

Avaliação da produtividade de módulos fotovoltaicos influenciados por mudanças na temperatura do ar ao longo dos anos no estado da Paraíba (Brasil)

LOUISE PEREIRA DA SILVA
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

PAULA ROSE DE ARAUJO SANTOS
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

SUSANE ETERNA LEITE MEDEIROS
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

RAPHAEL ABRAHÃO

Introdução

As energias renováveis são alternativas para driblar a dependência de energias não renováveis e assegurar a crescente demanda energética. Questões importantes são abordadas sobre o tipo de geração para obtenção de energia elétrica, como o meio ambiente, a economia e a política. No Brasil, os recursos naturais têm favorecido o crescimento, a aplicação e o uso de tecnologias renováveis, como a energia solar fotovoltaica e a eólica. A eficiência dos módulos fotovoltaicos desenvolvidos em laboratórios, em razão das condições padrões de testes, diferem das circunstâncias das áreas de implementação.

Problema de Pesquisa e Objetivo

O cenário climático de um local afeta diretamente a temperatura de operação de um módulo fotovoltaico. Além disso, em regiões mais úmidas a eficiência do painel fotovoltaico é inversamente proporcional à umidade relativa do ar local (COSKUN et al., 2017). Sendo assim, os circuitos eletrônicos equivalentes dos painéis fotovoltaicos devem levar em consideração os efeitos de possíveis mudanças nas condições climáticas e ambientais (ZAIMI et al., 2019). O cenário climático de um local afeta diretamente a temperatura de operação de um módulo fotovoltaico.

Fundamentação Teórica

O cenário climático de um local afeta diretamente a temperatura de operação de um módulo fotovoltaico. Além disso, em regiões mais úmidas a eficiência do painel fotovoltaico é inversamente proporcional à umidade relativa do ar local (COSKUN et al., 2017). Sendo assim, os circuitos eletrônicos equivalentes dos painéis fotovoltaicos devem levar em consideração os efeitos de possíveis mudanças nas condições climáticas e ambientais (ZAIMI et al., 2019).

Metodologia

O estado da Paraíba está inserido na região Nordeste do Brasil. Os dados de irradiação solar total horizontal ($\text{kJ/m}^2\text{s}$) e foram temperatura média do ar foram obtidos através do INMET. O teste de Mann-Kendall e o método de Sen são testes de tendência de regressão linear utilizados para identificar tendências no estudo de elementos do clima (GÜÇLÜ, 2018). Foram consideradas plantas fotovoltaicas com 100 painéis cada. A produção fotovoltaica (P, em kWh) gerada pelo sistema foi calculada.

Análise dos Resultados

A comparação anual apresentou tendências significativas de aumento da temperatura média do ar nas três estações. As maiores temperaturas de operação são as dos municípios de João Pessoa, Patos e São Gonçalo. Esse resultado era esperado pelo fato dessas localidades apresentarem as maiores temperaturas médias do ar. A produção fotovoltaica dos painéis monocristalinos foi maior do que a produção fotovoltaica dos painéis policristalinos em razão da eficiência de conversão dos módulos. A variação percentual relativa do comparativo 1 foi semelhante ao resultado obtido no comparativo 2.

Conclusão

A análise de tendências mostrou que existe uma tendência crescente da temperatura média do ar na comparação anual em todas as estações analisadas. Na comparação mensal, todos os meses das localidades de Monteiro, João Pessoa e São Gonçalo apresentaram tendências significativas de aumento na temperatura. No comparativo da produção fotovoltaica entre os 10 primeiros e os 10 últimos anos de coleta de dados de temperatura média do ar, os painéis fotovoltaicos de silício monocristalino e policristalino apresentaram a mesma variação percentual diante da variação de temperatura média do ar.

Referências Bibliográficas

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Sistema de Informações de Geração. Disponível em: . Acesso em: 10 fev. 2022. BAYRAK, F.; OZTOP, H. F.; SELIMEFENDIGIL, F. Effects of different fin parameters on temperature and efficiency for cooling of photovoltaic panels under natural convection. Solar Energy, v. 188, n. November 2018, p. 484–494, 2019. BYD. Poly-crystalline 60 cell, P6C-30-SERIES-4BB. Disponível em: . Acesso em: 30 nov. 2020. CANADIAN SOLAR. High Density Shingle PERC Module (Mono).

Palavras Chave

Mudança climática, Tendências, Energia renovável

Agradecimento a órgão de fomento

Os autores agradecem ao apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por meio do projeto 306783/2018-5 e das bolsas 142451/2018-5 e 481593/2020-00.

Avaliação da produtividade de módulos fotovoltaicos influenciados por mudanças na temperatura do ar ao longo dos anos no estado da Paraíba (Brasil)

Resumo: Os sistemas fotovoltaicos convertem a radiação solar em eletricidade, porém a produção fotovoltaica sofre alterações quando essas diferem das condições padrões de testes. No processo de conversão fotovoltaica os fatores de perdas podem ser relativos à radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa, poeira dentre outros. Seis estações meteorológicas situadas no estado da Paraíba, região Nordeste do Brasil, foram selecionadas para análises de tendências de temperatura média do ar através do teste de Mann-Kendall quantificadas pelo declive de Sen. Além disso, foi calculado o potencial fotovoltaico de seis painéis fotovoltaicos de silício, sendo três monocristalinos e três policristalinos, e analisado o comportamento dessas tecnologias diante da variação da temperatura média do ar local. Foi observado que a temperatura média do ar apresentou tendências significativas de aumento na comparação anual em todas as estações. Em razão das mudanças na temperatura média do ar no período analisado, a produção fotovoltaica nos painéis de silício monocristalino e policristalino apresentaram a mesma variação percentual relativa. Contudo, a variação na produção fotovoltaica devido a temperatura média do ar foi menor que 1%.

Palavras-chave: Mudança climática, Tendências, Irradiação solar, Energia renovável, Energia fotovoltaica.

INTRODUÇÃO

As energias renováveis são alternativas para driblar a dependência de energias não renováveis e assegurar a crescente demanda energética. Questões importantes são abordadas sobre o tipo de geração para obtenção de energia elétrica, como o meio ambiente, a economia e a política. No Brasil, os recursos naturais têm favorecido o crescimento, a aplicação e o uso de tecnologias renováveis, como a energia solar fotovoltaica e a eólica.

O Sol é a primeira fonte de energia renovável podendo ser utilizada na energia solar concentrada, térmica e fotovoltaica (EL ACHOUBY *et al.*, 2018). Os sistemas fotovoltaicos em particular têm conquistado seu espaço contribuindo para a produção distribuída de energia elétrica e usuários de baixo consumo energético estão adotando essa tecnologia (CORREA-BETANZO; CALLEJA; DE LEÓN-ALDACO, 2018), além da expansão dos parques solares fotovoltaicos. O silício puro é o material mais comum utilizado na fabricação das células fotovoltaicas e pode ser do tipo cristalino ou amorfo (YILMAZ *et al.*, 2015). As células de silício cristalino são classificadas de acordo com sua estrutura: monocristalino, policristalino, heterojunção com camada fina intrínseca e microcristalino (SHUBBAK, 2019).

A eficiência dos módulos fotovoltaicos desenvolvidos em laboratórios, em razão das condições padrões de testes, diferem das circunstâncias das áreas de implementação desses sistemas (BAYRAK; OZTOP; SELIMEFENDIGIL, 2019). Sendo assim, em situação real de uso há variáveis que podem interferir na eficiência padrão dos módulos fotovoltaicos. Os fatores de perda no processo de conversão fotovoltaica podem ser por radiação, por convecção, reflexo, sombreamento, poeira e perdas nos cabos (CA/CC) (BAYRAK; OZTOP; SELIMEFENDIGIL, 2019; COSKUN *et al.*, 2017).

