



Universidade Federal  
de Campina Grande

CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

# IDENTIFICAÇÃO DE REGIÕES PROPÍCIAS À GERAÇÃO SOLAR E EÓLICA UTILIZANDO PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

ANTONIO BARBOSA DE OLIVEIRA NETO

Campina Grande, Paraíba.  
Março de 2016

ANTONIO BARBOSA DE OLIVEIRA NETO

# IDENTIFICAÇÃO DE REGIÕES PROPÍCIAS À GERAÇÃO SOLAR E EÓLICA UTILIZANDO PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

*Dissertação de Mestrado apresentada à  
Coordenação do Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Elétrica da Universidade Federal de  
Campina Grande em cumprimento às exigências  
necessárias para obtenção do grau de Mestre em  
Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Orientadores:

Professor Tarso Vilela Ferreira, D. Sc.

Professor Edson Guedes da Costa, D. Sc.

Campina Grande, Paraíba.  
Março de 2016

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

O48i Oliveira Neto, Antonio Barbosa de.  
Identificação de regiões propícias à geração solar e eólica utilizando processamento digital de imagens / Antonio Barbosa de Oliveira Neto. – Campina Grande, 2016.  
81 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Engenharia Elétrica e Informática, 2016.

"Orientação: Prof. D. Sc. Tarso Vilela Ferreira, Prof. D. Sc. Edson Guedes da Costa".

Referências.

1. Geração Eólica. 2. Geração Solar. 3. Processamento Digital de Imagens. 4. Algoritmo. 5. Parametrização. I. Ferreira, Tarso Vilela. II. Costa, Edson Guedes da. III. Título.

CDU 621.548(043)

**"IDENTIFICAÇÃO DE REGIÕES PROPÍCIAS À GERAÇÃO SOLAR E EÓLICA  
UTILIZANDO PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS"**

**ANTONIO BARBOSA DE OLIVEIRA NETO**

**DISSERTAÇÃO APROVADA EM 26/02/2016**



**EDSON GUEDES DA COSTA, D.Sc., UFCG  
Orientador(a)**



**TARSO VILELA FERREIRA, D.Sc., UFCG  
Orientador(a)**



**BENEDITO ANTONIO LUCIANO, D.Sc., UFCG  
Examinador(a)**



**WASLON TERLLIZZIE ARAÚJO LOPES, D.Sc., UFPB  
Examinador(a)**

**CAMPINA GRANDE - PB**

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, pela minha existência, por ter me dado serenidade e coragem para vencer sempre.

À minha família por se fazer presente em alguns momentos da minha trajetória, acreditando que eu seria capaz, apoiando-me nas dificuldades, bem como torcendo e vibrando com cada obstáculo superado.

Tenho uma satisfação imensa de agradecer aos meus orientadores, Professor Tarso Vilela Ferreira e Professor Edson Guedes da Costa, por acreditarem no meu potencial.

Agradeço ao Professor Benedito Antonio Luciano e ao Professor Waslon Terlizzie Araújo Lopes pelos ensinamentos profissionais durante a graduação e pós-graduação.

Agradeço à Aeroespacial Tecnologia em Energia e Sistemas Renováveis Ltda (Jaboatão dos Guararapes – PE), pelo fornecimento dos mapas do estado de Pernambuco, utilizados como base de dados neste trabalho, e pelo fornecimento de máquina com capacidade de processamento adequado ao solicitado ao longo deste trabalho.

Agradeço a todos os professores do DEE-UFCG que forneceram o conhecimento para minha formação como engenheiro.

Agradeço à Lidja Nayara pelo apoio e força na execução deste trabalho.

Agradeço a Kal-El Brito e Bruno Dias pelo apoio indispensável e contínuo, e por, juntamente com minha pessoa, fazerem parte da “Equipe PDI” do LAT.

Agradeço a toda equipe técnica do Laboratório de Alta Tensão, pelo apoio técnico-científico e moral, em especial, ao Professor George Rossany Soares de Lira.

Por fim, aos colegas que tanto partilharam as diversas situações em minha vida ao longo da dissertação.

## RESUMO

O geoprocessamento de energia, o uso de dados de satélites no contexto energético, a utilização de técnicas baseadas em processamento digital de imagens e o desenvolvimento de ferramentas computacionais permitem e auxiliam tomadas de decisões relacionadas à geração solar e eólica. Desta forma, neste trabalho é apresentado um algoritmo baseado em processamento digital de imagens para identificação de regiões propícias à geração solar e eólica. A identificação de regiões territoriais propícias é obtida a partir de informações, em sua maioria, oriundas de satélites, contidas em mapas, relativas à clima, densidade demográfica, distribuição de linhas de transmissão, declividade, hidrografia, dentre outras. Estas informações são parametrizadas, de acordo com metodologia específica, e sobrepostas. A parametrização obedece ao seguinte preceito: atribuir às características elencadas pesos iguais e pesos distintos, na sobreposição das informações, para a identificação propícia da geração solar e eólica. Assim, executam-se duas avaliações acerca do potencial de geração solar e eólica de uma região: uma avaliação objetiva, impessoal e não polarizada; e uma avaliação personalizada, baseada em questionário envolvendo especialistas da área de energia renováveis. A aplicação das avaliações, por meio das parametrizações, permite variações nos resultados e consequentes comparações. Como produto final do algoritmo, em cada caso avaliado, tem-se um mapa, no qual se destacam em cores, as regiões mais propícias, com suas respectivas coordenadas geográficas. A área territorial, caso de estudo avaliada, foi o estado de Pernambuco. Ademais, os resultados contribuem com o aprimoramento de estudos e elaboração de ferramentas computacionais relacionadas ao geoprocessamento e uso de dados de satélites na geração de energia solar e eólica.

**Palavras-chave:** Geração solar, geração eólica, processamento digital de imagens, algoritmo, parametrização.

## ABSTRACT

The geoprocessing of energy, use of satellite data in the energy context, use of techniques based on digital image processing and the development of computational tools enable and assist decision-making related to solar and wind power. This work presents an algorithm based on digital processing of images to identify favorable areas to solar and wind power. The identification of territorial regions is obtained from information, mostly coming from satellites, contained in maps, climate, population density, distribution of transmission lines, slope, hydrography, among others. This information is parameterized according to specific methodology, and overlapped. The configuration assign equal weights and different weights for the listed characteristics and overlap them for the identification of favorable solar and wind generation. Two assessments to determine the potential of solar and wind generation of a region are executed: an evaluation objective, impersonal and not polarized; and a personalized assessment based on a questionnaire involving experts from the renewable energy area. The implementation of assessments, through parameterization, allows variations in results and subsequent comparisons. The final product of the algorithm, in each case evaluated, there is a map in which stand out in color, the more favorable regions, with their geographical coordinates. The territorial area, case study evaluated was the state of Pernambuco. Moreover, the results contribute to the improvement of research and development of computational tools related to geoprocessing and use of satellite data in the generation of solar and wind energy.

**Keywords:** solar generation, wind power generation, digital image processing, algorithm, parameterization.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Influência das diversas características na geração solar e eólica. ....	22
Figura 2. Imagem <i>RGB</i> e suas componentes <i>R</i> , <i>G</i> e <i>B</i> .....	25
Figura 3. Exemplos de imagem (a) vetorial e (b) matricial.....	27
Figura 4. Obtenção de imagens por sensoriamento remoto.....	30
Figura 5. Mapa de radiação solar do estado de Pernambuco do ano 2013.....	32
Figura 6. Mapa de insolação solar do estado de Pernambuco do ano 2013. ....	33
Figura 7. Mapa de precipitação do estado de Pernambuco do ano 2013.....	33
Figura 8. Mapa de umidade relativa do ar do estado de Pernambuco do ano 2013. ....	33
Figura 9. Mapa da temperatura do estado de Pernambuco do ano 2013. ....	34
Figura 10. Mapa eletrogeográfico (linhas de transmissão e subestações) do estado de Pernambuco do ano 2013. ....	34
Figura 11. Mapa da densidade demográfica do estado de Pernambuco do ano 2013. ...	34
Figura 12. Mapa das áreas de preservação do estado de Pernambuco do ano 2013. ....	35
Figura 13. Mapa da declividade do estado de Pernambuco do ano 2013.....	35
Figura 14. Mapa hidrográfico do estado de Pernambuco do ano 2013. ....	35
Figura 15. Mapa da velocidade dos ventos do estado de Pernambuco do ano 2013.....	36
Figura 16. Mapa da presença de aeródromos do estado de Pernambuco do ano 2013. .	36
Figura 17. Mapa da presença de mancha urbana do estado de Pernambuco do ano 2013. ....	36
Figura 18. a) Fluxograma do Algoritmo de Localização Propícia; b) Fluxograma detalhando as rotinas do Algoritmo de Padronização. ....	37
Figura 19. Ilustração da principal função da Rotina de Uniformização.....	39
Figura 20. Fluxograma da Rotina Base Padrão. ....	41
Figura 21. (a) Linha de transmissão em cor preta, em uma dada região; (b) Distribuição da intensidade de gradiente, partindo das linhas até o extremo da região.....	42
Figura 22. Distribuição de valores percentuais para um conjunto de <i>N</i> mapas e suas características internas.....	43
Figura 23. Esquema com a distribuição de valores percentuais em função da componente <i>R</i> . ....	46
Figura 24. Funcionalidade do Algoritmo de Síntese em função da entrada de vários mapas.....	47
Figura 25. Fluxograma do processamento realizado pelo ALP e obtenção do mapa final com as coordenadas geográficas.....	49
Figura 26. Mapa em contorno da propiabilidade de instalação da geração solar concentrada com pesos iguais do estado de Pernambuco.....	50

Figura 27. Mapa tridimensional da propialidade de instalação da geração solar concentrada com pesos iguais do estado de Pernambuco.....	50
Figura 28. Gráfico com as porcentagens das áreas do estado de Pernambuco relacionadas com intervalos de propialidade (P) de instalação da geração solar concentrada com pesos iguais.....	51
Figura 29. Mapa final com coordenadas geográficas da propialidade de instalação da geração solar concentrada com pesos distintos do estado de Pernambuco, baseado no canal <i>R</i> do Sistema <i>RGB</i> .....	52
Figura 30. Mapa em contorno da propialidade de instalação da geração solar concentrada com pesos distintos do estado de Pernambuco.....	52
Figura 31. Mapa tridimensional da propialidade de instalação da geração solar concentrada com pesos distintos do estado de Pernambuco.....	53
Figura 32. Gráfico com as porcentagens das áreas do estado de Pernambuco relacionadas com intervalos de propialidade (P) de instalação da geração solar concentrada com pesos distintos.....	54
Figura 33. Mapa final com coordenadas geográficas da propialidade de instalação da geração solar distribuída com pesos iguais do estado de Pernambuco, baseado no canal <i>R</i> do Sistema <i>RGB</i> . ....	55
Figura 34. Mapa em contorno da propialidade de instalação da geração solar distribuída com pesos iguais do estado de Pernambuco.....	55
Figura 35. Mapa tridimensional da propialidade de instalação da geração solar distribuída com pesos iguais do estado de Pernambuco.....	56
Figura 36. Gráfico com as porcentagens das áreas do estado de Pernambuco relacionadas com intervalos de propialidade (P) de instalação da geração solar distribuída com pesos iguais.....	57
Figura 37. Mapa final com coordenadas geográficas da propialidade de instalação da geração solar distribuída com pesos distintos do estado de Pernambuco, baseado no canal <i>R</i> do Sistema <i>RGB</i> .....	58
Figura 38. Mapa em contorno da propialidade de instalação da geração solar distribuída com pesos distintos do estado de Pernambuco.....	58
Figura 39. Mapa tridimensional da propialidade de instalação da geração solar distribuída com pesos distintos do estado de Pernambuco.....	58
Figura 40. Gráfico com as porcentagens das áreas do estado de Pernambuco relacionadas com intervalos de propialidade (P) de instalação da geração solar distribuída com pesos Distintos.....	60
Figura 41. Mapa final com coordenadas geográficas da propialidade de instalação da geração eólica concentrada com pesos iguais do estado de Pernambuco, baseado no canal <i>R</i> do Sistema <i>RGB</i> .....	61
Figura 42. Mapa em contorno da propialidade de instalação da geração eólica concentrada com pesos iguais do estado de Pernambuco.....	61
Figura 43. Mapa tridimensional da propialidade de instalação da geração eólica concentrada com pesos iguais do estado de Pernambuco.....	61

- Figura 44. Gráfico com as porcentagens das áreas do estado de Pernambuco relacionadas com intervalos de propialidade (P) de instalação da geração eólica concentrada com pesos iguais..... 63
- Figura 45. Mapa final com coordenadas geográficas da propialidade de instalação da geração eólica concentrada com pesos distintos do estado de Pernambuco, baseado no canal *R* do Sistema *RGB*. ..... 63
- Figura 46. Mapa em contorno da propialidade de instalação da geração eólica concentrada com pesos distintos do estado de Pernambuco..... 64
- Figura 47. Mapa tridimensional da propialidade de instalação da geração eólica concentrada com pesos distintos do estado de Pernambuco..... 64
- Figura 48. Gráfico com as porcentagens das áreas do estado de Pernambuco relacionadas com intervalos de propialidade (P) de instalação da geração eólica concentrada com pesos distintos..... 65
- Figura 49. Fluxograma de metodologias visando os potenciais estudos futuros no contexto de um sistema de geração solar otimizado. .... 71

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Comportamento das características que influenciam a geração solar concentrada e distribuída com pesos iguais.....	44
Tabela 2. Comportamento das características que influenciam a geração eólica com pesos iguais.....	44
Tabela 3. Valores dos coeficientes de peso, por meio de questionário, para a geração solar concentrada. ....	45
Tabela 4. Valores dos coeficientes de peso, por meio de questionário, para a geração solar distribuída. ....	45
Tabela 5. Valores dos coeficientes de peso, por meio de questionário, para a geração eólica.....	46
Tabela 6. Maiores propiciabilidades de instalação da geração solar concentrada com pesos iguais no Estado de Pernambuco. ....	51
Tabela 7. Maiores propiciabilidades de instalação da geração solar concentrada com pesos distintos no estado de Pernambuco.....	53
Tabela 8. Maiores propiciabilidades de instalação da geração solar distribuída com pesos iguais no estado de Pernambuco.....	56
Tabela 9. Maiores propiciabilidades de instalação da geração solar distribuída com pesos distintos no estado de Pernambuco.....	59
Tabela 10. Maiores propiciabilidades de instalação da geração eólica concentrada com pesos iguais no estado de Pernambuco.....	62
Tabela 11. Maiores propiciabilidades de instalação da geração eólica concentrada com pesos distintos no estado de Pernambuco.....	65

## LISTA DE ABREVIATURAS

ABINEE	Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica
AL	Algoritmo de Localização
ALP	Algoritmo de Localização Propícia
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AP	Algoritmo de Padronização
AS	Algoritmo de Síntese
CEPSRM	Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GIS	Geographic Information System
MD	Ministério da Defesa
MMA	Ministério do Meio Ambiente
RBO	Rotina Base de Origem
RBP	Rotina Base Padrão
RDG	Rotina de Distribuição de Gradiente
RSL	Rotina de Supressão de Legenda
RU	Rotina de Uniformização
SEBAL	Surface Energy Balance Algorithm for Land

# SUMÁRIO

Agradecimentos .....	4
Resumo .....	5
Abstract.....	6
Lista de Figuras .....	7
Lista de Tabelas .....	10
Lista de Abreviaturas.....	11
Sumário.....	12
1 Introdução .....	13
1.1 Contribuição da Dissertação .....	15
1.2 Organização do Texto .....	15
1.3 Objetivos.....	16
2 Revisão Bibliográfica .....	17
3 Fundamentação Teórica.....	24
3.1 Processamento Digital de Imagens .....	24
3.2 Geoprocessamento .....	29
3.3 Sensoriamento Remoto .....	30
4 Metodologia.....	32
4.1 Material.....	32
4.2 Procedimento Computacional.....	37
5 Resultados.....	48
5.1 Geração Solar Concentrada.....	48
5.2 Geração Solar Distribuída.....	54
5.3 Geração Eólica Concentrada.....	60
5.4 Considerações Sobre os Resultados.....	66
6 Conclusão.....	67
Publicações .....	69
Trabalhos Futuros .....	70
Referências .....	72
APÊNDICE A – Questionário para Elencar os Coeficientes de Peso.....	75

# 1 INTRODUÇÃO

Uma das principais características de nossa sociedade, ao menos sob um ponto de vista prático e material, é o aumento da demanda por energia sob diferentes formas. Uma vez que a energia elétrica no Brasil tem como principal fonte de geração os recursos hídricos, e estes são limitados, torna-se necessário diversificar a matriz elétrica brasileira a fim de minimizar a dependência de poucas formas de geração. As opções que mais tem se destacado neste sentido são as chamadas fontes de energias renováveis, e dentre elas estão em maior destaque a energia solar e a energia eólica.

A energia solar é uma forma de energia que se apresenta sob forma disseminada e não concentrada, sujeita a alternâncias periódicas. Os altos custos para implantação estão em redução, o que é atribuído aos ganhos de escala, às inovações tecnológicas e à sobre oferta. Além disso, a taxa média de crescimento da geração solar no mundo entre os anos de 2008 e 2013 foi superior a 65% ao ano (ANEEL, 2014).

A energia eólica, produzida a partir da velocidade dos ventos, é abundante, renovável, e disponível em muitos lugares. A avaliação técnica do potencial eólico exige um conhecimento detalhado do comportamento dos ventos: dados relativos à intensidade da velocidade e à direção do vento. Para obter tais dados, é necessário também analisar os fatores que influenciam o regime dos ventos na localidade do empreendimento. Entre eles podem ser citados o relevo, a rugosidade do solo e outros obstáculos distribuídos ao longo da região (MMA, 2014).

Portanto, observando a avaliação de um território no âmbito do planejamento energético, como um processo público e de planejamento técnico, que deve ser flexível, contínuo e de longo prazo, com foco em aspectos sociais, ambientais, econômico, político e administrativo, é indispensável avaliar as capacidades potenciais do território para atender a demanda por energia.

Assim, pode-se perceber que a localização de instalações de captação de energia solar e eólica é um fator chave na tomada de decisão frente aos recursos investidos, bem como na eficiência da usina depois de instalada. Para tanto, umas das ferramentas que pode ser utilizada visando a localização ótima desses tipos de geração é o geoprocessamento das características energéticas de determinada região.

O geoprocessamento é uma forma de sistematização, análise e representação de dados de utilização crescente em todo o mundo. Por meio do cruzamento e da superposição de dados espaciais, de diferentes origens e formatos, previamente selecionados, essa ferramenta permite agilizar os procedimentos de mapeamentos temáticos, antes onerosos e demorados (ANEEL, 2005).

Em um primeiro momento, pode-se imaginar que os fatores preponderantes para instalação de usinas solares e eólicas, sejam, respectivamente, taxa de incidência solar e velocidade dos ventos. De fato, são fatores relevantes, mas existem diversos outros que, na prática, dificultam ou inviabilizam a sua implantação em determinadas regiões. A escolha da localização tecnicamente embasada para instalação de sistemas de geração solar e eólica pode ser uma tarefa difícil, dado que vários fatores devem ser considerados, como por exemplo:

- Incidência solar;
- Velocidade dos ventos;
- Proximidade de centros consumidores;
- Proximidade de linhas de transmissão;
- Proximidade de subestações;
- Presença de acidentes geográficos;
- Presença de reservas florestais;
- Presença de rios, açudes, etc.

Logo, neste trabalho é proposto um algoritmo para a avaliação do espaço territorial, a fim de determinar as regiões mais propícias para instalação de usinas fotovoltaicas ou heliotérmicas e eólicas. Na atualidade, em geral, a avaliação pode ser feita de forma subjetiva e sujeita a erros, uma vez que não engloba um número significativo de fatores. Outra vantagem da técnica proposta é a indiferença prática à extensão territorial da região avaliada, que pode ser desde uma microrregião a um continente inteiro, bastando para tanto que existam mapas das características avaliadas suficientemente detalhados. A região tomada como caso de estudo é o estado de Pernambuco, devido o acesso aos dados relativos às características avaliadas.

## 1.1 CONTRIBUIÇÃO DA DISSERTAÇÃO

As principais contribuições desta dissertação são:

- A determinação de um levantamento fundamentado de quais características influenciam na geração solar e eólica e como se dá essa influência;
- Os estudos realizados contribuem para o aprimoramento de modelos computacionais que auxiliam tomadas de decisão visando investimentos nas fontes de geração solar e eólica;
- A utilização de técnicas de processamento digital de imagens aplicadas ao processamento de energia, especificamente no desenvolvimento de algoritmos;
- A apresentação de resultados computacionais que evidenciem a proporcionalidade de geração solar e eólica, levando em consideração uma gama de características, visto que resultados similares são escassos na literatura;
- A elaboração de uma ferramenta computacional que auxilia estudos voltados para qualquer tipo de geração ou qualquer tipo de aplicação que tenha como base de material, imagens, e objetivos de otimização.

## 1.2 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

Esta dissertação está organizada da seguinte forma: na Seção 1.3 apresentam-se os objetivos do trabalho. No Capítulo 2 é feita uma revisão bibliográfica com ênfase em pesquisas recentes que tratam de geoprocessamento de energia, uso de dados de satélites no contexto energético e as diversas características que influenciam na geração solar e eólica. Posteriormente, no Capítulo 3, realiza-se o embasamento teórico, seguido da metodologia empregada para o desenvolvimento de algoritmos e parametrização das características adotadas para geração solar e eólica, presente no capítulo 4. Os resultados são apresentados no Capítulo 5, seguidos das conclusões, trabalhos futuros e referências.

### 1.3 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um algoritmo baseado em processamento digital de imagens, capaz de avaliar/quantificar de forma multi paramétrica a aptidão de determinada região territorial à implantação de usinas solares e eólicas, tomando como informação base, mapas do estado de Pernambuco (em sua maioria provenientes de satélites), além de discutir a quantificação numérica das características frente adotadas no algoritmo.

Além disso, foram ainda buscados os seguintes objetivos específicos:

- Analisar a aplicação de dados de satélites no contexto energético;
- Avaliar a uso do geoprocessamento de informações relativas à energia na tomada decisão;
- Analisar a possibilidade do agrupamento de mapas da região a ser estudada em um banco de dados;
- Elaborar e avaliar métodos de ponderação distintos para quantificar as características que influenciem na geração da energia solar e eólica;
- Avaliar o potencial solar e eólico, a partir de uma óptica multiparamétrica, do estudo de caso: o estado de Pernambuco.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Estudos relacionados ao geoprocessamento de energia são empregados em diversas pesquisas e suas aplicações são as mais distintas, tais como: estimativa do balanço energético, uso do geoprocessamento para monitorar distúrbios de tensão em sistemas de energia, estudos da confiabilidade de dados de satélites referentes ao setor energético, estudos geográficos por meio de mapas para instalação de sistemas de geração, técnicas de processamento digital de imagens no contexto energético, dentre outras. A seguir, são apresentadas pesquisas, e seus idealizadores, a respeito do geoprocessamento de energia e a aplicação de dados de satélite no contexto energético.

Machado e outros (2013) utilizaram o algoritmo SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*) para estimar e comparar o comportamento dos componentes do balanço de energia, em diferentes tipos de uso e cobertura do solo para o litoral sul de Pernambuco, fazendo uso de imagens do satélite TM - Landsat 5. O objetivo foi mostrar a capacidade do SEBAL de estimar a variabilidade espacial dos diferentes componentes do balanço de energia, com capacidade de distinguir diferentes ocupações do solo, assim como possibilitar a observação das formas diferenciadas do uso da energia pelos diferentes tipos de cobertura do solo e verificar aqueles que propiciam melhor conforto térmico.

Adicionalmente, pesquisadores empregaram o geoprocessamento no monitoramento da qualidade da energia em sistemas elétricos. Assim, Figueirêdo e outros (2010) capitaram os distúrbios de tensão da rede em tempo real e armazenaram em um banco de dados, onde tais informações eram recuperadas, processadas e disponibilizadas para os usuários do sistema, que interagem com ele por meio de um navegador *web*. As páginas mostradas aos usuários permitiam a visualização de mapas referindo-se ao estado atual do sistema, bem como a geração de relatórios sobre dados históricos acerca de distúrbios de tensão nos últimos três meses. No caso dos mapas mostrarem distúrbios de tensão, podia ser feita uma consulta ao banco de dados para obter a localização geográfica de todos os equipamentos que estariam submetidos a perturbações de tensão. Portanto, o uso do geoprocessamento auxiliava na tomada de decisões mais eficientes e eficazes, uma vez que se tinha uma visão abrangente e operacional do sistema.

