

## POTENCIAL FOTOVOLTAICO DO ESTADO DA PARAÍBA ESTIMADO PELA RADIAÇÃO GLOBAL

PAULO ROBERTO MEGNA FRANCISCO<sup>1</sup>, JOSÉ HUGO SIMPLICIO DE SOUSA<sup>2</sup>,  
GEORGE DO NASCIMENTO RIBEIRO<sup>3</sup>, RAIMUNDO CALIXTO MARTINS RODRIGUES<sup>4</sup>  
JOSÉ NILTON SILVA<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Eng. Agrícola Dr., UFCG, Campina Grande-PB, paulomegna@gmail.com

<sup>2</sup>Mestrando em Eng. Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, hugosimplicio123@gmail.com

<sup>3</sup>Eng. Agron. Dr. Prof., CDSA, UFCG, Campina Grande-PB, george.nascimento@professor.ufcg.edu.br

<sup>4</sup>Eng. Agron. Dr. Prof., CCA/DEA, UEMA, calixto@cca.uema.br

<sup>5</sup>Eng. Químico, Dr. Prof., Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, nilton@eq.ufcg.edu.br

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC  
7 a 10 de outubro de 2024

**RESUMO:** Este trabalho objetivou mapear o potencial fotovoltaico de áreas urbanizadas do Estado da Paraíba utilizando geotecnologias. Foi utilizado a base digital de dados solarimétricos de 2012 a 2021 com valores estimados da Média anual do Total Diário da Irradiação Global Horizontal, da Média anual e mensal do Total Diário da Irradiação Global Plano Inclinado à 10° sendo gerados os respectivos mapas utilizando o QGIS®. Os resultados demonstraram que o uso de geotecnologias pôde mapear o potencial solarimétrico com rapidez e precisão. A GHI média anual apresentou valores similares devido a sua localização geográfica próxima a linha do Equador com pouca variação anual. A variação mensal da GTI<sub>10</sub> ocorreu em regiões com maior pluviosidade anual e maior nebulosidade. A região do Sertão e Alto Sertão apresentaram o maior potencial solarimétrico. A média anual da GTI<sub>10</sub> observada foi de 5,7 kWh/m<sup>2</sup>.dia. A elevada disponibilidade e regularidade da irradiância solar no Estado da Paraíba durante os meses do ano pode garantir o investimento na geração fotovoltaica em todas as áreas urbanizadas.

**PALAVRAS-CHAVE:** dados solarimétricos, insolação, irradiação solar, geoestatística.

## PHOTOVOLTAIC POTENTIAL OF THE STATE OF PARAÍBA ESTIMATED BY GLOBAL RADIATION

**ABSTRACT:** This work aimed to map the photovoltaic potential of urbanized areas in the State of Paraíba using geotechnologies. The digital solarimetric data base from 2012 to 2021 was used with estimated values of the annual Average of the Daily Total Horizontal Global Irradiation, the annual and monthly Average of the Daily Total of Global Irradiation Inclined Plane at 10°, with the respective maps being generated using QGIS®. The results demonstrated that the use of geotechnology was able to map the solarimetric potential quickly and accurately. The annual average GHI presented similar values due to its geographic location close to the Equator with little annual variation. The monthly variation of GTI<sub>10</sub> occurred in regions with greater annual rainfall and greater cloudiness. The Sertão and Alto Sertão region presented the greatest solarimetric potential. The observed annual GTI<sub>10</sub> average was 5.7 kWh/m<sup>2</sup>.day. The high availability and regularity of solar irradiance in the State of Paraíba during the months of the year can guarantee investment in photovoltaic generation in all urbanized areas.

**KEYWORDS:** solarimetric data, insolation, solar irradiation, geostatistics.

## INTRODUÇÃO

Entre as novas alternativas para uma produção de energia de maneira sustentável e limpa, destaca-se a geração solar fotovoltaica (FV) por ser uma fonte de conversão direta da energia solar em energia elétrica de maneira não poluente, silenciosa, eficiente e não prejudicial ao meio ambiente (Rüther, 2004). Dessa maneira, a energia solar pode ser de grande benefício ao fazer parte da matriz energética do país, de forma complementar as demais fontes, beneficiando tanto o setor econômico e energético como o ambiental e social do país (Braun-Grabolle, 2010).

