



Universidade Federal
de Campina Grande

Centro de Engenharia Elétrica e Informática

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

ANTONIO BARBOSA DE OLIVEIRA NETO

UM ALGORITMO DESASSISTIDO BASEADO EM
PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS PARA
LOCALIZAÇÃO EFICIENTE DE USINAS SOLARES

Campina Grande, Paraíba.
Outubro de 2013

ANTONIO BARBOSA DE OLIVEIRA NETO

UM ALGORITMO DESASSISTIDO BASEADO EM
PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS PARA
LOCALIZAÇÃO EFICIENTE DE USINAS SOLARES

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Orientador:

Professor Tarso Vilela Ferreira, D. Sc.

Campina Grande, Paraíba.
Outubro de 2013

ANTONIO BARBOSA DE OLIVEIRA NETO

UM ALGORITMO DESASSISTIDO BASEADO EM
PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS PARA
LOCALIZAÇÃO EFICIENTE DE USINAS SOLARES

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Unidade
Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade
Federal de Campina Grande como parte dos requisitos
necessários para a obtenção do grau de Bacharel em
Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Aprovado em / /

Professor Avaliador

Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Professor Tarso Vilela Ferreira, D. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, em primeiro lugar, pela minha vida e pelo dom da perseverança, que me permitiu concluir este trabalho.

Agradeço também à minha mãe Maria e meu pai Francisco, por terem se esforçado tanto para me proporcionar uma boa educação, por ter me alimentado com saúde, força e coragem, as quais que foram essenciais para superação de todas as adversidades ao longo desta caminhada.

Tenho agradecer toda minha família, em Especial a minha irmã Erismá, por ter sido meu amparo em momentos difíceis e que em todo discorrer da minha vida não mediu esforços para eu chegar a esta etapa.

Também há espaço para agradecer Lidja Nayara, uma grande pessoa, que se mostrou empenhado na causa deste trabalho e meu sucesso pessoal, assim como apoio moral indispensável.

Reconheço todos os professores do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, por terem dado suas contribuições diversas no campo do conhecimento e da vida. Em especial, agradeço ao Professor D. Sc. Tarso Vilela, pelo apoio estrutural disciplinar, emotivo e direcional em todas as minhas atividades.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma, passaram pela minha vida e contribuíram para a construção de quem sou hoje.

*“Tudo vale a pena
quando a alma não é pequena.”*

Fernando Pessoa.

RESUMO

Este trabalho propõe o desenvolvimento de um algoritmo desassistido e baseado no processamento digital de imagens para localizar de forma eficiente regiões atrativas à construção de usinas solares, sejam estas fotovoltaicas ou heliotérmicas. A identificação de regiões territoriais atrativas se dá a partir da informação bidimensional ou tridimensional, contida em mapas ou planilhas, relativas a clima, densidade demográfica, hidrografia, distribuição de linhas de transmissão, dentre outros aspectos que podem ser agregados com relativa flexibilidade. Cada um destes aspectos pode ter seu peso incrementado ou decrementado junto à tomada de decisão, dependendo das condições específicas de cada usina a ser implantada. Assim, pretende-se executar uma avaliação objetiva, impessoal e não polarizada acerca do potencial de geração solar de uma região. O produto final do algoritmo é um novo mapa, no qual se destacam em cores as regiões mais propícias. Como caso inicial de estudo será avaliado o estado da Paraíba.

Palavras-chave: Energia solar, Sustentabilidade, Usinas fotovoltaicas, Localização, Mapas, Algoritmo.

ABSTRACT

This work proposes the development of an unaided algorithm based on digital image processing to efficiently locate attractive regions to build solar power plants, whether photovoltaic or heliothermic. The identification of territorial attractive regions starts from maps (two or three dimension three maps contained in spreadsheets or relating to climate, population density, hydrography, distribution transmission lines, among other aspects that can be added with relative flexibility. Each of these aspects can have your weight incremented or decremented by the decision, depending on the specific conditions of each plant to be located. Thus we intend to perform an objective evaluation, impersonal and non-polarized about the potential of solar generation in a region. The final product of the algorithm is a new map in which colors stand out in the most favorable regions. Initial case study will assess the state of Paraíba.

Keywords: Solar energy, Sustainability, photovoltaic power plants, Location, Maps, Algorithm.

SUMÁRIO

1	Introdução.....	10
1.1	Objetivos.....	11
2	Fundamentação Teórica.....	12
2.1	A Faixa Visível do Espectro Eletromagnético	12
2.2	Percepção de Cores pelo Olho Humano.....	13
2.3	Sistema de Cores.....	14
2.4	Processamento Digital de Imagens	16
2.5	Imagens Monocromáticas	16
2.6	Imagens Coloridas	17
2.7	Operações Envolvendo Imagens	18
2.8	Imagem Digital	18
2.9	Representação de Imagens	18
2.10	Etapas para o Processamento Digital de Imagens	19
2.11	Classificação de Imagens	22
3	Material e Métodos.....	23
3.1	Radiação Solar	23
3.2	Insolação Solar.....	25
3.3	Precipitação.....	26
3.4	Densidade Demográfica.....	26
3.5	Hidrografia.....	29
3.6	Cobertura Vegetal	30
3.7	Linhas de Transmissão.....	31
3.8	Outras Características Relevantes	31
3.9	Metodologia de Parametrização.....	32
4	Algoritmo Desassistido para Localização Ótima.....	34
4.1	Algoritmo de Padronização.....	35
4.2	Algoritmo de Síntese.....	40
4.3	Algoritmo de Localização	40
5	Resultados	42
6	Conclusões.....	45
	Bibliografia.....	46
	ANEXO A1	47

1 INTRODUÇÃO

Uma das principais características de nossa sociedade, ao menos sob um ponto de vista prático e material, é o aumento constante da demanda por abastecimento energético. Uma vez que os recursos hidroelétricos são limitados, é preciso diversificar a Matriz Energética Nacional a fim de minimizar a dependência de poucas formas de geração.

Por outro lado, a energia solar é uma forma de energia relativamente pura: não dá origem a fumaça, nem escórias de nenhuma espécie (e muito menos, a escórias radioativas, que representam a incógnita mais grave que obstaculiza a difusão das centrais nucleares) e tampouco a descargas de gênero algum. Destes pontos de vista, o aproveitamento da energia solar constitui a solução ideal para a proteção do meio ambiente (COMETTA, 2004).

A energia solar se apresenta sob forma disseminada e não concentrada, e sua captação e aproveitamento, ao menos para potências elevadas, requerem instalações complexas e custosas. A energia, também, no local da instalação, é disponível de forma descontínua, sujeita a alternâncias periódicas (dia-noite; verão-inverno) e casuais (céu claro-nebuloso), pelo que é indispensável prover dispositivos de acumulação, com ulteriores complicações e elevação dos custos da instalação (COMETTA, 2004).

Assim, pode-se perceber que a localização de instalações de captação de energia solar é um fator chave na tomada de decisão frente aos montantes investidos, bem como na eficiência da usina depois de instalada.

Observando-se a avaliação do 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 (POMARES, 2012).

Em um primeiro momento, pode-se imaginar que o fator preponderante seja taxa de incidência solar. De fato, este é um fator muito importante, mas existem diversos outros fatores que, na prática, dificultam ou chegam a inviabilizar a implantação de usinas solares em determinadas regiões. A escolha da localização tecnicamente

embasada para instalação de sistemas de geração solar pode ser uma tarefa difícil, dado que vários fatores devem ser levados em consideração, como por exemplo:

- Incidência solar;
- 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.

Assim, o projeto aqui apresentado definirá um algoritmo para a avaliação do espaço territorial, neste caso do estado da Paraíba, a fim de determinarem-se as regiões mais propícias para instalação de usinas fotovoltaicas ou heliotérmicas. Na atualidade, em geral, esta 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 que para tanto existam mapas suficientemente detalhados.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho 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, tomando como informação base mapas da região.

Além disso, serão ainda buscados os seguintes objetivos específicos:

- Desenvolver habilidades de processamento digital de imagem na plataforma *MATLAB*;
- Agrupar um banco de dados de mapas da região pioneira a ser estudada, com base em diversas fontes nacionais e internacionais;
- Levantar o potencial solar multiparamétrico do estudo de caso pioneiro: o Estado da Paraíba.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Apesar do projeto aqui proposto fazer uso, na qualidade de matéria prima, de mapas que ilustram informações advindas de várias áreas do conhecimento humano, o cerne do algoritmo a ser desenvolvido habita no Processamento Digital de Imagens. Assim, nesta seção serão definidos alguns conceitos indispensáveis para a execução do projeto.

2.1 A FAIXA VISÍVEL DO ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

A luz é uma radiação eletromagnética e, assim sendo, apresenta um comportamento ondulatório com frequência (f) e comprimento de onda (λ). A faixa do espectro eletromagnético à qual o sistema visual humano é sensível se estende aproximadamente de 400 a 770 nm e denomina-se luz visível (ACHARYA & RAY, 2005), vide Figura 1. Dentro dessa faixa, o olho percebe comprimentos de onda diferentes como cores distintas, sendo que fontes de radiação com um único comprimento de onda denominam-se monocromáticas e a cor da radiação denomina-se cor espectral pura (FORSYTH & PONCE, 2001).

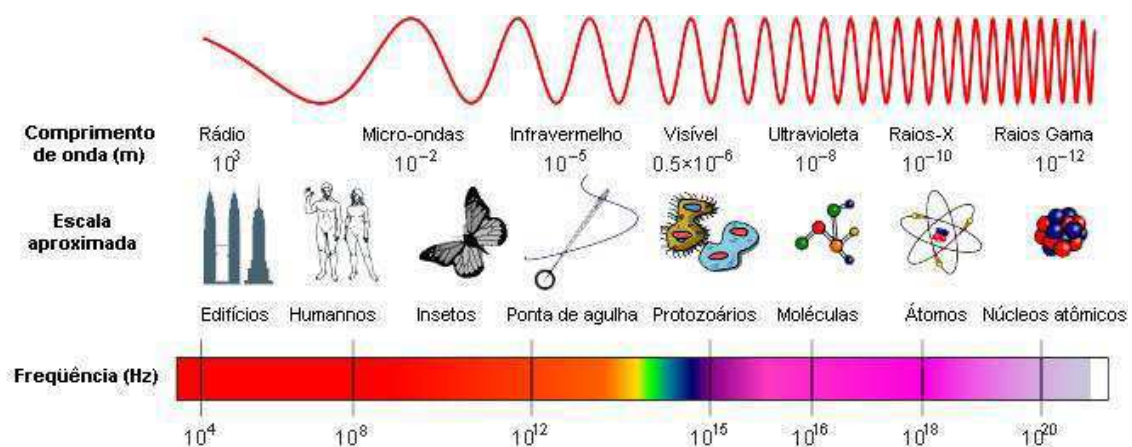


Figura 1. Espectro Eletromagnético (COSTA et al., 2008).