O cenário climático de um local afeta diretamente a temperatura de operação de um módulo fotovoltaico. Além disso, em regiões mais úmidas a eficiência do painel fotovoltaico é inversamente proporcional à umidade relativa do ar local (COSKUN *et al.*, 2017). Sendo assim, os circuitos eletrônicos equivalentes dos painéis fotovoltaicos devem levar em consideração os efeitos de possíveis mudanças nas condições climáticas e ambientais (ZAIMI *et al.*, 2019). A

tensão de um painel fotovoltaico é altamente dependente da temperatura e um aumento na temperatura diminuirá a tensão, reduzindo dessa forma a produção de eletricidade (SARHAN *et al.*, 2006).

O objetivo deste estudo foi analisar as tendências climáticas no parâmetro de temperatura média do ar no estado da Paraíba, Brasil, e o consequente impacto na produção de energia fotovoltaica em painéis de silício monocristalino e policristalino.

METODOLOGIA

• Local de estudo

O estado da Paraíba está inserido na região Nordeste do Brasil (Figura 1). O estado possui uma área territorial de 56.467,242 km² e uma população estimada de 4.059.905 pessoas (IBGE, 2020). Apesar da pequena extensão banhada pelo oceano Atlântico, muitos municípios são influenciados pela maritimidade. Por isso, parte do clima dessa região é o tropical litorâneo do Nordeste oriental, pela interferência de massas de ar úmidas trazidas pelo oceano (MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, 2007). As cidades mais a oeste possuem um clima semiárido, caracterizado por chuvas irregulares e pouco frequentes (MONTENEGRO; RAGAB, 2012).

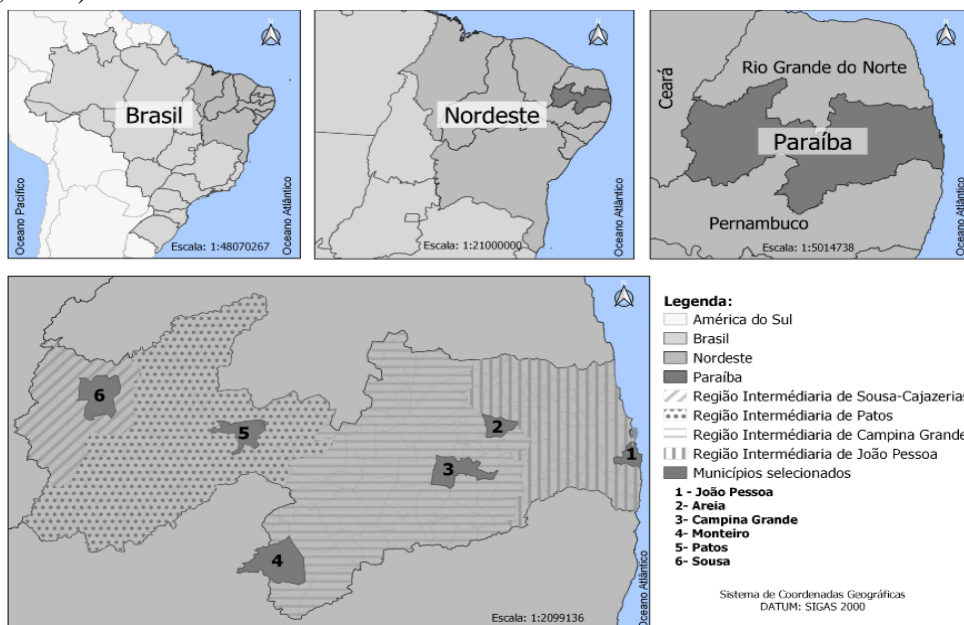


Figura 1- Localização das estações meteorológicas selecionados no estado da Paraíba (Brasil) para o estudo.

Fonte: Adaptado do (IBGE, 2017).

De acordo com o Sistema de Informações de Geração da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) no estado da Paraíba existem 52 empreendimentos de geração fotovoltaica (ANEEL, 2022). Sendo que 8 estão em fase de operação, 7 em construção e 37 não foram iniciadas. Das usinas em operação as maiores potências instaladas estão nos municípios de Coremas, Condado e Malta todas localizadas na região intermediária de Patos. A geração das usinas fotovoltaicas no estado da Paraíba de acordo com o ano base de 2020 foi de 365 GWh (EPE, 2021).

• Seleção dos dados climáticos

Na Tabela 1 estão descritas todas as estações meteorológicas convencionais disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para o estado da Paraíba.

Através do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do INMET, foram coletadas as informações do parâmetro climático de temperatura média do ar.

Tabela 1 – Descrição das estações meteorológicas selecionadas pertencentes ao estado da Paraíba, período de coleta dos dados, coordenadas geográficas e altitude das estações.

Município	Período de coleta	Coordenadas geográficas	Altitude (m)
João Pessoa	1961-2019	Lat. - 7.1 Long. - 34.86	7,4
Areia	1996-2019	Lat. - 6.97 Long. - 35.68	574,6
Campina Grande	1974-2019	Lat. - 7.22 Long. - 35.88	547,6
Monteiro	1963-2019	Lat. - 7.88 Long. - 37.06	603,6
Patos	1984-2019	Lat. - 7.01 Long. - 37.26	249,1
São Gonçalo (distrito de Sousa)	1962-2019	Lat. - 6.75 Long. - 38.21	2331

Fonte: INMET (2019).

A temperatura média do ar diária obtida pelo INMET é resultado de uma fórmula matemática que envolve a temperatura máxima e a temperatura mínima do dia (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007)

Os dados obtidos de temperatura média do ar foram separados em planilhas. Em seguida, foi realizada uma triagem dos dados e os valores ausentes ou destoantes foram descartados. Então as médias mensais de cada ano foram organizadas. O objetivo foi que cada ano tivesse 12 medidas mensais completas para que a análise das tendências fosse realizada de forma coerente.

Os dados de irradiação solar total horizontal ($\text{kJ/m}^2\text{s}$) foram obtidos do INMET através de estações automáticas no período de novembro de 2004 a junho de 2019 em Areia, de dezembro de 2006 a junho de 2019 em Campina Grande, de maio de 2008 a junho de 2019 em Monteiro, de julho de 2007 a junho de 2019 em João Pessoa e Patos, e de novembro de 2007 a junho de 2019 em São Gonçalo.

- **Análise das tendências climáticas**

O teste de Mann-Kendall e o método de Sen são testes de tendência de regressão linear utilizados para identificar tendências no estudo de elementos do clima (GÜÇLÜ, 2018). Esses testes foram aplicados para avaliar se houve tendências na temperatura média do ar nas estações selecionadas. Esses testes são utilizados em casos em que os dados coletados ao longo do tempo têm um comportamento de uma função monótona. A estatística de Mann-Kendall é calculada através do somatório dos dados e o valor de S vai identificar a função monótona (GOCIC; TRAJKOVIC, 2013; GÜÇLÜ, 2018).

- **Seleção de painéis fotovoltaicos**

Foi realizada uma pesquisa nos painéis fotovoltaicos comercializados e normalmente utilizados no Brasil. As informações fornecidas pelos fabricantes estão de acordo com as condições de teste padrão do equipamento: Irradiância de 1000 W/m^2 , temperatura da célula de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ e 1,5 de massa de ar (Tabela 2) (BYD, 2020; CANADIAN SOLAR, 2017; RISEN SOLAR, 2020; SICES SOLAR, 2020; TRINA SOLAR., 2020). Na Tabela 2 estão descritas as marcas/modelos, a potência nominal, a área, a eficiência de conversão e o tipo de material utilizado em cada painel fotovoltaico.

Tabela 2 – Descrição dos painéis fotovoltaicos monofaciais de silício monocristalino e policristalino selecionados para o estudo.

Código – Marca / Modelo	Potência nominal (W)	Área (m²)	Eficiência de conversão (%)	Material
Pv 1 - Canadian / CS1H-320MS	320	1,69	19,0	Silício Monocristalino
Pv 2 - Risen RSM60- 6-295M-315M/5BB	315	1,64	19,2	
Pv 3 - Trina / TSM- DD05A.08(II)	305	1,64	18,6	
Pv 4 – Canadian / CS6K-275P	295	1,64	16,8	Silício Policristalino
Pv 5 - BYD P6C-30 Série-4BB-156.75P	280	1,63	17,2	
Pv 6 - Trina / TSM- PD05.08	280	1,64	17,1	

Fonte: Canadian solar (2020), Risen solar (2020) e Yngli solar (2020) Canadian solar, (2020), Risen solar (2020), Trina, (2020), BYD (2020) e Sices solar (2020).