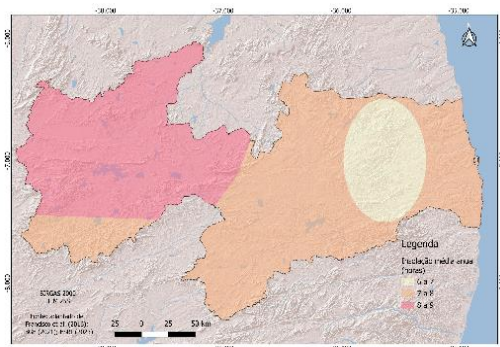
A utilização da energia solar fotovoltaica na forma de geração distribuída permite instalar os módulos fotovoltaicos nos telhados das edificações já existentes. Essa possibilidade de uso descentralizado da energia solar é a forma mais moderna para garantir o crescimento energético em harmonia com o meio ambiente, gerando eletricidade próxima ao ponto de consumo, sem a necessidade de ocupação de terras específicas para este fim. Uma residência individual com telhado bem projetado, a inclinação correta e voltado para o norte, poderá, por exemplo, ter 200 m<sup>2</sup> de área disponível para a instalação de módulos fotovoltaicos, gerando 4.176 kWh/mês (WWF-BRASIL, 2016).

O uso da energia solar conectada à rede elétrica pública está crescendo no mundo todo, de forma distribuída e próxima aos pontos de consumo (Tiepolo et al., 2016). De acordo com Urbanetz Júnior (2010), com a geração distribuída, há atendimento da demanda própria ou injeção do excedente na rede pública. Portanto, este trabalho objetiva mapear e identificar o potencial fotovoltaico do Estado da Paraíba utilizando geotecnologias.

## MATERIAL E MÉTODOS

O Estado da Paraíba, localizado na região Nordeste do Brasil, apresenta uma área de 56.467,24 km<sup>2</sup> (IBGE, 2021). Seu posicionamento encontra-se entre os paralelos 6°02'12" e 8°19'18"S, e entre os meridianos de 34°45'54" e 38°45'45"W. Ao Norte, limita-se com o Estado do Rio Grande do Norte; ao Leste, com o Oceano Atlântico; a Oeste, com o Estado do Ceará; e ao Sul, com o Estado de Pernambuco (Francisco, 2010). Conforme Francisco et al. (2016), a insolação anual (Figura 1) apresenta valores mínimos de 6 horas diárias na região dos Brejos e Agreste Acaatingado, e valores de insolação de 7 horas na região do Litoral, na Borborema, Cariris de Princesa e parte do Sertão do Seridó. Valores máximos são observados na região do Sertão com valores diários de 8 horas.

Figura 1. Média anual de insolação em horas do Estado da Paraíba.



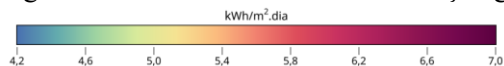
Fonte: adaptado de Francisco et al. (2016).

Neste trabalho foi utilizado a base digital de dados solarimétricos entre 2012 a 2021 disponibilizado por PARAÍBA (2023), em que, para sua elaboração foi adotado a metodologia inovadora que combina uso de dados climáticos e de sensoriamento remoto com modelo numérico de transferência radiativa BRASIL SR-2.0 adaptado para as condições ambientais, que emprega propriedades físicas da atmosfera e seus constituintes (temperatura do ar, umidade relativa, espessura óptica de aerossóis, concentração de gases atmosféricos, nebulosidade) para estimar o perfil vertical dos principais gases e partículas presentes na atmosfera, e também dados relacionados à cobertura e uso do solo (albedo e altitude), e informações sobre a nebulosidade presente na atmosfera, principal fator de modulação da incidência de radiação solar na superfície, obtidas a partir de imagens de satélites geostacionários da família GOES. As incertezas associadas à metodologia foram avaliadas com uso de métricas estatísticas, determinadas com base na comparação entre valores estimados e observados em estações medidas em superfície. A dispersão entre as médias mensais de totais diários de GHI observados (abscissas) e estimados (ordenadas) para todas as estações analisadas foram >0,95 de correlação linear e de viés relativo médio de 2% com REQm relativo de 5,2%, compatíveis com as incertezas de modelos de estimativas satelitais.

