



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS TERESINA - CENTRAL
CURSO TECNÓLOGO EM GEOPROCESSAMENTO

FRANCISCO SMILEY MENEZES SOUSA LOPES

ÁREAS SUSCETÍVEIS PARA INSTALAÇÃO DE USINA SOLAR NO ESTADO DO
PIAUÍ

TERESINA

2024

FRANCISCO SMILEY MENEZES SOUSA LOPES

ÁREAS SUSCETÍVEIS PARA INSTAÇÃO DE USINA SOLAR NO ESTADO DO PIAUÍ

Trabalho de Conclusão de Curso (artigo científico) apresentado como exigência parcial para obtenção do diploma do Curso Tecnólogo em Geoprocessamento do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Teresina - Central.

Orientador: Prof. Dr. Renato Sérgio Soares Costa.
Coorientador: Prof. Dr. Otílio Paulo da Silva Neto.

TERESINA

2024

ÁREAS SUSCETÍVEIS PARA INSTAÇÃO DE USINA SOLAR NO ESTADO DO PIAUÍ

Francisco Smiley Menezes Sousa Lopes¹
Renato Sergio Soares Costa²

RESUMO

A procura constante por fontes de energia renováveis é um desafio enfrentado pelos seres humanos no decorrer dos últimos anos, recebendo mais destaque a partir da elevação do efeito estufa, sendo uma alternativa utilizar a energia solar que é gratuita e limpa. Nesse período o estado do Piauí se modificou demograficamente, crescendo significativamente sua população urbana, elevando a necessidade de serviços públicos auxiliarem a elevação do quantitativo de indivíduos e da quantidade de edificações que são utilizadas pelo governo estadual, impactando o consumo energético e na utilização dos recursos naturais. O presente trabalho busca responder a indagação de quais as vantagens e benefícios da obtenção de energia renovável. Destaca-se que as fontes de energia renováveis fornecem maior oportunidades de eficácia energética, desenvolvimento social e econômico, assim como, democratização de energia e poder de escolha, proporcionando investimento em inovações sustentáveis que objetivam um futuro melhor tanto a curto quanto a médio prazo. Na atualidade existem duas maneiras de gerar energia elétrica solar: fotovoltaica e heliotérmica. As condições hidro climáticas necessárias para garantir a segurança energética é um dos principais desafios para o setor elétrico brasileiro, apesar do país possuir condições climáticas favoráveis para a introdução dessa fonte de matriz elétrica e disponibilizar uma ampla e extensa rede de transmissão e distribuição concentrados em grandes centros. O Piauí possui grande potencialidade para geração de Energia Solar, falta o investimento em áreas com pouca estrutura elétrica, o que corresponde a grande parte do território estadual, impedindo o desenvolvimento social e financeiro oriundos da energia limpa produzida no estado.

Palavras-chave: usina solar; energia solar; geoprocessamento; energia limpa; fontes renováveis.

¹ Tecnólogo em Geoprocessamento. IFPI. francisco.smiley@gmail.com.

² Doutor em Geografia. IFPI. E-mail.

ABSTRACT

The constant search for renewable energy sources is a challenge faced by human beings in recent years, receiving more prominence from the rise of the greenhouse effect, being an alternative to use solar energy that is free and clean. During this period, the state of Piauí changed demographically, with a significant increase in its urban population, increasing the need for public services to help increase the number of individuals and the number of buildings that are used by the state government, impacting energy consumption and the use of resources. natural. The present work seeks to answer the question of what are the advantages and benefits of obtaining renewable energy. It is noteworthy that renewable energy sources provide greater opportunities for energy efficiency, social and economic development, as well as democratization of energy and power of choice, providing investment in sustainable innovations that aim at a better future in both the short and medium term. There are currently two ways to generate solar electricity: photovoltaic and heliothermic. The hydroclimatic conditions necessary to guarantee energy security is one of the main challenges for the Brazilian electricity sector, despite the country having favorable climatic conditions for the introduction of this source of electrical matrix and providing a wide and extensive transmission and distribution concentrated in large centers. Piauí has great potential for generating Solar Energy, but there is a lack of investment in areas with little electrical infrastructure, which corresponds to a large part of the state's territory, impeding social and financial development arising from clean energy produced in the state.

Keywords: solar plant; solar energy; geoprocessing; clean energy; renewable sources.

Data de aprovação: 12/06/2024

1 INTRODUÇÃO

A busca por fontes de energia renováveis é um dos grandes desafios enfrentados pela humanidade nos últimos anos e vem ganhando mais importância com a intensificação do efeito estufa. Uma das formas mais promissoras de contornar esse problema é aproveitar a energia fornecida pelo sol, fonte limpa e gratuita de energia (DANTAS, 2018). Nas últimas décadas, o estado do Piauí passou por uma forte mudança demográfica, com o crescimento expressivo de sua população, sobretudo a urbana (NOVO, 2020). Tal fenômeno, aliado ao desenvolvimento

e a revolução tecnológica, aumentou a pressão por demanda de serviços públicos, isto posto, contribuindo para o aumento do quantitativo de pessoal e do número edificações utilizadas pelo governo estadual, com impactos no consumo energético e no uso de recursos naturais. Em razão disso, é apropriado que inovações viáveis utilizadas ao redor do mundo, com comprovada eficiência e efetividade.