Considerações a respeito da confiabilidade em dados obtidas por satélites foram abordadas por Martins e Pereira (2011), especificamente em um estudo comparativo da confiabilidade de estimativas de irradiação solar para o Sudeste brasileiro obtida a partir de dados de satélite e por interpolação/extrapolação de dados de superfície. Como resultados, as estimativas obtidas empregando o uso de modelos numéricos, alimentados por dados de satélite, apresentaram menores desvios dos valores observados em superfície, quando a distância entre as estações de aquisição de dados em superfície era superior a 50 km. Sendo assim, a utilização de dados de satélites tem fundamentado com alto grau de confiabilidade, a aquisição de dados utilizados em áreas distintas do conhecimento, entre elas, a de processamento de energia.

Alguns pesquisadores dedicaram-se a destacar que no tocante a energia solar, além da radiação solar e insolação solar, outras variáveis são relevantes e devem ser levadas em consideração. O mesmo foi feito para a geração eólica, mas considerando outras características além da velocidade dos ventos. Esses pesquisadores agregaram variáveis climáticas e territoriais visando constituir as melhores localizações para a instalação da geração solar e eólica. A seguir, são relatadas as principais pesquisas e seus desenvolvedores.

Wanderley e Campos (2013) realizaram um estudo sobre a perspectiva de inserção da energia solar fotovoltaica na geração de energia elétrica no Rio Grande do Norte. Nesse trabalho foram consideradas várias características, dentre elas a precipitação anual. Foram coletados valores da precipitação e radiação solar ao longo de três anos e foram constatados que em períodos onde a precipitação tinha crescimento a radiação diminuía. Complementarmente, a EMBRAPA (2000) constatou que a precipitação influencia a radiação, inclusive afeta indiretamente, pois altas chuvas implicam na baixa radiação solar que atinge à superfície. Portanto, quanto maior a precipitação, a geração solar é afetada negativamente.

Também na sua pesquisa, Wanderley e Campos (2013), em um estudo sobre a perspectiva de inserção da energia solar fotovoltaica na geração de energia elétrica no Rio Grande do Norte, consideraram que a umidade do ar pode ser adicionada ao conjunto de fatores que contribuem para a geração de energia solar. Adicionalmente, a ABINEE (2012) na elaboração de propostas para inserção da energia solar fotovoltaica na matriz elétrica brasileira ressaltou que um dos grandes problemas enfrentados na geração da energia solar é a umidade do ar. Ela afeta o funcionamento normal de alguns inversores, sendo necessária manutenção frequente, elevando os custos de operação. A

umidade do ar, assume assim, um importante papel nos sistemas de geração de energia elétrica a partir da energia solar, de forma negativa, algo que está diretamente relacionado com a precipitação local da região.

Outra característica que deve ser analisada é a temperatura na geração solar. Segundo Palz (1995), o acréscimo da temperatura diminui a eficiência dos módulos fotovoltaicos, pois acarreta diminuição significativa da tensão. Na mesma linha, Goetzberger e outros (1998), estudaram o efeito da temperatura em células solares e constataram que o aumento da temperatura faz com que a componente de energia do material semicondutor diminua, acarretando no acréscimo da fotocorrente gerada de aproximadamente 0,1% por °C. Entretanto, a tensão de circuito aberto decresce a uma taxa de 0,3% por °C e conseqüentemente a potência gerada é reduzida em 1% a cada 2,7K de elevação da temperatura. Desta forma, regiões com temperaturas ambientes altas tendem a influenciar negativamente a proporcionalidade da geração solar.

Quanto aos fatores territoriais que influenciam na geração solar e eólica, principalmente nas gerações concentradas, características como a eletrogeografia e a densidade demográfica podem ser adicionadas ao rol taxativo de fatores que contribuem para estes tipos de geração de energia, como destacado em estudos, conforme a seguir.

Em um mapa eletrogeográfico há itens como a presença de linha de transmissão e subestações. Neste sentido, Baban e Parry (2001) utilizaram uma metodologia de questionários, enviando-os para diversas organizações do Reino Unido, relacionados à definição de áreas para a instalação de parques solares e eólicos e concluíram que a distância da região de instalação, em relação às linhas de transmissão e subestações, influencia nos custos de instalação do empreendimento e da transmissão da energia gerada.

No que diz respeito à densidade demográfica, que reflete cargas ligadas ao sistema elétrico, pode ser tomado raciocínio análogo ao apresentado pela ANEEL (2012), segunda a qual, a geração de energia elétrica próxima ao local de consumo gera economia nos investimentos em transmissão, redução das perdas nas redes e melhoria da qualidade do serviço de energia elétrica. Portanto, do ponto vista da geração concentrada, solar ou eólica, quanto maior a densidade demográfica, maior a carga ligada ao sistema e mais propício o investimento de geração em suas proximidades.

Muitas pesquisas no contexto da geração solar e eólica apontam características que dificultam ou inviabilizam a implantação de projetos desses tipos de geração, tais

como: declividade do terreno, recursos hídricos, áreas de preservação ambiental, mancha urbana e aeródromos.

No estudo feito por Barros e Polidoro (2009), visando a geração de modelos tridimensionais por meio de dados do *Shuttle Radar Topography Mission* para subsídios no planejamento urbano e regional, destaca-se a contribuição do mapa de declividade. Portanto, a geração solar e eólica pode ser inserida em tal planejamento. Suplementarmente, Baban e Parry (2001) também concluíram que a declividade do terreno pode causar dificuldades técnicas de instalação, além de reduzir o potencial solar e eólico da área.

Vicari (2012) implementou uma análise multicritério para o levantamento do potencial de implantação de usinas eólicas e solares no Rio Grande do Sul. No trabalho foi feito o levantamento das características consideradas relevantes para a geração solar e eólica e entre as características levantadas estão recursos hídricos e áreas de preservação ambiental. O autor concluiu que em regiões onde há rios e reservatórios são impraticáveis as gerações solar e eólica devido às inviabilidades técnicas e financeiras. O autor ressalva que as usinas eólicas podem ser instaladas, desde que, em grandes reservatórios. Quanto às áreas de preservação ambiental, a implantação da geração solar e eólica é inviável, pois tais áreas são protegidas por lei ou são extremamente restritivas e burocráticas.

Hansen (2005) elaborou uma análise multicritério utilizando o Sistema de Informação Geográfica (GIS - *Geographic Information System*) para implantação de parques eólicos. O autor realizou diversas entrevistas com especialistas em planejamento espacial da região do Mar Báltico. As entrevistas realizadas conduziram à escolha de critérios, além do potencial de geração de energia eólica, como: as áreas de proteção de fauna e flora e a distância da região avaliada em relação aos centros urbanos, devido à geração de ruídos e impacto visual. Sendo assim, concluíram que a mancha urbana deve ser característica excludente em um estudo visando à geração eólica.

No tocante à presença de aeródromos e sua relação com a geração eólica, a portaria N°271/CG5 do Ministério da Defesa (2012) dispõe sobre as restrições relativas às implantações que possam afetar adversamente a segurança e a regularidade das operações aéreas, e dá outras providências. Na referida portaria há critérios sobre as sinalizações que devem ser adotadas para os aerogeradores. Adicionalmente, Montezano (2012) conduziu um estudo para elencar estratégias para identificação de

sítios eólicos promissores usando sistema de informação geográfica e algoritmos evolutivos. O autor considerou que aerogeradores podem representar um risco de colisão com aeronaves voando baixo e podem interferir na operação adequada do radar, pela limitação da capacidade de controle aéreo e na instrumentação de sistemas de pouso de aeronaves, sendo assim, foi definida a distância mínima de 15 km de aeródromos.

Alguns estudiosos, em suas pesquisas, agregaram características diversas na geração solar e eólica, e embasados em análises multicritério, conseguiram evidenciar as melhores localizações para instalação dessas gerações nos casos estudados, de acordo como se segue.

Novas considerações sobre a utilização de dados geográficos para estudos da implementação de sistemas de geração, em especial a energia fotovoltaica foi proposto por Pomares e outros (2012). No referido estudo foram utilizados dados do SWERA (*Solar and Wind Energy Resource Assessment*) em especial a radiação solar. Além disso, foi feita uma análise geográfica, destacando os contornos geográficos locais, e uma análise da localização dos pontos de carga do sistema.

Também em seu trabalho, Vicari (2012), implementou uma análise multicritério para o levantamento do potencial de implantação de usinas eólicas e solares no Rio Grande do Sul. Em sua pesquisa, foi feito o levantamento das características consideradas relevantes para a geração solar e eólica e utilizado o *software* ArcGIS, foi elaborada a sobreposição dos dados, obtendo como resultados, os melhores locais para a instalação desses sistemas de geração.

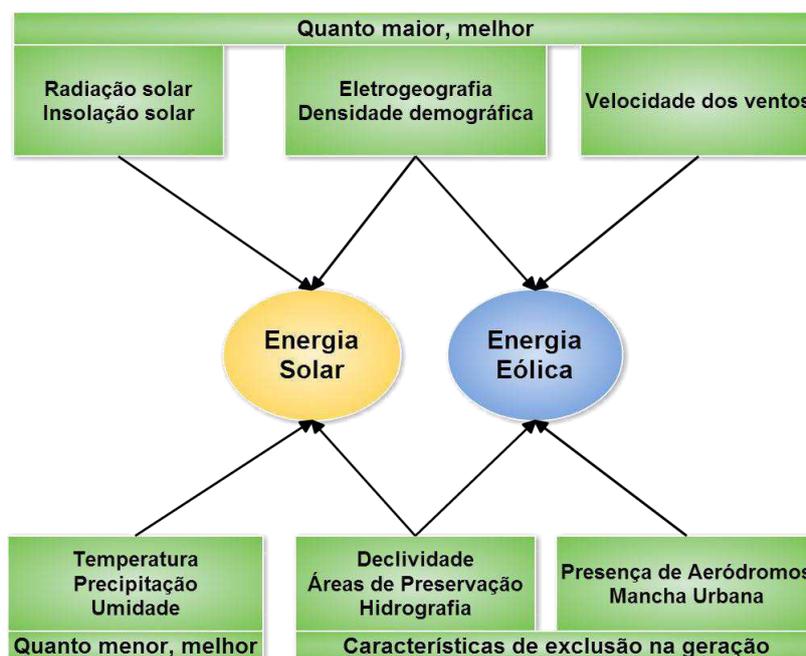
Oliveira Neto e outros (2014) elaboraram um algoritmo baseado em processamento digital de imagens para localização propícia de regiões para geração solar. No contexto do trabalho foi destacada que além da radiação solar, outras variáveis como precipitação, insolação solar, densidade demográfica, mapa eletrogeográfico e áreas de proteção ambiental afetavam sobremaneira a localização territorial de instalação de um sistema de geração solar. Para tanto, as informações foram coletadas em fontes oficiais e devidamente processadas pelo algoritmo desenvolvido. Eles conseguiram sobrepor tais informações e originaram um mapa final de propiabilidade da região caso de estudo: o estado de Paraíba.

Oliveira Neto e outros (2015) aperfeiçoaram um algoritmo baseado em processamento digital de imagens para localização propícia de regiões para geração solar e estabeleceram diretrizes capazes de elaborar comparações entre regiões distintas,

quanto à propiciabilidade de instalação para geração de energia solar. Além de destacarem que a radiação solar, precipitação, insolação solar, densidade demográfica, mapa eletrogeográfico e áreas de proteção ambiental afetam sobremaneira a localização territorial da instalação de um sistema de geração solar, as variáveis foram parametrizadas para efeito comparativo. Outra colaboração do estudo foi o destaque de variáveis externas como o preço do kWh e adoção de medidas políticas de incentivo à geração solar e como elas afetam a quantidade de projetos instalados nos casos de estudo analisados. Como casos comparativos no estudo, foram utilizados o estado da Paraíba e a Espanha.

Como visto, evidencia-se a relevância dos estudos relacionados ao geoprocessamento de energia, uso de dados de satélites no contexto energético e as características que influenciam as gerações solar e eólica. De forma resumida, pode ser observado na Figura 2, como cada característica infere-se à geração solar e eólica.

Figura 1. Influência das diversas características na geração solar e eólica.



Fonte: O autor.

Desta maneira, visando dar continuidade às linhas de pesquisa supracitadas, com esta dissertação pretende-se contribuir com o aprimoramento dos estudos relacionados ao geoprocessamento de energia, com foco na geração solar e eólica, e o desenvolvimento de ferramentas computacionais baseadas em processamento digital de imagens que auxiliem a tomada de decisão.



## 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 3.1 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

Por Processamento Digital de Imagens (PDI) entende-se a manipulação de uma imagem por computador de modo que a entrada e a saída do processo sejam imagens. Um dos objetivos do processamento digital de imagens é melhorar o aspecto visual de certas feições estruturais para o analista humano e fornecer outros subsídios para a sua interpretação, inclusive gerando produtos que possam ser posteriormente submetidos a outros processamentos (SPRING, 1996).

A função primordial do processamento digital de imagens de sensoriamento remoto é a de fornecer ferramentas para facilitar a identificação e a extração da informação contida nas imagens, para posterior interpretação. Nesse sentido, sistemas dedicados de computação são utilizados para atividades interativas de análise e manipulação das imagens brutas. O resultado desse processo é a produção de outras imagens contendo informações específicas, extraídas e realçadas a partir das imagens brutas (CEPSRM, 2013). Assim, o processamento de imagens visa facilitar a extração de informações e auxiliar na tomada de decisão.

#### 3.1.1 IMAGENS MONOCROMÁTICAS

Uma imagem monocromática é uma função de duas variáveis  $f(x, y)$ , em que as variáveis independentes  $x$  e  $y$  são em geral coordenadas espaciais e o valor de  $f(x, y)$  define a intensidade luminosa (ou brilho, ou nível de cinza) da imagem em  $(x, y)$  (BANKMAN, 2000). Para se enfatizar que uma imagem é essencialmente uma função de duas variáveis, é conveniente empregar um sistema de três eixos perpendiculares  $x, y, z$ , com  $z = f(x, y)$ .

A geração das imagens monocromáticas é afetada por dois componentes: a iluminação,  $i(x, y)$ , que representa a quantidade de luz incidente sobre o ponto  $(x, y)$  e a refletância,  $r(x, y)$ , que representa a quantidade de luz refletida pelo ponto  $(x, y)$ . A multiplicação de  $i(x, y)$  e  $r(x, y)$  formam  $f(x, y)$  (QUEIROZ & GOMES, 2009):

$$f(x, y) = i(x, y)r(x, y), \quad (1)$$

em que,

$$0 < i(x, y) < \infty \text{ e } 0 < r(x, y) < 1. \quad (2)$$

Destaque-se que  $i(x, y)$  é definida pela fonte de iluminação, enquanto que  $r(x, y)$  é uma característica dos objetos da cena.

### 3.1.2 IMAGENS COLORIDAS

Uma imagem colorida é a composição de três imagens monocromáticas:  $f_r(x, y)$ ,  $f_g(x, y)$ ,  $f_b(x, y)$ , denominadas, respectivamente, de componente vermelha (ou componente  $R$ ), componente verde (ou componente  $G$ ) e componente azul (ou componente  $B$ ) da imagem colorida. Em uma imagem digital colorida no sistema  $RGB$  (*Red, Green, Blue*), pode-se considerar um *pixel* como um vetor  $f(x, y) = (f_r(x, y), f_g(x, y), f_b(x, y))$ , cujas componentes representam as intensidades de vermelho, verde e azul da cor (JÄHNE, 2002). Um exemplo desta representação é visto na Figura 2.

Figura 2. Imagem  $RGB$  e suas componentes  $R$ ,  $G$  e  $B$ .



Fonte: OLIVEIRA NETO *et al.*, 2014.

### 3.1.3 OPERAÇÕES ENVOLVENDO IMAGENS

Em geral, as técnicas de processamento de imagens podem ser aplicadas no domínio do espaço ou no domínio da frequência. Nas operações no domínio do espaço trabalha-se diretamente com os *pixels* da imagem. Outra abordagem consiste em aplicar uma operação matemática genericamente denominada de transformada sobre a imagem

a ser processada, convertendo-a do domínio do espaço para o domínio da frequência, e processar a imagem nesse domínio.

Pode-se representar uma operação  $T$  sobre  $n$  imagens,  $f_1, f_2, \dots, f_n$ , produzindo uma imagem de saída  $g$ , como (BATISTA, 2002):

$$g = T[f_1, f_2, \dots, f_n] \quad (3)$$

Em geral, por meio de (3), tem-se o que se conhece como operação  $n$ -ária, com a imagem de saída sendo produzida a partir de uma ou mais imagens de entrada. Quando  $n = 2$  tem-se uma operação binária e, quando  $n = 1$ , uma operação unária, onde uma única imagem de entrada é processada produzindo uma imagem de saída (BATISTA, 2002).

#### 3.1.4 IMAGEM DIGITAL

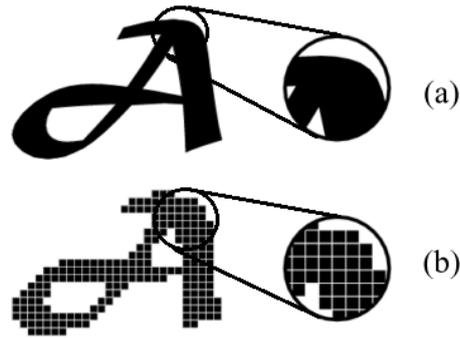
Uma imagem de um objeto real é, em princípio, contínua tanto na sua variação espacial como nos níveis de cinza. Visando o seu processamento computacional a imagem deve ser digitalizada, ou seja, discretizada tanto no espaço quanto na amplitude. A digitalização das coordenadas espaciais é chamada amostragem da imagem e a digitalização da amplitude é chamada de quantização dos níveis de cinza (BRITO & CARVALHO, 1998).

#### 3.1.5 REPRESENTAÇÃO DE IMAGENS

Existem duas maneiras de representar uma imagem: representação vetorial e representação matricial. As representações diferem na natureza dos dados que compõe a imagem. Segundo SCHNEIDER (2001), uma imagem vetorial é uma imagem de natureza geométrica, ou seja, ela é definida em função de elementos geométricos e parâmetros, conforme se pode observar na Figura 3(a).

Por sua vez, uma imagem matricial é uma imagem de natureza discreta, ou seja, a imagem é formada de elementos independentes, dispostos na forma de uma matriz, cada um contendo uma unidade de informação da imagem, conforme apresentado na Figura 3(b). A representação não armazena nenhuma informação geométrica dos objetos contidos na imagem o que torna difícil a manipulação de sua estrutura. No entanto ela é capaz de representar qualquer tipo de imagem (SCHNEIDER, 2001).

Figura 3. Exemplos de imagem (a) vetorial e (b) matricial.



Fonte: SCHNEIDER, 2001.

### 3.1.6 ETAPAS PARA O PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

Várias etapas são descritas ao longo do processamento digital de imagens. Nas seções seguintes serão descritos quais as principais, utilizadas com excelência em todo o mundo no contexto global concomitante com assunto em abordagem.

#### 3.1.7 REALCE DA IMAGEM

O melhoramento de imagem é obtido por meio de técnicas, tais como, o melhoramento de contraste e filtragem aplicadas com finalidades específicas enfatizando características de interesse ou recuperando imagens que sofreram algum tipo de degradação devido à introdução de ruído, perda de contraste ou borramento.

A aplicação dessas técnicas, designadas como realce de imagem, são transformações radiométricas que modificam o valor dos níveis de cinza dos pontos da imagem (GONZALEZ & WOODS, 1992).

#### 3.1.8 MELHORAMENTO DE CONTRASTE

Melhoramento de contraste trabalha a qualidade visual da imagem por meio da manipulação dos níveis de cinza. O contraste consiste numa diferença local de luminância e pode ser definido como a razão dos níveis de cinza médios do objeto e do fundo (MASCARENHAS & VELASCO, 1989).

O processo de melhoramento de contraste transforma a escala de cinza de forma pontual, ou seja, o novo valor do *pixel* depende somente do valor original. Uma função

de transferência mapeia o valor de um *pixel* para um novo valor. Essa função é definida da seguinte forma (MASCARENHAS & VELASCO, 1989):

$$g(x, y) = T(f(x, y)). \quad (4)$$

Em que  $f(x, y)$  é o valor do nível de cinza original,  $T$  é a função de transferência e  $g(x, y)$  é o novo valor do *pixel*.

### 3.1.9 FILTRAGEM

O processo de filtragem procura extrair informações como as bordas da imagem ou corrigir algumas degradações na imagem, tais como: borrões, ruídos inseridos pelo processo de imageamento ou na transmissão da imagem. Os filtros são divididos em duas categorias: filtros no domínio do espaço e filtros no domínio da frequência (GONZALEZ & WOODS, 1992).

A filtragem no espaço é considerada uma operação local, ou seja, o nível de cinza de um *pixel* depende do original e de sua vizinhança. O princípio de funcionamento de tal filtro está baseado em máscaras de deslocamento, as quais são matrizes com pesos associados em cada posição. A máscara com centro na posição  $(x, y)$  é colocada sobre o *pixel* a ser modificado na imagem. O *pixel* correspondente na imagem é substituído por um valor que considera os *pixels* vizinhos e os pesos correspondentes na máscara. A soma de todos os produtos dos pesos da máscara pelos *pixels* correspondente na imagem resulta em um novo valor de cinza que substituirá o *pixel* central.

Quanto à filtragem no domínio da frequência, esta pode consistir em modificar a Transformada de Fourier de uma imagem e depois calcular a transformada inversa para obter o resultado processado.

### 3.1.10 SEGMENTAÇÃO DE IMAGENS

Por segmentação de uma imagem entende-se a extração ou identificação dos objetos contidos na imagem, em que o objeto é toda característica com conteúdo semântico relevante para a aplicação desejada. A segmentação faz parte de um passo maior que é a classificação da imagem. A etapa de segmentação divide a imagem em regiões, sem considerar o processo de classificação (MASCARENHAS &

VELASCO, 1989). A região em uma imagem é um conjunto de *pixels* ligados, ou seja, de qualquer *pixel* da região pode-se alcançar qualquer outro, por um caminho inteiramente contido na região.

#### 3.1.11 SEGMENTAÇÃO BASEADA EM CRESCIMENTO DE REGIÕES

A segmentação baseada no crescimento de regiões pode ser feita de duas formas: por varredura ou por busca em todas as direções. Ambos os métodos baseiam-se no fato das regiões a serem detectadas apresentarem propriedades locais aproximadamente constantes como, por exemplo, o nível de cinza (GONZALEZ & WOODS, 1992).

No crescimento por busca em todas as direções uma única região é crescida por vez. Na segmentação por varredura a imagem é percorrida da esquerda para direita e de cima para baixo comparando um *pixel* inicial da imagem ( $x, y$ ) com todos os outros *pixels*, adicionando ou não os *pixels* à região do ponto inicial.

#### 3.1.12 CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS

A classificação é o processo de extração de informações da imagem. Consiste na divisão da imagem em classes, ou seja, segmentação e posterior identificação das classes. Esta pode ser feita de forma não automática, em que um especialista humano extrai informações baseando-se na inspeção visual da imagem ou de forma automática, feita por computador (MARIA, 2000).

## 3.2 GEOPROCESSAMENTO

O geoprocessamento denota a área do conhecimento na qual são utilizadas técnicas matemáticas e computacionais para a obtenção, manipulação e apresentação de dados e informações geográficas, e tem influenciado sobremaneira as áreas de recursos naturais e planejamento energético (CÂMARA & MONTEIRO, 2001).