A base em formato shape utilizada apresenta resolução de 4 km (16 km<sup>2</sup>) totalizando 3.362 pixels com valores estimados dos dados da Média anual do Total Diário da Irradiação Global Horizontal, da Média anual e mensal do Total Diário da Irradiação Global Plano Inclinado à 10°.

Utilizando o QGIS® 3.34 e um arquivo digital no formato shape fornecido pelo IBGE (2021) foi recortado o limite estadual. Em seguida foram elaborados os mapas de Média anual do Total Diário da Irradiação Global Horizontal (GHI), e a Média anual e mensal do Total Diário da Irradiação Global de Plano Inclinado a 10° (GTI<sub>10</sub>). Para a classificação foi utilizada os valores e cores conforme PARAÍBA (2023) (Figura 2) e gerados histogramas dos mapas elaborados.

Figura 2. Classes de valores de irradiação global (kWh/m<sup>2</sup>.dia).



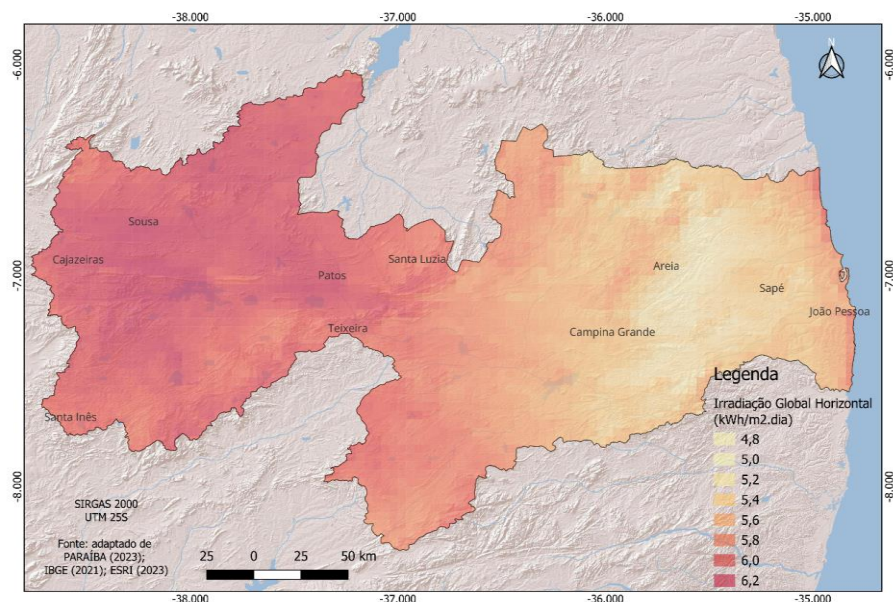
Fonte: PARAÍBA (2023).

Foi adotado o cenário de potencial Econômico III (PARAÍBA, 2023), que tem por objetivo o aproveitamento da energia solar em sistemas de geração distribuída instalados em telhados das edificações em áreas urbanas com área média 85 m<sup>2</sup> de telhado para as casas e aproveitamento de 30% da área final, na base de dados de Irradiação Global no Plano Inclinado a 10° (GTI<sub>10</sub>); e com potência aproximada de 650Wp, eficiência de 21%, com adaptações de PARAÍBA (2013) em área de 3,1 para 4 m<sup>2</sup> e desempenho de 75% para conexões monofásicas com módulos voltados para o Norte geográfico com inclinação de 10°.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 3, da Média anual do Total Diário da Irradiação Global Horizontal (GHI), pode-se observar que, os menores valores entre 4,8 e 5,0 kWh/m<sup>2</sup>.dia estão localizados na região do Brejo onde ocorre menor insolação anual, entre 6 e 7 horas conforme Francisco et al. (2016), isto devido a maior ocorrência de cobertura de nuvens e precipitação anual média em torno de 1.000mm.

Figura 3. Média anual do Total Diário da Irradiação Global Horizontal (GHI) (kWh/m<sup>2</sup>.dia).