As fontes de energia renováveis oferecem mais oportunidades em eficiência energética, desenvolvimento social e econômico, poder de escolha na fonte de produção, assim como investimentos em inovações sustentáveis para um futuro melhor.

Hoje se fala muito em energia renovável e limpa, sendo necessária uma grande quantidade para atender uma população com crescimento considerável e com acesso a informação, cultura, lazer e educação, utilizando equipamentos dependentes da energia elétrica. No Brasil, uma parte da energia primária provem de combustíveis fósseis. Apesar disso, o modelo elétrico nacional, baseado, na sua parcela mais significativa, em recursos hídricos, é considerado um dos mais limpos e renováveis do mundo (SUZIGAN, 2015)

O projeto para implantação de usina fotovoltaica destinada a atender a demanda de energia das instalações prediais de ente público e privado tem como propósito gerar economia com esse item de despesa e, ao mesmo tempo, ajudar a reduzir do uso de combustíveis fósseis. A AIE (Agencia Internacional de Energia), prevê a diminuição na participação de combustíveis fósseis para 73% até 2030.

Porém, a dependência de condições hidro climáticas favoráveis para a garantia da segurança energética, necessária para alavancar o desenvolvimento do país, é um dos principais desafios para o setor elétrico brasileiro. A diversificação da matriz elétrica, inserindo fontes consideradas não convencionais, como biomassa, eólica e solar fotovoltaica, pode diminuir os riscos e melhorar ainda mais a confiabilidade e disponibilidade de energia por meio de fontes renováveis. Além do aumento da disponibilidade elétrica, e diversificação das fontes de geração, outro fator importante a ser destacado é a redução da pressão e dos impactos ambientais gerados a partir da implantação das usinas hidrelétricas (TIEZZI, 2015), tendo as USV e Parque de Energia Eólicas, menor área de desmate para a geração igual de energia produzida pelas usinas hidrelétricas. Nesse tocante, a energia solar fotovoltaica possui papel significativo, visto que o Brasil possui condições climáticas favoráveis para a inserção desta fonte na sua matriz elétrica. Outro fator considerável é o fato de o País dispor de uma complexa e robusta rede de transmissão e distribuição, facilitando o intercâmbio de energia elétrica entre as regiões, onde as usinas hidrelétricas, térmicas, eólicas e solar se complementam (PERAZA, 2013).

De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN), desenvolvido pela Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE), vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME), no Brasil a fonte de energia primária majoritária é o petróleo e seus derivados (figura 01), totalizando 58,8% da matriz de origem não renovável (EPE, 2022). Por outro lado, 41,2% da energia primária gerada é de origem considerada renovável, levando, assim, o país a um lugar de destaque internacional no aproveitamento de recursos naturais para fins energéticos de forma sustentável (EPE, 2022).

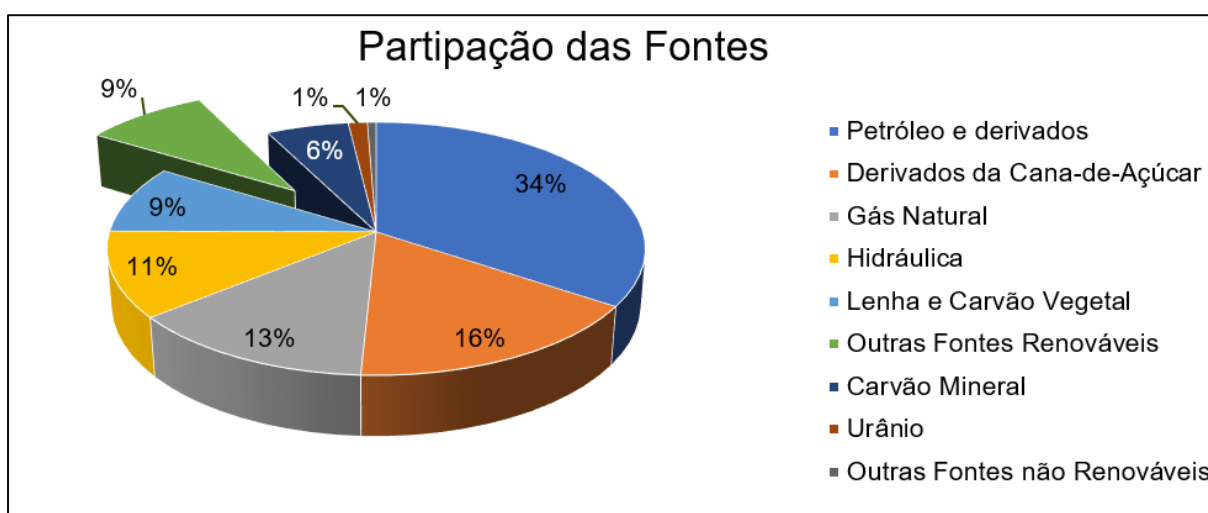


Figura 1 - Participação das fontes de energia na matriz energética nacional (Fonte: Adaptado de EPE - 2022)

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O trabalho tem por objetivo, utilizar as ferramentas de Geoprocessamento para realizar uma análise multicriterial para identificar áreas com potencial para instalação de Usina Solar Fotovoltaica no Estado do Piauí.

2.2 Objetivos específicos

- Identificar, por meio de mapas, as regiões com os maiores índices de irradiação solar no plano inclinado no Piauí;

- Realizar avaliação multicriterial e indicar as áreas com melhor aptidão para receber uma usina solar fotovoltaica;
- Dimensionar uma usina solar fotovoltaica, vinculando com o potencial de irradiação solar e avaliar sua capacidade de produção e contribuição na matriz elétrica do Estado.