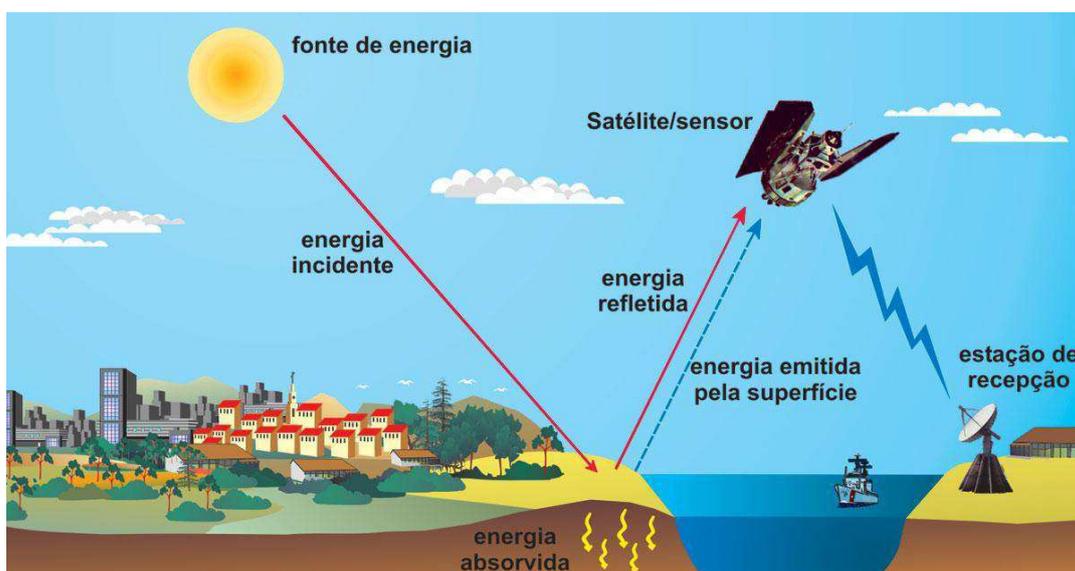
Os avanços na área do geoprocessamento têm propiciado decisões e sistemas de suporte mais eficientes, uma vez que permitem a visualização operacional do sistema analisado e melhoria na qualidade das informações (FIGUEIRÊDO *et al.*, 2010). Com um planejamento adequado e a utilização de algumas técnicas de geoprocessamento é

possível minimizar os impactos econômicos e tomadas de decisões mais eficientes em empreendimentos voltados às energias alternativas (COPQUE *et al.*, 2013).

### 3.3 SENSORIAMENTO REMOTO

Sensoriamento remoto é a tecnologia que permite obter imagens (e outros tipos de dados) da superfície terrestre por meio da captação e do registro da energia refletida ou emitidas pela superfície. O termo *sensoriamento* refere-se à obtenção de dados por meio de sensores instalados em plataformas aéreas (balões e aeronaves) e orbitais (satélites artificiais). O termo *remoto*, que significa distante, é utilizado porque a obtenção é feita à distância, ou seja, sem o contato físico entre o sensor e objetos na superfície terrestre, conforme Figura 4. O processamento, a análise e a interpretação dos dados também integram o sensoriamento remoto (FLORENZANO, 2011).

Figura 4. Obtenção de imagens por sensoriamento remoto.



Fonte: FLORENZANO, 2011.

A obtenção de imagens por sensoriamento remoto, como pode ser observado na Figura 4, segue conforme descrito: o sol ilumina a superfície terrestre e a energia proveniente do sol, refletida pela superfície em direção ao sensor, é captada e registrada. Em sua trajetória, a energia atravessa a atmosfera, que interfere na energia final, em forma de sinais, registrada pelo sensor. Quanto mais distante o sensor estiver da superfície terrestre, como é o caso daquele a bordo de satélites artificiais, maior será a

interferência da atmosfera. A presença de nuvens na atmosfera, por exemplo, pode impedir que a energia refletida pela superfície terrestre alcance o sensor a bordo de um satélite. Nesse caso, o sensor registra apenas a energia proveniente da própria nuvem. A energia refletida ou emitida pela superfície terrestre e captada por sensores eletrônicos, instalados em satélites artificiais, é transformada em sinais elétricos, que são registrados e transmitidos para estações de recepção na Terra, equipadas com enormes antenas parabólicas. Os sinais enviados para essas estações são transformados em dados em forma de gráficos, tabelas ou imagens. A partir da interpretação dos dados, é possível obter informações a respeito da superfície terrestre (FLORENZANO, 2011).

Os dados de sensoriamento remoto têm-se mostrados extremamente úteis para estudos e levantamentos de recursos naturais e energéticos, principalmente por sua (SAUSEN, 2011):

- Visão sinótica, que permite a visualização de grandes extensões de área em uma mesma imagem;
- Resolução temporal que permite a coleta de informações em diferentes épocas do ano e em anos distintos, o que facilita os estudos dinâmicos de uma região;
- Resolução espectral que permite a obtenção de informações sobre um alvo na natureza em distintas faixas do espectro, acrescentando assim uma infinidade de informações sobre o estado dele;
- Resolução espacial, que possibilita a obtenção de informações em diferentes escalas, desde as regionais até locais.

Portanto, por meio do geoprocessamento, com foco nas técnicas de processamento digital de imagens aplicado às imagens obtidas, em sua maioria, por sensoriamento remoto, é fundamentada a metodologia deste trabalho, conforme pode ser vista no Capítulo 4.

## 4 METODOLOGIA

Como procedimento inicial da metodologia adotada, foi realizada uma revisão bibliográfica aprofundada referente ao tema pesquisado, mediante livros, artigos científicos, dissertações e normas regulamentadoras, conforme destacado no Capítulo 2. Além disso, será exposto nas seções subsequentes a base de dados empregada, assim como, a elaboração de algoritmos compondo o procedimento computacional e a parametrização adotada para cada característica avaliada no contexto da energia solar e eólica.

### 4.1 MATERIAL

Com o intuito de determinar as áreas mais favoráveis à instalação de unidades geradoras de energia elétrica a partir de energia solar e eólica foram utilizadas informações em formas de mapas. Os mapas foram fornecidos pela Aeroespacial Tecnologia em Energia e Sistemas Renováveis Ltda. Para o estudo da energia solar no estado de Pernambuco foram utilizados os mapas vistos nas Figuras 5 a 14.

Figura 5. Mapa de radiação solar do estado de Pernambuco do ano 2013.

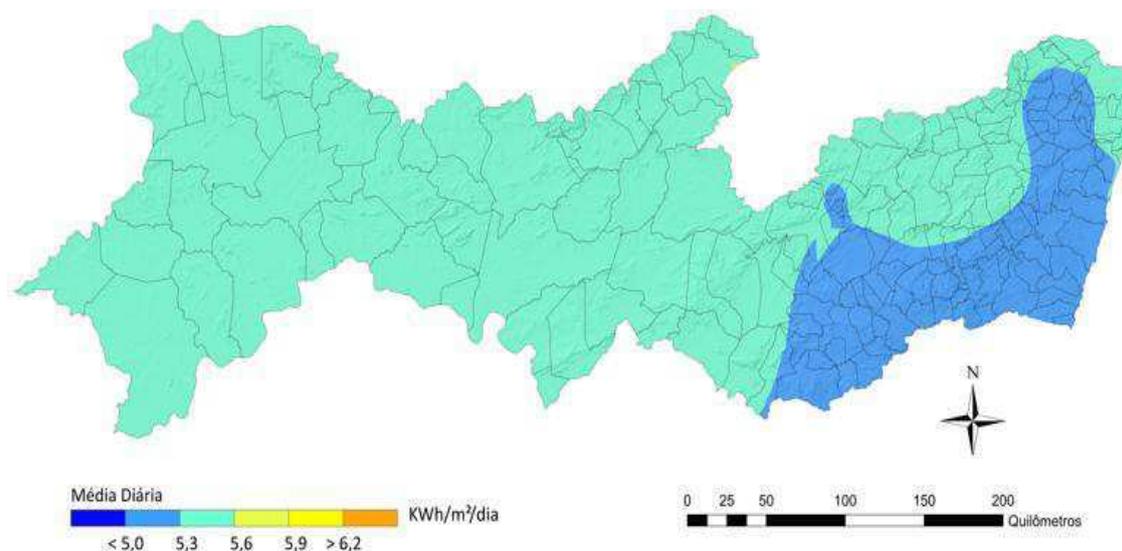


Figura 6. Mapa de insolação solar do estado de Pernambuco do ano 2013.

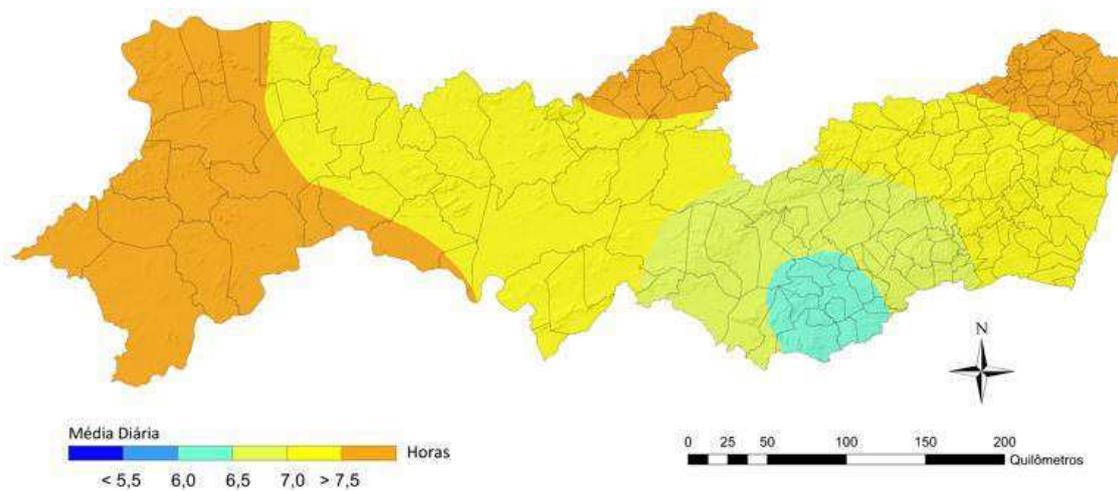


Figura 7. Mapa de precipitação do estado de Pernambuco do ano 2013.

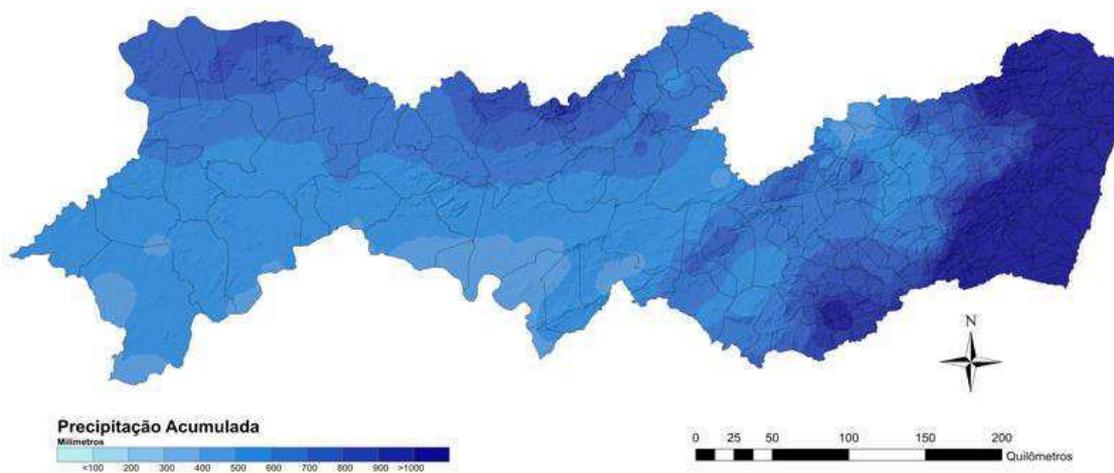


Figura 8. Mapa de umidade relativa do ar do estado de Pernambuco do ano 2013.

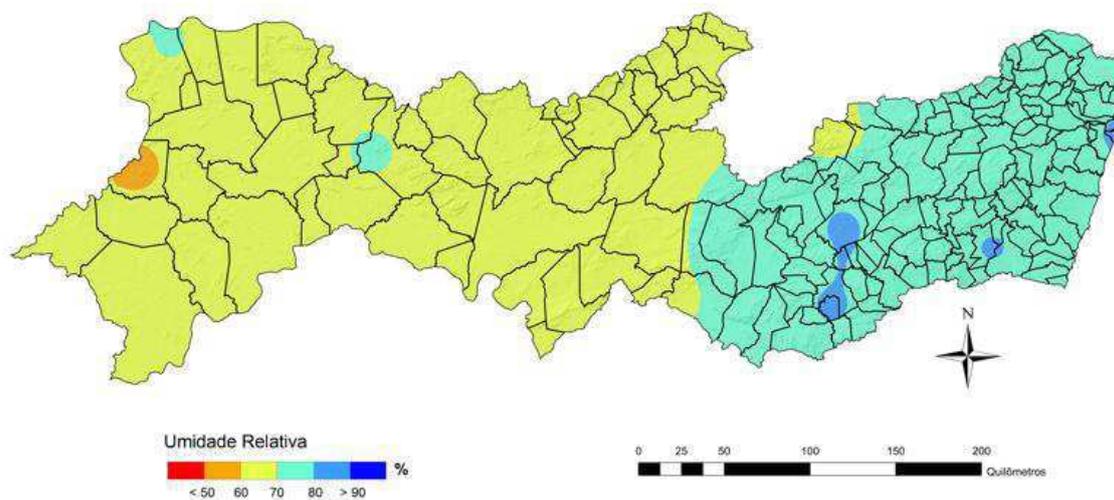


Figura 9. Mapa da temperatura do estado de Pernambuco do ano 2013.

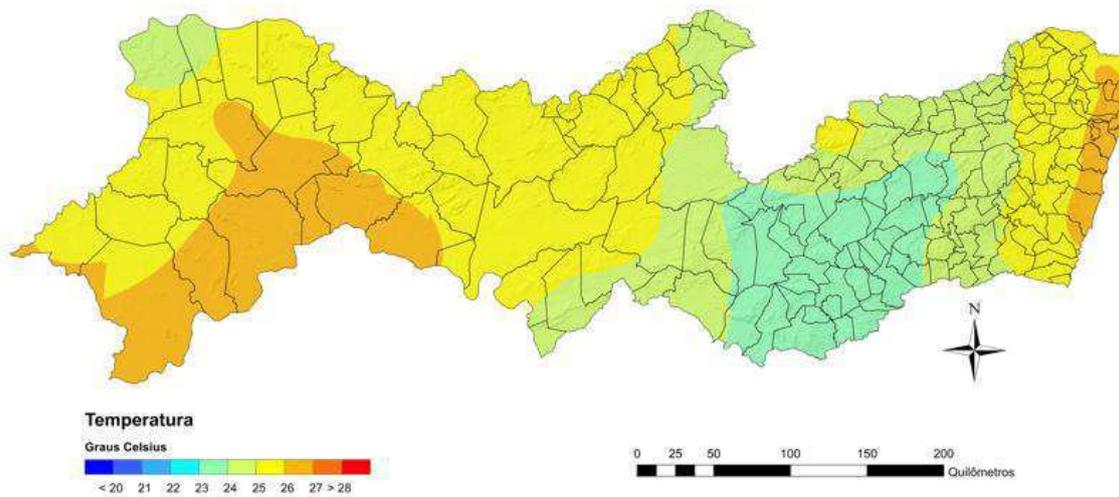


Figura 10. Mapa eletrogeográfico (linhas de transmissão e subestações) do estado de Pernambuco do ano 2013.

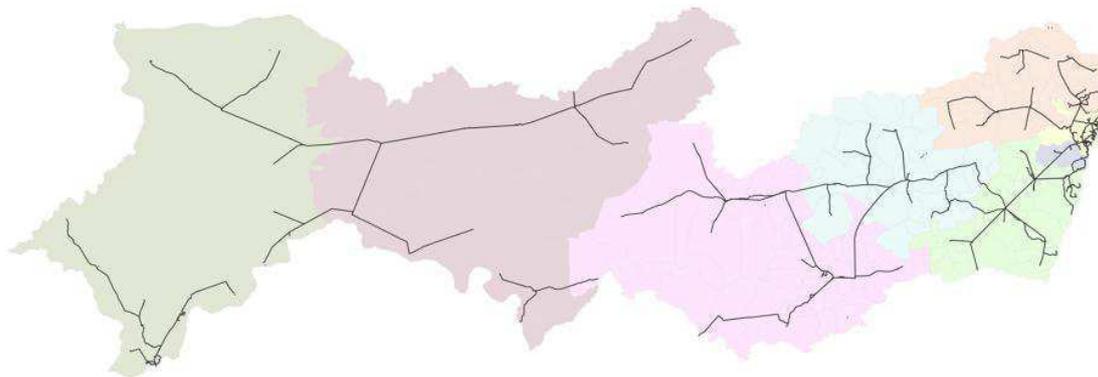


Figura 11. Mapa da densidade demográfica do estado de Pernambuco do ano 2013.

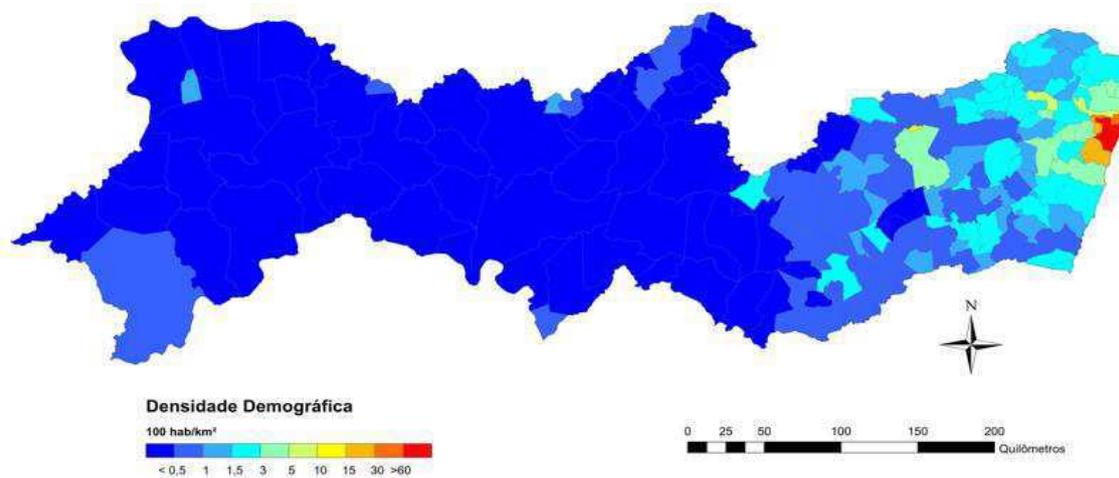


Figura 12. Mapa das áreas de preservação do estado de Pernambuco do ano 2013.

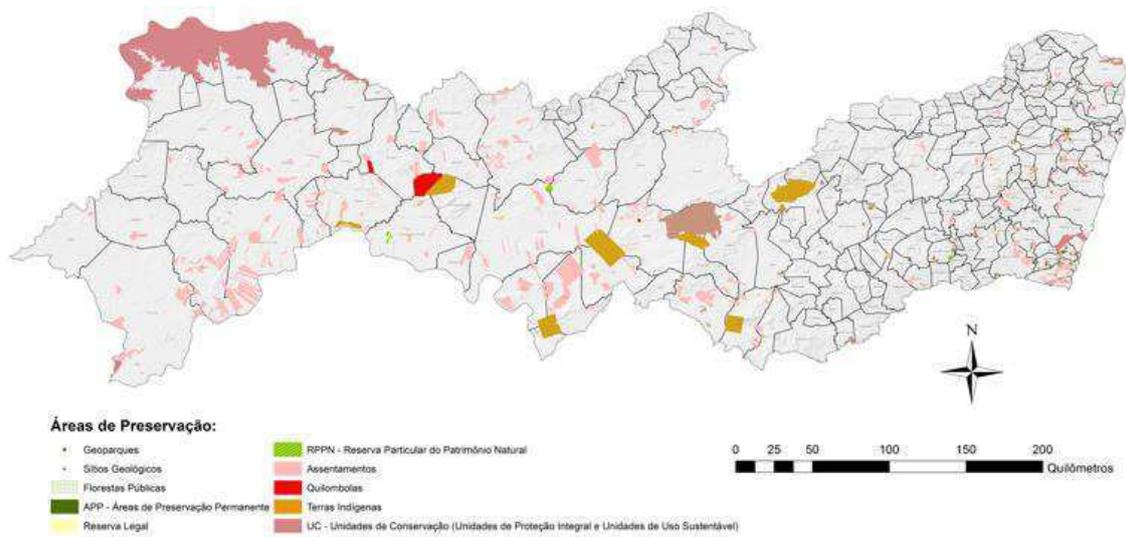


Figura 13. Mapa da declividade do estado de Pernambuco do ano 2013.

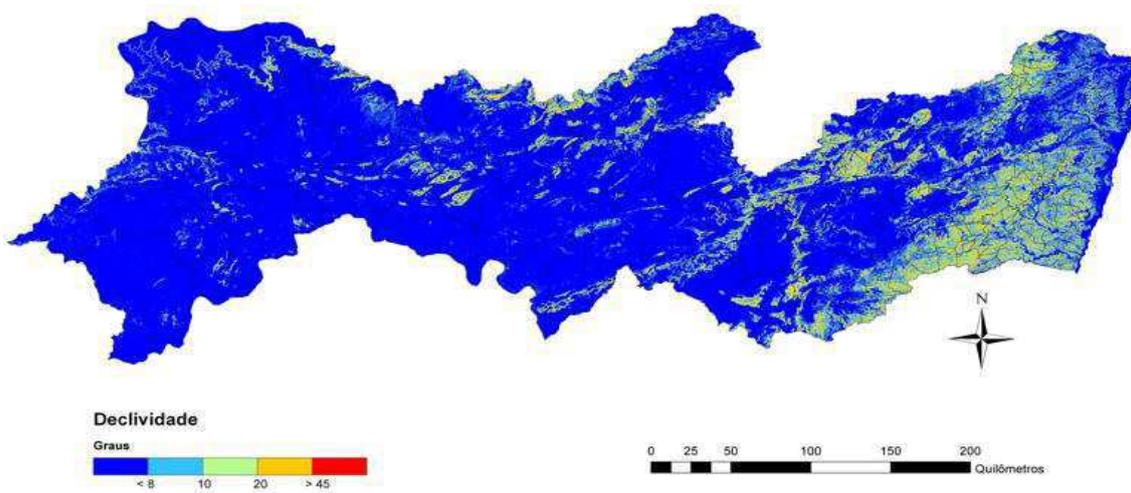
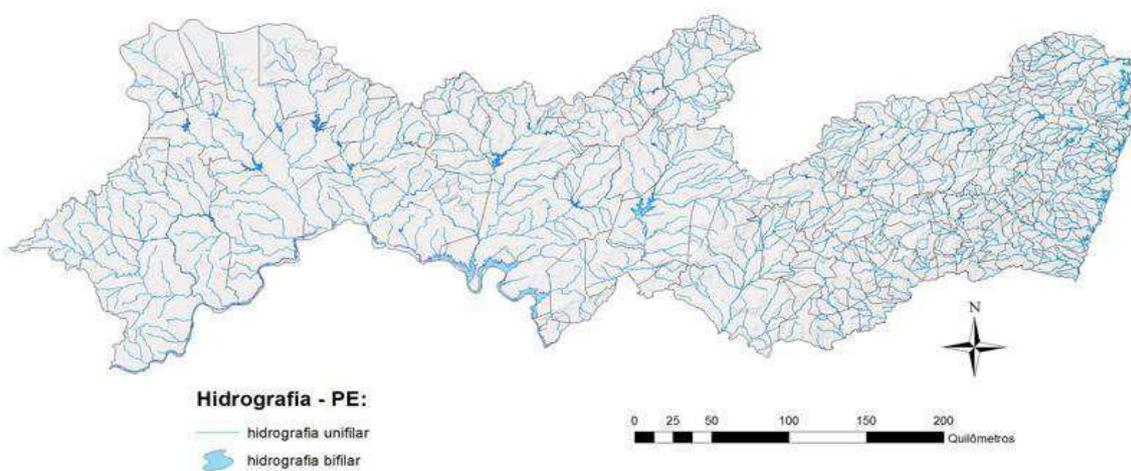


Figura 14. Mapa hidrográfico do estado de Pernambuco do ano 2013.



Quanto à energia eólica, além de considerar características como vistas nas Figuras 10 a 14, foram utilizados os mapas que podem ser observados nas Figuras 15 a 17.

Figura 15. Mapa da velocidade dos ventos do estado de Pernambuco do ano 2013.