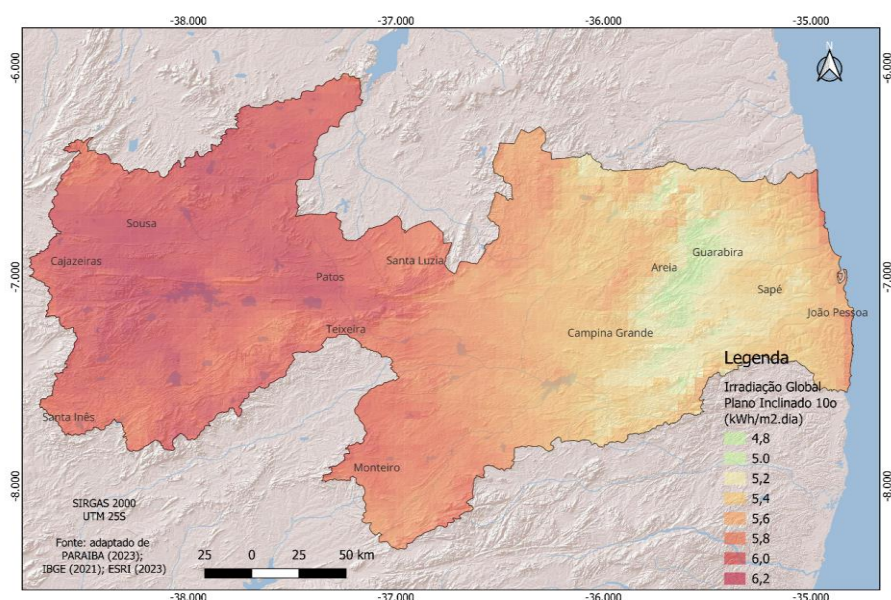
Fonte: adaptado de PARAÍBA (2023); IBGE (2021); ESRI (2024).

A região do Litoral apresenta valores médios de 5,8 a 6,0 kWh/m<sup>2</sup>.dia de GHI diminuindo os valores entre 5,0 a 5,4 kWh/m<sup>2</sup>.dia na região do Agreste com insolação média anual de 7 a 8 horas com ocorrência anual de chuvas entre 1.000 a 1.300mm. Os valores de irradiação GHI voltam a

umentar no sentido leste a oeste sob o Planalto da Borborema, na região do Curimataú e Cariri entre 5,4 a 5,8 kWh/m<sup>2</sup>.dia. Região de maiores altitudes entre 600 a 700 m com insolação média anual de 7 a 8 horas e pluviosidade anual média entre 300 a 600mm. Valores maiores entre 5,8 e 6,7 kWh/m<sup>2</sup>.dia ocorrem na região do Sertão e Alto Sertão, respectivamente, por estarem localizadas em região semiárida, devido a estação chuvosa ocorrer somente entre os meses de dezembro a fevereiro e a menor cobertura de nuvens durante o ano e conseqüentemente maior insolação anual média entre 8 a 9 horas diárias (Francisco, 2010; Francisco et al., 2015; Francisco et al., 2016).

Na Figura 4 dos valores médios de GTI<sub>10</sub> pode-se observar que, os menores valores entre 4,8 a 5,0 kWh/m<sup>2</sup>.dia ocorre entre os municípios, em sentido sul a norte, de Massaranduba, Alagoa Grande, Guarabira e Pirpirituba. Em toda a faixa litorânea ocorre valores médios de 5,8 a 6,0 kWh/m<sup>2</sup>.dia de GTI<sub>10</sub> diminuindo para 5,0 a 5,4 kWh/m<sup>2</sup>.dia adentrando a região do Agreste, que ocorre nos principais municípios de Itabaiana, Mogeiro, Gurinhém e Araçagi. Os valores de irradiação GTI<sub>10</sub> sob o Planalto da Borborema os valores médios estão entre 5,4 a 5,8 kWh/m<sup>2</sup>.dia ocorrendo nos municípios de Campina Grande e aumentando na direção Oeste como Monteiro ao Sul e Picuí ao Norte do Estado. Na região do Sertão e Alto Sertão os valores observados estão entre 5,8 e 6,7 kWh/m<sup>2</sup>.dia e contemplam municípios como Teixeira com altitude maior, Patos, Santa Luzia, Sousa, Cajazeiras e Santa Inês em menores altitudes.

Figura 4. Média anual do Total Diário da Irradiação Global Plano Inclinado à 10° (GTI10).