3 MATÉRIAS E MÉTODOS

A metodologia utilizada no trabalho consiste em caracterizar a área de estudo, com localização, relevo, infra estrutura elétrica e subestações de energia. Utilizando ferramentas de Geoprocessamento na identificação de áreas mais aptas a projetos de usinas fotovoltaica.

As informações serão obtidas nos sites do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), ANNEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), e EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), realizando o mosaico das cartas SRTM para obter as informações de declividades e curva de nível, desta forma, interpolando os dados de Energia, podemos localizar as áreas com melhor índice de radiação e melhor relevo para implantação de Usinas Solar Fotovoltaica.

A proposta implica na seguinte sequência, conforme a figura 2:

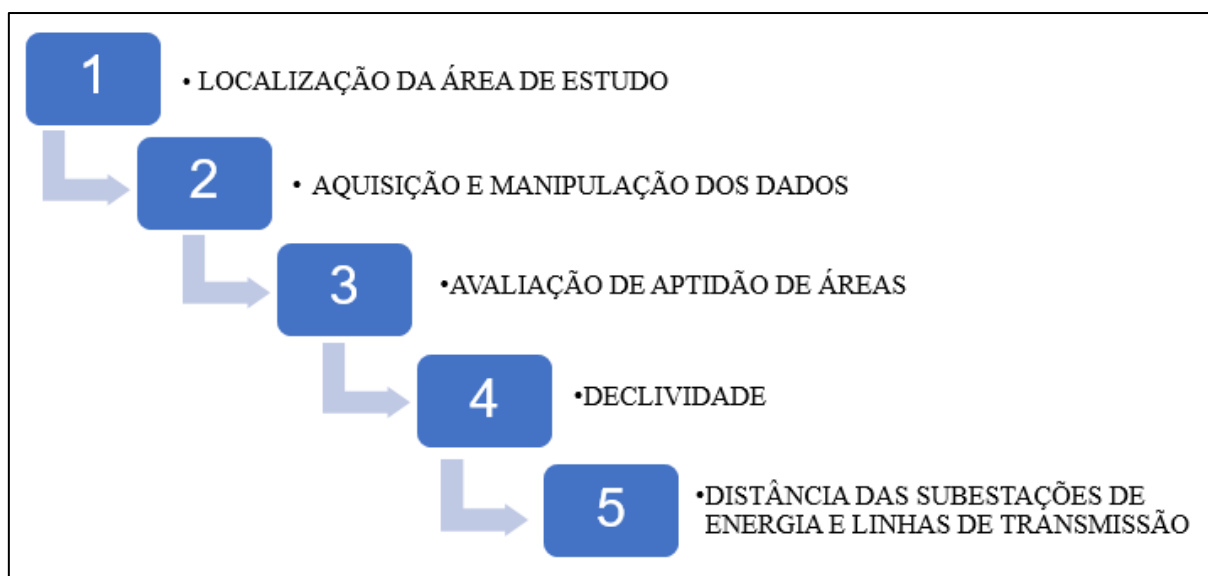


Figura 2 - Proposta de Cronograma de Trabalho (Fonte: Autor)

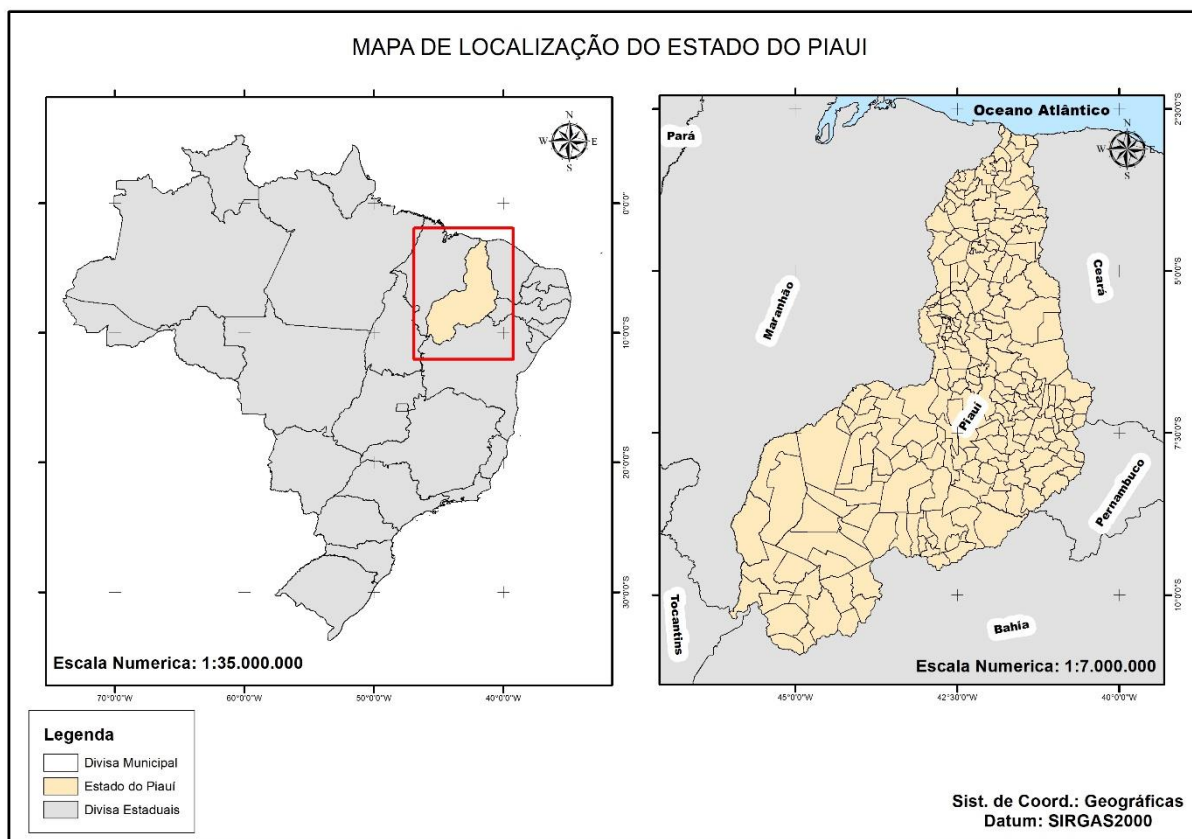
3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Brasil é contemplado com forte abundância solar, com aproximadamente 280 dias ensolarado. A região menos ensolarada do Brasil apresenta índices em torno de 1.642 kWh/m^2 , que estão acima dos valores apresentados na área de maior incidência solar da Alemanha, a qual recebe cerca de 1300 kWh/m^2 , esta que é considerada referência no aproveitamento da energia do sol (De Souza Cabral, 2013).