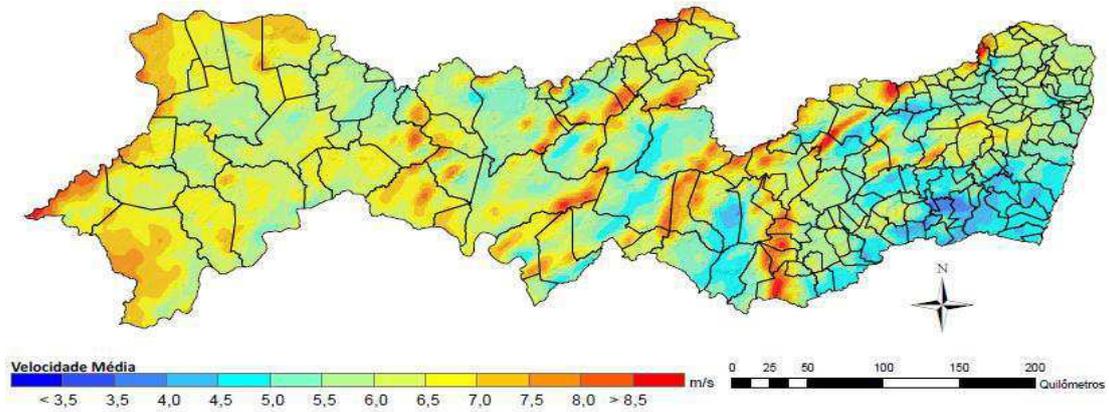


Figura 16. Mapa da presença de aeródromos do estado de Pernambuco do ano 2013.

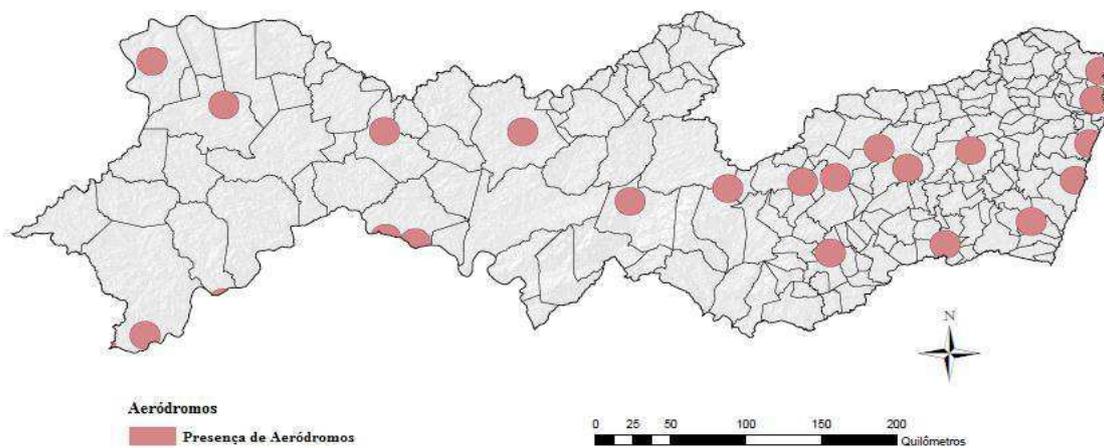
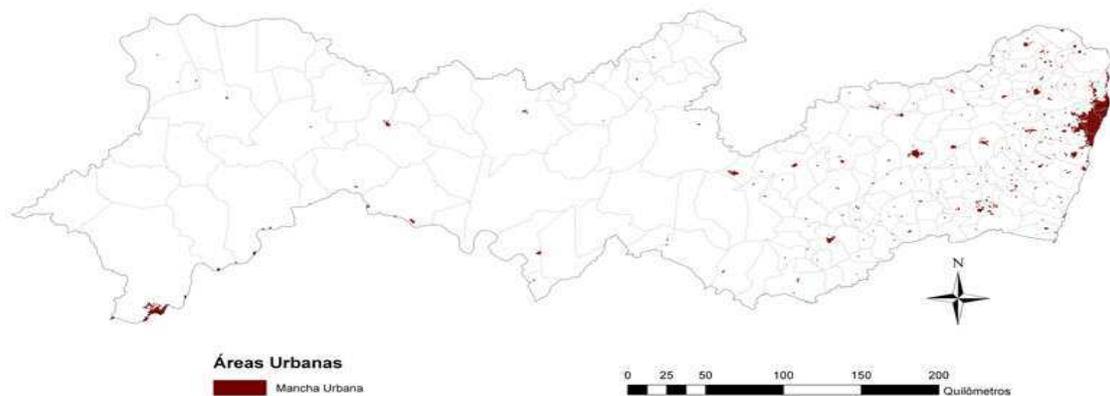


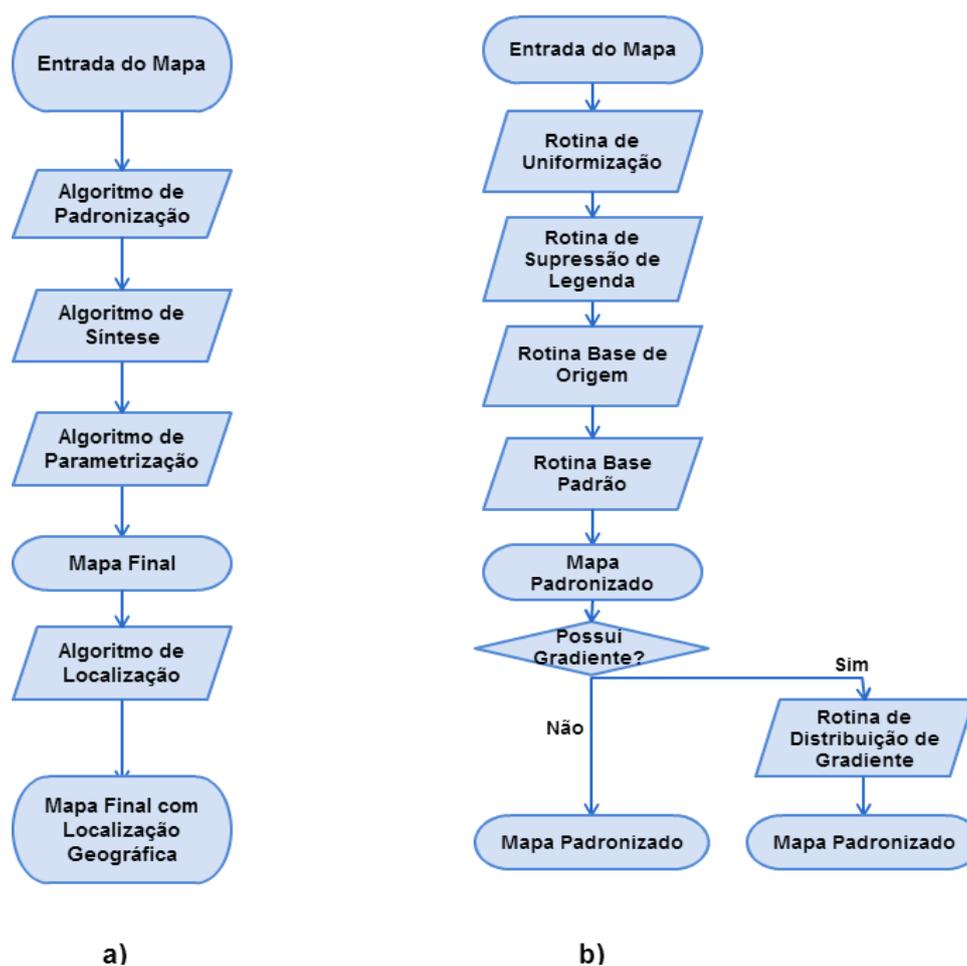
Figura 17. Mapa da presença de mancha urbana do estado de Pernambuco do ano 2013.



## 4.2 PROCEDIMENTO COMPUTACIONAL

Com o objetivo de realizar o processamento das informações contidas nos mapas elencados, como base de dados, para os estudos da geração solar e eólica, no procedimento computacional, foi desenvolvido o Algoritmo de Localização Propícia (ALP). O ALP é composto por algoritmos com fins específicos para o tratamento das imagens matriciais dos mapas, uma vez que, tais imagens apresentam características distintas, seja dimensão, qualidade visual, distribuição de cores, entre outras. Todos os mapas passaram por um procedimento sequencial de algoritmos e ao término ficaram aptos a serem parametrizados e sobrepostos, objetivando agregar análises e conclusões. A estrutura do ALP pode ser vista Figura 18 e o detalhamento de cada rotina é mostrado a seguir.

Figura 18. a) Fluxograma do Algoritmo de Localização Propícia; b) Fluxograma detalhando as rotinas do Algoritmo de Padronização.



Fonte: O autor.

#### 4.2.1 ALGORITMO DE PADRONIZAÇÃO

O Algoritmo de Padronização (AP) recupera informações dos mapas, assim como norteia uma origem e dimensão comum a todas as imagens que retratam as características analisadas.

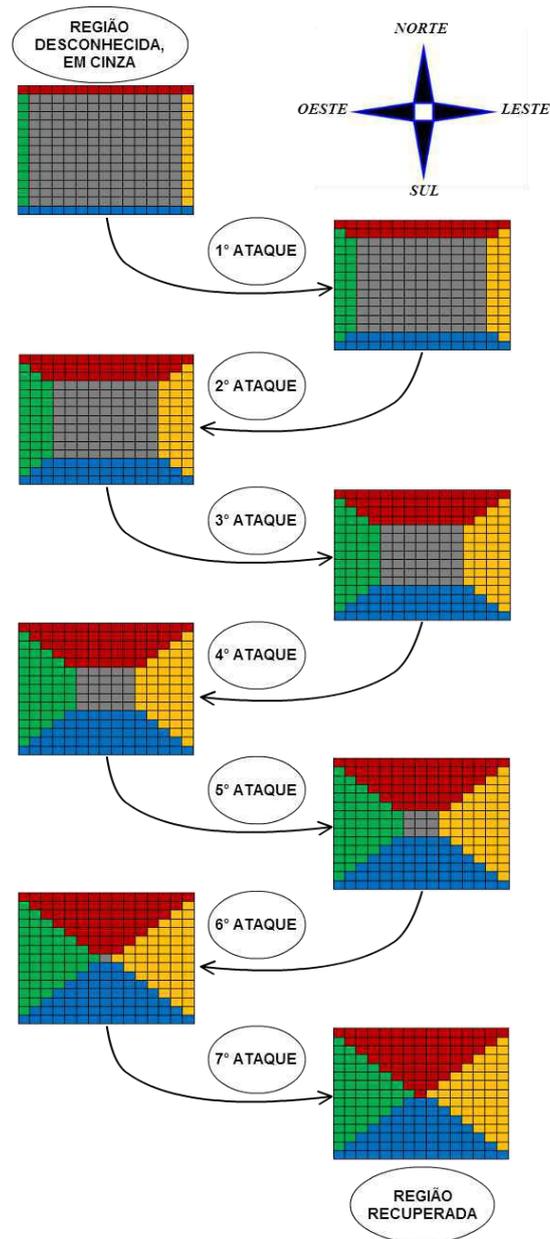
O AP é composto por rotinas responsáveis por atividades intermediárias. São elas: Rotina de Uniformização (RU), Rotina de Supressão de Legenda (RSL), Rotina Base de Origem (RBO), Rotina Base Padrão (RBP) e Rotina de Distribuição de Gradiente (RDG). Estas rotinas são detalhadas nas subseções que seguem.

##### 4.2.1.1 Rotina de Uniformização (RU)

A RU é responsável por recuperar imagens que sofreram algum tipo de degradação devido à introdução de ruído, perda de contraste ou borramento. A recuperação dessas regiões obedece um critério de proximidade, baseado em rotinas de buscas e testes, elaboradas com intuito de percorrer o mapa matricial em quatro direções (Norte-Sul e Leste-Oeste, aos pares, nessa ordem), fazendo um ataque de reconstituição plurilateral. Uma sequência exemplificativa do ataque pode ser vista na Figura 19.

Quando se observa a Figura 19, uma determinada região, afetada por fatores degradantes, assume a cor cinza e então uma rotina inteligente busca recuperar a cor original. O ataque feito à cor cinza ocorre em várias regiões da imagem, percorrendo a matriz *RGB*, e o término dos ataques se dá quando não há mais *pixel* em cor desconhecida.

Figura 19. Ilustração da principal função da Rotina de Uniformização.



Fonte: O autor.

#### 4.2.1.2 Rotina de Supressão de Legenda

A RSL elimina a legenda, assim como outras regiões do mapa que não integram a área efetiva do estado na imagem em estudo. O que ocorre é um percurso pela imagem matricial, buscando a identificação de uma ou mais regiões que não possuam vínculo com o contorno do mapa em processamento. Assim, qualquer região que esteja externo ao contorno do mapa é descartada, garantindo então, o correto e sequencial processamento.

#### 4.2.1.3 Rotina Base de Origem

A RBO define uma origem comum de trabalho para todos os mapas, possibilitando a existência de uma referência espacial.

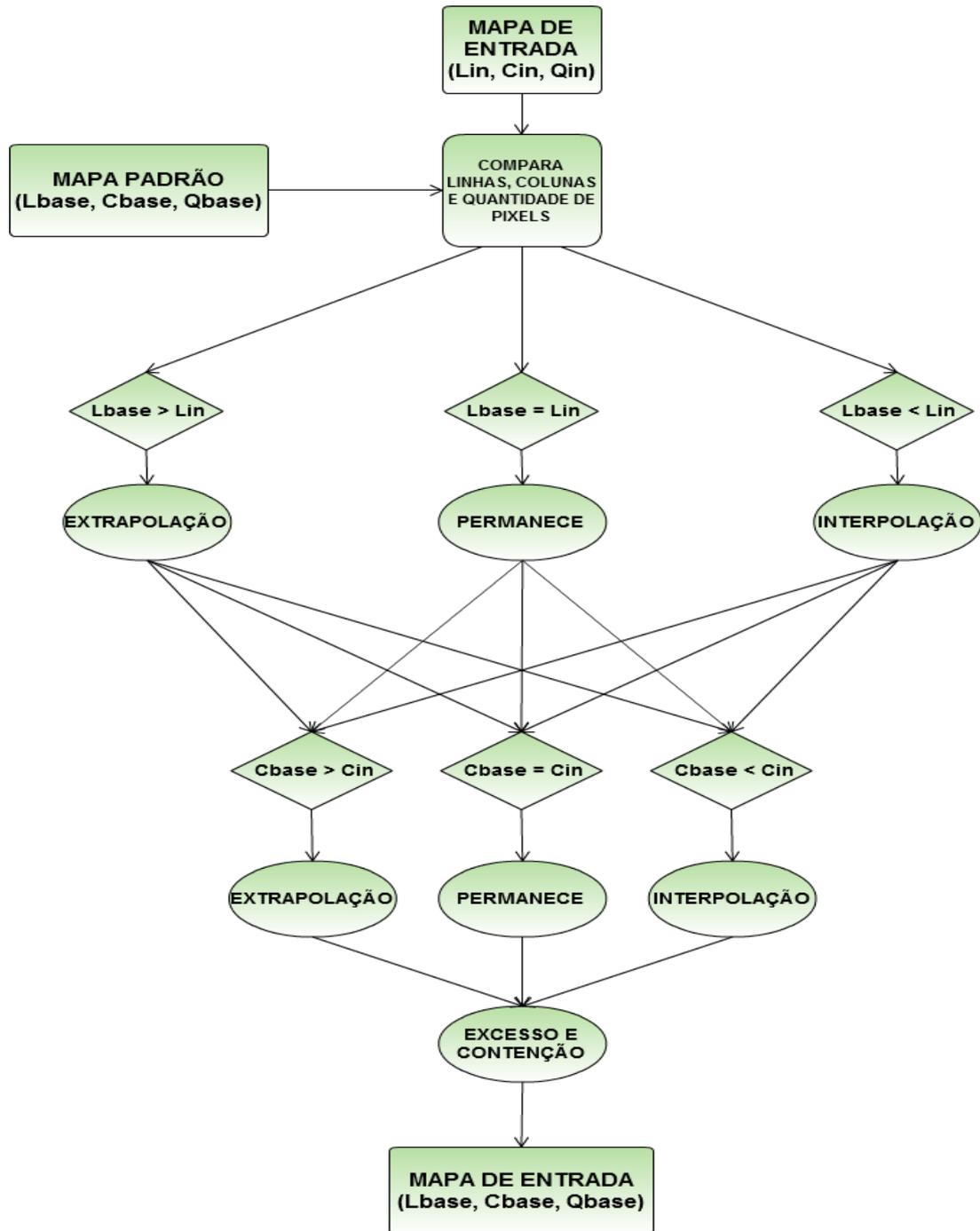
#### 4.2.1.4 Rotina Base Padrão

A RBP realiza a padronização de todos os mapas, em escala, tamanho e quantidade de *pixels*. É escolhido um mapa que reproduza mais fielmente os contornos do estado em estudo. O mapa base padrão possui um número  $L_{base}$  de linhas e  $C_{base}$  de colunas, e uma quantidade  $Q_{base}$  de *pixels* em cada uma das três matrizes (*RGB*) que compõe a imagem. Com isso um mapa de entrada com um número de linhas  $Lin$ , colunas,  $Cin$  e *pixels*,  $Qin$ , deve por extrapolação ou interpolação, e desse modo se adaptar a dimensão, e por excesso e contenção, à área efetiva ocupada pelos contornos do mapa, como pode ser observado na Figura 20.

A extrapolação se dá em condições em que é necessário aumentar o número de linhas ou colunas do mapa de entrada para ficarem iguais ao do mapa adotado como base, ao contrário da interpolação que visa diminuir este número. O excesso ou retenção ocorrem simultaneamente no mesmo processo, a fim de que a área ocupada por cada mapa seja igual ao do mapa padrão, isto reflete na quantidade de *pixels* e nas suas respectivas posições na matriz *RGB*.

Para a conclusão da padronização se faz um teste para determina se a imagem deve ser analisada por gradiente ou não. O tratamento referente ao gradiente é realizado pela Rotina de Distribuição de Gradiente.

Figura 20. Fluxograma da Rotina Base Padrão.



Fonte: O autor.

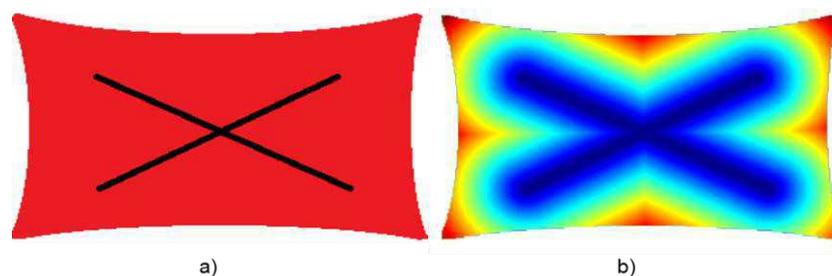
#### 4.2.1.5 Rotina de Distribuição de Gradiente

A RDG é aplicada em mapas que não possuam características pontuais, mas sim gradientes ao longo de suas características interiormente ao contorno do mapa. Esta rotina foi desenvolvida objetivando o tratamento do mapa eletrogeográfico, em que

regiões próximas às linhas terão uma maior desenvoltura na geração de energia, possuindo as maiores intensidades de gradiente, ao contrário de regiões geograficamente distantes.

A título de exemplificação, na Figura 21 (a) pode ser observado linhas de transmissão em cor preta, em meio a uma região hipotética, enquanto que na Figura 21(b), existe a distribuição da intensidade do gradiente, partindo das linhas até os extremos.

Figura 21. (a) Linha de transmissão em cor preta, em uma dada região; (b) Distribuição da intensidade de gradiente, partindo das linhas até o extremo da região.



Fonte: O autor.

#### 4.2.2 ALGORITMO DE PARAMETRIZAÇÃO (AP)

No AP foi feita a conversão das informações de cada mapa, em uma ponderação matemática relacionando o que é apreciado e não apreciado. Cada característica apresenta um máximo e um mínimo contributivo, sem se excluir os valores intermediários, agregando valores sobre o potencial energético oferecido pela região em estudo.

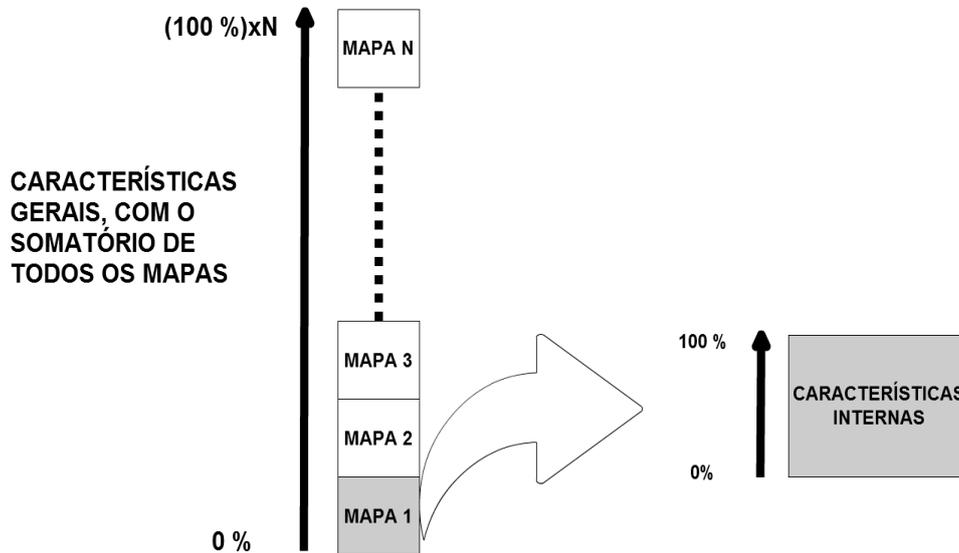
A parametrização foi feita em duas situações: utilizando pesos iguais e pesos distintos no valor contributivo das características.

##### 4.2.2.1 Parametrização igualitária

Nesta forma de parametrização, todas as características envolvidas foram normalizadas em uma faixa que varia de zero a cem por cento (0% a 100%), onde regiões com valores máximos são as melhores e regiões e com valores mínimos as piores. Foi atribuído a cada característica um coeficiente de peso, no caso igualitário, e em seguida realizado um somatório  $N$ -dimensional dos mapas empregados. A fim de

manter uma faixa de valores variando de 0% a 100%, todos os pontos do mapa de saída foram divididos por  $N$ . Na Figura 22 pode ser visto uma forma geral para as distribuições de valores percentuais em um conjunto  $N$  de mapas.

Figura 22. Distribuição de valores percentuais para um conjunto de  $N$  mapas e suas características internas.



Fonte: O autor.

O cálculo da proporcionalidade de geração de energia de um *pixel* no mapa final é realizado por meio de (5).

$$P = \frac{\alpha p_1 + \alpha p_2 + \alpha p_3 + \dots + \alpha p_N}{\alpha N} = \frac{\alpha \sum_1^N p_N}{\alpha N} = \frac{\sum_1^N p_N}{N}. \quad (5)$$

Em que:

$P$  é a proporcionalidade de cada *pixel*, calculado individualmente, dada em %;

$p_n$  é a porcentagem atribuída a cada uma das  $N$  características analisadas em um ponto, dada em %;

$\alpha$  é o coeficiente de peso igualmente atribuída a cada uma das  $N$  características analisadas.

Na Tabela 1 pode ser visto como foram dispostos os valores nos mapas e como se adotou especificação de estudo para geração solar. Especificação análoga foi feita para a energia eólica, como observado na Tabela 2.

Tabela 1. Comportamento das características que influenciam a geração solar concentrada e distribuída com pesos iguais.

<b>Item avaliado</b>	<b><math>p_n</math> Máximo (100%)</b>	<b><math>p_n</math> Mínimo (0%)</b>
Radiação Solar	Onde há mais	Onde há menos
Insolação Solar	Onde há mais	Onde há menos
Precipitação	Onde há menos	Onde há mais
Temperatura	Onde há menos	Onde há mais
Eletrogeografia	Pontos mais próximos às LTs	Pontos mais distantes das LTs
Umidade Relativa do ar	Onde há menos	Onde há menos
Densidade Demográfica	Onde há mais	Onde há menos
<b>Fatores excludentes</b>		
Áreas de Preservação ambiental		
Declividade		
Hidrografia		

Fonte: O autor.

Tabela 2. Comportamento das características que influenciam a geração eólica com pesos iguais.

<b>Item avaliado</b>	<b><math>P_n</math> Máximo (100%)</b>	<b><math>p_n</math> Mínimo (0%)</b>
Velocidade dos Ventos	Onde há mais	Onde há menos
Eletrogeografia	Pontos mais próximos às LTs	Pontos mais distantes das LTs
Densidade Demográfica	Onde há mais	Onde há menos
<b>Fatores excludentes</b>		
Áreas de Preservação ambiental		
Declividade		
Hidrografia		
Aeródromos		
Mancha Urbana		

Fonte: O autor.