2.2 PERCEPÇÃO DE CORES PELO OLHO HUMANO

O olho humano é aproximadamente esférico, com diâmetro médio em torno de dois centímetros. Os raios luminosos provenientes dos objetos externos penetram no olho através de uma abertura frontal na íris, a pupila, e de uma lente denominada cristalino, atingindo a retina, que constitui a camada interna posterior do globo ocular. Quando o olho está apropriadamente focalizado, forma-se uma imagem nítida invertida do cenário externo sobre a retina (GONZALEZ & WOODS, 2002).

Sobre a retina distribuem-se dois tipos de elementos fotossensíveis, os cones e os bastonetes, cuja função é converter energia luminosa em impulsos elétricos que são transmitidos até o cérebro para serem interpretados.

Quando olhamos para um objeto, o olho é posicionado pelos músculos que o controlam de forma que a imagem do objeto recaia sobre a fóvea. Por atuarem mais eficientemente sob boas condições de iluminação, os cones proporcionam a chamada visão de alta luminosidade.

O olho humano possui três tipos de cones, um mais sensível à faixa do espectro correspondente ao violeta e ao azul; outro ao verde; e outro ao amarelo, ao laranja e ao vermelho.

Diz-se que o olho apresenta cones “azuis”, “verdes” e “vermelhos”. Devido a esta característica do olho humano, radiações luminosas de cores diversas podem ser obtidas por combinações destas três cores primárias, vermelho, verde e azul (JOHN & RUSS, 1998). A Figura 2 abaixo apresenta a sensibilidade relativa dos cones às radiações eletromagnéticas.

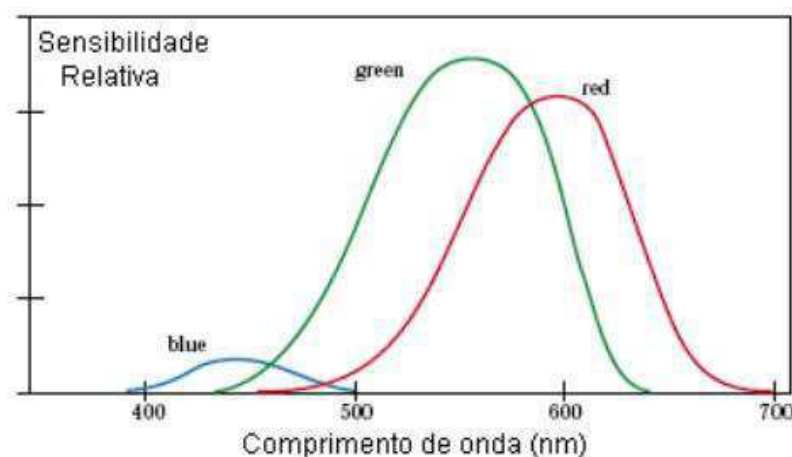


Figura 2. Sensibilidade relativa dos três tipos de cones presentes na retina (HANSEN & JOHNSON, 2005).

2.3 SISTEMA DE CORES

A cor de um objeto que emite radiação na faixa visível é definida pela soma das cores espectrais emitidas. O processo de formação de cores no olho humano é aditivo. Dado o mecanismo de formação de cores do olho humano, o processo aditivo pode ser entendido como uma combinação de radiações monocromáticas nas faixas verde, vermelho e azul, em proporções variáveis. Por este motivo, estas cores são denominadas cores primárias da luz. Este processo de geração de cores caracteriza um sistema *RGB* (*Red*, *Green*, e *Blue*) (ACHARYA & RAY, 2005). A Comissão Internacional de Iluminação (CIE) estabeleceu os seguintes valores para os comprimentos de onda das primárias da luz (HANSEN & JOHNSON, 2005):

- Azul: 435,8 nm;
- Verde: 546,1 nm;
- Vermelho: 700 nm.

As cores primárias combinadas duas a duas em igual intensidade produzem as cores secundárias da luz, magenta, ciano e amarelo:

- Magenta = Vermelho + Azul;
- Ciano = Azul + Verde;
- Amarelo = Verde + Vermelho.

A cor de um objeto que não emite radiação própria é definida pelos seus pigmentos, que absorvem radiações em determinadas faixas de comprimento de onda e refletem outras. Devido à natureza do olho humano, o processo de formação de cores pode ser entendido como a absorção ou reflexão, em proporções variáveis, das componentes verde, vermelho e azul da radiação incidente (RENCZ & RYERSON, 1999). Um pigmento ciano, por exemplo, reflete as componentes azul e verde da luz incidente e absorve ou subtrai desta a componente vermelha. Em outros termos, o ciano pode ser visto como o resultado da subtração do vermelho da cor branca. O processo de formação de cores pigmentares é, portanto, subtrativo.

As cores primárias dos pigmentos são definidas como aquelas que absorvem uma cor primária da luz e refletem as outras duas. Assim, as cores primárias dos pigmentos são as secundárias da luz, ou seja, magenta, ciano, e amarelo.

Um monitor de vídeo forma imagens por emissão de radiação luminosa, em um processo envolvendo combinação de verde, vermelho e azul (RENCZ & RYERSON, 1999). Na prática, é necessário limitar a intensidade máxima admissível para as componentes de cor, de forma que um subconjunto do sistema *RGB* foi adotado. Qualquer cor neste sistema pode ser representada por suas componentes de vermelho, verde e azul. Assim, uma cor no sistema *RGB* é um vetor no espaço tridimensional apresentado na Figura 3 abaixo, e pode ser representada por suas coordenadas (r, g, b).

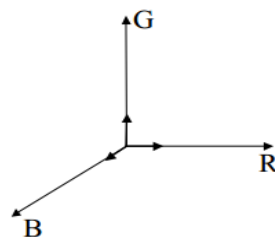


Figura 3. O espaço das cores *RGB* (RENCZ & RYERSON, 1999).

No espaço *RGB*, a reta definida pelo conjunto de pontos (i, i, i) é chamada de reta acromática. Pontos sobre a reta acromática representam tonalidades de cinza, ou níveis de cinza, variando continuamente do preto ao branco, à medida que percorremos a reta a partir da origem. O ponto $(0, 0, 0)$ que corresponde ao mínimo que se pode assumir a qualquer componente de cor, representa o preto (completamente escuro ou ausência de luz). Um ponto (M, M, M) , onde M é a intensidade máxima que pode assumir qualquer componente de cor, representa o branco (completamente intenso).

Entre as representações mais usuais das cores temos a utilização da escala de 0 a 255, essa é bastante encontrada na computação pela conveniência de se guardar cada valor de cor em 1 byte (8 bits).

- Branco - *RGB* (255, 255, 255);
- Azul - *RGB* (0, 0, 255);
- Vermelho - *RGB* (255, 0, 0);
- Verde - *RGB* (0, 255, 0);
- Amarelo - *RGB* (255, 255, 0);
- Magenta - *RGB* (255, 0, 255);

- Ciano - *RGB* (0, 255, 255);
- Preto - *RGB* (0, 0, 0).

Raramente os pigmentos adotados e as proporções nas misturas são perfeitos, de forma que a combinação balanceada das três cores pode resultar em algo próximo ao marrom, quando o desejado seria o preto. Por este motivo, muitas vezes acrescenta-se o preto como quarta cor, e o sistema é dito CMYK, com o K (*black*) final representado a cor preta (RENCZ & RYERSON, 1999).

2.4 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. O objetivo de se usar 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).

Conforme Silva (2001), 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, estas já contendo informações específicas, extraídas e realçadas a partir das imagens brutas.

O objetivo principal do processamento de imagens é o de remover as barreiras, inerentes ao sistema visual humano, facilitando a extração de informações a partir de imagens.

2.5 IMAGENS MONOCROMÁTICAS

Uma imagem monocromática é uma função de duas variáveis $f(x, y)$, onde 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 .

A geração das imagens 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):

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

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.

2.6 IMAGENS COLORIDAS

Em uma imagem digital colorida no sistema RGB , pode-se considerar um pixel como um vetor $f(i, j) = (fr(x, y), fg(x, y), fb(x, y))$, cujas componentes representam as intensidades de vermelho, verde e azul da cor. Pode-se considerar, portanto, que uma imagem colorida é a composição de três imagens monocromáticas, $fr(x, y)$, $fg(x, y)$, $fb(x, y)$, denominadas, respectivamente, de banda vermelha (ou banda R), banda verde (ou banda G), e banda azul (ou banda B) da imagem colorida (JÄHNE, 2002). Um exemplo desta representação é apresentado na Figura 4.



Figura 4. Uma imagem RGB e suas bandas R, G e B (BATISTA, 2005).

2.7 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 neste 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, a equação (3) descreve 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).

2.8 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).

2.9 REPRESENTAÇÃO DE IMAGENS

Existem duas maneiras de representar uma imagem: representação vetorial e representação matricial. Estas representações diferem na natureza dos dados que compõe a imagem. Segundo SCHEIDER (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 5(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 5(b). Esta representação não armazena nenhuma informação geométrica dos objetos contidos na imagem o que torna difícil a manipulação de sua estrutura. No entanto esse é capaz de representar qualquer tipo de imagem (SCHEIDER, 2001).

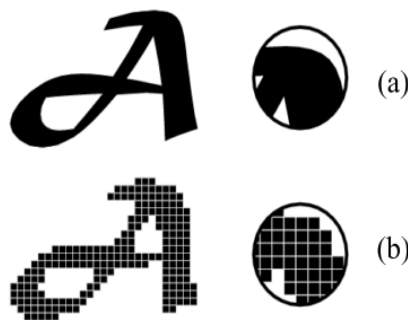


Figura 5. Exemplos de imagem (a) vetorial e (b) matricial (SCHEIDER, 2001).

2.10 ETAPAS PARA O PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

Várias etapas são descritas ao longo do processamento digital de imagens. Em tópicos seguintes serão descritos quais os principais, utilizados com excelência em todo o mundo no contexto global concomitante com assunto em abordagem.

2.10.1 REALCE DA IMAGEM

O melhoramento de imagem é obtido através 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 a 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.

2.10.2 MELHORAMENTO DE CONTRASTE

Melhoramento de contraste busca melhorar a qualidade visual da imagem através da manipulação dos níveis de cinza. Uma imagem possui valores de intensidade de *pixel*, variando de 0 a 255. Quanto mais espalhados os *pixels* da imagem neste intervalo melhor é o seu contraste.

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 ponto depende somente do valor original do ponto. Uma função de transferência mapeia o valor de um ponto para um novo valor. Essa função é definida da seguinte forma:

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

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 ponto.