- **Método de cálculo da produção para painéis fotovoltaicos**

Foram consideradas plantas fotovoltaicas com 100 painéis cada. A produção fotovoltaica (P , em kWh) gerada pelo sistema foi calculada pela Equação (1).

$$P = NPI \cdot A \cdot eff \cdot \left(\frac{G(t)}{1000} \right) \cdot f_{temp} \quad (1)$$

Em que o NPI é o número de painéis instalados, A corresponde à área do painel (m²). eff é a eficiência do painel fotovoltaico (%), $G(t)$ é a irradiação solar (Wh/m²) nos painéis fotovoltaicos, e f_{temp} é o fator de perda operacional dos painéis fotovoltaicos causada pela temperatura. Foi feita uma equivalência de área para considerar a mesma área para os diferentes modelos. A variável f_{temp} pode ser definida pela Equação (2) (NOTTON *et al.*, 2005; SKOPLAKI; PALYVOS, 2009), que representa a expressão linear tradicional para a eficiência elétrica do painel fotovoltaico.

$$f_{temp} = [1 - \beta'(\theta_{cell} - \theta_{cell,ref})] \quad (2)$$

Sendo θ_{cell} a temperatura operacional da célula (°C), $\theta_{cell,ref}$ a temperatura de operação da célula em condições padrão de teste (°C), $\theta_{cell,ref} = 25$ °C, β' o coeficiente térmico de potência máxima de temperatura (°C⁻¹), que foi definido por Evans (1981) como sendo $\beta' = 0,0042$ °C⁻¹ para um painel fotovoltaico de silício. θ_{cell} pode ser definido através da Equação (3) (NOLAY, 1987).

$$\theta_{cell} = \theta_a + (\theta - 20) \quad (3)$$

Em que θ_a corresponde à temperatura ambiente (°C) e θ é a temperatura nominal de operação da célula (°C), estabelecido pelo fabricante.

Para avaliar se houve algum impacto na produção fotovoltaica, em razão da possível variação da temperatura média do ar, foi realizado um comparativo entre os 10 primeiros e os 10 últimos anos da série de dados históricos. Esse comparativo se refere a variação percentual

relativa. O comparativo 1 corresponde aos painéis de silício monocristalino e o comparativo 2 corresponde aos painéis de silício policristalino.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

- **Tendências da temperatura média do ar**

As tendências detectadas nos dados de temperatura média para as estações meteorológica de Areia, Monteiro e Campina Grande estão descritas na

Tabela 3. A comparação anual apresentou tendências significativas de aumento da temperatura média do ar nas três estações. Em Monteiro a tendência de aumento anual foi maior do que Areia e Campina Grande, 0,052 °C/ano ($p < 0,001$). Na comparação mensal em Areia, junho e agosto tiveram aumentos significativos de temperatura média do ar, 0,037 °C/ano ($p < 0,05$) e 0,015°C/ano ($p < 0,10$), respectivamente. Na estação de Monteiro, todos os meses apresentaram tendência crescente na temperatura média do ar. Em maio o aumento chegou a 0,078 °C/ano. Em Campina Grande as tendências mensais foram significativas e positivas para a temperatura média do ar entre março e agosto. No mês de junho a elevação foi de 0,037 °C/ano.

Tabela 3 – Tendências detectadas nos dados de temperatura média do ar do INMET através do teste de Mann-Kendall, quantificadas pelo declive de Sen para as estações meteorológicas de Areia (1996-2019), Campina Grande (1974-2019), Monteiro (1963-2019).

Período	Areia (°C/ano)	Monteiro (°C/ano)	Campina Grande (°C/ano)
Jan	-0,009 ns	0,040 **	0,009 ns
Fev	-0,003 ns	0,038 *	0,021 ns
Mar	0,018 ns	0,063 ***	0,026 +
Abr	0,022 ns	0,077 ***	0,035 *
Mai	0,014 ns	0,078 ***	0,037 +
Jun	0,037 *	0,062 ***	0,037 **
Jul	0,020 ns	0,052 ***	0,024 *
Ago	0,015 +	0,047 ***	0,033 *
Set	0,000 ns	0,053 **	0,017 ns
Out	0,004 ns	0,023 **	0,023 ns
Nov	0,022 ns	0,040 **	0,027 ns
Dez	0,017 ns	0,045 **	0,013 ns
Anual	0,019 +	0,052 ***	0,018 *

ns = não significativo; + $p < 0,10$; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

No período anual, os dados de temperatura média do ar apresentaram tendências significativas de aumento, para as estações meteorológicas de João Pessoa, Patos e São Gonçalo (Tabela 4). Em São Gonçalo no período anual, o valor de aumento associado ao conjunto de dados foi de 0,063 °C/ano e em João Pessoa foi de 0,032 °C/ano, ambos com baixa probabilidade de erro associada ($p < 0,001$). No período mensal na estação de João Pessoa, todos os meses apresentaram tendências significativas de aumento, e alto grau de confiabilidade. Em Patos os meses de maio, junho e outubro as tendências foram de aumento, 0,106 °C/ano, 0,068 °C/ano e 0,032 °C/ano, respectivamente. Nos meses de julho e agosto as tendências da temperatura média do ar foram de aumento, os valores obtidos foram semelhantes e o erro associado foi o menor do período mensal ($p < 0,05$). Em São Gonçalo todos os meses

apresentaram tendências significativas de crescimento, exceto os meses de janeiro e fevereiro. Em agosto, setembro e outubro o aumento foi de 0,067 °C/ano, 0,062 °C/ano e 0,086 °C/ano com erro de 0,1% ($p < 0,001$), respectivamente.

Tabela 4 – Tendências detectadas nos dados de temperatura média do ar do INMET através do teste de Mann-Kendall, quantificadas pelo declive de Sen para as estações meteorológicas de João Pessoa (1961-2019), Patos (1984-2019) e São Gonçalo (1962-2019) na Paraíba-Brasil.

Período	João Pessoa (°C/ano)	Patos (°C/ano)	São Gonçalo (°C/ano)
Jan	0,026 ***	0,002 ns	0,042 ns
Fev	0,033 ***	-0,018 ns	0,042 ns
Mar	0,042 ***	0,076 ns	0,036 +
Abr	0,039 ***	0,075 ns	0,044 *
Mai	0,027 *	0,106 +	0,047 +
Jun	0,016 *	0,068 +	0,063 **
Jul	0,033 ***	0,064 *	0,061 **
Ago	0,040 ***	0,062 *	0,067 ***
Set	0,034 ***	0,038 ns	0,062 ***
Out	0,039 ***	0,032 +	0,086 ***
Nov	0,039 ***	0,047 ns	0,084 **
Dez	0,034 ***	0,011 ns	0,085 **
Anual	0,032 ***	0,042 *	0,063 ***

ns = não significativo; + $p < 0,10$; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

Uma pesquisa realizada na região semiárida do estado da Paraíba estimou através do software Estima_T dados de temperatura média do ar entre 1950 e 2016, esses dados foram avaliados através do teste de Mann-Kendall (MEDEIROS *et al.*, 2019). De acordo com Medeiros *et al.* (2019) todas as localidades tiveram tendências de aumento na temperatura média do ar estimada, tanto no período mensal quanto no anual a declinação de Sen variou de 0,008 a 0,011 °C/ano. Relacionando com os resultados obtidos, neste trabalho, em São Gonçalo os dados apresentaram mais tendências significativas no período mensal um comportamento semelhante ao de Medeiros *et al.* (2019). Além disso, os aumentos das tendências obtidas através dos dados do INMET foram maiores do que os valores das tendências obtidas através do software Estima_T.