Neste contexto, o Estado do Piauí ocupa uma posição de grande destaque no país quando o assunto é o sistema de energia solar, tendo em vista os longos períodos de sol e alto índice de irradiação.

O Piauí é o terceiro maior estado da região Nordeste do Brasil (Figura 3). A capital é Teresina e a sigla PI, possui área de $251.577,738 \text{ km}^2$. Tem uma população de 3.289.290 milhões de habitantes, conforme a estimativa do IBGE para 2021. Sua capital e cidade mais importante é Teresina. O Piauí limita-se a leste com os estados do Ceará e Pernambuco a leste; a sul e sudeste com a Bahia; a sudoeste com o Tocantins; a oeste com o Maranhão; e ao norte com o Oceano Atlântico. Número de municípios: 224. (IBGE, 2021).

Figura 3 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO ESTADO DO PIAUÍ

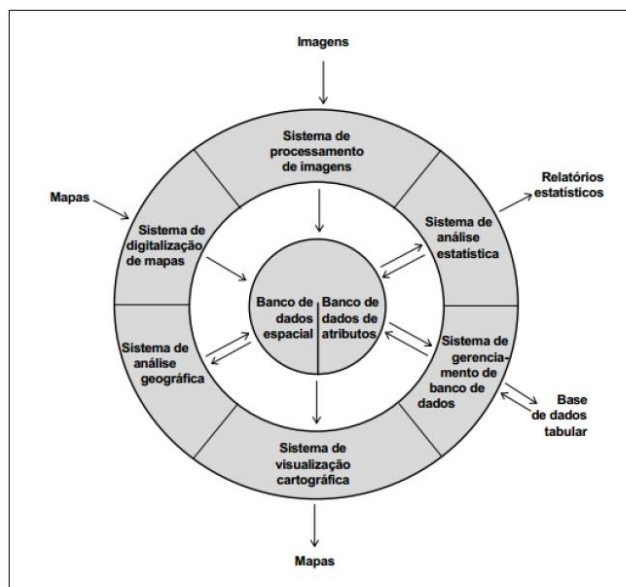


Fonte: Do Autor, 2024.

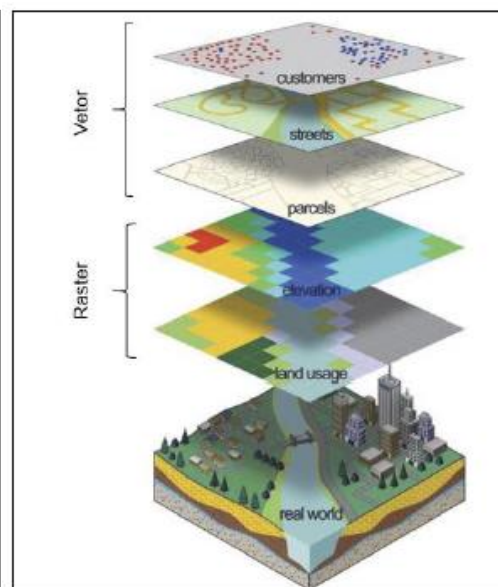
3.2 AQUISIÇÃO E MANIPULAÇÃO DOS DADOS

Os dados para confecção do mapa são de origem do Atlas Brasileiro de Energia Solar – 2ª Edição (2017), obtidos no website do LABREN. A Base de Dados está disponível em tabela nacional, estadual, municipal ou por consulta a local específico, composta por 72.272 registros, com resolução espacial de $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ (aproximadamente 10 km x 10 km), informando o centroide de cada célula, podendo a mesma, ser obtida por 3 formatos diferentes, que são, CSV (texto delimitado), SHP (Shapefile) e QGIS (Projeto QGis), facilitando o acesso de todos.