Uma boa forma de avaliar o contraste de uma imagem é analisar seu histograma. O histograma é um gráfico que representa a distribuição dos *pixels* para cada nível de cinza da imagem. No eixo horizontal fica a escala de cinza e no eixo vertical fica a quantidade de *pixels*.

Na Figura 6 pode-se observar uma mesma imagem em duas representações distintas de contraste. Observando o histograma da primeira imagem pode-se notar que a distribuição dos *pixels* concentra-se próximo ao nível zero, exemplificando uma imagem com baixo contraste. A segunda imagem possui alto contraste, seus *pixels* estão mais bem distribuídos no histograma, possibilitando um melhor discernimento das informações contidas na imagem.

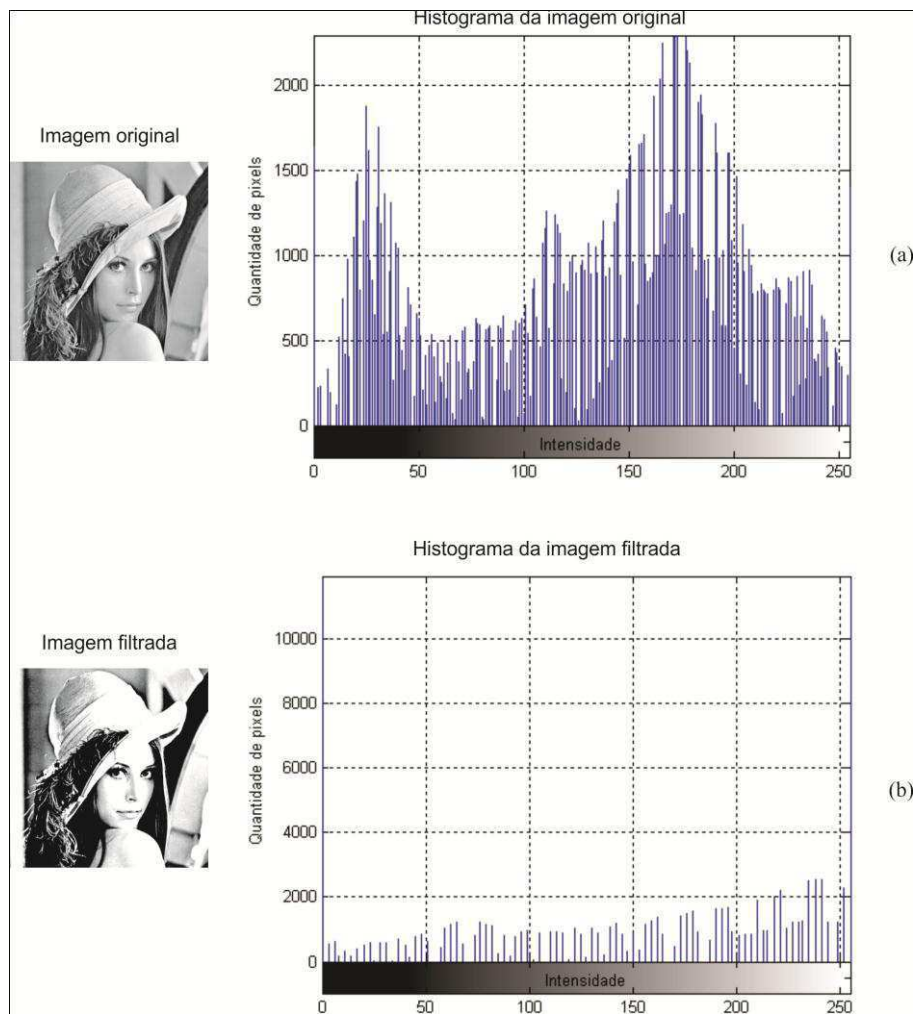


Figura 6. Uma imagem com diferentes representações de contraste, e seus respectivos histogramas.

2.10.3 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 (GONZALES & WOODS, 1992).

A filtragem no espaço é considerada uma operação local, ou seja, o nível de cinza de um ponto 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.

2.10.4 SEGMENTAÇÃO DE IMAGENS

Por segmentação de uma imagem entende-se a extração ou identificação dos objetos contidos na imagem, onde 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 pontos ligados, ou seja, de qualquer ponto da região pode-se chegar a qualquer outro ponto por um caminho inteiramente contido na região.

2.10.5 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.

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 ponto inicial da imagem (x, y) com todos os outros pontos da imagem, adicionando ou não esses pontos a região do ponto inicial.

2.11 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 destas classes. Esta pode ser feita de forma não automática, onde um especialista humano extrai informações baseando-se na inspeção visual da imagem ou de forma automática, feita por computador (MARIA, 2000). Neste Projeto, conforme anteriormente destacado, será empregada a inspeção por forma automática (desassistida).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos pela pesquisa e acesso feitos ao Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Campina Grande (DCA-UFCG), ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), à Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA) e à ENERGISA (concessionária de distribuição da energia elétrica no Estado da Paraíba). Os dados apresentam características típicas do trabalho desenvolvido pelas suas respectivas fontes, e serão detalhados em seguida. Além disso, todo o processamento de imagens foi realizado com auxílio do *software MATLAB*.

3.1 RADIAÇÃO SOLAR

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a radiação solar pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluidos e ambientes e para geração de potência mecânica ou elétrica. Pode ainda ser convertida diretamente em energia elétrica, através de efeitos sobre determinados materiais, entre os quais se destacam o termoeletrico e o fotovoltaico.

Além das condições atmosféricas (nebulosidade, umidade relativa do ar etc.), a disponibilidade de radiação solar também denominada energia total incidente sobre a superfície terrestre, depende da latitude local e da posição no tempo (hora do dia e dia do ano). Isso devido à inclinação do eixo imaginário em torno do qual a terra gira diariamente (movimento de rotação) e à trajetória elíptica que a terra descreve ao redor do Sol (translação ou revolução) como ilustrado na Figura 7.

Desse modo, a duração solar do dia – período de visibilidade do Sol ou de claridade – varia, em algumas regiões e períodos do ano, de zero hora (Sol abaixo da linha do horizonte durante o dia todo) a 24 horas (Sol sempre acima da linha do horizonte). As variações são mais intensas nas regiões polares e nos períodos de solstício. O inverso ocorre próximo à linha do Equador e durante os equinócios, quando a duração solar do dia é igual à duração da noite em toda a Terra (ANEEL, 2002).

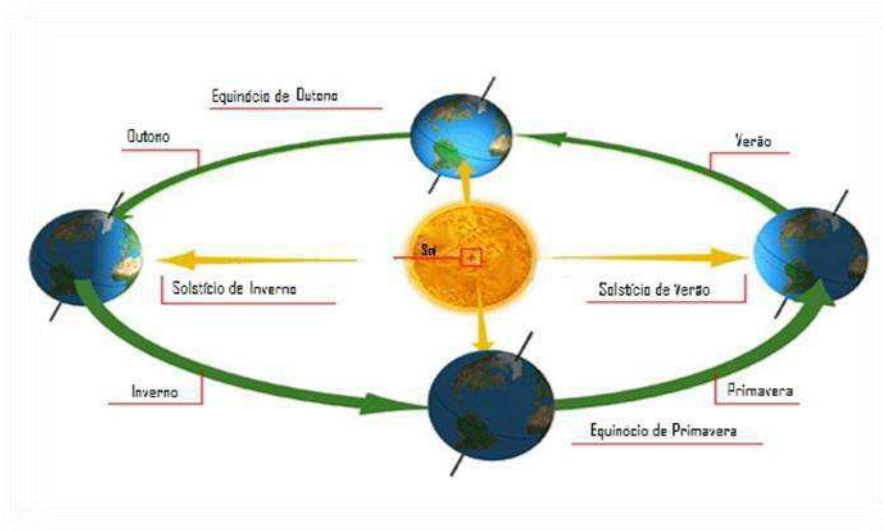


Figura 7. Representação das estações do ano e do movimento da Terra (ANEEL,2002).

A maior parte do território brasileiro está localizada relativamente próxima à linha do equador, de forma que não se observa grandes variações na duração solar do dia. O Estado da Paraíba tem uma localização geográfica perante esse ponto, bem posicionada. A Figura 8 apresenta como se dá a distribuição da radiação levando em consideração uma média anual em 25 anos para o Estado da Paraíba.

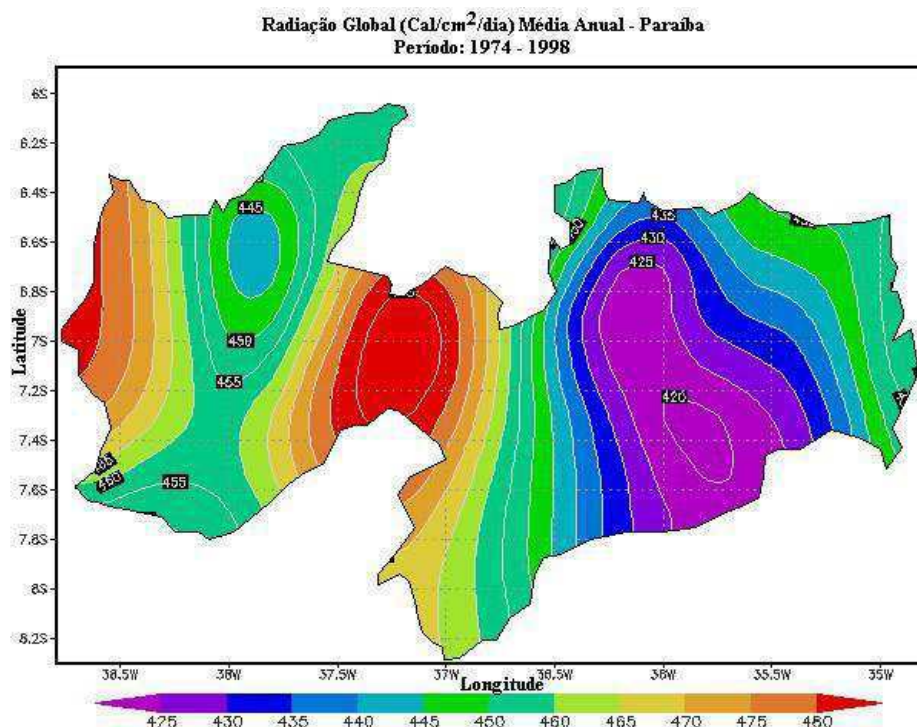


Figura 8. Mapa da Radiação global no Estado da Paraíba considerando a média anual em 25 anos (DCA/UFCG, 2002).