Os autores Silva *et al.* (2020) utilizaram os dados de temperatura média do ar do INMET para avaliar as tendências através do teste de Mann-Kendall para o estado da Paraíba. O período estudado foi do início de funcionamento das estações de Areia, Campina Grande, João Pessoa, Monteiro, Patos e São Gonçalo (Sousa) até o ano de 2016. No presente trabalho, na comparação anual a temperatura média do ar apresentou indicativos de aumento nas estações de Areia, Campina Grande, Monteiro, Patos e São Gonçalo, enquanto na pesquisa de Silva *et al.* (2020), nestas mesmas estações, não foram observadas tendências significativas.

- **Temperatura de operação da célula fotovoltaica**

A temperatura de operação da célula fotovoltaica influencia na eficiência da conversão da energia solar em energia elétrica, que por sua vez depende da temperatura média do ar local. Na Figura 2 é possível observar os valores médios anuais obtidos de temperatura de operação da célula fotovoltaica, para os seis tipos de módulos fotovoltaicos nas seis localidades selecionadas no estado da Paraíba-Brasil. As maiores temperaturas de operação são as dos

municípios de João Pessoa, Patos e São Gonçalo. Esse resultado era esperado pelo fato dessas localidades apresentarem as maiores temperaturas médias do ar. Em Monteiro a temperatura operacional das células dos modelos selecionados foi ligeiramente maior do que em Campina Grande e Areia, porque a irradiação solar total horizontal em Monteiro foi mais elevada.

Analisando individualmente o comportamento da temperatura de operação dos painéis fotovoltaicos em cada localidade, os modelos Pv 2, Pv 4 e Pv 5 tiveram temperaturas iguais, sendo sempre as mais elevadas. Os modelos Pv 3 e Pv 6 apresentaram a mesma temperatura operacional. A menor temperatura de operação foi obtida no modelo Pv 1. O comportamento das temperaturas iguais entre o Pv 2, Pv 4 e Pv 5 e o Pv 3 e Pv 6, pode ser explicado em razão da temperatura nominal da célula ser a mesma. Quanto maior o valor da temperatura nominal da célula maior será a temperatura de operação da célula na realidade. Do tipo monocristalino o Pv 2 possui a maior temperatura de operação, seguido do Pv 3 e Pv 1. Do tipo policristalino o Pv 4 e Pv 5 possuem a temperatura maior do que o Pv 6.

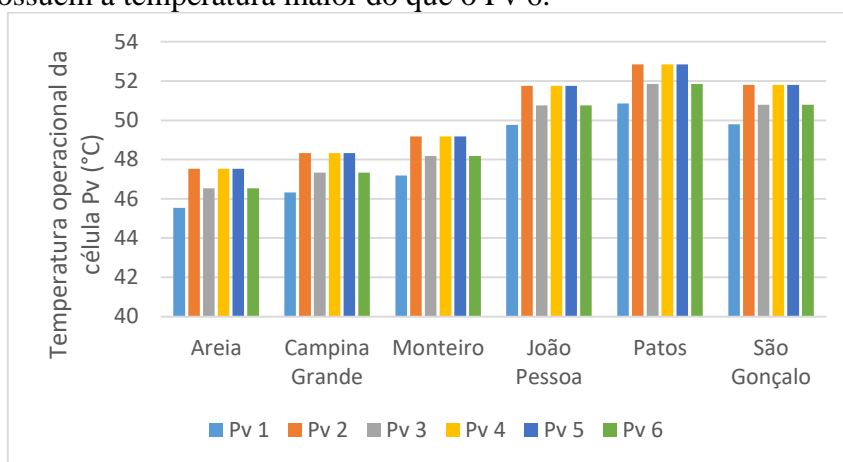


Figura 2 – Média anual da temperatura de operação das células dos módulos fotovoltaicos Pv 1, Pv 2, Pv 3, Pv 4 e Pv 5 para as localidades de Areia (1996-2019), Campina Grande (1974-2019), Monteiro (1963-2019), João Pessoa (1961-2019), Patos (1984-2019) e São Gonçalo (1962-2019) na Paraíba-Brasil.

- **Potencial fotovoltaico**

A produção fotovoltaica dos painéis monocristalinos foi maior do que a produção fotovoltaica dos painéis policristalinos em razão da eficiência de conversão dos módulos (Figura 3 e Figura 4). Os modelos Pv 1 e Pv 2 foram semelhantes ao longo do ano, mas a produção do Pv 2 foi ligeiramente maior devido sua eficiência, seguido do Pv 3 logo abaixo. Os últimos são os modelos policristalinos Pv 5, Pv 6 e o Pv 4, por ordem crescente de produção (Figura 3 e Figura 4). Analisando a temperatura média do ar e a produção fotovoltaica em Areia, Monteiro, Campina Grande, João Pessoa, Patos e São Gonçalo a produção fotovoltaica é menor no mês de fevereiro simplesmente por ser o mês com menos dias.

A estação de Areia possui os menores índices de irradiação total horizontal em comparação com as demais estações, que pode ser justificado pelo aumento da nebulosidade. Por isso a produção fotovoltaica em Areia foi a menor das seis estações analisadas, ficando abaixo de 5.000 kWh/mês. A menor produção foi a do modelo Pv 4 em junho, 2.664,59 kWh/mês e a maior foi a do modelo Pv 2 no mês de novembro, 4.664,55 kWh/mês (Figura 3). A menor produção em Areia corresponde ao mês de junho, com a irradiação em torno de 3,5 kWh/m² e a temperatura média do ar está em torno de 21,4 °C. No mês de julho a temperatura média do ar foi menor, em torno de 20,7 °C, e a produção fotovoltaica voltou a crescer mesmo com a irradiação solar sendo a mesma do mês de junho.

Em Monteiro nos meses de janeiro, fevereiro, março, outubro, novembro e dezembro, a produção fotovoltaica foi a maior dentre as seis estações analisadas. Nesses meses a irradiação solar total horizontal estava alta e a temperatura média do ar estava mais baixa do que em João Pessoa, Patos e São Gonçalo. A temperatura média do ar em Monteiro variou de 22 °C a 26 °C. A menor produção foi no mês de junho, 4.035,88 kWh/mês para o Pv 1, 4.040,92 kWh/mês para o Pv 2, 3.932,78 kWh/mês para o Pv 3, 3.535,81 kWh/mês para o Pv 4, 3.619,99 kWh/mês para o Pv 5 e 3.615,62 kWh/mês para o Pv 6. O pico da produção fotovoltaica em Monteiro foi no mês de outubro e o pico da irradiação foi em novembro, porém a temperatura média do ar em outubro foi 0,7 °C a menos que o mês de novembro. Em Campina Grande entre os meses de outubro e dezembro a produção fotovoltaica foi quase constante, sendo que em novembro teve o pico da irradiação solar. A produção em novembro foi um pouco maior, 5.367,58 kWh/mês para o Pv 1, 5.373,88 kWh/mês para o Pv 2, 5.230,26 kWh/mês para o Pv 3, 4.702,15 kWh/mês para o Pv 4, 4.814,10 kWh/mês para o Pv 5 e 4.808,47 kWh/mês para o Pv 6 (Figura 3).

