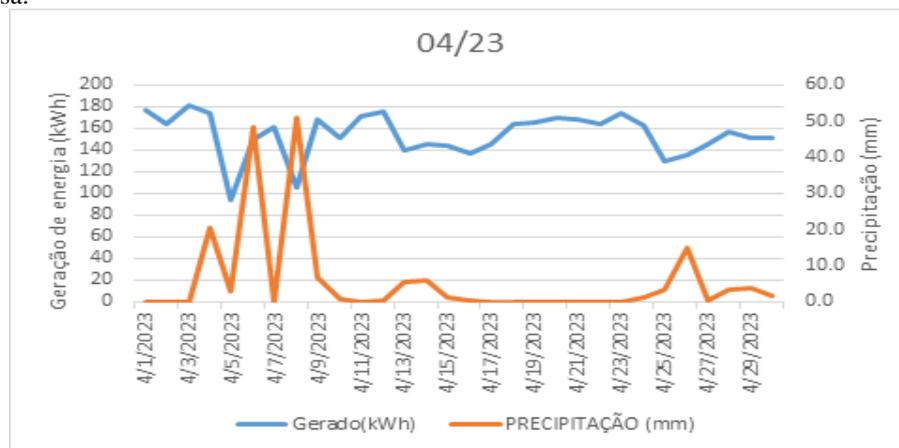


Figura 12 - Precipitação do período x geração da Usina 2 (04/23).

Com uma correlação de -0,08 entre a precipitação e a geração de energia solar, ainda temos uma correlação fraca e negativa, o que indica uma relação, embora não muito forte, inversa entre essas duas variáveis. Portanto, podemos inferir que em dias chuvosos, a quantidade de energia solar gerada tende a diminuir.

Quanto aos dados de geração de energia solar, uma média de 155 kWh com um desvio padrão de 52 kWh sugere que, em média. Isso implica que há uma quantidade considerável de variação na geração de energia solar, o que pode ser influenciado por vários fatores, incluindo a precipitação. Dado que a correlação é negativa e moderada, e considerando a natureza inversa da relação entre precipitação e geração de energia solar, podemos inferir que, embora a quantidade de energia solar gerada possa ser afetada pela precipitação, essa relação não é muito forte. Outros fatores também podem influenciar a geração de energia solar, e é importante considerar esses aspectos ao interpretar os dados.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como previsto, há uma relação inversamente proporcional entre a quantidade de precipitação de chuva e a capacidade de gerar energia solar nas usinas analisadas, utilizando dados reais de geração e índices meteorológicos. Isso reforça o propósito desta pesquisa, que é examinar como as variações climáticas afetam a eficiência da energia solar. Os resultados mostram uma correlação negativa e moderada entre a precipitação e a geração de energia solar, indicando que a chuva pode afetar a eficiência dos sistemas fotovoltaicos. Portanto, é importante considerar outros fatores que podem influenciar a geração de energia solar, como a temperatura, a umidade relativa do ar e a inclinação dos módulos. Além disso, é recomendável investigar maneiras de melhorar a resistência dos painéis solares à umidade e condições nubladas, além de diversificar as fontes de energia renovável para garantir a sustentabilidade do sistema energético.

Para trabalhos futuros seria interessante desenvolver modelos matemáticos para prever a eficiência da geração dadas as previsões pluviométricas, trabalho esse que será desenvolvido pelo grupo em um momento posterior dessa pesquisa usando dados de mais usinas e dados meteorológicos locais.

Agradecimentos

Agradecemos a todos os envolvidos neste projeto a dedicação e esforço na realização desta análise comparativa de módulos fotovoltaicos em instalações reais. Este estudo é essencial para uma compreensão mais precisa do desempenho dos utilizadores fotovoltaicos, enfatizando a importância de ter em conta as condições reais de operação. Gostaríamos de expressar a nossa gratidão, em particular, ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), pelo apoio financeiro concedido através da bolsa de pesquisa Edital 001/2023 - Programa de Bolsas de Pesquisa do IFRN. Este apoio foi fundamental para a realização do estudo, permitindo a contratação de pesquisadores e a aquisição de equipamentos necessários. Agradecemos também aos colaboradores que ajudaram na coleta e análise de dados, o que ajudou a identificar quaisquer discrepâncias potenciais entre os dados nominais dos fabricantes e a eficiência real em campo. Esperamos que as conclusões do estudo ajudem a comunidade fotovoltaica, fornecendo informações esclarecedoras à indústria e promovendo mais transparência e confiabilidade.

REFERÊNCIAS

- ABNT - Energia solar fotovoltaica - Terminologia. Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.abnt.org.br/noticia/2346/Energia-solar-fotovoltaica-Terminologia>. Acesso em: 20 de junho de 2023.
- ANEEL. ANEEL sinaliza novo recorde para expansão da geração em 2023. Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2023/aneel-sinaliza-novo-recorde-para-expansao-da-geracao-em-2023>. Acesso em: 22 junho de 2023.
- Barbosa, A. C. et al. (2018). Avaliação da eficiência de sistemas fotovoltaicos em residências populares no Brasil. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, 7(3), 234-247.
- Calcabrini, Andres et al. Low-breakdown-voltage solar cells for shading-tolerant photovoltaic modules. *Cell Reports Physical Science*, v. 3, n. 12, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666386422004660>. Acesso em: 31 out. 2023.
- Idrobo-Pacheco, H. L. et al (2021). Performance of a Mixed Solar Photovoltaic System (Polycrystalline and Amorphous) used as Energy Supply in a Coffee Technification Context. *Producción + Limpia*, 16(2), 26-46.
- Santos, J. P. et al. (2017). Comparação de eficiência de módulos fotovoltaicos em diferentes condições climáticas brasileiras. In: Simpósio Brasileiro de Energia Solar, Belo Horizonte. Anais. Belo Horizonte: ABENS, 2017. p. 153-158.
- Tribuna Do Norte. Produção de energia solar deve representar 37% no RN até 2026. Disponível em: <http://www.tribunadonorte.com.br/noticia/produa-a-o-de-energia-solar-deve-representar-37-no-rn-ata-2026/565035>. Acesso em: 28 jun. 2023.
- Silva, A. C. et al. A review of the use of machine learning in the prediction of the mechanical properties of materials. *Materials Today Communications*, v. 30, p. 102-114, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666386422004660>. Acesso em: 04 ago. 2023.

ANALYSIS OF THE IMPACT OF RAINFALL INDICES ON SOLAR PHOTOVOLTAIC POWER PLANTS: GENERATION DATA AND REAL METEOROLOGICAL INDICES FROM RN

Abstract. *This project proposes to analyze the impact of rainfall indices on the generation of photovoltaic solar energy in two plants installed in Rio Grande do Norte, Brazil. In addition to observing the efficiency of photovoltaic panels under real operating conditions, comparing generation data with meteorological indices provided by the ICEA (Instituto de Controle do Espaço Aéreo) and the INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). The study uses generation and precipitation data from an eight-month period, from October 2022 to May 2023, and considers factors such as installed power and the power of the frequency converter. The results show that there is an inversely proportional relationship between the amount of rain and the ability to generate solar energy, with the wettest months showing a decrease in energy production compared to the driest months. Through the calculation of the correlation, we obtained this confirmation, showing that there is a negative correlation between the generation and precipitation data in the same period. This analysis will allow us to identify the main causes of efficiency losses and provide support for improving the development and implementation of more competent and sustainable photovoltaic solar plants, highlighting the importance of considering real operating conditions for a more accurate assessment of the performance of photovoltaic plants.*

Keywords: *Solar Energy, Rainfall Index, Generation*