3.2 INSOLAÇÃO SOLAR

A atmosfera reflete algo próximo de 39% da radiação, de forma que apenas 61% são usados no aquecimento da Terra. A insolação é a quantidade de energia por unidade de área e por unidade de tempo que chega a um determinado lugar da superfície da Terra. A insolação varia de acordo com o lugar, com a hora do dia e com a época do ano.

É importante ressaltar que para uma mesma quantidade de radiação solar recebida em diferentes pontos da terra, a insolação só irá depender da área sobre a qual essa radiação em forma de energia se distribui, ou seja, da inclinação com que os raios solares atingem a superfície da Terra no local e data considerados (FÁTIMA et al., 2001). Conclui-se que quanto maior a insolação, mais propícia a geração de energia elétrica pela energia solar.

Um estudo realizado pelo DCA/UFCG sobre o Estado da Paraíba, em paralelo ao da Radiação, mostra em forma de mapa, a distribuição da insolação por regiões, conforme a Figura 9.

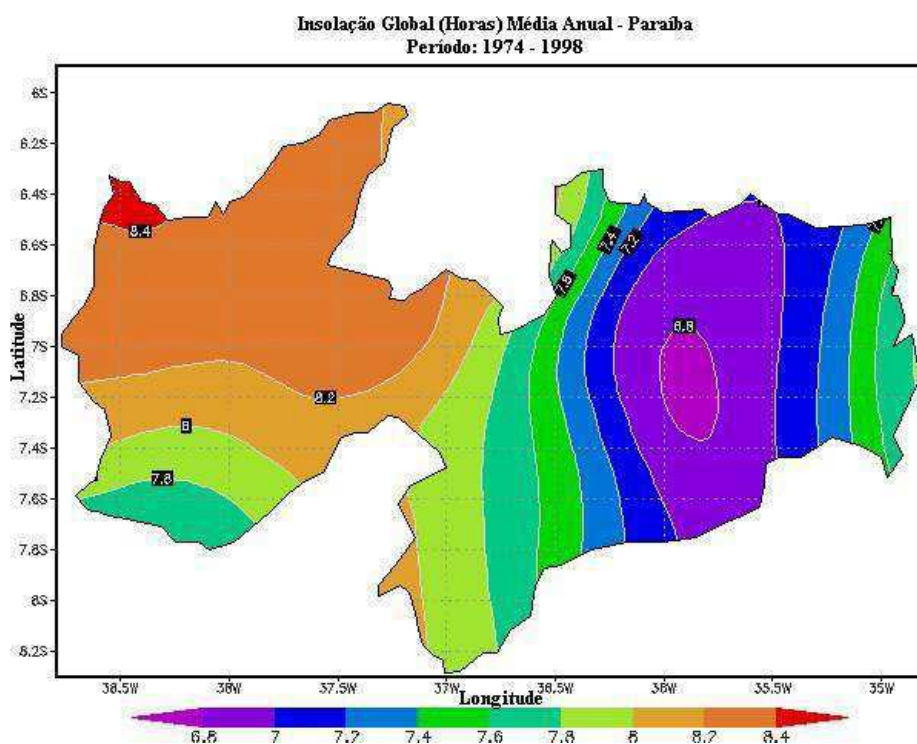


Figura 9. Mapa de Insolação global no Estado da Paraíba considerando a média anual em 25 anos (DCA/UFCG, 2002).

3.3 PRECIPITAÇÃO

Outro importante fator utilizado no estudo do potencial de geração de energia solar é a precipitação de chuva (WNDERLEY & CAMPOS, 2013).

No Brasil Central, a precipitação tem um papel de destaque, inclusive afeta indiretamente o regime de radiação, pois altas chuvas implicam na baixa radiação solar que chega na superfície (EMBRAPA, 2000).

Mesmo a Paraíba integrando a região Nordeste do Brasil, onde a radiação tem pouca variação, a precipitação deve ser considerada para efeitos de análises e resultados mais precisos. A Figura 10 mostra uma precipitação média anual em um período de 89 anos, realizada pelo DCA/UFCG.

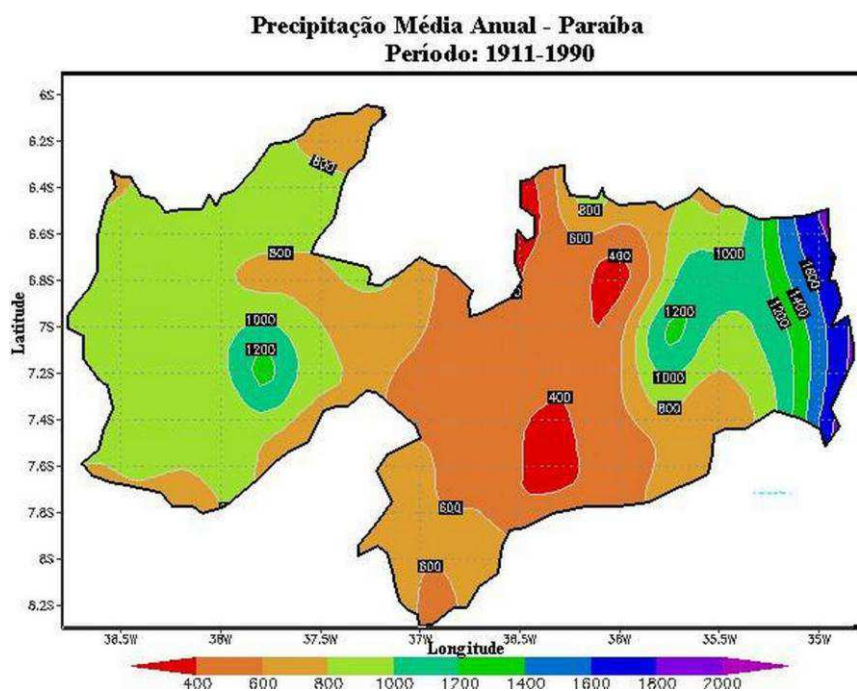


Figura 10. Mapa com a Precipitação no Estado da Paraíba considerando a média anual em 89 anos (DCA/UFCG, 2002).

3.4 DENSIDADE DEMOGRÁFICA

A influência da densidade demográfica de uma região no consumo e a consequente produção de energia elétrica é algo que merece atenção e um estudo detalhado.

A população brasileira vem passando por um processo de transição demográfica, ao longo das últimas décadas. A dinâmica de crescimento populacional tem apresentado

significativas mudanças, especialmente no que se refere à estrutura etária da população, à sua distribuição espacial, e ao rápido processo de urbanização. O último Censo Demográfico, realizado pelo IBGE, veio comprovar que a população brasileira continua a crescer, porém a um ritmo menor, e está envelhecendo. Em termos absolutos, espera-se que o contingente populacional aumente cerca de 13 milhões de pessoas nos próximos 10 anos, com um crescimento médio de 0,6% ao ano, como pode ser observado pela Tabela 1.

Tabela 1. Brasil e Regiões. Projeção da população Total Residente (milhões de habitantes), 2012-2022 (EPE, 2013).

Ano	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro-Oeste	Brasil
2012	16.335	54.134	81.884	27.849	14.482	194.684
2017	17.155	55.964	84.529	28.653	15.220	201.521
2022	17.838	57.488	86.731	29.323	15.835	207.216
Varição (% ao ano)						
2012-2017	1,0	0,7	0,6	0,6	1,0	0,7
2017-2022	0,8	0,5	0,5	0,5	0,8	0,6
2012-2022	0,9	0,6	0,6	0,5	0,9	0,6
Estrutura de Participação (%)						
2012	8,4	27,8	42,1	14,3	7,4	100,0
2017	8,5	27,8	41,9	14,2	7,6	100,0
2017	8,6	27,7	41,9	14,2	7,6	100,0

Segundo um estudo sobre a Projeção da Demanda de Energia Elétrica, realizado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), a projeção do consumo de energia elétrica na rede, para o período 2013-2022, levando em consideração as indicações do acompanhamento e da análise do mercado e da conjuntura econômica e energética para 2012, bem como o cenário macroeconômico para o horizonte 2022, o cenário demográfico adotado para este estudo, as premissas de autoprodução e de eficiência, e ainda, as premissas relativas aos grandes consumidores industriais, possibilitam elaborar uma projeção da demanda total de eletricidade, conforme Figura 11.

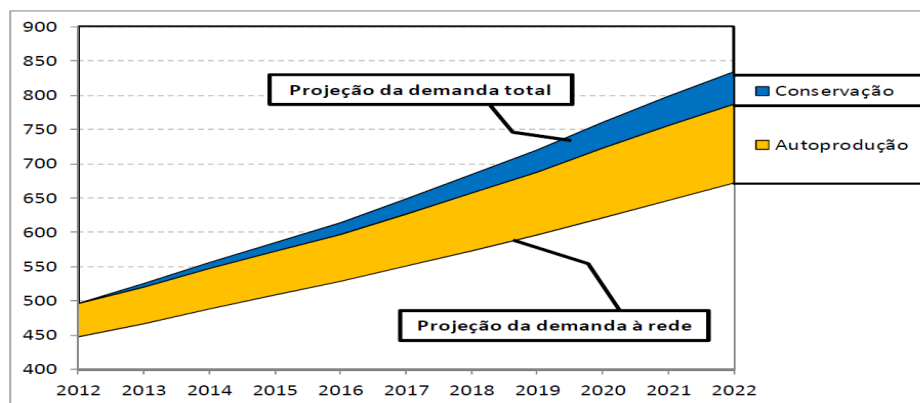


Figura 11. Projeção da demanda total de eletricidade (TWh) (EPE, 2013).

A evolução da economia nacional no sentido de uma economia mais desenvolvida, solicitando serviços e segmentos comerciais de crescente sofisticação, contribui para um crescimento acelerado do consumo de eletricidade no setor comercial. O último censo realizado pelo IBGE no Estado da Paraíba apresenta a disposição demográfica deste (Figura 12), de tal forma que se pode inserir, por características diversas (proximidade em principal), que pontos próximos aos maiores centros populacionais seriam os de maior interesse para instalação de uma unidade geradora (energia solar, em caso de estudo), uma vez que economizaria investimentos em transmissão de grandes blocos de energia.