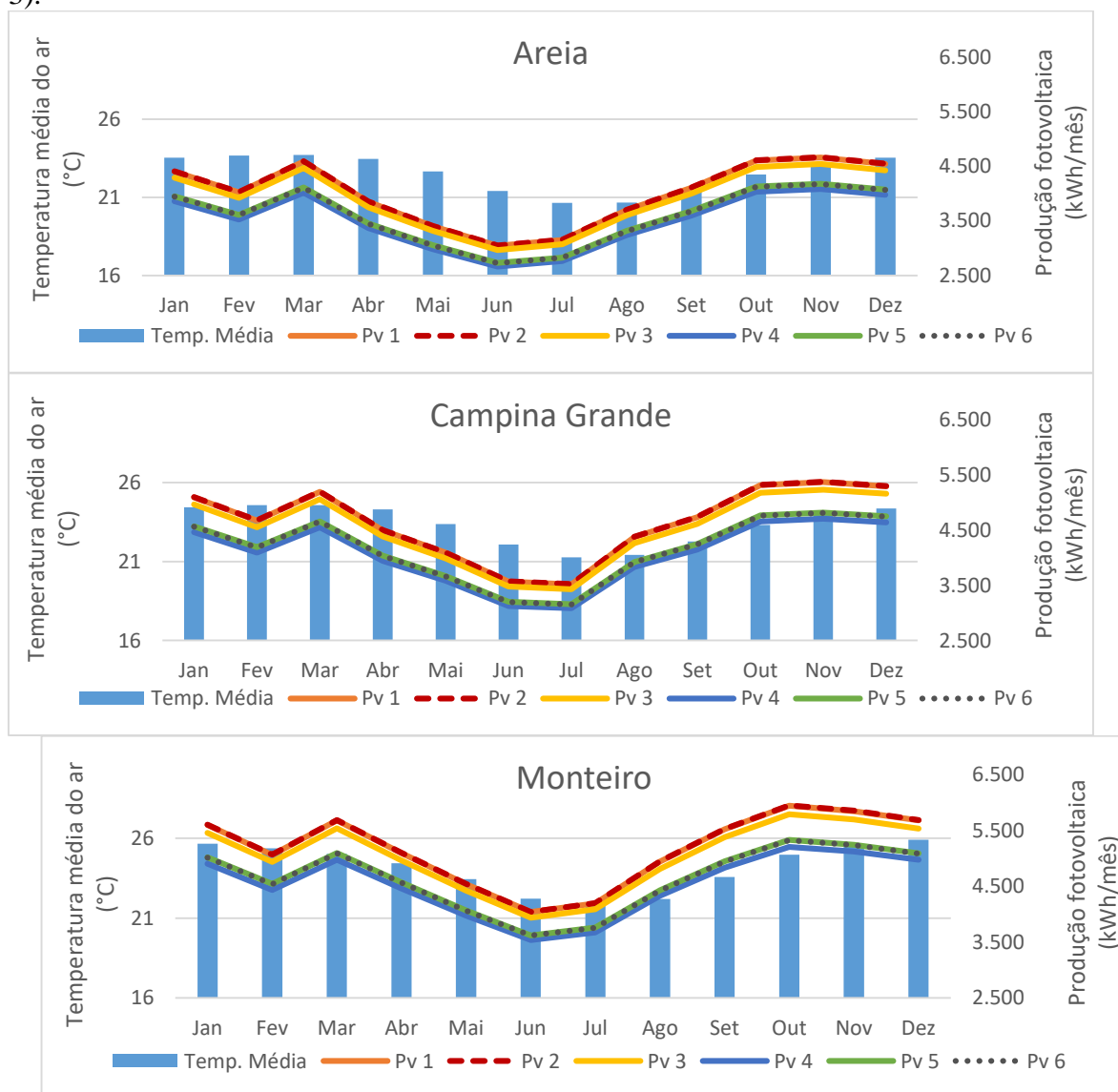


Figura 3 – Comportamento da série completa dos dados da temperatura média do ar e da produção fotovoltaica com áreas equivalentes, para as localidades de Areia (1996-2019), Campina Grande (1974-2019) e Monteiro (1963-2019) na Paraíba-Brasil.

Em João Pessoa a temperatura do ar média anual foi de 26,8 °C. A menor temperatura média foi no mês de julho, 24,9 °C, assim como a menor produção fotovoltaica, 3.646,84 kWh/mês para o Pv 1, 3.650,97 kWh/mês para o Pv 2, 3.553,47 kWh/mês para o Pv 3, 3.194,60 kWh/mês para o Pv 4, 3.270,66 kWh/mês para o Pv 5 e 3.266,90 kWh/mês para o Pv 6 (Figura 4). A irradiação de João Pessoa é menor do que Monteiro, São Gonçalo e Patos (exceto nos meses de novembro e dezembro) (Figura 4). Apesar do pico da irradiação solar total horizontal ser em novembro, 6,5 kWh/m², outubro foi o mês onde a produção fotovoltaica foi maior, a irradiação foi de 6,4 kWh/m² e a temperatura foi 0,6 °C menor do que o mês de novembro. Em Patos os dois picos de produção foram no mês de março e outubro, coincidindo com os picos de irradiação solar total horizontal, 6,5 kWh/m² em março e 6,8 kWh/m² em outubro. A produção no mês de outubro foi maior 5.824,63 kWh/mês para o Pv 1, 5.830,26 kWh/mês para o Pv 2, 5.675,04 kWh/mês para o Pv 3, 5.101,48 kWh/mês para o Pv 4, 5.222,94 kWh/mês para o Pv 5, e 5.217,37 kWh/mês para o Pv 6 (Figura 4). A produção fotovoltaica em São Gonçalo foi maior do que em Patos, com exceção dos meses de fevereiro e março. Em São Gonçalo os picos de produção fotovoltaica foram março e outubro, e os picos de irradiação solar total horizontal foram março e novembro, 6,3 kWh/m² e 7,0 kWh/m² respectivamente. A temperatura média anual do ar foi 26,8 °C. A temperatura média do ar mais baixa associada a alta irradiação solar colaborou para o aumento da produção fotovoltaica em São Gonçalo (Figura 4).

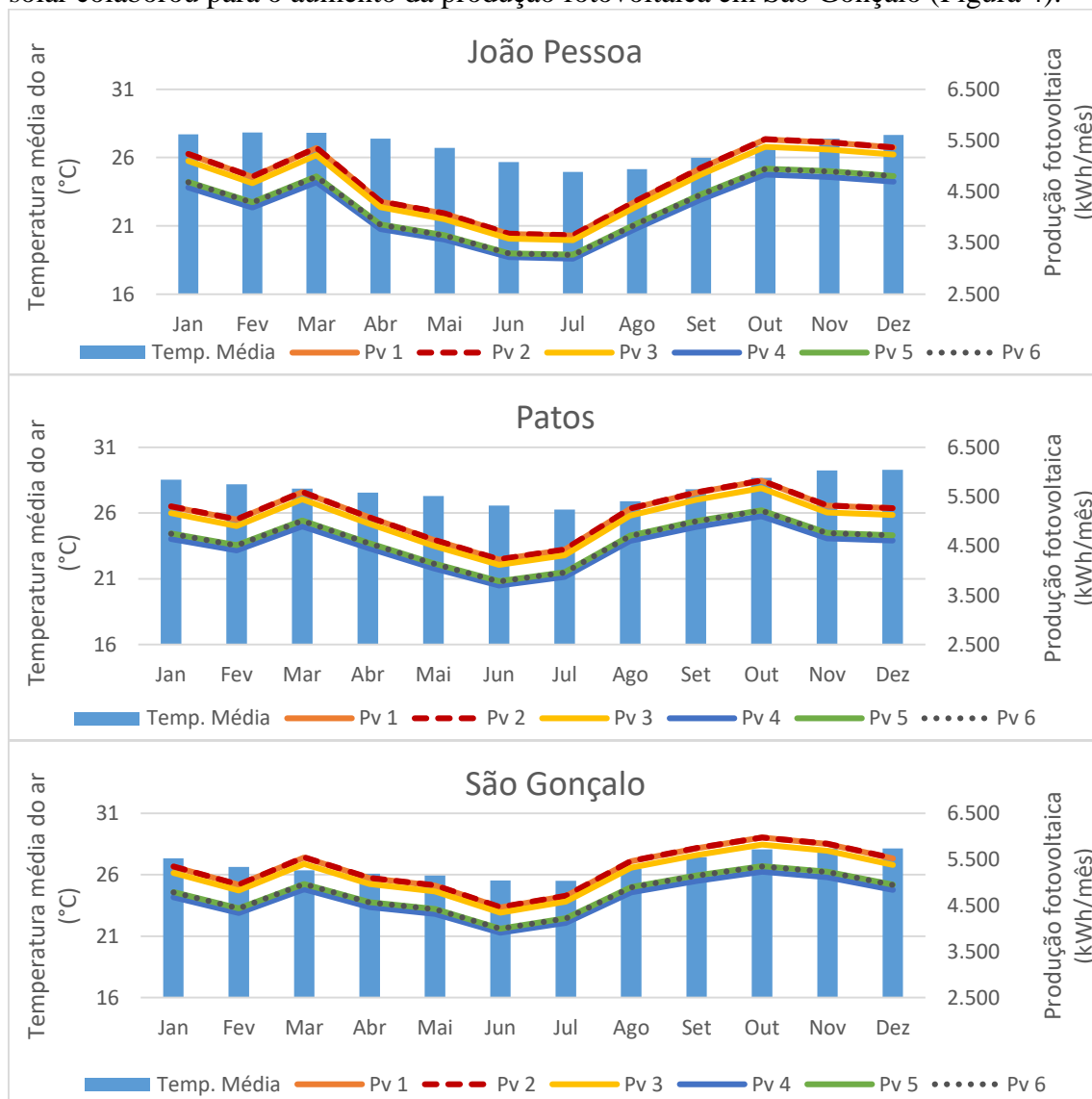


Figura 4 – Comportamento da série completa dos dados da temperatura média do ar e da produção fotovoltaica com áreas equivalentes, para as localidades de João Pessoa (1961-2019), Patos (1984-2019) e São Gonçalo (1962-2019) na Paraíba-Brasil.