Para a confecção do mapa de radiação solar, utilizamos o ARCGis, que consiste em um SIG (Sistema de Informação Geográfica). Um SIG é um conjunto de ferramentas especializadas em adquirir, armazenar, recuperar, transformar e emitir informações espaciais (Burrough, 1986). Esses dados geográficos descrevem objetos do mundo real em termos de posicionamento, com relação a um sistema de coordenadas, seus atributos não aparentes (como a cor, custo, incidência de pragas, dentre outros) e das relações topológicas existentes. Portanto, um SIG pode ser utilizado em estudos relativos ao meio ambiente e recursos naturais, na pesquisa da previsão de determinados fenômenos ou no apoio a decisões de planejamento, considerando a concepção de que os dados armazenados representam um modelo do mundo real, (Burrough, 1986).



Fonte: Eastman (1997).

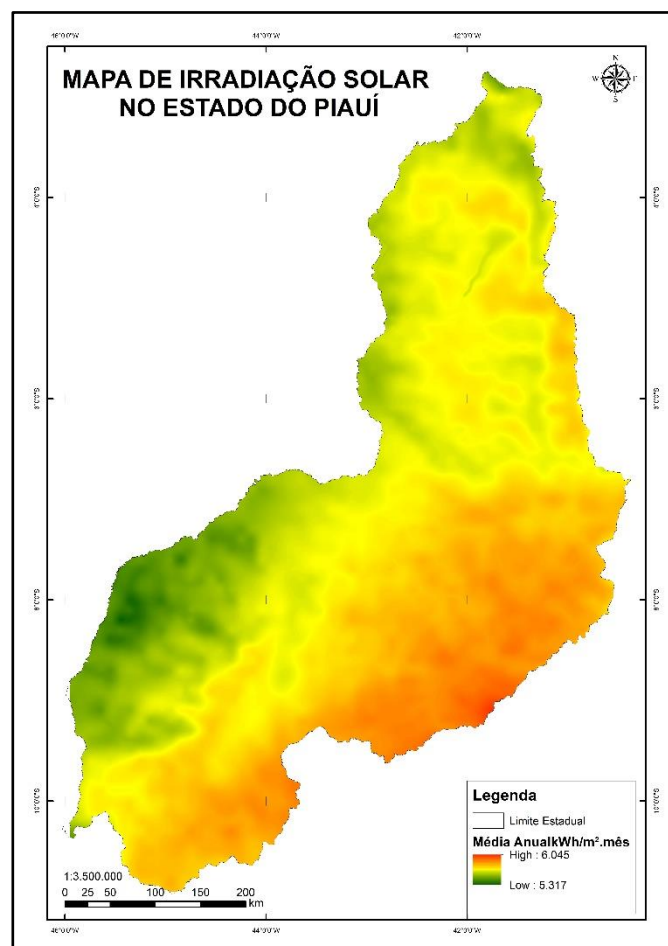


Fonte: Adaptado pelo Autor de Sánchez-Lozano (2013).

Com o arquivo “shapefile” obtido no website, onde o mesmo está em formato de polígono, foi realizado a conversão para o formato ponto, mantendo as informações em relação a radiação solar, utilizando a ferramenta “Add Geometry Attributes” (Adicionar atributos de

geometria), mantendo as informações por coordenadas. De acordo com Assad e Sano (1998), A interpolação é uma técnica que faz uma estimativa do valor de um atributo em locais não amostrados, a partir de pontos amostrados na mesma área ou região. Desta forma, utilizou a ferramenta “*Topo to Raster*”, realizando a interpolação dos dados, obteve como resultado, um *raster* com informações de todas as áreas do Estado do Piauí conforme Figura 4. Podendo verificar que a média anual tem o valor máximo de 6.045 kWh/m².mês e o valor mínimo de 5.317 kWh/m².mês, sendo esse valor mínimo, maior que o valor máximo (5,27 kWh/m².mês) encontrado no Rio Grande do Sul.

Figura 4 - MAPA DE IRRADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE NO ESTADO DO PIAUÍ



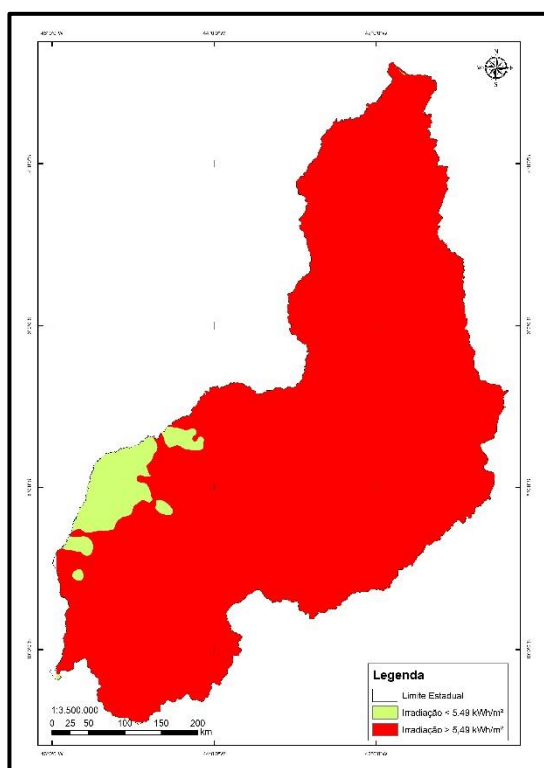
Fonte: Do Autor, 2024.