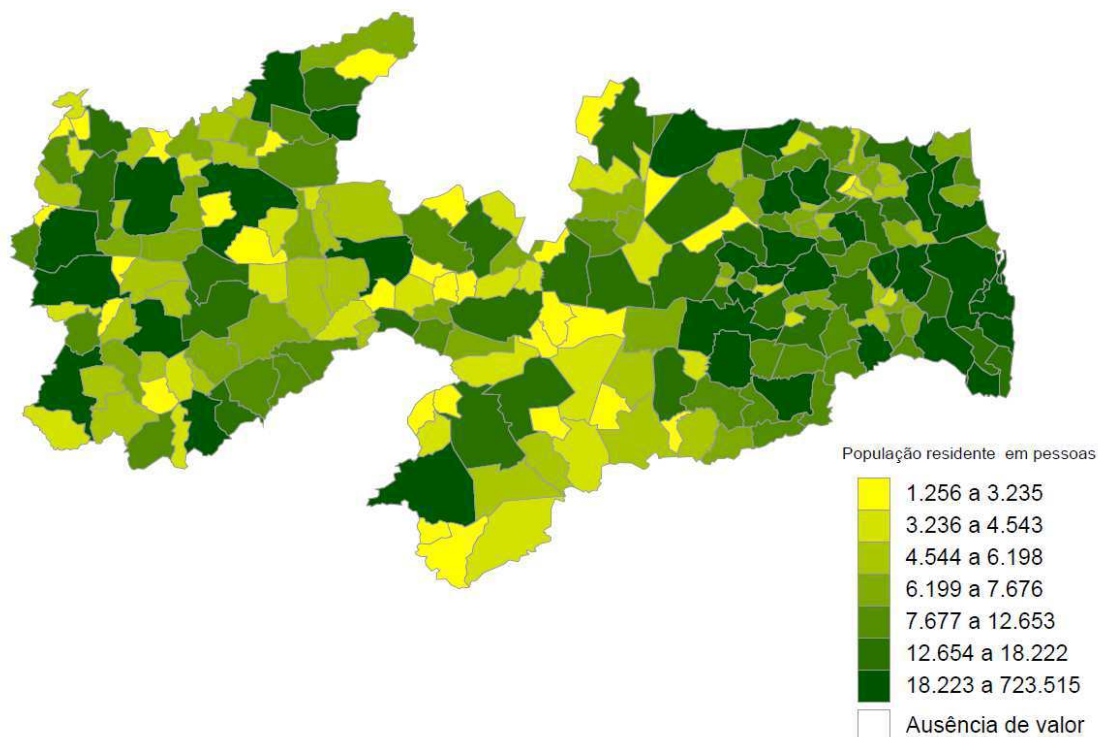


Figura 12. Mapa com a Densidade Demográfica do Estado da Paraíba em 2010 (IBGE, 2010).

3.5 HIDROGRAFIA

O levantamento geográfico de rios e açudes se faz necessário para diversas aplicações, sejam elas econômicas, sociais, culturais ou naturais. A energia solar total incidente sobre a superfície terrestre depende das condições atmosféricas (nebulosidade, umidade relativa do ar etc.), da latitude local e da posição no tempo (hora do dia e dia do ano) (ANEEL, 2008). A incidência solar em locais com acúmulo de água gera em seu ambiente próximo uma alteração na umidade (aumento desta) e consequente alteração na produtividade da geração de energia solar.

A Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE) em um documental com propostas para Inserção da energia solar fotovoltaica na matriz energética brasileira ressalta que um dos grandes problemas enfrentados na geração da energia solar é a umidade do ar. Esta afeta o funcionamento normal de alguns inversos (dispositivos usados no processo de geração da energia elétrica), sendo necessária manutenção frequente, elevando em muito os custos de operação.

Observa-se também que não há conveniência em se ter uma unidade geradora de energia solar localizada geograficamente sobre um rio, açude, lago ou similares. Sendo assim, em pontos mapeados com açudes e rios, se apresentam inviáveis para a instalação de uma usina solar. A Figura 13 apresenta os açudes e rios no Estado da Paraíba, em um levantamento realizado pela AESA em 2010.

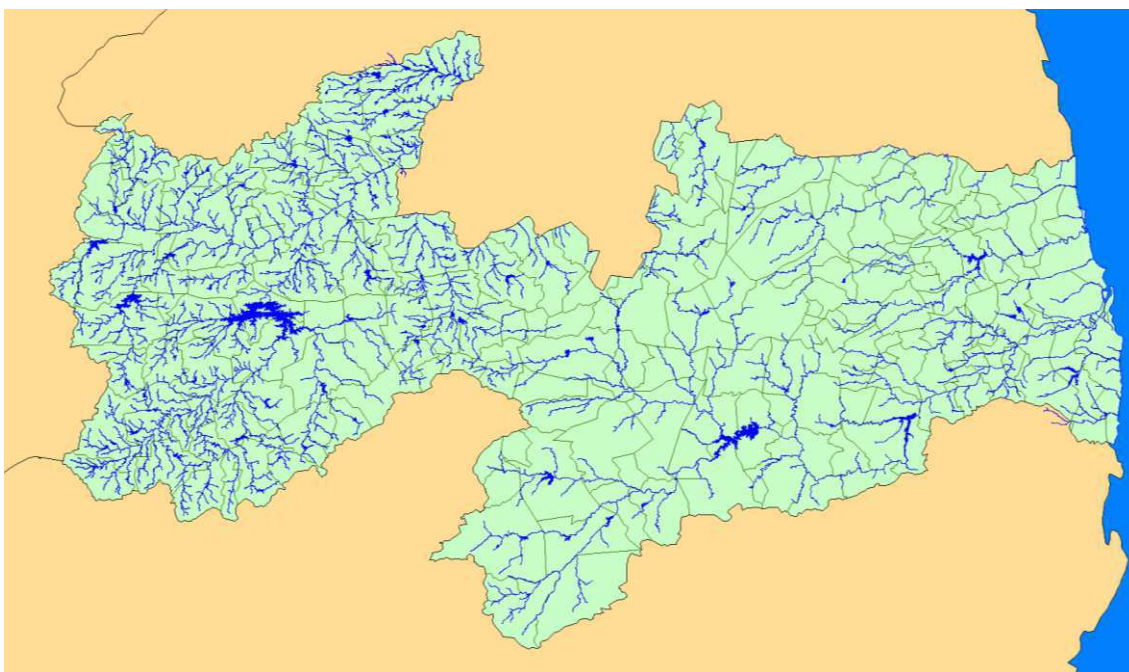


Figura 13. Mapa com os Rios e Açudes do Estado da Paraíba mapeados em 2010 (AESA, 2010).

3.6 COBERTURA VEGETAL

O contexto em que é discutida a cobertura vegetal é por excelência generalista, seja para qualquer forma de geração de energia, ou mesmo o método para a realização da mesma.

De acordo com a legislação ambiental brasileira (Lei nº 4.771 de 1965 e alterações posteriores), Área de Proteção Ambiental (APA) é aquela destinada à preservação dos recursos ambientais (fauna, flora, solo e recursos hídricos). Uma área de proteção ambiental pode apenas ter uso sustentável, ou seja, seu acesso, ocupação e exploração devem ser controlados para não prejudicar o ecossistema da área. As áreas de proteção ambiental podem ter posse e domínios público ou privado. Porém, cabe aos órgãos governamentais a fiscalização da ocupação e exploração destas áreas.

Segundo a União Internacional de Conservação da Natureza (UICN), a unidade de conservação é o principal e mais efetivo instrumento de conservação da Biodiversidade, sejam Parques, Monumentos, Reservas ou Estações com diferentes biomas como Mata Atlântica e Manguezais.

No Estado da Paraíba, a AESA realizou um levantamento em 2010 (o último realizado), sobre a cobertura vegetal do referido Estado, observar Figura 14. Essas informações são muito importantes, pois regiões com biomas e localidades incluídos pela preservação ambiental apresentam total nulidade para compor a localização ótima das instalações de usinas solares.

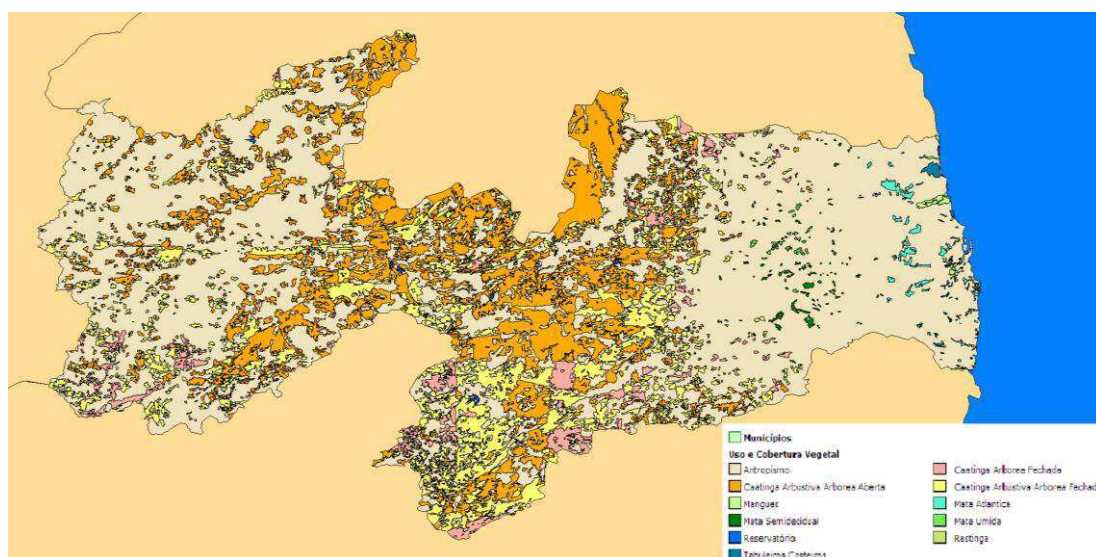


Figura 14. Mapa com a Cobertura Vegetal do Estado da Paraíba em 2010 (AESAs, 2010).

3.7 LINHAS DE TRANSMISSÃO

O sistema elétrico nacional está cada vez mais caro. O custo da rede de transmissão, responsável pela interligação de energia entre as cinco regiões brasileiras, teve um salto de 500% nos últimos dez anos, de R\$ 1,7 bilhão para R\$ 10,5 bilhões, segundo dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ESTADÃO, 2009).

O transporte de energia é um dos itens que compõem a tarifa paga por todos os brasileiros, ou seja, quem arca com os investimentos para a expansão, indiretamente, é o consumidor.

Para Luiz Pinguelli Rosa, professor do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (Coppe/UFRJ), “a remuneração paga às empresas de transmissão e repassada para as tarifas é bastante elevada para os padrões nacionais”. Além disso, acrescenta o especialista, “o sistema brasileiro virou uma colcha de retalhos, onde várias empresas operam um pedaço de transmissão, com culturas totalmente diferentes uma da outra” (O ESTADÃO, 2009).

É nesse contexto que se observa a importância da distância do ponto de geração ao ponto de consumo (cargas). É visível que regiões que tenham proximidades das linhas de transmissão, apresentem por essa característica, aspectos positivos quanto à geração de energia elétrica. No Anexo A1, está apresentado o mapa eletrogeográfico (com linhas de transmissão e distribuição) atual do Estado da Paraíba, fornecido pela ENERGISA.