#### 4.2.2.2 Parametrização com Pesos Distintos

Nesta parametrização, foi elaborado questionário específico com especialistas da área de energias renováveis, em especial solar e eólica, objetivando sondar quais as características entre as elencadas neste trabalho, teria seu peso diferenciado no somatório dimensional dos mapas empregados, tamanha a importância econômica de se trabalhar com futuros resultados.

A proporcionalidade de geração de energia de um *pixel* no mapa final, calculado individualmente, é dada por (6):

$$P = \frac{\alpha_1 p_1 + \alpha_2 p_2 + \alpha_3 p_3 + \dots + \alpha_N p_N}{(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \dots + \alpha_N)} = \frac{\sum_1^N \alpha_N p_N}{\sum_1^N \alpha_N} . \quad (6)$$

Em que:

$P$  é a proporcionalidade de cada *pixel*, calculado individualmente, dada em %;

$p_n$  é a porcentagem atribuída a cada uma das  $N$  características analisadas em um ponto, dada em %;

$\alpha_n$  é o coeficiente de peso atribuído a cada uma das  $N$  características analisadas.

Nesta nova situação, as características individualmente, ainda foram normalizadas em um universo que varia de 0% a 100%, porém os valores dos coeficientes de peso foram determinados de acordo com questionário apresentado no APÊNDICE A. Os valores dos pesos podem ser vistos nas Tabelas 3, 4 e 5.

Tabela 3. Valores dos coeficientes de peso, por meio de questionário, para a geração solar concentrada.

<b>Item avaliado</b>	<b>Coeficiente de peso (<math>\alpha_n</math>) x 100%</b>
Radiação Solar	18,05
Insolação Solar	17,89
Precipitação	14,57
Temperatura	13,46
Eletrogeografia	12,59
Umidade Relativa do ar	12,35
Densidade Demográfica	11,08
<b>Fatores excludentes</b>	
Áreas de Preservação ambiental	
Declividade	
Hidrografia	

Fonte: O autor.

Tabela 4. Valores dos coeficientes de peso, por meio de questionário, para a geração solar distribuída.

<b>Item avaliado</b>	<b>Coeficiente de peso (<math>\alpha_n</math>) x 100%</b>
Radiação Solar	24,46
Insolação Solar	23,59
Precipitação	17,97
Temperatura	18,40
Umidade Relativa do ar	15,58

Fonte: O autor.

Tabela 5. Valores dos coeficientes de peso, por meio de questionário, para a geração eólica.

Item avaliado	Coefficiente de peso ( $\alpha_n$ ) x 100%
Velocidade dos Ventos	39,86
Eletrogeografia	30,80
Densidade Demográfica	29,35
Fatores excludentes	
Áreas de Preservação ambiental	
Declividade	
Hidrografia	
Aeródromos	
Mancha Urbana	

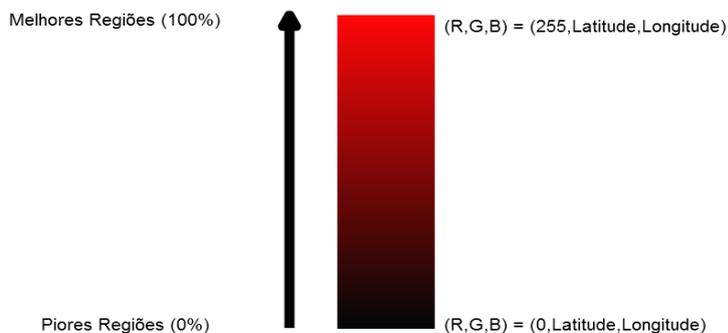
Fonte: O autor.

Por meio de (5) e (6) foi possível elaborar o levantamento de todos os pontos do estado de Pernambuco quanto a sua propiabilidade em geração de energia elétrica a partir da energia solar e energia eólica.

#### 4.2.2.3 Armazenamento da Informação

As informações relativas às propiabilidades calculadas foram armazenadas, em congruência com a utilização do código de cores *RGB* e para efeito de simplicidade, apenas na componente *R*. Esta será parametrizada de tal forma que as melhores regiões estão para os maiores valores da componente *R*, enquanto as piores, para os menores valores da mesma componente, conforme pode ser observado na Figura 23.

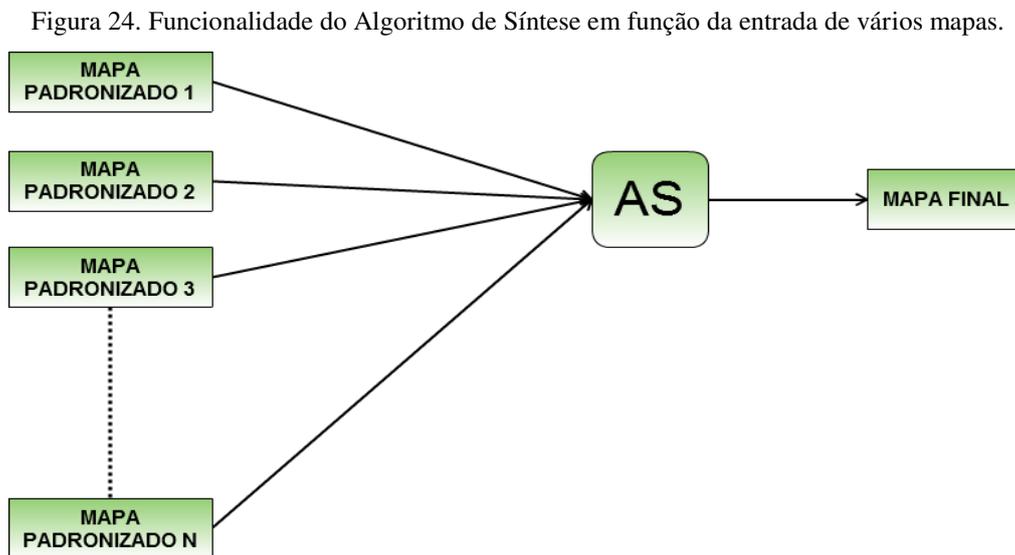
No que diz respeito às componentes *G* e *B*, elas serão relacionadas, respectivamente, com a Latitude e Longitude, vinculando a posição de um ponto do mapa com a real localização geográfica.

Figura 23. Esquema com a distribuição de valores percentuais em função da componente *R*.

Fonte: O autor.

#### 4.2.3 ALGORITMO DE SÍNTESE

O Algoritmo de Síntese (AS) elabora a sobreposição dos mapas, *pixel a pixel*, de modo que se obtenha um mapa final. Na Figura 24, é apresentada em diagrama de blocos, a síntese realizada pelo AS.



Fonte: O autor.

#### 4.2.4 ALGORITMO DE LOCALIZAÇÃO

O Algoritmo de Localização (AL) realiza a ligação direta de todos os pontos do mapa matricial com dados de Latitude e Longitude retratando a real posição geográfica.

Utilizando-se pontos extremos de Latitude e Longitude para o mapa de Pernambuco, é possível a partir de uma conversão matemática simples, levando em consideração a quantidade de linhas e colunas do mapa padrão adotado, associar e converter cada ponto. Esta conversão se baseia em variações dos dois extremos, Latitude e Longitude, e suas respectivas variações em relação às linhas e colunas do mapa padrão.

Assim, finalizando o detalhamento do procedimento computacional, incluindo os algoritmos e as rotinas baseadas em processamento digital de imagens e as parametrizações adotadas, utilizando os mapas empregados para a geração solar e eólica, podem ser apresentados os resultados deste trabalho.

## 5 RESULTADOS

Nas seções subsequentes são apresentados os resultados e análises das propiciabilidades de geração solar concentrada e distribuída, e a geração eólica concentrada no estado de Pernambuco, considerando a influência de cada característica elencada neste trabalho e a parametrização com pesos iguais e pesos distintos na ponderação das características.

### 5.1 GERAÇÃO SOLAR CONCENTRADA

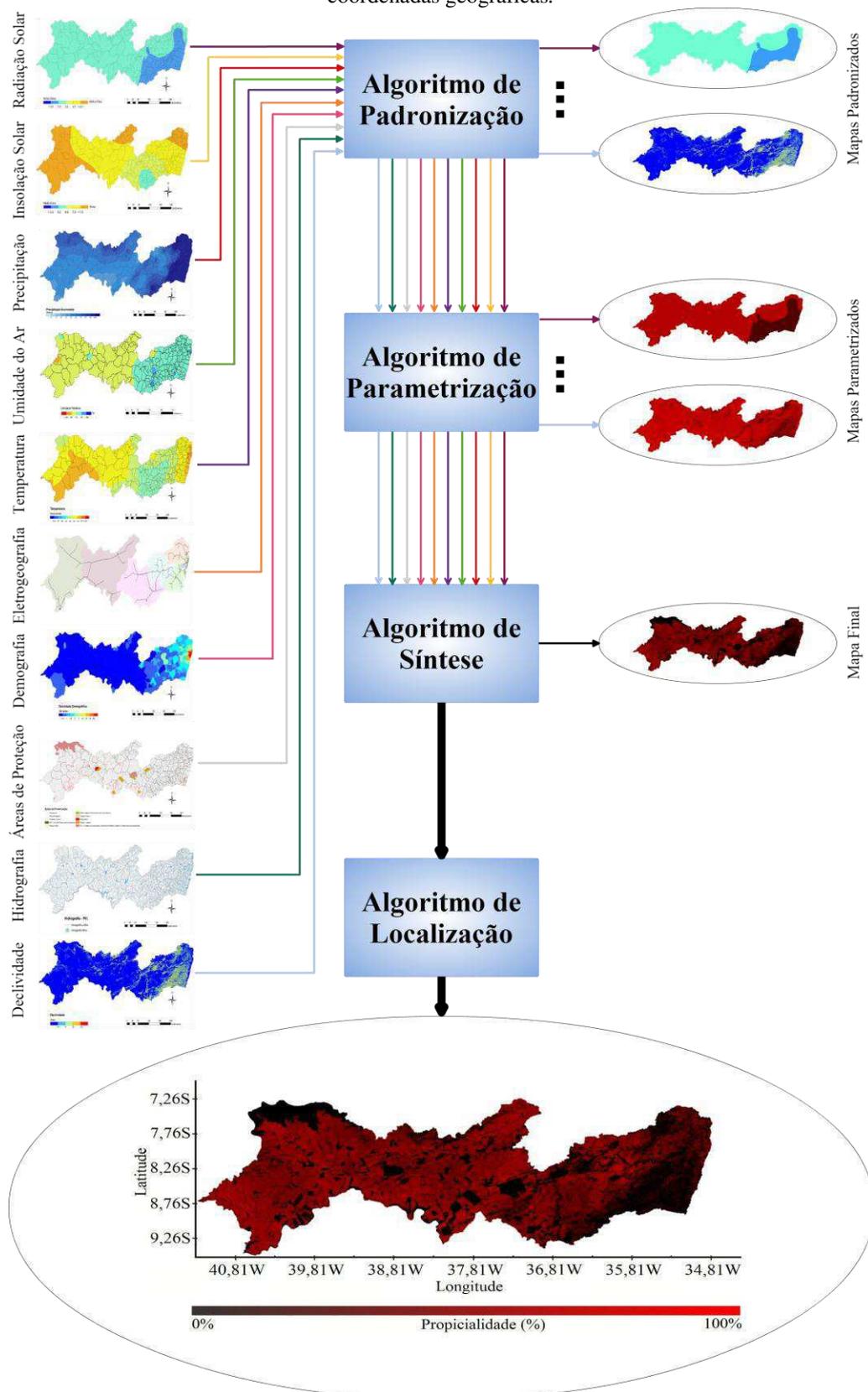
Conforme discutido na metodologia, no que diz respeito à geração solar concentrada, são elaboradas avaliações com pesos iguais e pesos distintos, de acordo com subseções seguintes.

#### 5.1.1 GERAÇÃO SOLAR CONCENTRADA COM PESOS IGUAIS

Para a geração solar concentrada com pesos iguais, o mapa final com a localização geográfica devidamente processado pode ser visto na Figura 25. Na referida figura, também há um fluxograma do processamento digital das imagens proporcionado pelo Algoritmo de Localização Propícia, que se aplica a todos os casos de estudo deste trabalho.

De acordo com o mapa final e com base na metodologia de parametrização, observa-se que as melhores regiões são as cores em vermelho claro. As regiões em escuro, dando ênfase para as regiões em cores pretas, mostram o quanto essas regiões não são propícias, em concordância com o uso da componente *R*, do sistema *RGB*. Como exemplo para essa análise, rios e açudes, áreas de preservação e a declividade apresentam valores mínimos, ou seja, 0% de propiciabilidade. Isto se deve ao fato dessas áreas serem excludentes, para o contexto da energia solar, independente das outras características individuais.

Figura 25. Fluxograma do processamento realizado pelo ALP e obtenção do mapa final com as coordenadas geográficas.

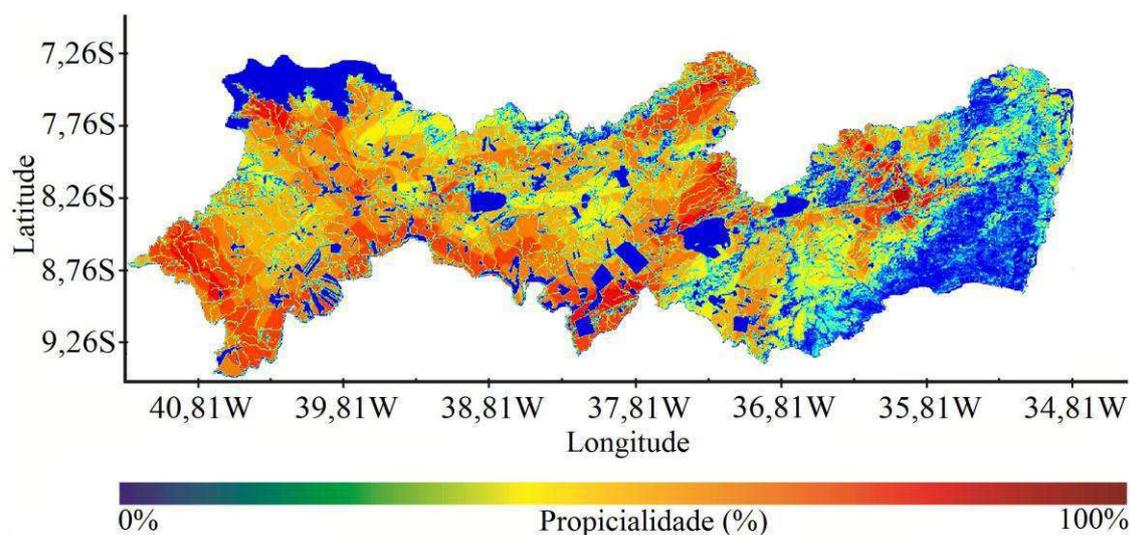


Mapa Final com a Localização Geográfica

Fonte: O autor.

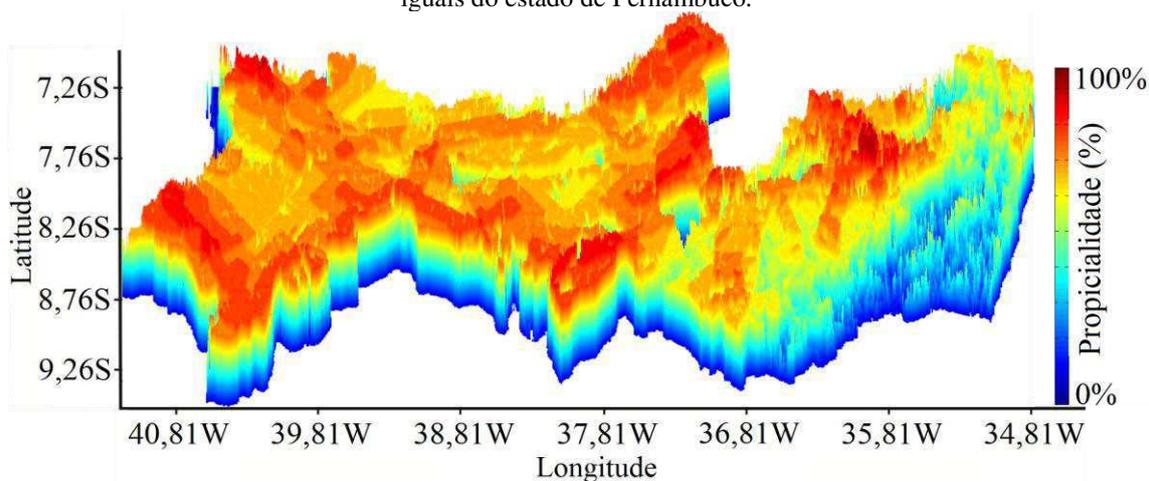
Objetivando um efeito visual de maior contraste, podem ser observados nas Figuras 26 e 27, respectivamente, o mapa em contorno e o mapa tridimensional da propiçialidade de geração solar concentrada do estado de Pernambuco. Com o mapa em contorno é possível ver em destaque o comportamento da propiçialidade, pelo uso da paleta de cores com todas as componentes do sistema *RGB*. Quanto ao mapa tridimensional, enfatiza-se a sobreposição das características avaliadas em toda a região em estudo.

Figura 26. Mapa em contorno da propiçialidade de instalação da geração solar concentrada com pesos iguais do estado de Pernambuco.



Fonte: O autor.

Figura 27. Mapa tridimensional da propiçialidade de instalação da geração solar concentrada com pesos iguais do estado de Pernambuco.



Fonte: O autor.

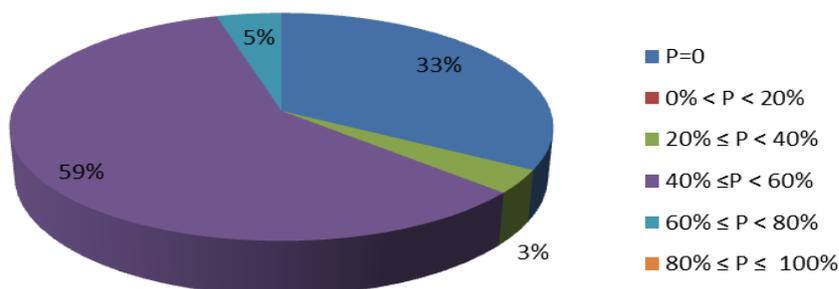
Com as propiciabilidades georeferenciadas foi possível elencar as maiores potenciais cidades e suas proximidades quanto à propiciabilidade de localização na geração solar concentrada com pesos distintos, conforme Tabela 6.

Tabela 6. Maiores propiciabilidades de instalação da geração solar concentrada com pesos iguais no Estado de Pernambuco.

Cidades e suas proximidades	Propiciabilidade (%)
Petrolina	64,00
Petrolândia	64,00
São José do Egito	64,00
Araripina	63,00
Caruaru	63,00
Inajá	62,00
Afrânio	62,00
Bezerros	62,00
Sertânia	62,00
Tacaratu	62,00
Afogados da Ingazeira	61,00
Jatobá	61,00
Santa Cruz de Capibaribe	61,00
Tabira	61,00
Trindade	61,00

Fonte: O autor.

Figura 28. Gráfico com as porcentagens das áreas do estado de Pernambuco relacionadas com intervalos de propiciabilidade (P) de instalação da geração solar concentrada com pesos iguais.



Fonte: O autor.

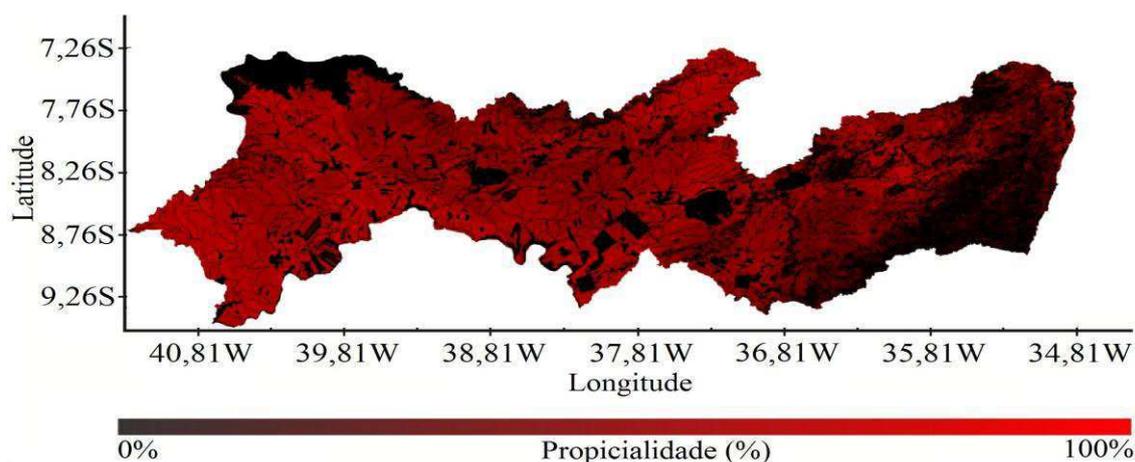
Uma análise da disposição da área do estado de acordo com as propiciabilidades pode ser observada na Figura 28. Para este caso de estudo, 33% do estado de

Pernambuco possui características de exclusão. Em contrapartida, apenas 3% do estado possui propiencialidade abaixo de 40%. Com uma área de 64% do território possuindo propiencialidade acima de 40%, conclui-se que o estado apresenta um relevante quantitativo de áreas aproveitáveis no contexto da geração solar concentrada.

### 5.1.2 GERAÇÃO SOLAR CONCENTRADA COM PESOS DISTINTOS

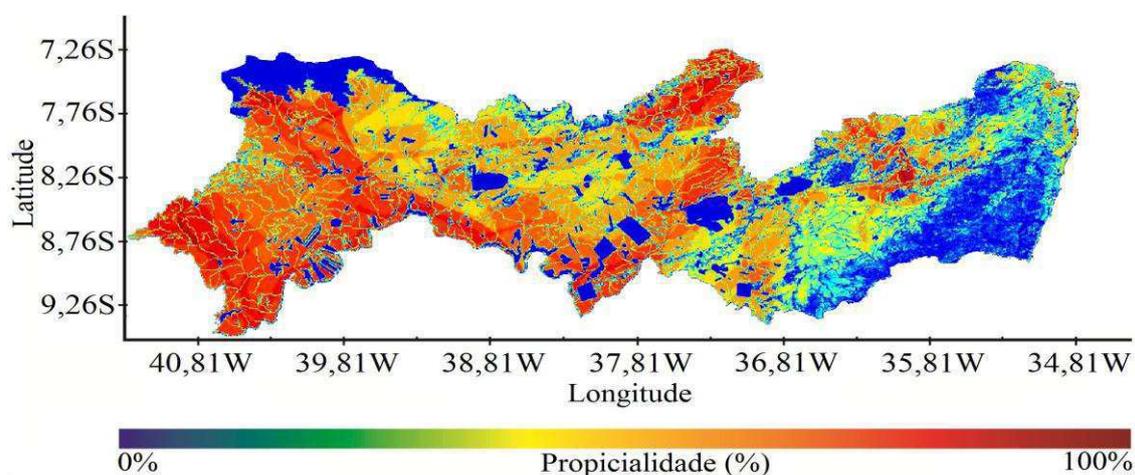
Para este caso de estudo, o mapa final com coordenadas geográficas, o mapa em contorno e o mapa tridimensional podem ser vistos, respectivamente, nas Figura 29, 30 e 31.

Figura 29. Mapa final com coordenadas geográficas da propiencialidade de instalação da geração solar concentrada com pesos distintos do estado de Pernambuco, baseado no canal R do Sistema RGB.



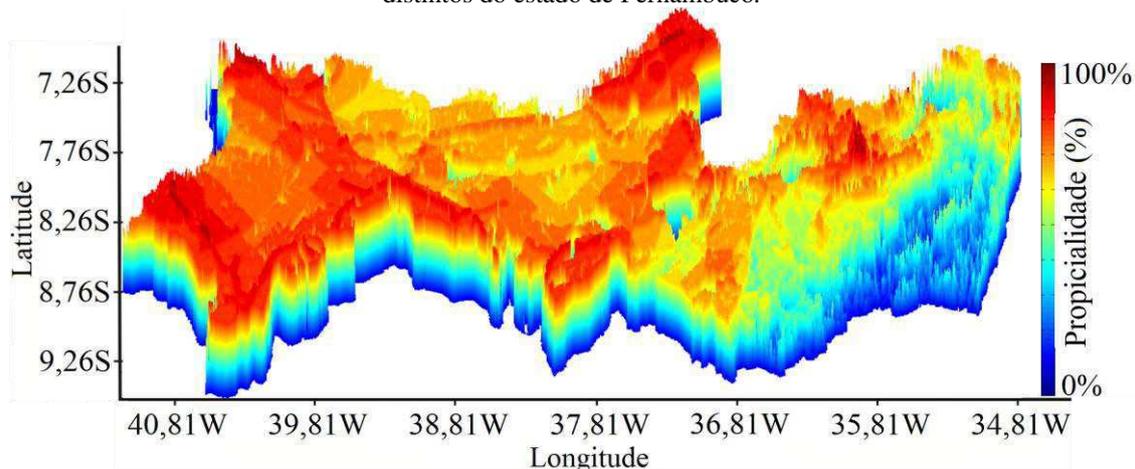
Fonte: O autor.