3.3 AVALIAÇÃO DE APTIDÃO DE ÁREAS

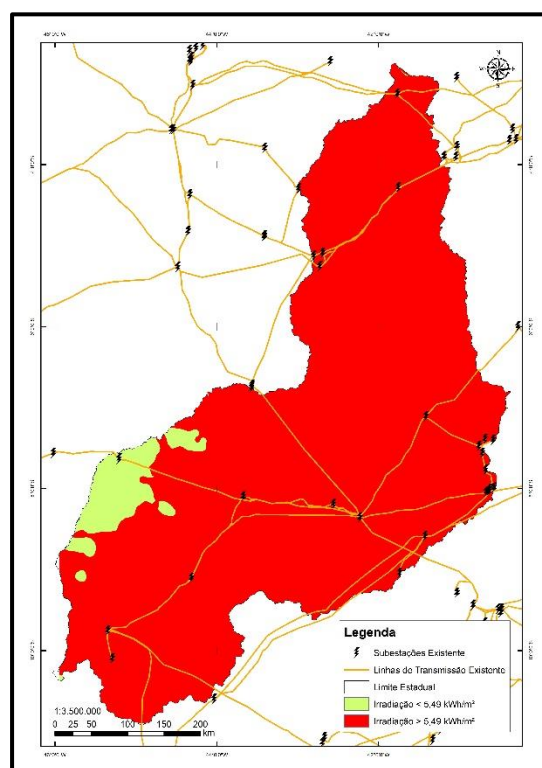
Conforme o Atlas Brasileiro de Energia Solar (ABES), A região Nordeste apresenta o maior potencial Solar, com valor médio do total diário da irradiação global horizontal de 5,49 kWh/m², sendo esse o valor, considerado mínimo, para estabelecer as áreas com potencial para

implantação de Usinas Fotovoltaicas (Labren, 2017). O mesmo pode ser observado na Figura 5. A área abrangida por estes locais é de 95,72% da área do Estado, ou 240.833,00 km² (24.083.300 hectares).

Figura 5 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS COM OS MAIORES ÍNDICES DE IRRADIAÇÃO e Figura 6 - MAPA DA INFRAESTRUTURA ELÉTRICA DO PIAUÍ



Fonte: Do Autor, 2024.



Fonte: Do Autor, 2024.

De acordo com Peraza (2013), a disponibilidade de linhas de transmissão de energia é fator determinante para viabilizar economicamente empreendimentos de geração de energia no Estado. Conforme Figura 6, utilizando as informações disponibilizadas pelo site da ANNEL, verificou que o Piauí possui grande quantidade de áreas com potencial de irradiação solar.

3.4 DECLIVIDADE

Com a grande quantidade de áreas com potencial para Energia Solar, faz necessário uma análise em relação a declividade do terreno, utilizando as Cartas SRTM, disponibilizadas pela EMBRAPA e IBGE, podemos observar que a variação ocorre entre 0 e 76%, podendo ser analisada sua representação na Tabela 1. A obtenção do resultado contou com o processo

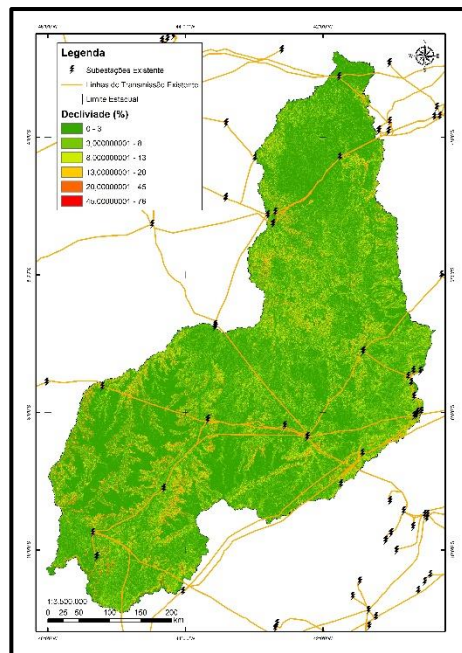
iniciando com o Mosaico das 26 Cartas SRTM que compõe o Estado do Piauí, utilizando no ArcGIS, a ferramenta “*mosaic to new raster*”, após a transformação para um único arquivo, utilizou a ferramenta “*slope*”, obtendo como resultado, a declividade em porcentagem. O cálculo das áreas só pode ser realizado nos arquivos SHP (*Shapefile*), devido o resultado anterior está em camada RASTER (imagem), foi realizado o processo de conversão, utilizando a ferramenta “*raster to polygon*”, obtendo o resultado desejado, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Análise da declividade da região

Declividade (%)	Relevo	Área (ha)	Percentual da área
0 – 3	Plano	14.629.749	58,05%
3 – 8	Suave ondulado	7.719.935	30,63%
8 – 13	Moderadamente ondulado	1.640.220	6,51%
13 – 20	Ondulado	793.473	3,15%
20 – 45	Forte ondulado	410.704	1,63%
>45	Montanhoso e escarpado	7.951	0,03%
Total		25.202.038	100%

Com uma representação de mais de 88% de áreas Planas e Suave Ondulado, estando com no máximo 8% de declividade, foi possível identificar mais um atributo necessário para avaliação de áreas com boa aptidão para implantação de USF, sendo possível a visualização na Figura 7.