3.8 OUTRAS CARACTERÍSTICAS RELEVANTES

Muitas são os fatores relacionados à geração de energia solar. Os até então discutidos principiam uma fonte confiável de estudo, porém o detalhamento baseado em critérios pré-estabelecidos pode gerar resultados ainda mais precisos.

O levantamento de características como umidade do ar, índice de radiação ultravioleta (UV), temperatura externa (WNDERLEY & CAMPOS, 2013), altimetria (medição das altitudes) e relevo podem ser adicionados ao rol taxativo de fatores que contribuem para a geração de energia solar. Neste trabalho em particular, se empregaram os fatores destacados nos itens 3.1 a 3.7.

3.9 METODOLOGIA DE PARAMETRIZAÇÃO

Todos os tópicos abordados anteriormente servem de base para fundamentar a localização de pontos ótimos para instalação de usinas solares. Com base no que já foi discutido sobre o que é apreciado e não apreciado nos diferentes mapas, cada característica apresenta um máximo e um mínimo contributivo, sem se excluir os intermediários, para uma agregação de valores sobre o potencial energético oferecido por determinada região. No trabalho em questão, muitas considerações são plausíveis de nota.

Todos os mapas foram normalizados com pesos iguais em um universo que varia de zero a cem por cento (0 % a 100 %). Regiões com valores máximos são as melhores e regiões com valores mínimos as piores. Por exemplo: no mapa eletrogeográfico, regiões muito próximas às linhas de transmissão e subestações tem peso 100 %, enquanto que o ponto do Estado que mais se distancia de qualquer linha de transmissão tem peso 0 %.

O cerne da ideia consiste em realizar um somatório N -dimensional dos mapas empregados (no caso em estudo, $N=7$), dispendo-os em camadas. Supondo que um determinado ponto geográfico tenha condições ótimas de implantação de uma usina solar em todos os mapas, teríamos no resultado final um mapa no qual este ponto valeria 700 %. Em seguida, a fim de manter a faixa original de valores, todos os pontos do mapa de saída seriam divididos por 7. A Figura 15 mostra uma forma geral para estas distribuições de valores percentuais para um conjunto N de mapas.

Vale salientar que os pesos podem ser tomados com certo grau de liberdade em decorrência de força maior de um projeto, ou seja, determinados fatores como radiação, precipitação e outros podem ter pesos maiores ou menores, e conseqüentemente por serem direcionados, influenciarem no resultado final.

As informações relativas às percentagens discutidas serão armazenadas em congruência coma utilização do código de cores *RGB* e para efeito de simplicidade, apenas na banda *R*. Esta será parametrizada de tal forma que as melhores regiões estão para os maiores valores da banda *R*, enquanto as piores, para os menores valores da mesma banda, observar a Figura 16.

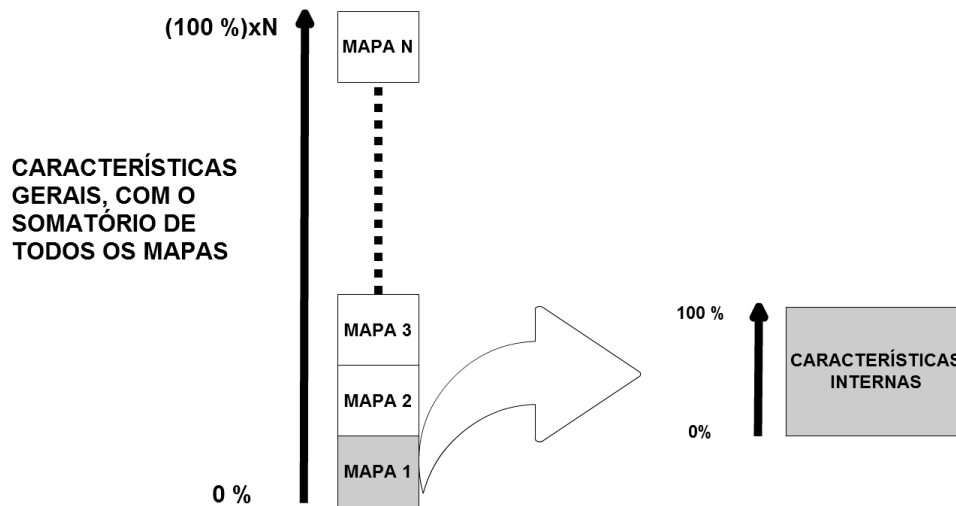


Figura 15. Esquema mostrando a distribuição de valores percentuais para um conjunto de N mapas e também suas características internas, em detalhe.

As bandas G e B , para efeito de intensidade e potencial energético, armazenam a informação quanto à quantidade de mapas em análise. Elas serão utilizadas com maior recorrência, no Algoritmo de localização que será discutido posteriormente.

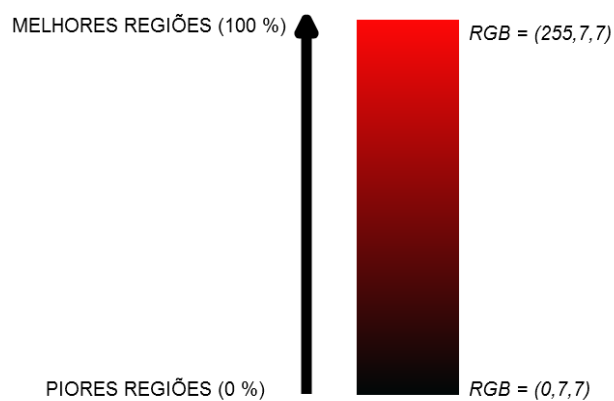


Figura 16. Esquema com a distribuição de valores percentuais em detrimento da banda R.

4 ALGORITMO DESASSISTIDO PARA LOCALIZAÇÃO ÓTIMA

Com o consentimento do conhecimento teórico a respeito de imagens, inspirado ainda no processamento digital, é que o Algoritmo Desassistido (AD) se estrutura. Várias etapas sequenciam o devido e lapidado processamento sofrido por cada mapa, no sentido de se obter um resultado passível de conclusões. Na Figura 17 são apresentados passos seguidos por cada mapa desde o original até um resultado final.

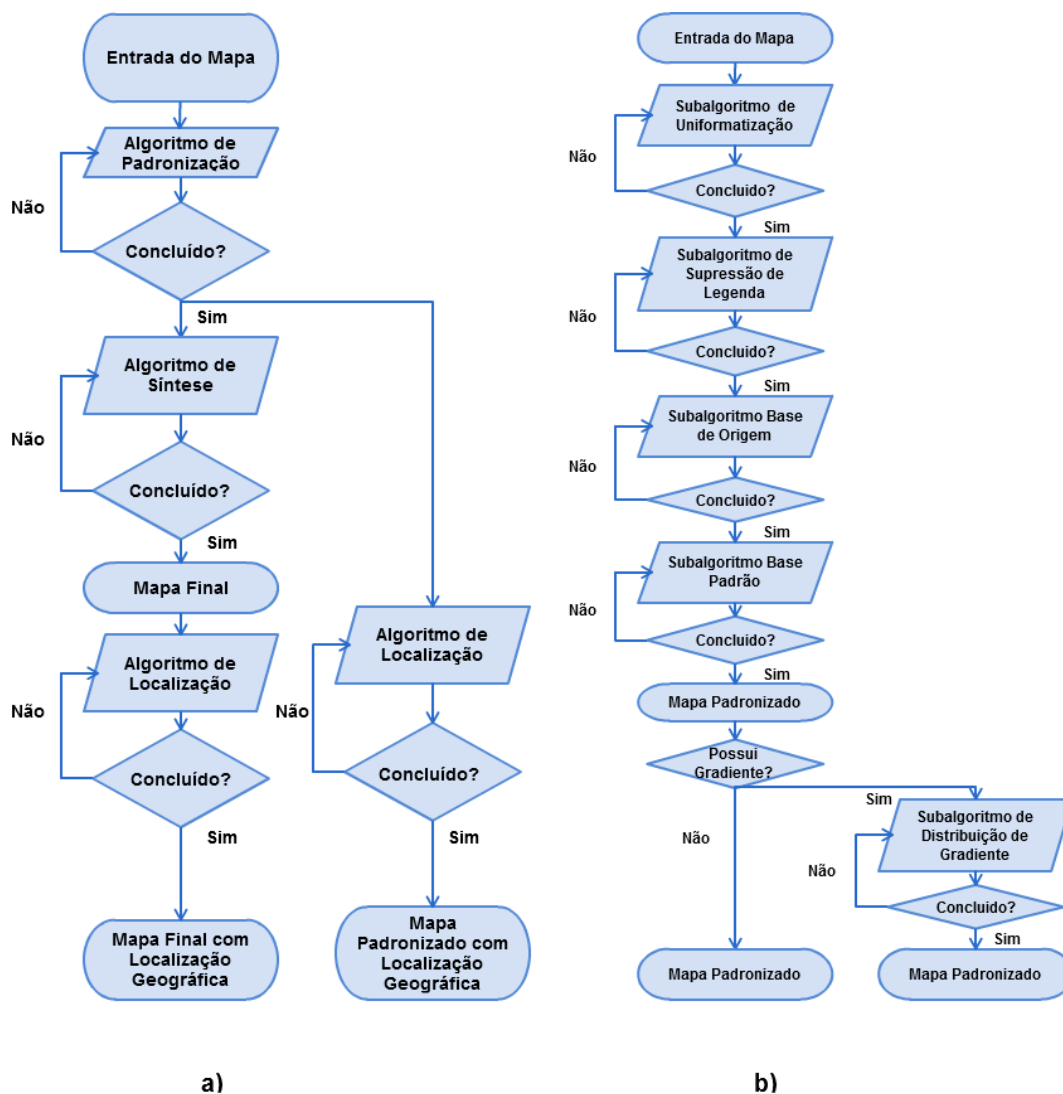


Figura 17. (a) Fluxograma do Algoritmo Desassistido; (b) Detalhe do Algoritmo de Padronização.

Cada Algoritmo e Subalgoritmo compoendo a Algoritmo principal (Algoritmo Desassistido) possuem funções essenciais e específicas, e serão discutidas detalhadamente em tópicos seguintes.

4.1 ALGORITMO DE PADRONIZAÇÃO

Cada mapa até então neste trabalho apresenta características distintas, seja dimensão, qualidade visual, distribuição de cores, entre outras. Com objetivo de permitir o somatório final de todos os mapas, eles passam por um Algoritmo de Padronização (AP), de tal forma que o resultado apresenta condições suficientes para que a sobreposição no sentido de síntese seja feita.