Fonte: adaptado de PARAÍBA (2023); IBGE (2021); ESRI (2024).

Pode-se observar pelas Figuras 3 e 4 que, ocorre uma diminuição dos valores médios de irradiação global. De acordo com Costa et al. (2018), este resultado é esperado, tendo em vista que o nível de radiação solar é, naturalmente, o fator ambiental preponderante no processo de geração. Foi observado por PARAÍBA (2023), que a irradiação global no plano inclinado (GTI<sub>10</sub>) apresenta uma variabilidade 20% inferior à GHI, atingindo valores máximos de na faixa de 500Wh/m<sup>2</sup>.

## CONCLUSÃO

Pôde-se concluir que o uso de geotecnologias pôde mapear o potencial solarimétrico com rapidez e precisão. A GHI média anual apresentou valores similares devido a sua localização geográfica próxima a linha do Equador com pouca variação anual. A variação mensal da GTI<sub>10</sub> ocorreu em regiões com maior pluviosidade anual e maior nebulosidade. A região do Sertão e Alto Sertão apresentaram o maior potencial solarimétrico. A média anual da GTI<sub>10</sub> observada foi de 5,7

kWh/m<sup>2</sup>.dia. A elevada disponibilidade e regularidade da irradiância solar no Estado da Paraíba pode garantir o investimento na geração fotovoltaica em todos as áreas urbanizadas.

## REFERÊNCIAS

- Braun-Grabolle, P. A integração de sistemas solares fotovoltaicos em larga escala no sistema elétrico de distribuição urbana. 257f. Tese (Doutorado). Curso de Engenharia Civil. Centro Tecnológico. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2010.
- Costa, A. M. G. da; Lopes, B. M.; Uturbey, W. Mapeamento do potencial de geração solar fotovoltaica no Brasil—uma abordagem preliminar. Revista Brasileira de Energia Solar, v.9, n.1, 30-40, 2018.
- ESRI. Mapa Topográfico Mundial. 2024. Disponível em: <http://www.arcgis.com/home/item.html?id=30e5fe3149c34df1ba922e6f5bbf808f>. Acesso em: janeiro de 2024.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Malhas territoriais. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 10 de dezembro de 2023.
- Francisco, P. R. M. Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água). Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2010.
- Francisco, P. R. M.; Medeiros, R. M. de; Santos, D.; Matos, R. M. de. Classificação climática de Köppen e Thornthwaite para o Estado da Paraíba. Revista Brasileira de Geografia Física, v.8, n.4, 1006-1016, 2015.
- Francisco, P. R. M.; Pedroza, J. P.; Bandeira, M. M.; Silva, L. L. da; Santos, D. Mapeamento da insolação do Estado da Paraíba utilizando krigagem. Revista de Geografia, v.33, n.1, p.248-262, 2016.
- PARAÍBA. Governo do Estado da Paraíba. Secretaria de Estado da Infraestrutura e dos Recursos Hídricos. Atlas solarimétrico da Paraíba. (Org) Fernandes, D.B.; Angelis, C.F. de. Cachoeira Paulista, Centro de Gestão de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação CGPDI. 2023. 82p.
- Rüther, R. Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública. Editora da UFSC. LABSOLAR. Florianópolis. 2004.
- Tiepolo, G. M.; Urbanetz Júnior, J.; Pereira, Ê. B.; Pereira, S. V.; Alves, A. R. Potencial de geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no Estado do Paraná – resultados parciais. In: Congresso Brasileiro de Energia Solar, 6, 2016, Belo Horizonte. Anais...Belo Horizonte, 2016.
- Urbanetz Júnior, J. Sistemas fotovoltaicos conectados a redes de distribuição urbanas: sua influência na qualidade da energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2010.
- WWF-BRASIL. Potencial da Energia Solar Fotovoltaica de Brasília. 1.a ed. Brasília. 2016. 32p. Disponível em: [https://d3nehc6y19qzo4.cloudfront.net/downloads/wwf\\_potencial\\_solar\\_para\\_internet.pdf](https://d3nehc6y19qzo4.cloudfront.net/downloads/wwf_potencial_solar_para_internet.pdf). Acesso em: 14 de dezembro de 2023.