Figura 7 – MAPA DE DECLIVIDADE DO ESTADO DO PIAUÍ

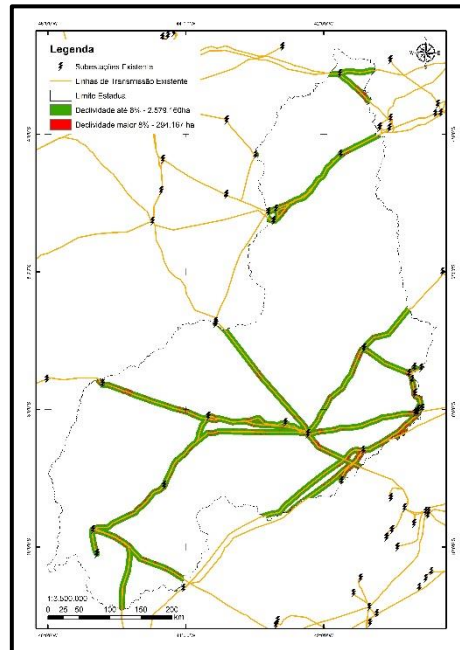


Fonte: Do Autor, 2024.

3.5 DISTÂNCIA DAS SUBESTAÇÕES DE ENERGIA E LINHAS DE TRANSMISSÃO

Levando em consideração o alto custo para construção de Linhas de Transmissão, foi considerado um raio (distancia) de 5 km em relação as LT e Subestações existentes. Desta forma, levando em consideração áreas com declividade até 8%, obtemos uma área total de 2.873.327ha, desse valor, 2.579.160ha (89,76%) são considerados aptos e 294.167ha (10,24%), inaptos para instalação de UFV, o resultado pode ser analisado na Figura 8.

Figura 8 - MAPA DE ÁREAS APTAS COM ATÉ 5KM DE DISTÂNCIA DAS LT E SUBESTAÇÕES DE ENERGIA



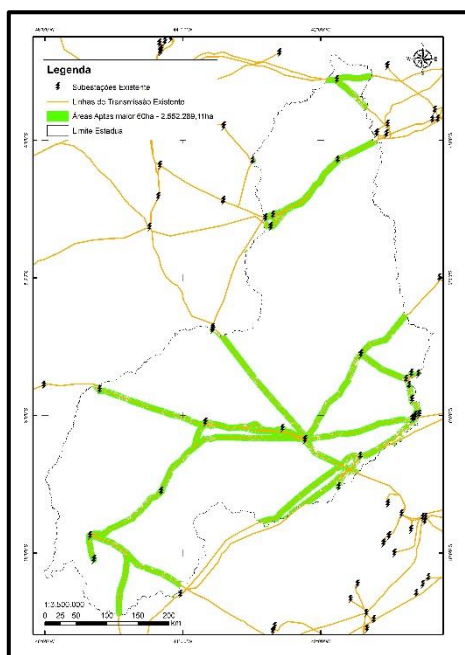
Fonte: Do Autor, 2024.

4 RESULTADOS

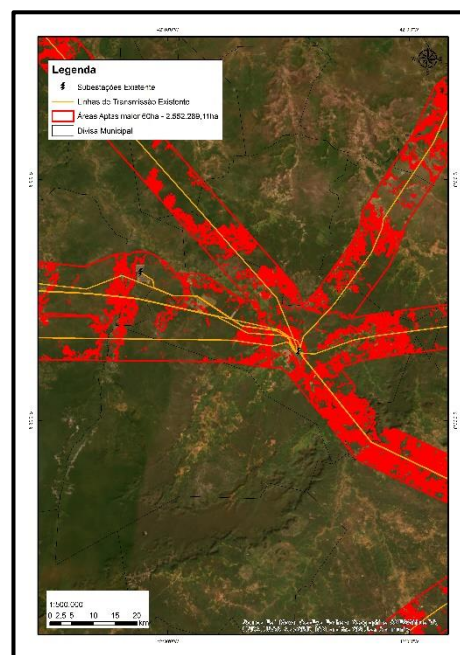
Após toda as análises realizadas, conforme os tópicos apresentados, podemos destacar o grande potencial do Estado do Piauí para implantação de projetos de geração de energia solar, fornecendo proteção ambiental, devido a pequena necessidade de desmate, em contrapartida, a grande produção de energia, refletindo nas cidades, uma nova oportunidade de desenvolvido social, financeiro, cultural e educacional, contribuindo para a redução das desigualdades no estado mais pobre da União.

Estabelecendo áreas maiores de 60ha, podemos identificar 2.552.289,11ha de áreas dentro dos parâmetros (radiação superior a 5,49 kWh/m², com até 5km de distância da LT e Subestações de Energia e Declividade menor que 8%), o que representa 10,60% de toda área com radiação solar suficiente para boa geração de energia, o que podemos verificar nas Figuras 9 e 10, identificando os maiores parques solares que estão instalados no estado do Piauí.

Figura 9 - ÁREAS MAIORES DE 60HA APTAS PARA UFV e Figura 10 - ÁREAS APTAS NO MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO DO PIAUÍ



Fonte: Do Autor, 2024.



Fonte: Do Autor, 2024.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido à falta de investimento em Energia Elétrica, o Piauí ainda conta com grandes áreas aptas para instalação de UFV, mesmo contando com uma grande incidência de raios solares, a distância para Linhas de Transmissão e Subestações adequadas, inviabiliza o investimento em projetos, levando o Estado a não suprimir sua necessidade energética, não receber por produção e venda para outros estados e tardando o desenvolvimento populacional.