O AP é composto por Subalgoritmos responsáveis por atividades intermediárias, objetivando-se o resultado fim. Compõem o AP: Subalgoritmo de Uniformização (SU), Subalgoritmo de Supressão de Legenda (SSL), Subalgoritmo Base de Origem (SBO), Subalgoritmo Base Padrão (SBP) e Subalgoritmo de Distribuição de Gradiente (SDG).

4.1.1 SUBALGORITMO DE UNIFORMIZAÇÃO

Esse subalgoritmo é responsável por deixar a imagem em cores uniformes, enfatizando características de interesse ou recuperando imagens que sofreram algum tipo de degradação devido à introdução de ruído, perda de contraste ou borramento.

A natureza intrínseca do SU retrata a ideia de que determinadas faixas de cores serão preenchidas por estarem bem definidas (não existir ruído considerado), já que serão inseridas as informações pelo usuário por meio de uma legenda de cores representando cada peculiaridade dos mapas. As demais regiões serão preenchidas com as cores da legenda a partir de 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 nesta ordem), fazendo um ataque de reconstituição plurilateral.

Uma sequência exemplificativa, mostrada na Figura 18, descreve que para uma determinada região afetada pelo ruído, perda de contraste ou demais fatores degradantes. A cor cinza é assumida e então uma rotina inteligente busca recuperar a

cor original. O ataque feito à cor cinza ocorre em varias regiões do mapa em cada percurso pela matriz RGB , e o término dos ataques se dão quando não há mais nenhum *pixel* em cor desconhecida. A conclusão de que a região da imagem a ser recuperada seja preenchida pelas cores mais próximas, vem do fato que se as cores perderam, pelos motivos já discutidos, sua identificação original, então há uma grande probabilidade dessa região desconhecida ser composta pelas cores que a circundam.

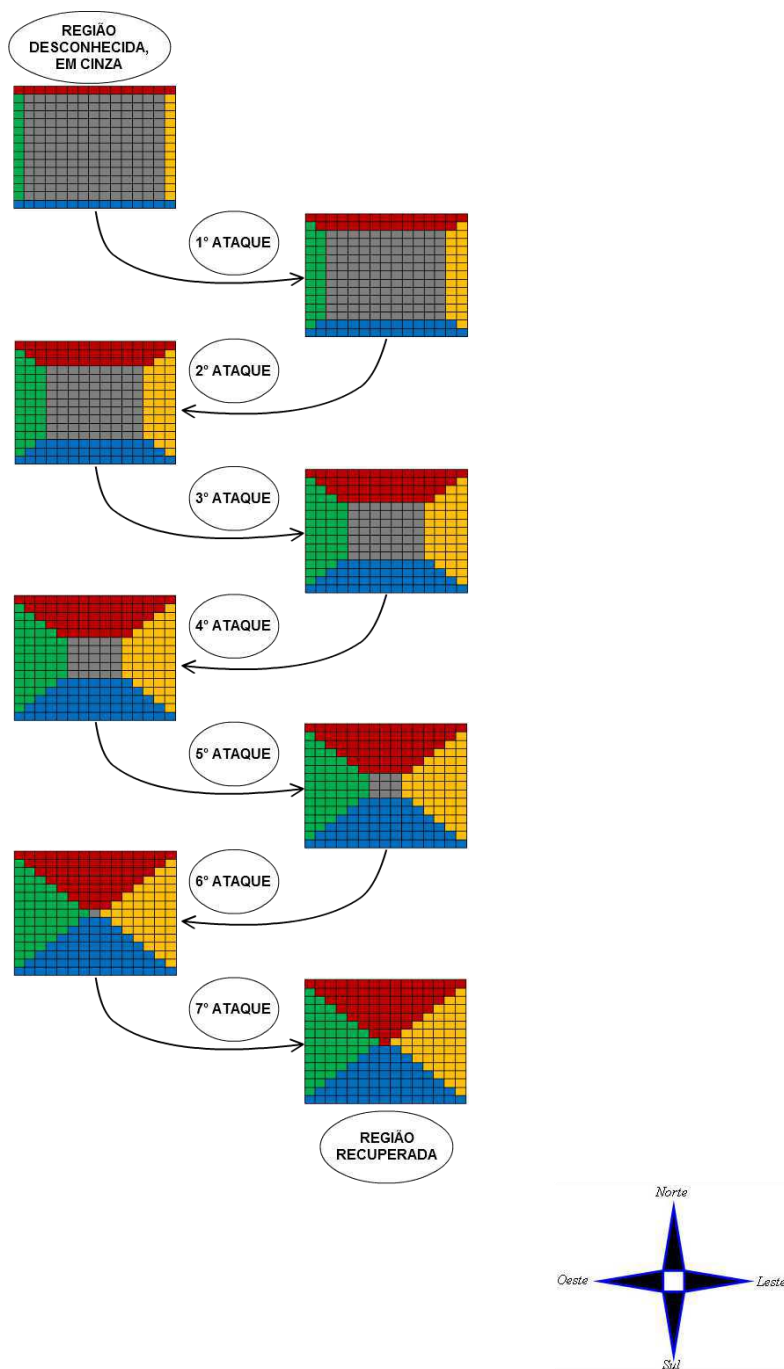


Figura 18. Ilustração da principal função do Subalgoritmo de Uniformização.

4.1.2 SUBALGORITMO DE SUPRESSÃO DE LEGENDA

Após a imagem ser devidamente processada pelo Subalgoritmo de Uniformização, ela apresentará ainda a legenda informativa inicial. Para efeitos futuros indesejados, ou seja, para que a sobreposição dos mapas diversos não decorra em erros singulares sobrepostos às regiões de legenda, o Subalgoritmo de Supressão de Legenda realiza sua eliminação.

O que ocorre é um percurso pela imagem matricial, buscando a identificação de uma região que não possua vínculo com a imagem do mapa em processamento. Assim qualquer região que esteja fora do mapa será descartada, garantindo então o correto e sequencial processamento.

4.1.3 SUBALGORITMO BASE DE ORIGEM

O processamento desenvolvido nos mapas pelos outros algoritmos não prestigiam uma origem para os mapas. Observa-se que pelo fato dos mapas serem de fontes distintas e apresentarem informações e em principal para este subalgoritmo, escalas diferentes, é necessário ter uma origem para todos os mapas. Logo a principal função do Subalgoritmo Base de Origem é definir em os mapas matriciais uma origem comum de trabalho, para que tudo que possa ser desenvolvido possa ter uma referência padrão.

4.1.4 SUBALGORITMO BASE PADRÃO

Com todos os mapas uniformizados, contendo apenas as cores efetivamente válidas para análise e em uma base de referência, é que o Subalgoritmo Base Padrão atua. Sua principal função é realizar a padronização de todos os mapas, em escala, tamanho, inclusive fazer com que todos possuam exatamente o mesmo número de *pixels*.

Primeiramente foi escolhido um mapa que reproduzisse o mais fielmente os contornos do Estado da Paraíba. Esse mapa base padrão possui um número L_{base} de linhas e C_{base} de colunas, e uma quantidade Q_{base} de *pixel* sem 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, se

adaptar a dimensão, e por excesso e contenção ao tamanho, como mostrado na Figura 19.

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 esse número. O excesso ou retenção ocorrem simultaneamente no mesmo processo afim de que a área ocupada por cada mapa seja igual ao do mapa padrão, isso reflete na quantidade de *pixels* e nas suas respectivas posições na matriz *RGB*.

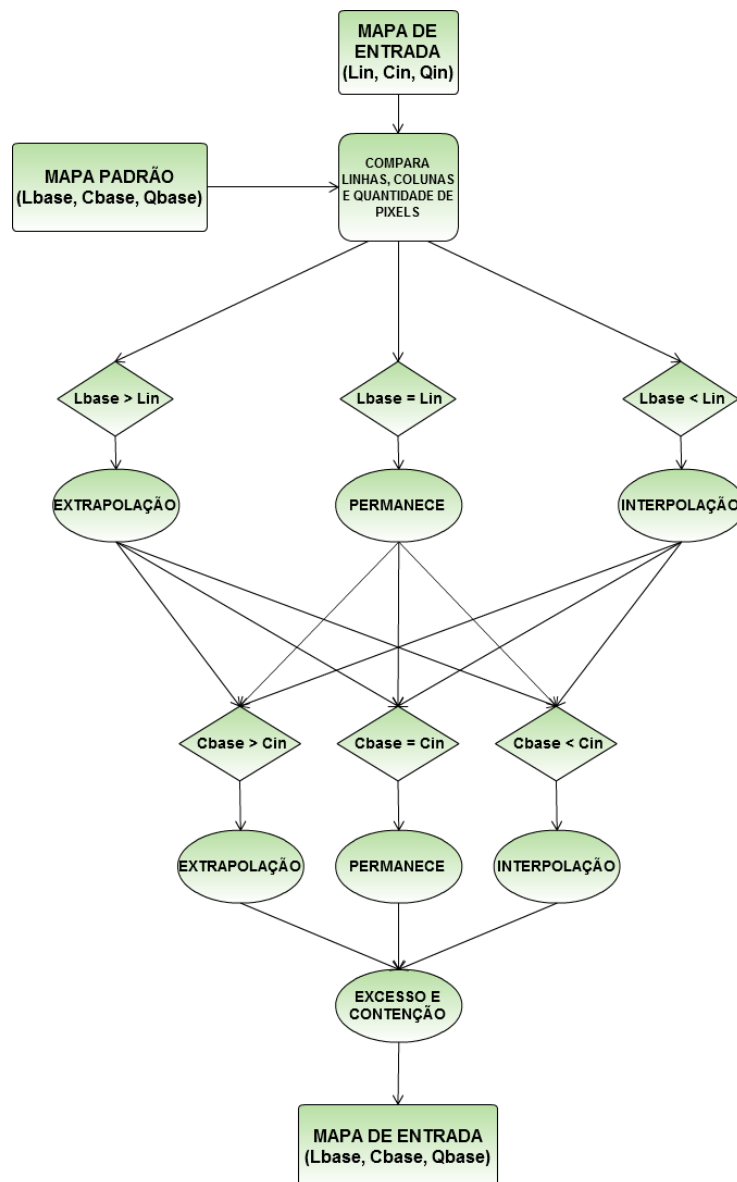


Figura 19. Fluxograma do Subalgoritmo Base Padrão.

Com o mapa de entrada estando em perfeita conformidade com o mapa padrão, e logo com todos os mapas que passarem por essa etapa, já há possibilidade de se ter o

término do Algoritmo de Padronização. Para a total conclusão da padronização se faz um teste para determina se a imagem deve ser analisada por gradiente ou não. O tratamento referente ao gradiente será lapidado pelo Subalgoritmo de Distribuição de Gradiente.