Os autores Mirzaei e Mohiabadi (2017) monitoraram durante um ano dois módulos fotovoltaicos (silício monocristalino e policristalino) em uma região semiárida do Irã. Fixando a irradiação solar, foi observado que a eficiência dos módulos fotovoltaicos diminuía quando a temperatura do ambiente aumentava. No presente trabalho, no mês de julho em Areia a irradiação solar foi a mesma do mês de junho, mas a redução da temperatura do ar fez com que a produção fotovoltaica aumentasse. Foi observado de modo bem evidente nos municípios de Monteiro, João Pessoa e São Gonçalo, em que o pico de irradiação solar não coincidiu com o pico de produção fotovoltaica, por influência da temperatura do ar.

- **Comparativo da produção fotovoltaica de painéis de silício monocristalino e policristalino.**

Os comparativos da produção fotovoltaica de painéis de silício monocristalino e policristalino para as localidades de Areia, Monteiro, Campina Grande, João Pessoa, Patos e São Gonçalo no estado da Paraíba, estão apresentados na Tabela 5 e Tabela 6. A variação percentual relativa do comparativo 1 foi semelhante ao resultado obtido no comparativo 2 em todas as cidades, ou seja, devido aos aumentos na temperatura média do ar na produção fotovoltaica de painéis de silício monocristalino foram as mesmas dos painéis de silício policristalino. É importante observar que essas perdas foram baixas para todos os modelos de painéis e em todas as localidades estudadas.

Em Areia apenas os meses de janeiro e fevereiro apresentaram variações percentuais positivas. A produção fotovoltaica nos últimos 10 anos foi maior, isso se deve a redução na temperatura média do ar no período entre os 10 primeiros e os 10 últimos anos de coleta de dados, -0,8% Tabela 5. A variação percentual relativa do comparativo 1 foi semelhante ao resultado obtido no comparativo 2 em todas as cidades, ou seja, devido aos aumentos na temperatura média do ar na produção fotovoltaica de painéis de silício monocristalino foram as mesmas dos painéis de silício policristalino. É importante observar que essas perdas foram baixas para todos os modelos de painéis e em todas as localidades estudadas.

Na estação de Monteiro as reduções foram um pouco mais expressivas. Nos meses de abril e maio a redução da produção foi maior, -0,75% e -0,77% (Tabela 5). Em Campina Grande a variação ficou entre -0,01% e -0,27%, sendo que a menor e a maior redução ocorreram nos meses de janeiro e maio.

Tabela 5 – Comparativo da produção fotovoltaica em variação percentual relativa (10 últimos anos da série de dados históricos comparados aos 10 primeiros) com a área equivalente para as localidades de Areia, Monteiro, Campina Grande. Pv 1 - Canadian / CS1H-320MS, Pv 2 - Risen RSM60-6-295M-315M/5BB, Pv 3 - Trina / TSM-DD05A.08(II), Pv 4 - Canadian / CS6K-275P, Pv 5 - BYD P6C-30 Série-4BB-156.75P, Pv 6 - Trina / TSM-PD05.08.

Areia						
Período	Comparativo 1			Comparativo 2		
	Si Monocristalino			Si Policristalino		
Jan	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%	0,09%
Fev	0,07%	0,07%	0,07%	0,07%	0,07%	0,07%
Mar	-0,10%	-0,10%	-0,10%	-0,10%	-0,10%	-0,10%
Abr	-0,07%	-0,07%	-0,07%	-0,07%	-0,07%	-0,07%
Mai	-0,12%	-0,12%	-0,12%	-0,12%	-0,12%	-0,12%
Jun	-0,22%	-0,22%	-0,22%	-0,22%	-0,22%	-0,22%

Jul	-0,08%	-0,08%	-0,08%	-0,08%	-0,08%	-0,08%
Ago	-0,11%	-0,11%	-0,11%	-0,11%	-0,11%	-0,11%
Set	-0,03%	-0,03%	-0,03%	-0,03%	-0,03%	-0,03%
Out	-0,08%	-0,08%	-0,08%	-0,08%	-0,08%	-0,08%
Nov	-0,11%	-0,11%	-0,11%	-0,11%	-0,11%	-0,11%
Dez	-0,10%	-0,10%	-0,10%	-0,10%	-0,10%	-0,10%
Anual	-0,07%	-0,07%	-0,07%	-0,07%	-0,07%	-0,07%
Marca/Modelo	Pv 1	Pv 2	Pv 3	Pv 4	Pv 5	Pv 6
Monteiro						
Jan	-0,44%	-0,45%	-0,45%	-0,45%	-0,45%	-0,45%
Fev	-0,37%	-0,38%	-0,37%	-0,38%	-0,38%	-0,37%
Mar	-0,69%	-0,69%	-0,69%	-0,69%	-0,69%	-0,69%
Abr	-0,75%	-0,76%	-0,76%	-0,76%	-0,76%	-0,76%
Mai	-0,77%	-0,78%	-0,78%	-0,78%	-0,78%	-0,78%
Jun	-0,55%	-0,56%	-0,55%	-0,56%	-0,56%	-0,55%
Jul	-0,51%	-0,51%	-0,51%	-0,51%	-0,51%	-0,51%
Ago	-0,48%	-0,48%	-0,48%	-0,48%	-0,48%	-0,48%
Set	-0,54%	-0,54%	-0,54%	-0,54%	-0,54%	-0,54%
Out	-0,20%	-0,21%	-0,21%	-0,21%	-0,21%	-0,21%
Nov	-0,33%	-0,34%	-0,33%	-0,34%	-0,34%	-0,33%
Dez	-0,48%	-0,48%	-0,48%	-0,48%	-0,48%	-0,48%
Anual	-0,50%	-0,51%	-0,50%	-0,51%	-0,51%	-0,50%
Marca/Modelo	Pv 1	Pv 2	Pv 3	Pv 4	Pv 5	Pv 6
Campina Grande						
Jan	-0,01%	-0,01%	-0,01%	-0,01%	-0,01%	-0,01%
Fev	-0,09%	-0,09%	-0,09%	-0,09%	-0,09%	-0,09%
Mar	-0,21%	-0,21%	-0,21%	-0,21%	-0,21%	-0,21%
Abr	-0,20%	-0,20%	-0,20%	-0,20%	-0,20%	-0,20%
Mai	-0,27%	-0,27%	-0,27%	-0,27%	-0,27%	-0,27%
Jun	-0,23%	-0,24%	-0,24%	-0,24%	-0,24%	-0,24%
Jul	-0,16%	-0,16%	-0,16%	-0,16%	-0,16%	-0,16%
Ago	-0,24%	-0,24%	-0,24%	-0,24%	-0,24%	-0,24%
Set	-0,15%	-0,15%	-0,15%	-0,15%	-0,15%	-0,15%
Out	-0,15%	-0,16%	-0,16%	-0,16%	-0,16%	-0,16%
Nov	-0,16%	-0,16%	-0,16%	-0,16%	-0,16%	-0,16%
Dez	-0,18%	-0,18%	-0,18%	-0,18%	-0,18%	-0,18%
Anual	-0,17%	-0,17%	-0,17%	-0,17%	-0,17%	-0,17%
Marca/Modelo	Pv 1	Pv 2	Pv 3	Pv 4	Pv 5	Pv 6