Figura 30. Mapa em contorno da propiencialidade de instalação da geração solar concentrada com pesos distintos do estado de Pernambuco.



Fonte: O autor.

Figura 31. Mapa tridimensional da propiçialidade de instalação da geração solar concentrada com pesos distintos do estado de Pernambuco.



Fonte: O autor.

Tabela 7. Maiores propiçialidades de instalação da geração solar concentrada com pesos distintos no estado de Pernambuco.

Cidades e suas proximidades	Propiçialidade (%)
Caruaru	64,00
Itapetim	64,00
Petrolina	64,00
Riacho das Almas	64,00
Afrânio	63,00
Belém de São Francisco	63,00
Bezerros	63,00
Sertânia	63,00
Ingazeira	63,00
Riacho das Almas	63,00
São José do Egito	63,00
Tuparetama	62,00
Brejo da Madre de Deus	61,00
Cabrobó	61,00
Santa Cruz de Capibaribe	61,00

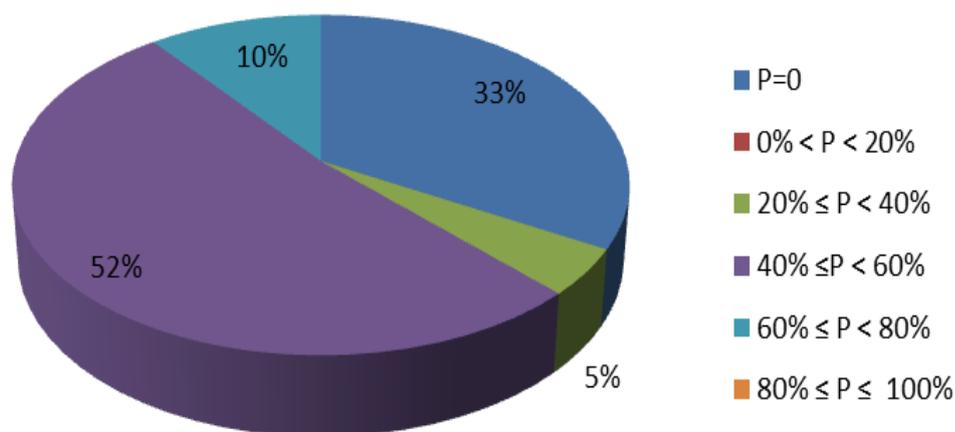
Fonte: O autor.

Os nomes das cidades e suas proximidades com maiores potencialidades em propiçialidade de localização na geração solar concentrada, com pesos distintos, encontram-se na Tabela 7. Com os resultados apresentados na Tabela 7 e observando as Figuras 29 a 31, nota-se que algumas cidades e suas proximidades aumentaram de propiçialidade comparativamente ao caso de estudo de geração solar concentrada com pesos iguais, devido ao fato de características como a radiação e insolação solar, que

possuem os maiores índices nessas localidades, tiveram coeficientes de peso maiores para o estudo com pesos distintos.

O aumento das propriedades das regiões comparativamente ao caso de estudo com pesos iguais pode ser notado na Figura 32, onde é relacionada a área do estado com as propriedades. Nesta nova situação, 33% do estado de Pernambuco ainda possui exclusão de propriedade, uma vez que as características de exclusão não mudaram. Aumentaram de 3% para 5% as áreas do estado que possuem propriedade abaixo de 40%, mas também aumentaram de 5% para 10% as áreas com propriedade acima de 60%. Isto leva a conclusão de que, as áreas com tendência a terem baixa ou alta propriedade, tornaram-se mais evidentes.

Figura 32. Gráfico com as porcentagens das áreas do estado de Pernambuco relacionadas com intervalos de propriedade (P) de instalação da geração solar concentrada com pesos distintos.



Fonte: O autor.

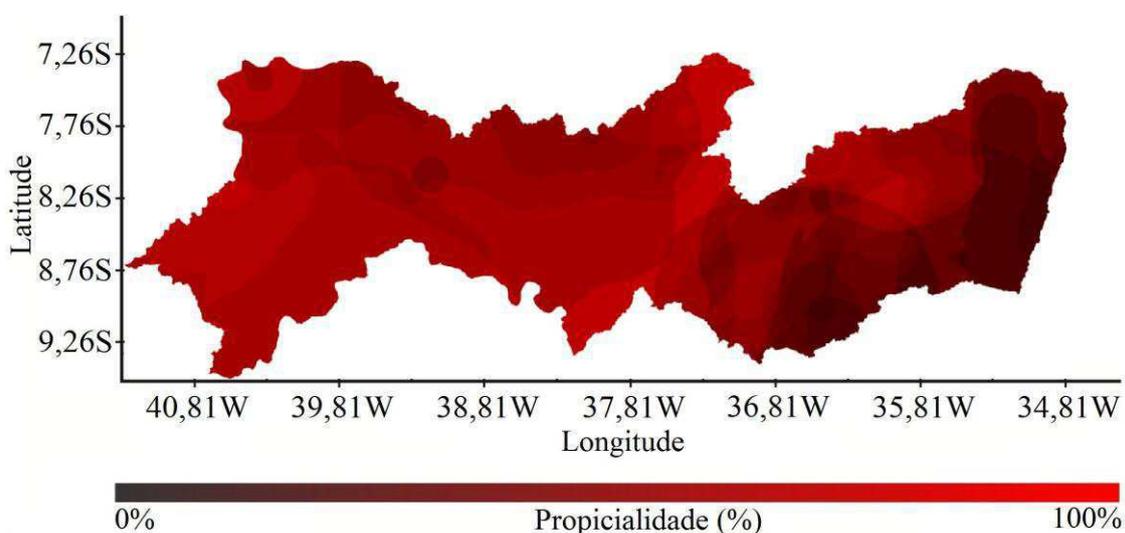
## 5.2 GERAÇÃO SOLAR DISTRIBUÍDA

De forma análoga à geração solar concentrada, na geração solar distribuída é avaliada a parametrização por pesos iguais e pesos distintos, conforme subseções seguintes.

### 5.2.1 GERAÇÃO SOLAR DISTRIBUÍDA COM PESOS IGUAIS

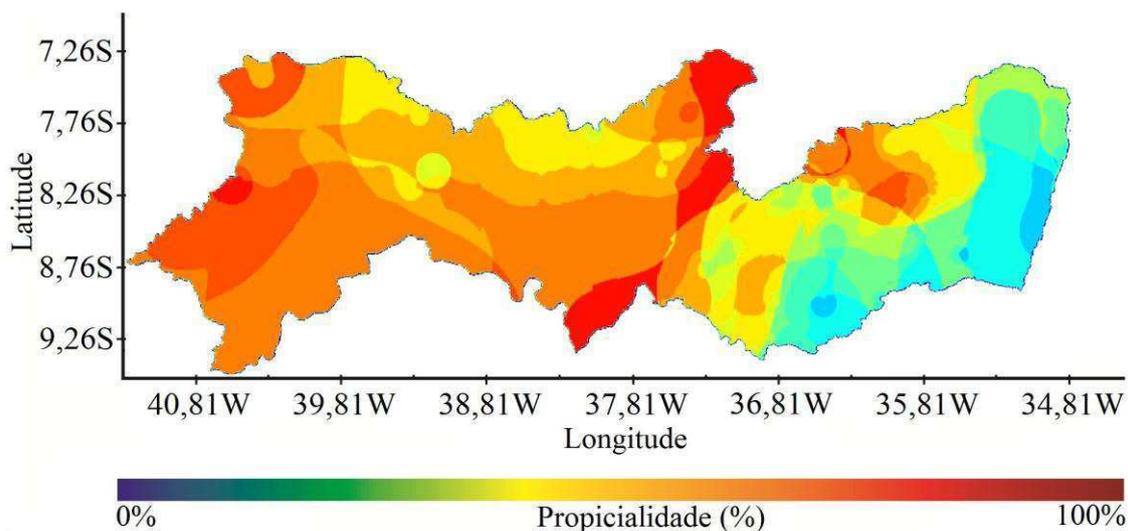
Para a geração solar distribuída com pesos iguais, o mapa final com a localização geográfica pode ser visto na Figura 33. O mapa em contorno do mapa final e o mapa tridimensional são apresentados nas Figura 34 e 35. Na Figura 33 verifica-se que as melhores regiões, as mais propícias, são destacadas pela paleta de cores da componente *R*, tendendo ao vermelho claro, enquanto que na paleta do sistema *RGB* das Figuras 34 e 35, as regiões mais propícias são as em vermelho escuro.

Figura 33. Mapa final com coordenadas geográficas da propiabilidade de instalação da geração solar distribuída com pesos iguais do estado de Pernambuco, baseado no canal *R* do Sistema *RGB*.



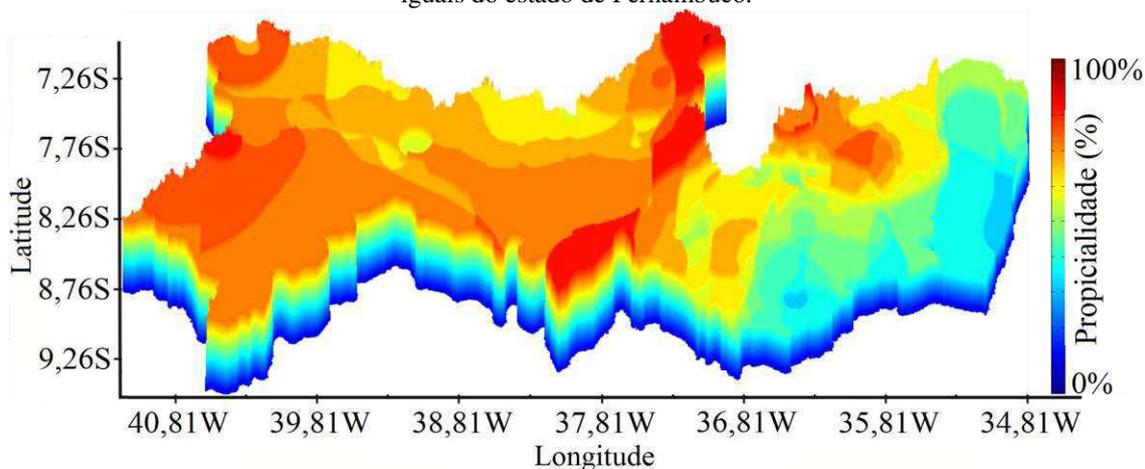
Fonte: O autor.

Figura 34. Mapa em contorno da propiabilidade de instalação da geração solar distribuída com pesos iguais do estado de Pernambuco.



Fonte: O autor.

Figura 35. Mapa tridimensional da propiabilidade de instalação da geração solar distribuída com pesos iguais do estado de Pernambuco.



Fonte: O autor.

O levantamento das potenciais cidades e suas proximidades para a propiabilidade de geração solar distribuída com pesos iguais é apresentado na Tabela 8. Notadamente, em comparação à geração concentrada, com pesos iguais e distintos, a propiabilidade das regiões aumentou. Isto se deve, ao quantitativo de características avaliadas, que por ser menor e possuírem pesos iguais no somatório dos mapas, elevou a contribuição que algumas cidades e suas proximidades até então não tinham.

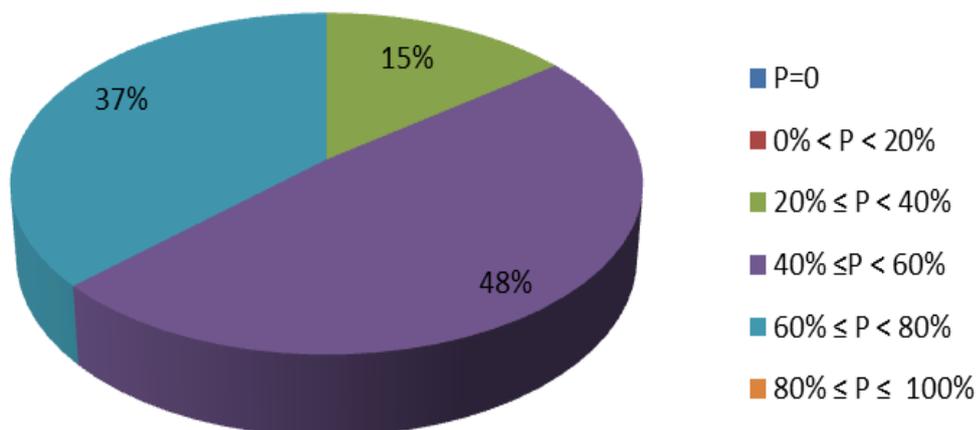
Tabela 8. Maiores propiabilidades de instalação da geração solar distribuída com pesos iguais no estado de Pernambuco.

<b>Cidades e suas proximidades</b>	<b>Propiabilidade (%)</b>
Santa Filomena	74,00
Brejinho	71,00
Iguaraci	71,00
Itapetim	71,00
São José do Egito	71,00
Tuparetama	71,00
Araripina	64,00
Bezerros	64,00
Caruaru	64,00
Ouricuri	64,00
Sertânia	64,00
Tabira	64,00
Belém de São Francisco	63,00
Petrolina	63,00
Petrolândia	62,00

Fonte: O autor.

A disposição da área do estado de acordo com as propialidades é visualizada na Figura 36. Nota-se que não há regiões com propialidade 0%, uma vez que, não foram consideradas características excludentes no contexto da geração distribuída. Mesmo o estado apresentando 15% de área com propialidade abaixo de 40%, que é um aumento em relação a geração solar concentrada, têm-se 85% do território com propialidade acima ou igual a 40%, o que torna grande parte do território, potencial gerador. Pode ser destacado ainda, que 37% da área do estado possui propialidade acima de 60%.

Figura 36. Gráfico com as porcentagens das áreas do estado de Pernambuco relacionadas com intervalos de propialidade (P) de instalação da geração solar distribuída com pesos iguais.

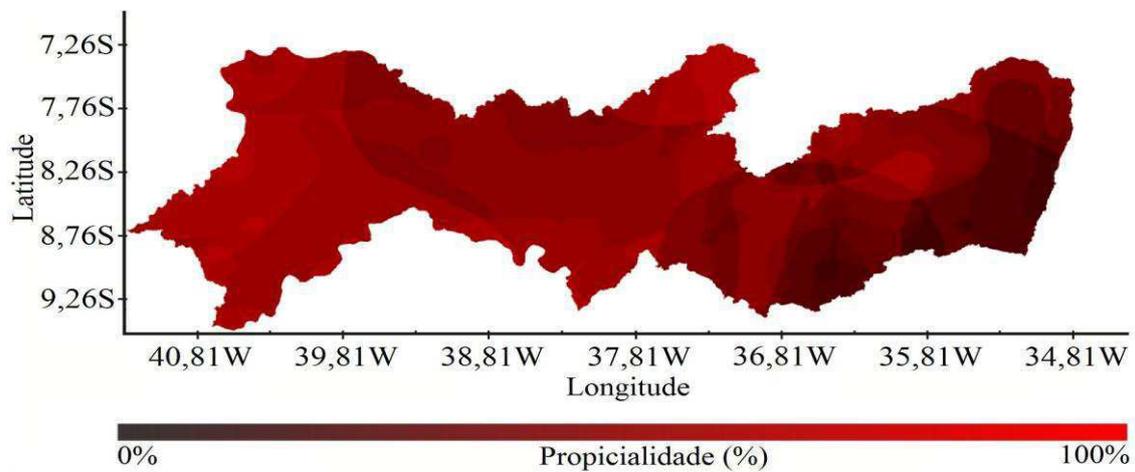


Fonte: O autor.

### 5.2.2 GERAÇÃO SOLAR DISTRIBUÍDA COM PESOS DISTINTOS

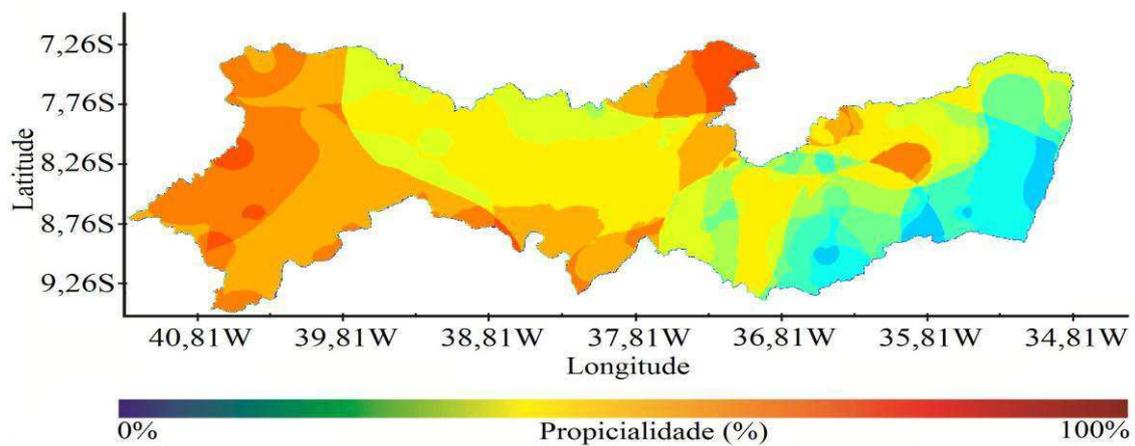
No estudo da geração solar distribuída considerando parametrização com pesos distintos, o mapa final com coordenadas geográficas, o mapa em contorno e o mapa tridimensional podem ser vistos, nesta ordem, nas Figura 37, 38 e 39. Neste estudo, também não foram inseridas as características excludentes na identificação propícia de regiões potenciais na geração solar distribuída.

Figura 37. Mapa final com coordenadas geográficas da propiencialidade de instalação da geração solar distribuída com pesos distintos do estado de Pernambuco, baseado no canal *R* do Sistema *RGB*.



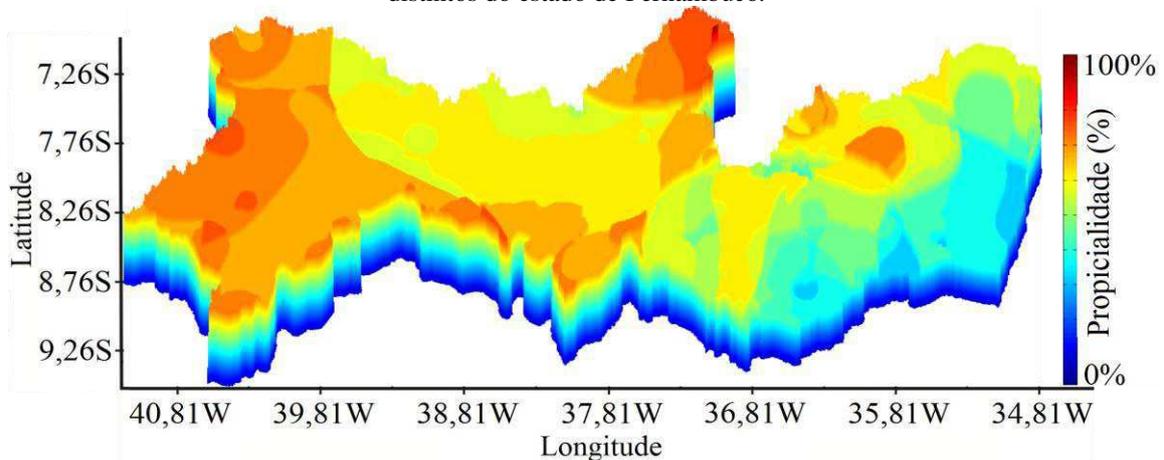
Fonte: O autor.

Figura 38. Mapa em contorno da propiencialidade de instalação da geração solar distribuída com pesos distintos do estado de Pernambuco.



Fonte: O autor.

Figura 39. Mapa tridimensional da propiencialidade de instalação da geração solar distribuída com pesos distintos do estado de Pernambuco.



Fonte: O autor.

A lista das potenciais cidades e suas proximidades territoriais no quesito propiabilidade de geração solar distribuída consta na Tabela 9. Comparativamente à geração solar distribuída com pesos iguais, o valor máximo da propiabilidade em todo o estado não mudou, porém algumas cidades e suas proximidades aumentaram de propiabilidade, assim como outras diminuíram. Isto se deve, como no caso de estudo da geração solar concentrada com pesos distintos, a radiação e insolação solar, por terem coeficientes de peso maiores.

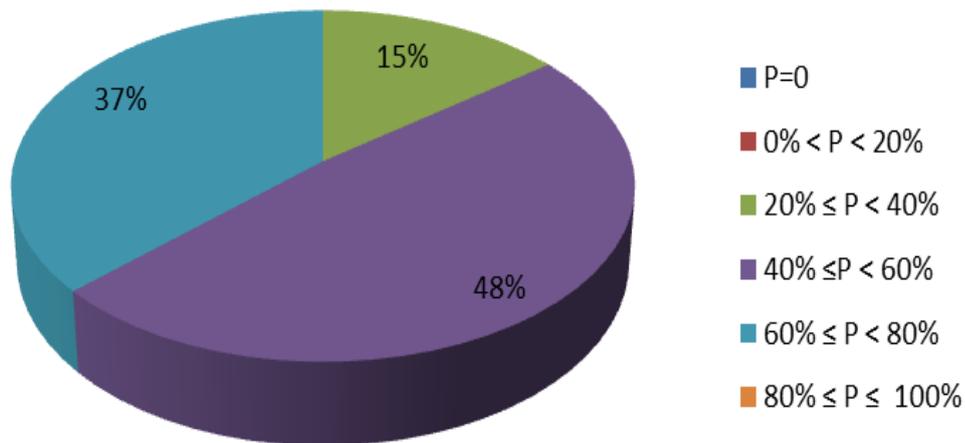
Tabela 9. Maiores propiabilidades de instalação da geração solar distribuída com pesos distintos no estado de Pernambuco.

<b>Cidades e suas proximidades</b>	<b>Propiabilidade (%)</b>
Ouricuri	74,00
Santa Filomena	74,00
Santa Cruz	74,00
Brejinho	71,00
Iguaraci	71,00
Ingazeira	71,00
Itapetim	71,00
Santa Terezinha	71,00
São José do Egito	71,00
Afrânio	70,00
Belém de São Francisco	70,00
Dormentes	70,00
Floresta	70,00
Itacuruba	70,00
Petrolina	70,00

Fonte: O autor.

Os resultados obtidos para a relação das faixas de propiabilidade com a área do estado de Pernambuco, exposto na Figura 40, são iguais ao caso de estudo de geração solar distribuída com pesos iguais. Observa-se que os valores das propiabilidades para os casos com pesos iguais e distintos variam, conforme constatado na Tabela 9, mas esta condição não é suficiente para que as faixas de propiabilidade relacionadas à área variem nos dois casos do estudo.

Figura 40. Gráfico com as porcentagens das áreas do estado de Pernambuco relacionadas com intervalos de propialidade (P) de instalação da geração solar distribuída com pesos Distintos.



Fonte: O autor.

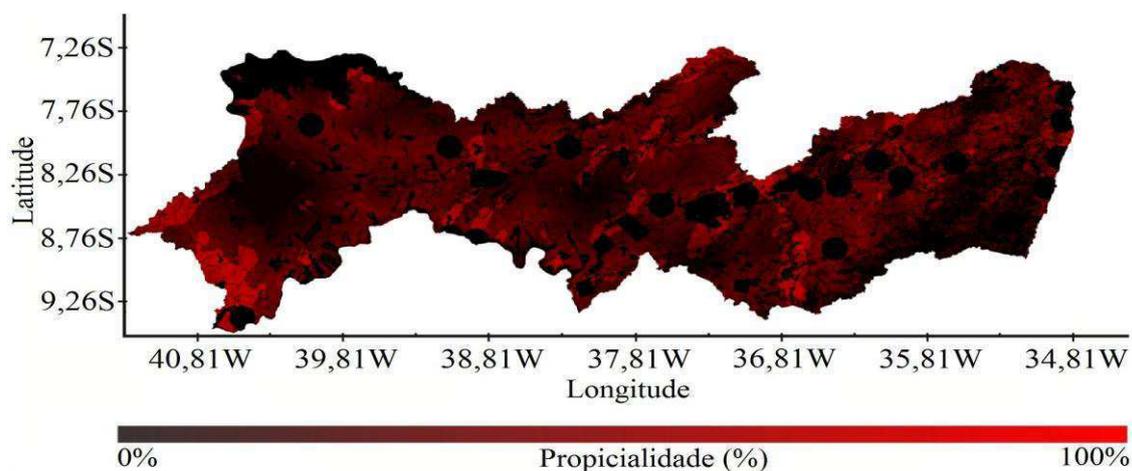
### 5.3 GERAÇÃO EÓLICA CONCENTRADA

No estudo da geração eólica concentrada foram avaliadas: a velocidade dos ventos; eletrogeografia; densidade demográfica; todas as características excludentes aplicadas na geração solar; e excludentes específicos, como a presença de aeródromos e mancha urbana. De acordo com a metodologia adotada foi utilizado parametrização com pesos iguais e distintos.