Dando encaminhamento analítico ao seguinte questionamento: Quais as vantagens e benefícios da obtenção de energia renovável?

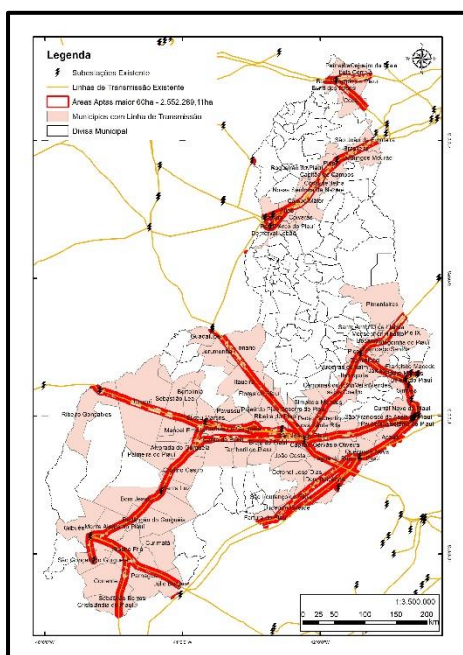
Para o estado, temos como vantagens e benefícios a geração de energia limpa, recursos financeiros provenientes da instalação, geração e venda da energia, aumento na quantidade de emprego, valorização da mão de obra qualificada, incentivo a busca por conhecimento por meios de estudos/cursos específicos da área, dentre outras vantagens.

Entre as 224 (duzentos e vinte e quatro) cidades existentes no Estado do Piauí, 98 (noventa e oito) deles cotam com Linhas de Transmissão de alta tensão, dentro do perímetro municipal, conforme figura 11. Destacando 19 (dezenove) municípios como os melhores para instalação de UFV, entre eles, São João do Piauí, Teresina, Dom Inocêncio, Queimada Nova,

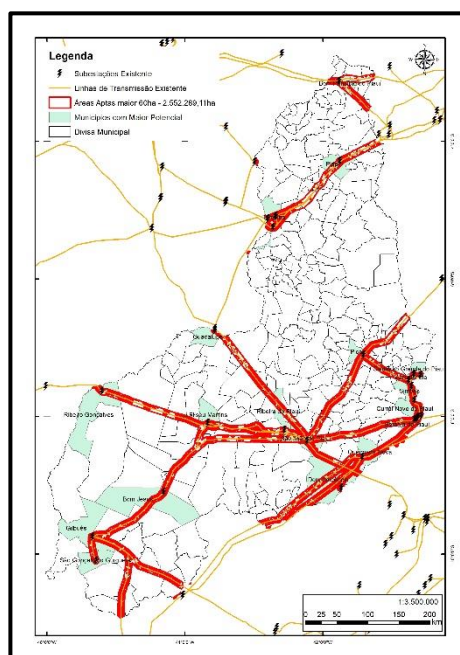
Betânia do Piauí, Curral Novo do Piauí, Simões e Marcolândia. Onde destaca-se a região do Alto Médio Canindé, localizada no Sudeste do Estado, conforme observado na figura 12.

O presente trabalho serve de subsidio para projetos futuros, auxiliando na análise das regiões com hidrografia, definindo os melhores locais para Hidrogênio Verde. Utilizando as informações existentes, viabiliza o desenvolvimento de APP para auxiliar decisões em nível governamental e privado, bem como a elaboração de materiais para análise de clima, infraestrutura e potencializar as decisões das empresas de distribuição de energia, ajudando na melhor localização para implantação de Linha de Transmissão e Subestações de Energia.

Figura 10 - Municípios com Linha de Transmissão dentro do seu território e Figura 12 - Municípios com Maior potencial para UFV



Fonte: Do Autor, 2024.



Fonte: Do Autor, 2024.

REFERÊNCIAS

- ASSAD, E. D.; SANO, E. E. (Ed.). **Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2. ed. ver. ampl. Brasília, DF: Embrapa-SPI; Embrapa-CPAC, pp.3-11, 1998.
- BURROUGH, P.A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. Oxford, Clarendon Press, 1986.
- DANTAS, S. G. **Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos no Brasil e possíveis efeitos no setor elétrico**. Rio de Janeiro, 2018.

IBGE. Cidades. **Modelos digitais de superfície**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/modelos-digitais-de-superficie/modelos-digitais-de-superficie.html>. Acesso em 04.Set. 2023.

MACHADO, Cezar Augusto et al. **Avaliação de regiões com potencial de aproveitamento solar e identificação de áreas para implantação de uma usina solar fotovoltaica no Rio Grande do Sul**. Universidade do Vale do Taquari UNIVATES. Lajeado, 2017

NOVO, B. N. **Teresina e sua história**. Disponível em: <https://meuartigo.brasilecola.uol.com.br/brasil/teresina-e-sua-historia.htm>. Acesso em 29.Nov. 2023

PERAZA, Danielle Goulart. **Estudo de viabilidade da instalação de usinas solares fotovoltaicas no Estado do Rio Grande do Sul**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. 2013

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80p. Disponível em: <http://doi.org/10.34024/978851700089>

SUZIGAN, K. R. **A transição para uma matriz energética limpa: os avanços na tecnologia solar**. 2015. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 121p, 2015.

TIEZZI, Rafael de Oliveira et al. **Variabilidade hidroclimatológica e seus efeitos no suprimento de energia elétrica do sistema interligado nacional**. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas. São Paulo, 2015