Nas estações de João Pessoa, Patos e São Gonçalo em todos os meses a produção fotovoltaica dos painéis de silício monocristalino e policristalino reduziram (Tabela 6), com ressalva do mês de dezembro em Patos (0,11%). Isso porque a temperatura média do ar diminuiu cerca de 0,78% entre os 10 primeiros e os 10 últimos anos de coleta de dados no mês de dezembro em Patos. A variação da produção fotovoltaica anual em João Pessoa foi de -0,49%, e a mensal foi de -0,21% em junho a -0,64% em março para o Pv 2, Pv 4 e Pv 5 (Tabela 6). Em Patos os destaques são os meses de março e maio, onde o percentual de redução na produção foi de -0,43% em março e -0,53% em maio, exceto para o Pv 1, respectivamente. Em

São Gonçalo as maiores perdas na produção fotovoltaica ocorreram no segundo semestre, com a variação em outubro de -0,51% (Tabela 6).

Tabela 6 - Comparativo da produção fotovoltaica em variação percentual relativa (10 últimos anos da série de dados históricos comparados aos 10 primeiros) com a área equivalente para as localidades de João Pessoa, Patos e São Gonçalo. Pv 1 - Canadian / CS1H-320MS, Pv 2 - Risen RSM60-6-295M-315M/5BB, Pv 3 - Trina / TSM-DD05A.08(II), Pv 4 – Canadian / CS6K-275P, Pv 5 - BYD P6C-30 Série-4BB-156.75P, Pv 6 - Trina / TSM-PD05.08.

João Pessoa						
Período	Comparativo 1			Comparativo 2		
	Si Monocristalino			Si Policristalino		
Jan	-0,37%	-0,37%	-0,37%	-0,37%	-0,37%	-0,37%
Fev	-0,46%	-0,47%	-0,47%	-0,47%	-0,47%	-0,47%
Mar	-0,63%	-0,64%	-0,63%	-0,64%	-0,64%	-0,63%
Abr	-0,56%	-0,57%	-0,57%	-0,57%	-0,57%	-0,57%
Mai	-0,42%	-0,42%	-0,42%	-0,42%	-0,42%	-0,42%
Jun	-0,21%	-0,21%	-0,21%	-0,21%	-0,21%	-0,21%
Jul	-0,44%	-0,44%	-0,44%	-0,44%	-0,44%	-0,44%
Ago	-0,52%	-0,53%	-0,52%	-0,53%	-0,53%	-0,52%
Set	-0,49%	-0,49%	-0,49%	-0,49%	-0,49%	-0,49%
Out	-0,55%	-0,55%	-0,55%	-0,55%	-0,55%	-0,55%
Nov	-0,52%	-0,52%	-0,52%	-0,52%	-0,52%	-0,52%
Dez	-0,55%	-0,56%	-0,55%	-0,56%	-0,56%	-0,55%
Anual	-0,49%	-0,49%	-0,49%	-0,49%	-0,49%	-0,49%
Marca/Modelo	Pv 1	Pv 2	Pv 3	Pv 4	Pv 5	Pv 6
Patos						
Jan	-0,16%	-0,16%	-0,16%	-0,16%	-0,16%	-0,16%
Fev	-0,12%	-0,12%	-0,12%	-0,12%	-0,12%	-0,12%
Mar	-0,43%	-0,43%	-0,43%	-0,43%	-0,43%	-0,43%
Abr	-0,18%	-0,18%	-0,18%	-0,18%	-0,18%	-0,18%
Mai	-0,52%	-0,53%	-0,53%	-0,53%	-0,53%	-0,53%
Jun	-0,31%	-0,32%	-0,32%	-0,32%	-0,32%	-0,32%
Jul	-0,21%	-0,21%	-0,21%	-0,21%	-0,21%	-0,21%
Ago	-0,18%	-0,18%	-0,18%	-0,18%	-0,18%	-0,18%
Set	-0,10%	-0,10%	-0,10%	-0,10%	-0,10%	-0,10%
Out	-0,07%	-0,07%	-0,07%	-0,07%	-0,07%	-0,07%
Nov	-0,08%	-0,08%	-0,08%	-0,08%	-0,08%	-0,08%
Dez	0,11%	0,11%	0,11%	0,11%	0,11%	0,11%
Anual	-0,18%	-0,18%	-0,18%	-0,18%	-0,18%	-0,18%
Marca/Modelo	Pv 1	Pv 2	Pv 3	Pv 4	Pv 5	Pv 6
São Gonçalo						
Jan	-0,15%	-0,15%	-0,15%	-0,15%	-0,15%	-0,15%
Fev	-0,12%	-0,12%	-0,12%	-0,12%	-0,12%	-0,12%
Mar	-0,27%	-0,27%	-0,27%	-0,27%	-0,27%	-0,27%
Abr	-0,27%	-0,27%	-0,27%	-0,27%	-0,27%	-0,27%
Mai	-0,28%	-0,28%	-0,28%	-0,28%	-0,28%	-0,28%
Jun	-0,36%	-0,37%	-0,37%	-0,37%	-0,37%	-0,37%
Jul	-0,43%	-0,43%	-0,43%	-0,43%	-0,43%	-0,43%

Ago	-0,41%	-0,42%	-0,42%	-0,42%	-0,42%	-0,42%
Set	-0,38%	-0,38%	-0,38%	-0,38%	-0,38%	-0,38%
Out	-0,51%	-0,51%	-0,51%	-0,51%	-0,51%	-0,51%
Nov	-0,47%	-0,48%	-0,48%	-0,48%	-0,48%	-0,48%
Dez	-0,46%	-0,46%	-0,46%	-0,46%	-0,46%	-0,46%
Anual	-0,35%	-0,35%	-0,35%	-0,35%	-0,35%	-0,35%
Marca/Modelo	Pv 1	Pv 2	Pv 3	Pv 4	Pv 5	Pv 6

Segundo Do Nascimento *et al.* (2020) a partir de um estudo realizado em algumas usinas fotovoltaicas no Brasil, a temperatura média do ar foi a principal causa das perdas de energia em sistemas fotovoltaicos. Do Nascimento *et al.* (2020) verificaram que os módulos de silício monocristalino e policristalino foram os mais afetados pela alta na temperatura do ar, principalmente em áreas costeiras considerando uma inclinação fixa, e as tecnologias menos afetadas foram as de silício de filme fino. No presente trabalho esse fato foi observado na estação de João Pessoa, que está situada em uma área costeira. Na comparação mensal a redução na produção foi mais acentuada do que as demais estações localizadas no interior do estado, com exceção da estação de Monteiro, que também apresentou reduções elevadas em todos os meses.

Os autores Medeiros *et al.* (2021) estudaram a eficiência do painel fotovoltaico de silício policristalino em relação à temperatura média do ar, para sete municípios localizados no semiárido do estado da Paraíba-Brasil. Na comparação entre os 10 primeiros e os 10 últimos anos da temperatura média do ar, a produção fotovoltaica apresentou uma redução mensal de até -0,5% (MEDEIROS *et al.*, 2021). Situação semelhante foi observada no presente estudo, em que a redução na produção fotovoltaica de painéis de silício monocristalino e policristalino foi inferior a 1%.

Os autores Mirzaei e Mohiabadi (2017) verificaram que a eficiência média mensal do módulo monocristalino reduz nos meses com maior irradiância solar e maior temperatura média do ar, enquanto o módulo policristalino é mais eficiente no clima quente com alta irradiação devido a suas características térmicas (MIRZAEI; MOHIABADI, 2017). Portanto, conclui-se que nas condições de clima semiárido do Irã, o módulo solar policristalino é mais adequado para ser usado nos meses de verão, enquanto o módulo monocristalino é mais eficiente nos meses de inverno (MIRZAEI; MOHIABADI, 2017). No caso das estações analisadas na Paraíba-Brasil, os painéis de silício monocristalino e policristalino apresentaram a mesma variação percentual. Não houve distinção entre os meses de inverno e verão, provavelmente devido à baixa sazonalidade derivada da proximidade da área de estudo à linha do equador.