#### 5.3.1 GERAÇÃO EÓLICA CONCENTRADA COM PESOS IGUAIS

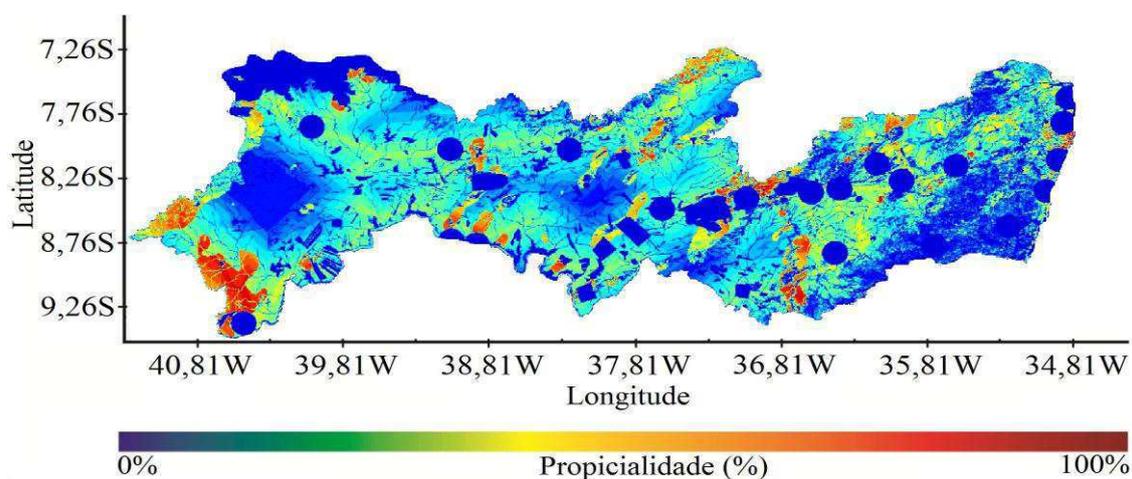
No estudo de caso da geração eólica concentrada com pesos iguais foi obtido o mapa final com a localização geográfica, como observado na Figura 41, onde as regiões mais propícias estão destacadas em vermelho claro, conforme paleta de cores da componente *R*. O mapa em contorno do mapa final e o mapa tridimensional são apresentados nas Figura 42 e 43, nas quais utilizou-se a paleta do sistema *RGB*, onde se observam as regiões mais propícias em vermelho escuro.

Figura 41. Mapa final com coordenadas geográficas da propiçialidade de instalação da geração eólica concentrada com pesos iguais do estado de Pernambuco, baseado no canal *R* do Sistema *RGB*.



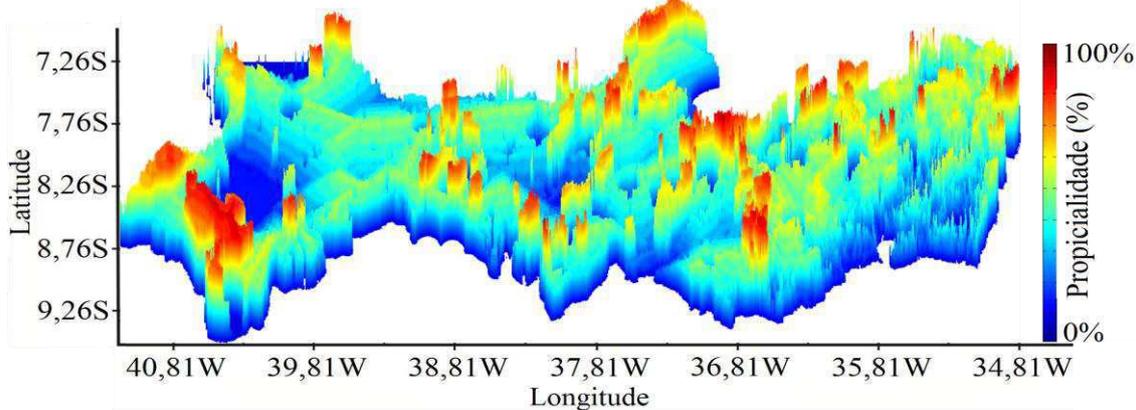
Fonte: O autor.

Figura 42. Mapa em contorno da propiçialidade de instalação da geração eólica concentrada com pesos iguais do estado de Pernambuco.



Fonte: O autor.

Figura 43. Mapa tridimensional da propiçialidade de instalação da geração eólica concentrada com pesos iguais do estado de Pernambuco.



Fonte: O autor.

A lista com as maiores potenciais cidades e suas proximidades quanto à propiabilidade de geração eólica concentrada, com pesos iguais, consta na Tabela 10. Pode ser observado que, de forma isolada, a cidade de Camocim de São Félix e suas proximidades apresentam a maior propiabilidade de geração, por possuírem as melhores velocidades de vento do estado de Pernambuco e ter proximidade das linhas de transmissão. Ao se observar as Figuras 41 a 43 e os dados contidos na Tabela 10, pode-se constatar que há grupos isolados de regiões potenciais geradores.

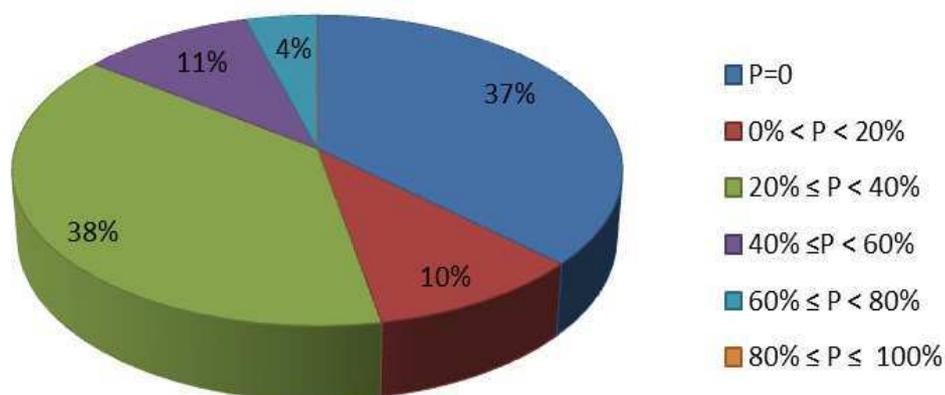
Tabela 10. Maiores propiabilidades de instalação da geração eólica concentrada com pesos iguais no estado de Pernambuco.

<b>Cidades e suas proximidades</b>	<b>Propiabilidade (%)</b>
Camocim de São Félix	77,00
Arcoverde	72,00
Bezerros	72,00
Caruaru	72,00
Olinda	72,00
Pesqueira	72,00
Recife	72,00
Petrolina	70,00
Jaboatão dos Guararapes	65,00
Santa Terezinha	65,00
Afrânio	63,00
Bom Conselho	63,00
Brejinho	63,00
Verdejante	63,00
São José de Belmonte	63,00

Fonte: O autor.

Os resultados obtidos relacionando as faixas de propiabilidade com a área do estado de Pernambuco podem ser vistos na Figura 44. Nota-se que 37% da área do estado é excludente, que 85% da área possui propiabilidade abaixo de 40% e que apenas 15% são regiões com propiabilidade acima de 40%. Os grupos isolados de regiões potenciais geradores estão representados por 4% de área do Estado.

Figura 44. Gráfico com as porcentagens das áreas do estado de Pernambuco relacionadas com intervalos de propicialidade (P) de instalação da geração eólica concentrada com pesos iguais.

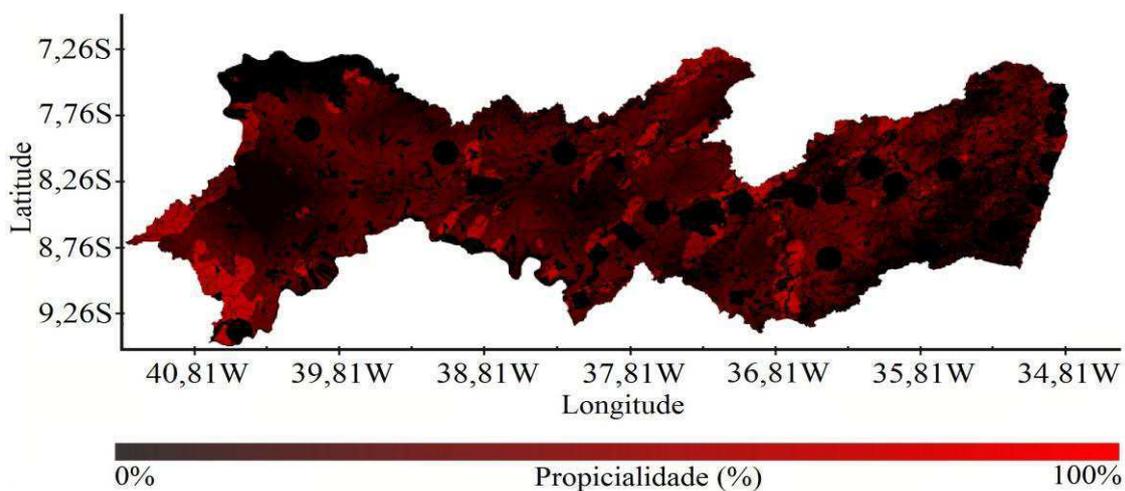


Fonte: O autor.

### 5.3.2 GERAÇÃO EÓLICA CONCENTRADA COM PESOS DISTINTOS

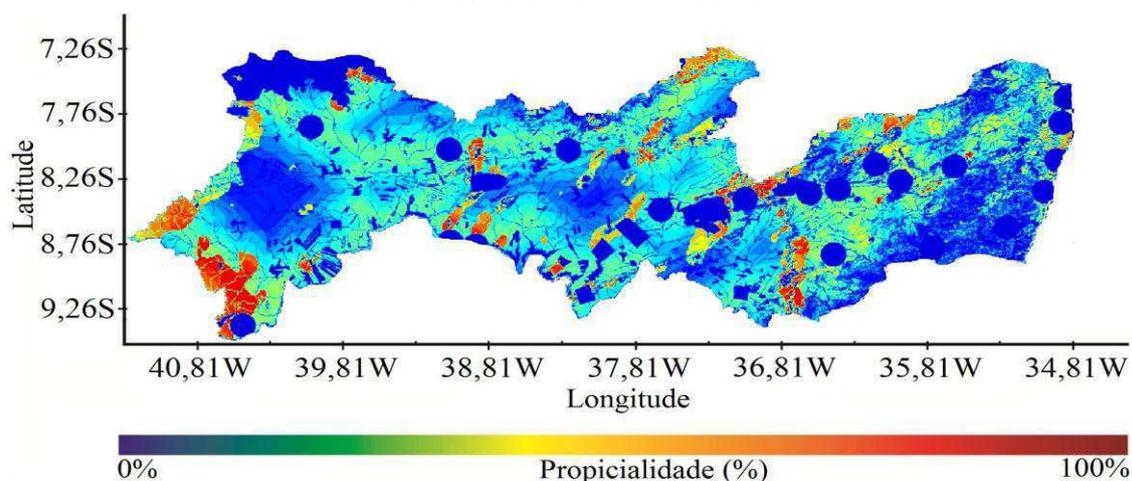
No estudo da geração eólica distribuída considerando parametrização com pesos distintos, o mapa final com coordenadas geográficas, o mapa em contorno e o mapa tridimensional podem ser vistos, nesta ordem, nas Figura 45 e 46. As propicialidades em cada mapa podem ser observadas pelas paletas de cores utilizadas.

Figura 45. Mapa final com coordenadas geográficas da propicialidade de instalação da geração eólica concentrada com pesos distintos do estado de Pernambuco, baseado no canal R do Sistema RGB.



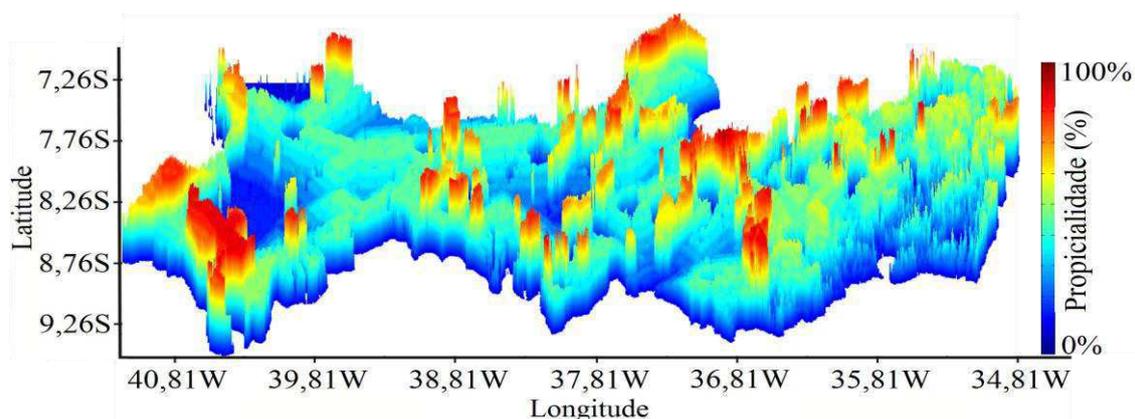
Fonte: O autor.

Figura 46. Mapa em contorno da propiabilidade de instalação da geração eólica concentrada com pesos distintos do estado de Pernambuco.



Fonte: O autor.

Figura 47. Mapa tridimensional da propiabilidade de instalação da geração eólica concentrada com pesos distintos do estado de Pernambuco.



Fonte: O autor.

A lista das maiores potenciais cidades e suas proximidades, considerando a propiabilidade de geração eólica concentrada com pesos distintos, é apresentada na Tabela 11. Nesta situação de estudo, ao se observar as Figuras 45 a 47 e a Tabela 11, constata-se que os grupos isolados de regiões potenciais geradores em relação ao estudo com pesos iguais, praticamente permaneceram os mesmos, com pequenos acréscimos e decréscimos de propiabilidade de algumas cidades e suas proximidades.

Os resultados obtidos para a relação das faixas de propiabilidade com a área do estado de Pernambuco podem ser vistos na Figura 48. Comparativamente ao caso de estudo com pesos iguais, a porcentagem de área de exclusão de geração do estado é a mesma. Em relação ao caso de estudo com pesos iguais, a quantidade de área do estado com propiabilidade abaixo de 40% aumentou de 85% para 87%, enquanto que a área de com propiabilidade acima de 60% aumentou de 4% para 6%. Estas variações se deram,

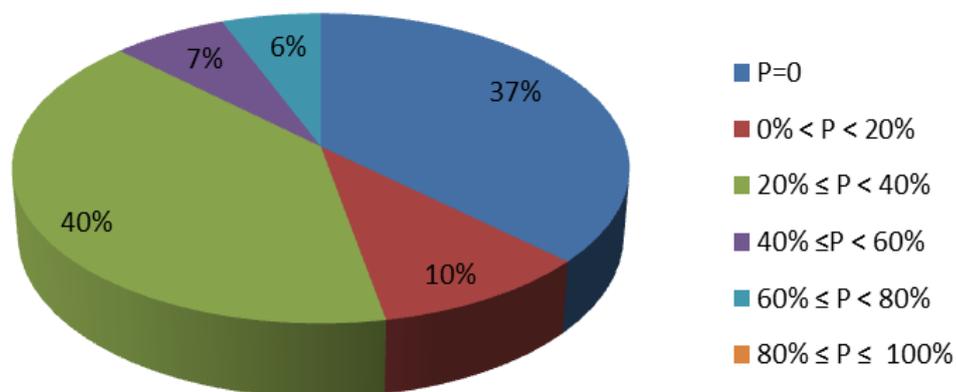
em sua maioria, pelo fato do valor da velocidade dos ventos ter peso maior na sobreposição das características analisadas.

Tabela 11. Maiores propialidades de instalação da geração eólica concentrada com pesos distintos no estado de Pernambuco.

Cidades e suas proximidades	Propialidade (%)
Belo Jardim	74,00
Bezerros	74,00
Bodocó	74,00
Bom Conselho	74,00
Brejo de Madre de Deus	74,00
Camocim de São Félix	74,00
Custódia	74,00
Exu	74,00
Flores	74,00
Gravatá	74,00
Petrolina	74,00
Petrolândia	74,00
Lagoa Grande	72,00
Afrânio	71,00
Arcoverde	71,00

Fonte: O autor.

Figura 48. Gráfico com as porcentagens das áreas do estado de Pernambuco relacionadas com intervalos de propialidade (P) de instalação da geração eólica concentrada com pesos distintos.



Fonte: O autor.

## 5.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS

Para os estudos realizados na geração solar concentrada e distribuída, e geração eólica, utilizando as parametrizações com pesos iguais e distintos, algumas considerações acerca dos resultados obtidos podem ser feitas.

Em cada caso estudado, foram obtidos o mapa utilizando o canal *R* do sistema *RGB*, mapa em contorno e mapa tridimensional da região estudada, o estado de Pernambuco. Estes mapas evidenciam, visualmente, o comportamento da propiabilidade para instalação do tipo de geração avaliado, além de possuírem todos os *pixels* georeferenciados, permitindo a listagem das cidades e suas proximidades de acordo com suas respectivas propiabilidades.

A elaboração da lista das maiores potenciais cidades e suas proximidades relacionadas às propiabilidades, em cada situação analisada, permite comparar um mesmo tipo de geração, empregando-se pesos iguais e pesos distintos. Ao se utilizar pesos iguais, infere-se objetividade aos resultados, enquanto que, com pesos distintos têm-se resultados direcionados às características tomadas como mais relevantes na sobreposição das informações.

Além disso, a relação das áreas do estado de Pernambuco com as faixas de propiabilidade fornece, em termos percentuais, o quantitativo de áreas e suas afinidades à geração solar e eólica. Complementarmente, as informações contidas nos gráficos das Figura 28, 32, 36, 40, 44 e 48, fundamentam comparações e a percepção de diferenças nos estudos da geração solar concentrada e distribuída e geração eólica, com pesos iguais e distintos.

Portanto, em cada caso avaliado, têm-se como resultados: o mapeamento da propiabilidade na região estudada, em função das características elencadas; elaboração de mapas bidimensionais e tridimensionais; georeferenciamento dos *pixels* e com suas respectivas propiabilidades; levantamento e relação das áreas da região avaliada com intervalos de propiabilidade.

Assim, o Algoritmo de Localização Propícia desenvolvido e aplicado nos casos de estudo, condiz sobremaneira com o proposto neste trabalho, fornecendo ferramentas para análises de informações geográficas aplicadas no contexto energético, baseando-se em processamento digital de imagens, conforme os resultados obtidos e avaliados.

## 6 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi desenvolvido e aplicado, com êxito, um algoritmo baseado em processamento digital de imagens para a identificação de regiões propícias à instalação da geração solar e eólica, e como caso de estudo, foi utilizado o estado de Pernambuco. Os resultados computacionais obtidos evidenciam que:

- A aplicação de dados de satélites no contexto energético foi implementada;
- O geoprocessamento de informações relativas à energia auxiliou de forma eficaz e eficiente a tomada de decisão;
- O agrupamento de mapas da região estudada, em um banco de dados, resultou em uma etapa metodológica indispensável;
- Os métodos distintos de ponderação, utilizados para quantificar as características que influenciam na geração solar e eólica, fundamentaram comparações dos resultados, assim como, tomadas de decisões eficientes;
- A avaliação das diversas características, que influenciam o potencial de geração solar e eólica, agregou uma tomada de decisão detalhada e eficiente;
- A elaboração de mapas em contorno e tridimensional orientou visualmente a localização de regiões de destaque, no contexto da geração avaliado;
- A elaboração de rotinas computacionais, que agregam coordenadas geográficas a valores percentuais das propialidades de geração, permitiu georeferenciar toda a área do Estado estudado;
- Os estudos da geração solar distribuída apresentaram mais áreas com efetiva propialidade de instalação do que as de geração solar concentrada, pois esta possui características excludentes;
- O estado de Pernambuco apresentou regiões com alta propialidade para instalação da geração solar concentrada e distribuída, e geração eólica.
- Os estudos da geração solar concentrada e distribuída apresentam mais áreas com efetiva propialidade de instalação do que as de geração

eólica concentrada, pois além desta possuir características excludentes, a maior parte do estado de Pernambuco não apresenta velocidade mínima para instalação de um sistema de geração eólica concentrada.

- Em termos percentuais, a geração eólica concentrada do estado de Pernambuco apresentou as maiores proporcionalidades em relação à geração solar concentrada e distribuída.

Pelo exposto, conclui-se assim, que uma ferramenta computacional foi desenvolvida para a localização propícia de regiões para geração solar e eólica, como para qualquer outro tipo de geração, desde que se tenham mapas suficientemente detalhados das características que influenciam a geração a ser estudada.

Os resultados computacionais apresentados, neste trabalho, evidenciam que os estudos desenvolvidos contribuem para o aprimoramento de ferramentas e modelos utilizados no geoprocessamento de energia.

## PUBLICAÇÕES

Durante a elaboração desta dissertação foram publicados os seguintes artigos científicos que, direta ou indiretamente, estão relacionados ao tema deste trabalho.

- Um algoritmo Baseado em PDI para Localização de Regiões Propícias à Instalação de Usinas Solares. In: Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, Foz do Iguaçu - PR. Anais do V SBSE, Páginas 0331-0336, 2014;
- Algoritmo de Distribuição de Gradiente Aplicado ao Geoprocessamento. In: 4º Encontro do Grupo de Sistemas Elétricos, 2014, Campina Grande - PB. Anais do IV EGSE, 2014;
- *Attribute Extraction for Automatic Classification of Polymeric Insulators Based on Ultraviolet Imaging*. In: *The 19th International Symposium on High Voltage Engineering*, Pilsen. 19th ISH, 2015;
- Detecção e Extração de Ruídos Corona em Isoladores Poliméricos Aplicando Técnicas de Segmentação de Imagens. In: *The XI Latin-American Congress Electricity Generation and Transmission*, São José dos Campos, São Paulo. XI CLAGTEE, 2015;
- Um Algoritmo Baseado em PDI para Localização de Regiões Propícias para a Geração Solar e Um Estudo de Caso. In: *Congreso Internacional de Alta Tensión y Aislamiento Eléctrico*, Portoviejo, Manabi. ALTAE, 2015;
- Uma Proposta de Técnica de Classificação de Isoladores Poliméricos Baseada em PDI e RNA. In: 5º Encontro do Grupo de Sistemas Elétricos, Campina Grande - PB. Anais do V EGSE, 2016.

## TRABALHOS FUTUROS

Com os objetivos da dissertação atingidos, novos estudos podem ser desenvolvidos com o intuito de dar continuidade à pesquisa, uma vez que, para a elaboração de um sistema computacional otimizado de tomada de decisão são necessárias análises e modelagens das variáveis territoriais, de projeto e externas.

As variáveis territoriais, são as avaliadas neste trabalho e que tem o algoritmo de localização propícia como ferramenta de correlação e sobreposição de informações.

As variáveis de projeto condizem aos aspectos construtivos e, portanto, uma análise estatística relacionando falhas e condicionamento de operação são essenciais para se obter um sistema otimizado na relação custo-benefício.

As variáveis externas retratam os aspectos que não estão diretamente ligados às variáveis territoriais e de projeto, tais como:

- Oferta de geração de energia elétrica baseado em históricos temporais;
- Variação do preço do kWh;
- Inserção dos efeitos de medidas políticas voltadas ao setor de geração de energia solar;
- Previsibilidade de inovação tecnológica e barateamento do sistema de geração solar ao longo do tempo;
- Legislações, contratos e concessões de uso do sistema de geração solar, entre outros.

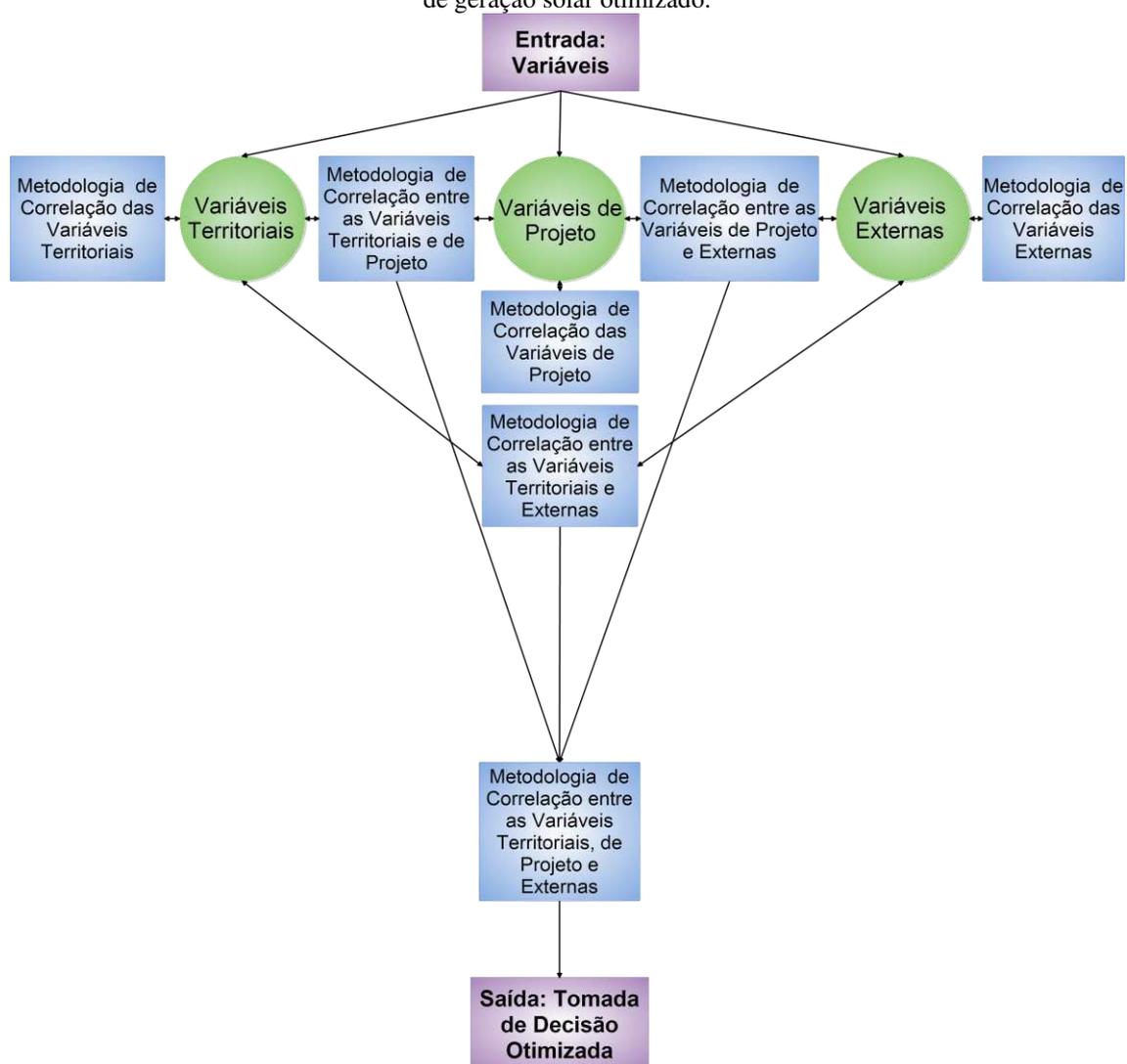
Desta forma, as atividades de pesquisas analisando a inserção das variáveis territoriais, variáveis de projeto e variáveis externas na geração solar, e portanto, na elucidação da tomada de decisão ótima, continuarão. Assim, sugerem-se como trabalhos futuros os seguintes temas:

- Desenvolver e validar correlação interna das variáveis de projeto e variáveis externas nos sistemas de geração solar;
- Elaborar e avaliar metodologia de correlação entre variáveis territoriais e de projeto nos sistemas de geração solar;

- Elaborar e avaliar metodologia de correlação entre variáveis territoriais e externas nos sistemas de geração solar;
- Elaborar e avaliar metodologia de correlação entre variáveis de projeto e externas nos sistemas de geração solar;
- Desenvolver um sistema otimizado de apoio à tomada de decisão na implantação de usinas solares, levando em consideração metodologia que correlacione variáveis territoriais, de projeto e externas.

Um fluxograma relacionando as potenciais pesquisas com as diversas metodologias, no contexto da geração solar, considerando a entrada de variáveis territoriais, de projeto e externas, pode ser visto na Figura 49.

Figura 49. Fluxograma de metodologias visando os potenciais estudos futuros no contexto de um sistema de geração solar otimizado.



Fonte: O autor.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). *ANEEL Aprova Regras para Facilitar a Geração de Energia nas Unidades Consumidoras*. Informações Técnicas. 2012. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output\\_Noticias.cfm?Identidade=5457&id\\_area=90](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=5457&id_area=90)>.

Acesso em 12 de dezembro de 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). *Atlas de Energia Elétrica do Brasil*. Brasília. 2º ed. 2005.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). *Perspectivas da Energia Solar e o Apoio do BNDES ao Setor*. Seminário de Micro e Minigeração Distribuída. Abril. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA (ABINEE). *Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira*. Junho de 2012.

BABAN, S. M. J.; PARRY, T.; *Developing and applying a GIS-assisted approach to locating wind farms in the UK*. Renewable Energy, v. 24, p. 59-71, 2001.

BANKMAN, I. (Ed.) *Handbook of Medical Imaging: Processing and Analysis*. Academic Press, 2000.

BARROS, M. V. F.; POLIDORO, M. *Geração de Modelos Tridimensionais Através de Dados do Shuttle Radar Topography Mission para Subsídios no Planejamento Urbano e Estudos Geomorfológicos*. VII Encontro Nacional da ANPEGE. Curitiba-PR. 2009.

BATISTA, L. V. *Introdução ao Processamento Digital de Imagens*. 2002.

BRITO, S. F.; CARVALHO, J. M. *Sistemas de Processamento Digital de Imagens para Fins Didáticos/Ciêntíficos: Estudo, Seleção e Implementação de Algoritmos de Segmentação*. Relatório de iniciação científica. UFPB. Agosto de 1998.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. *Introdução à Ciência da Geoinformação*. Instituto de Nacional de Pesquisas Espaciais - (INPE). São José dos Campos. 2001.

CENTRO ESTADUAL DE PESQUISAS EM SENSORIAMENTO REMOTO E METEOROLOGIA (CEPSRM). *Página dinâmica para aprendizado do sensoriamento remoto: processamento digital de imagens*. Rio Grande do Sul, 2013. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/engcart/PDASR/pdi.html>>.

Acesso em 10 outubro 2014.

COPQUE, A. C. S. M.; NEGRÃO, J. R. P.; RIBEIRO, V. R. *Uso do Geoprocessamento em Estudos de Viabilidade de Projetos de Parques Eólicos no Estado da Bahia*. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR-INPE. Foz do Iguaçu, PR, Brasil. Abril de 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). *Cultivo do Milho: Clima e Solo*. 2000.

FIGUEIRÊDO, H. F.; ANDRADE, F. G.; BAPTISTA, C. S.; PAIVA, A. C.; FERNANDES, R. A.; VIEIRA, F. A. Q. *Using Geoprocessing to Monitor Voltage Disturbance in Power Systems*. Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America (T&D-LA). IEEE/PES. São Paulo. Nov. 2010.

FLORENZANO, T. G. *Iniciação em Sensoriamento Remoto*. Oficina de Texto. São Paulo. Capítulo 1. 2011.

GOETZBERGER, A.; KNOBLOCH, J.; VOSS, B. *Crystalline Silicon Solar Cells*. John Wiley & Sons Ltda. 1. ed., Inglaterra, 1998.

GONZALEZ, R.; WOODS, P. *Digital Image Processing*. Prentice Hall, 2nd ed. 2002.

HANSEN, H. S.; *GIS-based Multi-Criteria Analysis of Wind Farm Development*. Proceedings of the 10th Scandinavian Research Conference on Geographical Information Science (SCANGIS). Estocolmo, 2005, p. 75-87.

JÄHNE, B. *Digital Image Processing*. Springer-Verlag, 2002.

MARIA, L. G. F. *Processamento Digital de Imagens*. Instituto de Nacional de Pesquisas Espaciais - (INPE). Junho de 2000.

MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B. *Estudo Comparativo da Confiabilidade de Estimativas de Irradiação Solar para o Sudeste Brasileiro Obtidas a Partir de Dados de Satélite e por Interpolação/Extrapolação de Dados de Superfície*. Revista Brasileira de Geofísica. vol. 29 n 2. São Paulo. Abril/Junho de 2011.

MASCARENHAS, N. A.; VELASCO, F. R. D. *Processamento Digital de Imagens*. Ministério da Ciência e Tecnologia -MCT. Instituto de Nacional de Pesquisa Espaciais ( INPE). Janeiro de 1989.

MINISTÉRIO DA DEFESA. *Dispõe sobre as Restrições Relativas às Implantações que Possam Afetar Adversamente a Segurança e a Regularidade das Operações Aéreas, e dá Outras Providência*. Portaria N°271/CG5. 6 de Junho de 2012.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. *Energias Renováveis - Energia Eólica*. Brasília. Novembro de 2014. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/clima/energia/energias-renovaveis/energia-eolica> >. Acesso em 10 de novembro de 2014.

MONTEZANO, Bruno Eduardo Moreira. *Estratégias para Identificação de Sítios Eólicos Promissores usando Sistema de Informação Geográfica e Algoritmos Evolutivos*. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2012.

OLIVEIRA NETO, A. B.; ALVES, L. N. T.; LUCENA, M. D.; FERREIRA, T. V. *Um Algoritmo Baseado em PDI para Localização de Regiões Propícias à Instalação de Usinas Solares*. V Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos. Foz do Iguaçu – Paraná. Abril de 2014.

OLIVEIRA NETO, A. B.; COSTA, E. G.; BRITO, K. B.; DIAS, B. A.; ALVES, L. N. T.; BRANDÃO, A. A.; FERREIRA, T. V. *Um Algoritmo Baseado em PDI para Localização de Regiões Propícias à Instalação de Usinas Solares e Um Estudo de Caso*. Congreso Internacional de Alta Tensión y Aislamiento Eléctrico – ALTAE 2015. Portoviejo, Manabi, 2015.

PALZ, W. *Energia Solar e Fontes Alternativas*. São Paulo: Hemus. 1995.

POMARES, L. F.; PÉREZ, A. V.; GÀMEZ, M. R. *La Geografía de la Provincia Pinar del rio y los Sistemas Fotovoltaicos Conectados a la Red*. XVI Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura, La Habana, Novembro de 2012.

QUEIROZ, J. E. R.; GOMES, M. H. *Introdução ao Processamento Digital de Imagens*. Universidade Federal de Campina Grande – UFCG.

SAUSEN, T. M. *Sensoriamento Remoto e Suas Aplicações para Recursos Naturais*. Coordenadoria de Ensino, Documentação e Programa Especiais. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). São José dos Campos-SP. 201. Disponível em: < <http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm> >. Acesso em 10 de novembro de 2014.

SCHNEIDER, B. O. *Apostila de Computação Gráfica*. Departamento de Ciência da Computação. Universidade Federal de Lavras. Agosto de 2001.

SPRING, G.; CAMARA, R. C. M.; SOUZA, U. M.; FREITAS, J. G. *Integrating Remote Sensing and GIS by Object Oriented Data Modeling*. Computers & Graphics, 1996, pp. 395-403.

WANDERLEY, A. C. F.; CAMPOS, A. L. P. S. *Perspectivas de Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Geração de Energia Elétrica no Rio Grande do Norte*. Julho de 2013.

# APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO PARA ELENCAR OS

## COEFICIENTES DE PESO

### Ponderação das características que influenciam na Geração Solar e na Geração Eólica

Este questionário tem como função auxiliar no andamento da dissertação de mestrado de Antonio Barbosa de Oliveira Neto, estudante de pós-graduação no Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande.

O objetivo geral do supracitado trabalho de Mestrado é desenvolver um algoritmo baseado em processamento digital de imagens, capaz de avaliar/quantificar de forma multiparamétrica a aptidão de determinada região territorial à implantação de usinas solares e eólicas, tomando como informação base mapas e dados de satélite.

Para tanto, é necessário discutir a quantificação numérica dos parâmetros adotados no algoritmo. São exemplos de parâmetros: incidência solar; velocidade dos ventos; proximidade de centros consumidores; proximidade de linhas de transmissão; proximidade de subestações; presença de acidentes geográficos; presença de reservas florestais; hidrografia, etc. Para obter informações mais detalhadas sobre o conceito trabalho, sugerimos esta publicação: <http://www.sbse.org.br/anais/PDF/SBSE2014-0331.pdf>

Assim, pedimos a colaboração do(a) senhor(a), destinando alguns poucos minutos de seu tempo para responder os itens abaixo. A pesquisa é dividida em três partes, referentes a:

1. Geração em Plantas Solares de Grande Porte (PSGP), objetivando blocos de energia da ordem de megawatts/gigawatts, com finalidade principal de transmissão para os centros consumidores;
2. Geração em Plantas Solares de Pequeno Porte (PSPP), objetivando blocos de energia da ordem de quilowatts, produzidos em instalações residenciais, comerciais ou industriais, com finalidade principal de uso local;
3. Geração em Plantas Eólicas (PE).

Muito obrigado pela sua colaboração!

\*Obrigatório

**Nome \***

**E-mail \***

**Organização na qual trabalha \***

Continuar »

20% concluído

## Características que influenciam na Geração Solar Concentrada

Nesta página, pedimos que o(a) senhor(a) atribua pesos aos fatores considerados para a "Geração em Plantas Solares de Grande Porte (PSGP), objetivando blocos de energia da ordem de megawatts/gigawatts, com finalidade principal de transmissão para os centros consumidores". Solicitamos que os parâmetros abordados sejam considerados do ponto de vista histórico, ou seja, do comportamento dos mesmo em longo prazo.

### Radiação Solar \*

Em seu julgamento, qual a importância da radiação solar da região quando se pretende fazer a alocação de uma PSGP?

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
pouco relevante	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	muito relevante							

### Insolação Solar \*

Em seu julgamento, qual a importância da insolação solar da região quando se pretende fazer a alocação de uma PSGP?

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
pouco relevante	<input type="radio"/>	muito relevante									

### Precipitação - Parte 1 \*

Você julga importante a o impacto da precipitação da região, e da eventual nebulosidade a ela associada, no desempenho de uma PSGP?

- Sim (caso escolha esta opção, responda a pergunta a seguir conforme seu julgamento)
- Não (caso escolha esta opção, atribua "1" à resposta da pergunta a seguir)

### Precipitação - Parte 2 \*

Considerando o índice de precipitação, qual a relevância que julga coerente quando da decisão de alocação de uma PSGP?

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
pouco relevante	<input type="radio"/>	muito relevante									

### Umidade Relativa do Ar - Parte 1 \*

Você julga importante o impacto da umidade relativa do ar da região, e da eventual nebulosidade a ela associada ou mesmo ao mal desempenho de equipamentos eletrônicos, quando se pretende fazer a alocação de uma PSGP?

- Sim (caso escolha esta opção, responda a pergunta a seguir conforme seu julgamento)
- Não (caso escolha esta opção, atribua "1" à resposta da pergunta a seguir)

### Umidade Relativa do Ar - Parte 2 \*

Considerando a umidade relativa do ar, qual a relevância que julga coerente quando da decisão de alocação de uma PSGP?

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
pouco relevante	<input type="radio"/>	muito relevante									

### Temperatura \*

Em seu julgamento, qual a importância da temperatura da região quando se pretende fazer a alocação de uma PSPG?

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
pouco relevante	<input type="radio"/>	muito relevante									

#### **Hidrografia \***

Sob sua avaliação, a presença de corpos de água em regiões de interesse para instalação de PSPG é um fator impeditivo?

- Sim, considero que a presença de rios, açudes, lagoas, etc., no terreno impedem a instalação de uma PSPG.
- Não, considero que a presença de rios, açudes, lagoas, etc., no terreno podem dificultar a instalação de uma PSPG, mas não a impedem, mesmo considerando os desafios técnicos e o impacto no orçamento.

#### **Proximidade das Linhas de Transmissão - Parte 1 \***

Você julga importante haver proximidade entre linhas de transmissão e a localização de uma futura PSPG? Suponha que a linha tem capacidade de acomodar a potência gerada, ou pode ser recapitada para tanto.

- Sim (caso escolha esta opção, responda a pergunta a seguir conforme seu julgamento)
- Não (caso escolha esta opção, atribua "1" à resposta da pergunta a seguir)

#### **Proximidade das Linhas de Transmissão - Parte 2 \***

Considerando a proximidade das linhas de transmissão, qual a relevância deste fator na alocação de uma PSPG?

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
pouco relevante	<input type="radio"/>	muito relevante									

#### **Proximidade das Subestações - Parte 1 \***

Você julga importante haver proximidade entre subestações e a futura localização da PSPG? Suponha que a subestação tem capacidade de acomodar a potência gerada, ou pode ser recapitada para tanto.

- Sim (caso escolha esta opção, responda a pergunta a seguir conforme seu julgamento)
- Não (caso escolha esta opção, atribua "1" à resposta da pergunta a seguir)

#### **Proximidade das Subestações - Parte 2 \***

Considerando a proximidade às subestações, qual a relevância deste fator na alocação de uma PSPG?

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
pouco relevante	<input type="radio"/>	muito relevante									

#### **Densidade Demográfica - Parte 1 \***

Em seu julgamento, o impacto da densidade demográfica e seus desdobramentos, como a proximidade a centros consumidores e a tendência de custo mais elevado da terra, é significativo na instalação de uma PSPG?

- Sim (caso escolha esta opção, responda a pergunta a seguir conforme seu julgamento)
- Não (caso escolha esta opção, atribua "1" à resposta da pergunta a seguir)

#### Densidade Demográfica - Parte 2 \*

Considerando a densidade demográfica, qual a relevância que julga coerente quando da decisão de alocação de uma PSGP?

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
pouco relevante	<input type="radio"/>	muito relevante									



40% concluído

#### Características que influenciam na Geração Solar Distribuída

Nesta página, pedimos que o(a) senhor(a) atribua pesos aos fatores considerados para a "Geração em Plantas Solares de Pequeno Porte (PSPP), objetivando blocos de energia da ordem de quilowatts, produzidos em instalações residenciais, comerciais ou industriais, com finalidade principal de uso local". Solicitamos que os parâmetros abordados sejam considerados do ponto de vista histórico, ou seja, do comportamento dos mesmo em longo prazo.

#### Radiação Solar \*

Em seu julgamento, qual a importância da radiação solar da região quando se pretende fazer a alocação de uma PSPP?

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
pouco relevante	<input type="radio"/>	muito relevante									

#### Insolação Solar \*

Em seu julgamento, qual a importância da insolação solar da região quando se pretende fazer a alocação de uma PSPP?

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
pouco relevante	<input type="radio"/>	muito relevante									

#### Precipitação - Parte 1 \*

Você julga importante a o impacto da precipitação da região, e da eventual nebulosidade a ela associada, no desempenho de uma PSPP?

- Sim (caso escolha esta opção, responda a pergunta a seguir conforme seu julgamento)
- Não (caso escolha esta opção, atribua "1" à resposta da pergunta a seguir)

#### Precipitação - Parte 2 \*

Considerando o índice de precipitação, qual a relevância que julga coerente quando da decisão de alocação de uma PSPP?

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
pouco relevante	<input type="radio"/>	muito relevante									

#### Umidade Relativa do Ar - Parte 1 \*

Você julga importante o impacto da umidade relativa do ar da região, e da eventual nebulosidade a ela associada ou mesmo ao mal desempenho de equipamentos eletrônicos, quando se pretende fazer a alocação de uma PSPP?

- Sim (caso escolha esta opção, responda a pergunta a seguir conforme seu julgamento)
- Não (caso escolha esta opção, atribua "1" à resposta da pergunta a seguir)

#### Umidade Relativa do Ar - Parte 2 \*

Considerando a umidade relativa do ar, qual a relevância que julga coerente quando da decisão de alocação de uma PSPP?

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
pouco relevante	<input type="radio"/>	muito relevante									

#### Temperatura \*

Em seu julgamento, qual a importância da temperatura da região quando se pretende fazer a alocação de uma PSPP?

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
pouco relevante	<input type="radio"/>	muito relevante									

#### Densidade Demográfica - Parte 1 \*

Em seu julgamento, o impacto da densidade demográfica e seus desdobramentos, como a proximidade à rede elétrica, centros consumidores e presença de edificações, é significativo na instalação de uma PSPP?

- Sim (caso escolha esta opção, responda a pergunta a seguir conforme seu julgamento)
- Não (caso escolha esta opção, atribua "1" à resposta da pergunta a seguir)

#### Densidade Demográfica - Parte 2 \*

Considerando a densidade demográfica, qual a relevância que julga coerente quando da decisão de alocação de uma PSPP?

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
pouco relevante	<input type="radio"/>	muito relevante									

« Voltar

Continuar »

60% concluído

### Características que influenciam na Geração Eólica

Nesta página, pedimos que o(a) senhor(a) atribua pesos aos fatores considerados para a "Geração em Plantas Eólicas (PE)". Solicitamos que os parâmetros abordados sejam considerados do ponto de vista histórico, ou seja, do comportamento dos mesmos em longo prazo.

#### Velocidade dos Ventos \*

Em seu julgamento, qual a importância da velocidade dos ventos da região quando se pretende fazer a alocação de uma PE?

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
pouco relevante	<input type="radio"/>	muito relevante									

**Proximidade das Linhas de Transmissão - Parte 1 \***

Você julga importante haver proximidade entre linhas de transmissão e a localização de uma futura PE? Suponha que a linha tem capacidade de acomodar a potência gerada, ou pode ser recapitada para tanto.

- Sim (caso escolha esta opção, responda a pergunta a seguir conforme seu julgamento)
- Não (caso escolha esta opção, atribua "1" à resposta da pergunta a seguir)

**Proximidade das Linhas de Transmissão - Parte 2 \***

Considerando a proximidade das linhas de transmissão, qual a relevância que julga coerente quando da decisão de alocação de uma PE?

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
pouco relevante	<input type="radio"/>	muito relevante									

**Proximidade das Subestações - Parte 1 \***

Você julga importante haver proximidade entre subestações e a localização de uma futura PE? Suponha que a subestação tem capacidade de acomodar a potência gerada, ou pode ser recapitada para tanto.

- Sim (caso escolha esta opção, responda a pergunta a seguir conforme seu julgamento)
- Não (caso escolha esta opção, atribua "1" à resposta da pergunta a seguir)

**Proximidade das Subestações - Parte 2 \***

Considerando a proximidade das subestações, qual a relevância que julga coerente quando da decisão de alocação de uma PE?

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
pouco relevante	<input type="radio"/>	muito relevante									

**Densidade Demográfica - Parte 1 \***

Em seu julgamento, o impacto da densidade demográfica e seus desdobramentos, como a proximidade a centros consumidores e a tendência de custo mais elevado da terra, é significativo na instalação de uma PE?

- Sim (caso escolha esta opção, responda a pergunta a seguir conforme seu julgamento)
- Não (caso escolha esta opção, atribua "1" à resposta da pergunta a seguir)

**Densidade Demográfica - Parte 2 \***

Considerando a densidade demográfica, qual a relevância que julga coerente quando da decisão de alocação de uma PE?

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
pouco relevante	<input type="radio"/>	muito relevante									

« Voltar

Continuar »

80% concluído

**Considerações finais**

**Gostaria de receber uma cópia digital da dissertação para a qual estou colaborando, após a conclusão do Mestrado.**

- Sim
- Não

**Empregue este espaço para fazer as considerações que julgar pertinentes. Podem ser sugestões, críticas, etc., acerca da pesquisa ou mesmo do questionário.**



**Indicação de outros colegas na área de Energias Renováveis**

Caso deseje auxiliar os autores indicando nome e email de contato de outros colegas atuantes na área de Energias Renováveis para responder este questionário, por favor faça-o na caixa de texto abaixo.



« Voltar

Enviar

100% concluído

---