CONCLUSÃO

A análise de tendências mostrou que existe uma tendência crescente da temperatura média do ar na comparação anual em todas as estações analisadas. Na comparação mensal, todos os meses das localidades de Monteiro, João Pessoa e São Gonçalo apresentaram tendências significativas de aumento na temperatura.

A menor temperatura de operação da célula fotovoltaica foi do modelo Pv 1, seguido dos modelos Pv 3 e Pv 6, que foram iguais. As temperaturas mais altas foram nos modelos Pv 2, Pv 4 e Pv 5, devido à temperatura nominal da célula ser a mesma, apesar disso, a produção fotovoltaica no Pv 2 foi maior em razão da sua eficiência. O Pv 1 teve a menor temperatura operacional, que associado à sua eficiência teve a maior produção fotovoltaica em todas as estações. A produção fotovoltaica ao longo do ano em Areia foi menor que 5.000 kWh/mês. Em Monteiro, os meses de janeiro, fevereiro, março, outubro, novembro e dezembro a produção fotovoltaica foi a maior dentre as seis estações analisadas. Em alguns casos o pico da irradiação

solar não correspondeu ao ponto máximo da produção fotovoltaica. Foi o caso de Monteiro, João Pessoa e São Gonçalo.

No comparativo da produção fotovoltaica entre os 10 primeiros e os 10 últimos anos de coleta de dados de temperatura média do ar, os painéis fotovoltaicos de silício monocristalino e policristalino apresentaram a mesma variação percentual diante da variação de temperatura média do ar. Na maioria dos meses em todas as estações ocorreu redução da produção fotovoltaica devido ao aumento da temperatura média do ar. As exceções foram os meses de janeiro e fevereiro em Areia e o mês de dezembro em Patos, devido a diminuição da temperatura média do ar. Em Areia, Campina Grande, Patos e São Gonçalo as variações percentuais relativa foram menores. Em contrapartida em Monteiro e João Pessoa as variações percentuais foram maiores.

Foi observado impacto na produção fotovoltaica devido ao aumento da temperatura média do ar, porém, a variação percentual foi menor que -1%. Ainda assim, se faz necessário o acompanhamento da variação da temperatura média do ar na produção fotovoltaica durante os próximos anos e décadas, devido principalmente às tendências históricas observadas da temperatura média do ar terem sido significativas e crescentes.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por meio do projeto 306783/2018-5 e das bolsas 142451/2018-5 e 481593/2020-00.

REFERÊNCIAS

- ANEEL. **Agência Nacional de Energia Elétrica. Sistema de Informações de Geração.** Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/siga>>. Acesso em: 10 fev. 2022.
- BAYRAK, F.; OZTOP, H. F.; SELIMEFENDIGIL, F. Effects of different fin parameters on temperature and efficiency for cooling of photovoltaic panels under natural convection. **Solar Energy**, v. 188, n. November 2018, p. 484–494, 2019.
- BYD. **Poly-crystalline 60 cell, P6C-30-SERIES-4BB.** Disponível em: <<https://sg.byd.com/wp-content/uploads/2017/10/combine-4-1.pdf>>. Acesso em: 30 nov. 2020.
- CANADIAN SOLAR. **High Density Shingle PERC Module (Mono).** Disponível em: <<https://sg.byd.com/wp-content/uploads/2017/10/combine-4-1.pdf>>. Acesso em: 11 nov. 2020.
- CORREA-BETANZO, C.; CALLEJA, H.; DE LEÓN-ALDACO, S. Module temperature models assessment of photovoltaic seasonal energy yield. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 27, n. June 2017, p. 9–16, 2018.
- COSKUN, C. et al. Sensitivity analysis of implicit correlations for photovoltaic module temperature: A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 164, p. 1474–1485, 2017.
- DO NASCIMENTO, L. R. et al. Performance assessment of solar photovoltaic technologies under different climatic conditions in Brazil. **Renewable Energy**, v. 146, p. 1070–1082, 2020.
- EL ACHOUBY, H. et al. New analytical approach for modelling effects of temperature and irradiance on physical parameters of photovoltaic solar module. **Energy Conversion and Management**, v. 177, n. August, p. 258–271, 2018.
- EPE. Balanço Energético Nacional - BEN 2021. **Empresa de Pesquisa Energética**, p. 268, 2021.
- GOCIC, M.; TRAJKOVIC, S. Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia. **Global and Planetary Change**, v. 100, p. 172–182, 2013.
- GÜÇLÜ, Y. S. Multiple Şen-innovative trend analyses and partial Mann-Kendall test. **Journal of Hydrology**, v. 566, n. September, p. 685–704, 2018.
- IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Portal de mapas. Rio de Janeiro,**

IBGE, 2017. Disponível em: <<https://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#homepage>>. Acesso em: 20 jan. 2020.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Área territorial brasileira. População estimada. Rio de Janeiro, IBGE, 2020. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pb/>>. Acesso em: 10 fev. 2022.

MEDEIROS, S. E. L. et al. Comparison between observed and estimated data to assess air temperature variability and trends in the Sertão Paraibano mesoregion (Brazil). **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 191, n. 2, 2019.

MEDEIROS, S. E. L. et al. Influence of climatic variability on the electricity generation potential by renewable sources in the Brazilian semi-arid region. **Journal of Arid Environments**, v. 184, n. October 2020, 2021.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. 1a. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MIRZAEI, M.; MOHIABADI, M. Z. A comparative analysis of long-term field test of monocrystalline and polycrystalline PV power generation in semi-arid climate conditions. **Energy for Sustainable Development**, v. 38, p. 93–101, 2017.

MONTENEGRO, S.; RAGAB, R. Impact of possible climate and land use changes in the semi arid regions: A case study from North Eastern Brazil. **Journal of Hydrology**, v. 434–435, p. 55–68, 2012.

NOLAY, P. Développement d'une méthode générale d'analyse des systèmes photovoltaïques. **Paris, ENMP**, 1987.

NOTTON, G. et al. Modelling of a double-glass photovoltaic module using finite differences. **Applied Thermal Engineering**, v. 25, n. 17–18, p. 2854–2877, 2005.

RISEN SOLAR. **Monocrystalline PV Modulee**. Disponível em: <<https://www.risenenergy.com/uploadfile/201808/b9068e5c8e.pdf>>. Acesso em: 30 nov. 2020.

SARHAN, W. M. et al. Effect of temperature on the efficiency of the thermal cell. **Asian Journal of Chemistry**, v. 18, n. 2, p. 982–990, 2006.

SHUBBAK, M. H. Advances in solar photovoltaics: Technology review and patent trends. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 115, n. July, p. 109383, 2019.

SICES SOLAR. **CanadianSolar Module 60 Cells**. Disponível em: <<https://sicesolar.com.br/module-60-cells/>>. Acesso em: 11 nov. 2020.

SILVA, W. K. DE M. et al. Sugarcane production and climate trends in Paraíba state (Brazil). **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 192, n. 6, 2020.

SKOPLAKI, E.; PALYVOS, J. A. On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations. **Solar Energy**, v. 83, n. 5, p. 614–624, 2009.

TRINA SOLAR. **Monocrystalino Honey M plus. Policristalino Honey**. Disponível em: <<https://mgr.trinasolar.com/pt/resources/downloads#TSM-PD05>>. Acesso em: 30 nov. 2020.

YILMAZ, S. et al. The analysis of different PV power systems for the determination of optimal PV panels and system installation - A case study in Kahramanmaraş, Turkey. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 52, p. 1015–1024, 2015.

ZAIMI, M. et al. Determining combined effects of solar radiation and panel junction temperature on all model-parameters to forecast peak power and photovoltaic yield of solar panel under non-standard conditions. **Solar Energy**, v. 191, n. September, p. 341–359, 2019.