4.1.5 SUBALGORITMO DE DISTRIBUIÇÃO DE GRADIENTE

No contexto da geração de energia e do geoprocessamento, existem fatores que levam em consideração não apenas características pontuais, mas sim como se dá a distribuição destas ao longo de toda a disposição geográfica em análise. Partindo dessa premissa o Subalgoritmo de Distribuição de Gradiente é responsável por tratar informações e distribuí-las de forma contínua ao longo de todo o mapa matricial.

A título de exemplificação, o mapa Eletro-geográfico, que trata a localização de linhas de transmissão e distribuição, firma em seu potencial por questões já discutidas neste trabalho, que regiões próximas às linhas tendem a ter uma maior desenvoltura na geração de energia, ao contrário de regiões distantes. Assim o Subalgoritmo de Distribuição de Gradiente identifica e elabora uma distribuição contínua do gradiente nessa região. A Figura 20 mostra para o Estado da Paraíba a ação do SDG.

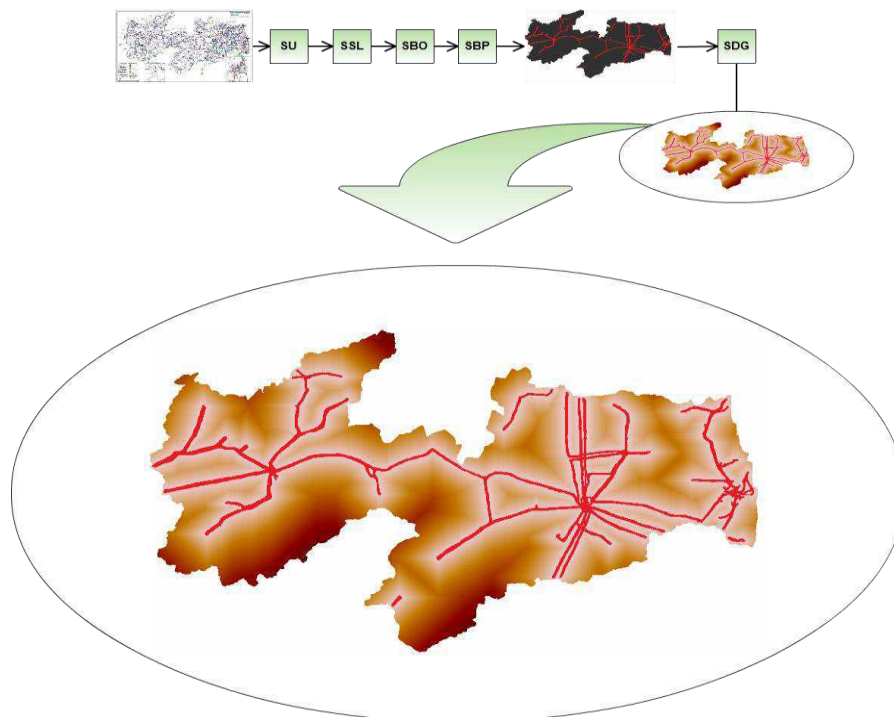


Figura 20. Funcionalidade do SDG para o mapa eletrogeográfico do Estado da Paraíba.

Como pode ser observado, o gradiente aparece com maior intensidade próximo as linhas de transmissão (cores mais claras), e com menor intensidade em regiões mais afastadas (cores mais escuras). As áreas em vermelho representam as linhas de transmissão.

4.2 ALGORITMO DE SÍNTESE

Após o término do Algoritmo de Padronização todos os mapas estão prontos para uma nova etapa. Os mapas individualmente não traduzem a informação desejada, ou seja, o local provável de melhor localização para instalação de usinas solares, a não ser que por força maior de um projeto sejam considerados um ou poucos fatores. Pensando nisso é que o Algoritmo de Síntese (AS) elabora a sobreposição dos mapas de modo que se obtenha um mapa final com dados analíticos. A Figura 21 faz menção à síntese feita pelo AS.

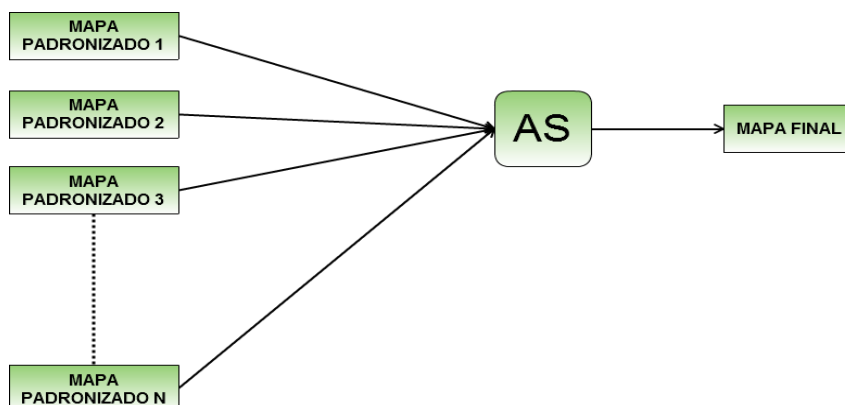


Figura 21. Funcionalidade do Algoritmo de Síntese em função da entrada de vários mapas.

4.3 ALGORITMO DE LOCALIZAÇÃO

O mapa final processado com as diversas tonalidades contendo os locais ótimos ainda não possui vínculo espacial com a localização real de cada região. Logo a função principal do Algoritmo de Localização (AL) é fazer a ligação direta de todos os pontos do mapa matricial com dados de Latitude e Longitude, dando assim a posição geográfica de cada ponto do mapa. Esses dados são armazenados por conveniência, nas

bandas *G* e *B* do código de cores, já que a banda *R* retrata o potencial energético das regiões diversas.

Utilizando pontos extremos de Latitude e Longitude para o mapa da Paraíba, 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 local. Essa conversão se baseia em variações dos dois extremos tanto para a Latitude e Longitude e suas respectivas variações em relação às linhas e colunas do mapa padrão.

5 RESULTADOS

Com base na discussão acerca de cada fator que pode afetar a geração de energia solar e a sua consequente localização geográfica e com base no Algoritmo Desassistido é possível traçar uma localização ótima para o estudo de caso ao qual se destina esse trabalho. A Figura 22 apresenta um resumo do processamento digital de imagens, sugerindo um resultado final, ou seja, o mapa final.

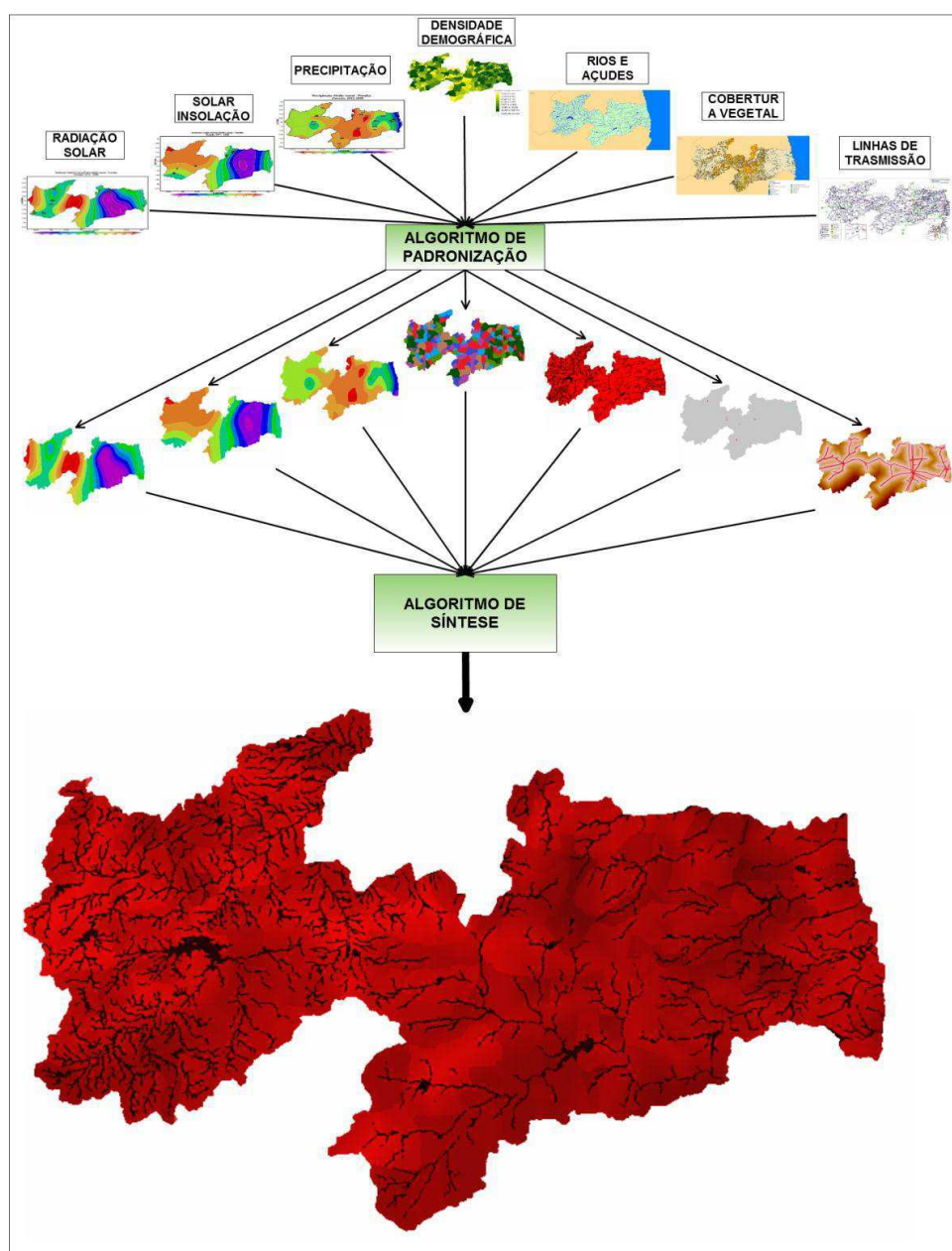


Figura 22. Ilustração do mapa final devidamente processado.

Do diagrama anteriormente exposto, e com base na metodologia de parametrização se observa 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 apreciáveis. Pode-se notificar visualmente que os rios e açudes e alguns tipos de vegetações apresentam valores mínimos, ou seja, 0 % de apreciabilidade. Isto se deve ao fato dessas regiões serem excludentes para o contexto da energia solar, independente das outras características apresentarem alguma positividade nessas áreas.

Para melhor visualização do resultado final, agregando sempre as diversas possibilidades (que podem ser oferecidas pelo *MATLAB*), é que um estudo de contorno, e uma agregação de valores em três dimensões (*3D*), aperfeiçoam a experiência de visualização da Figura 22. Com relação às análises cabíveis ao contorno, a Figura 23 explana tal detalhamento, mostrando que regiões em vermelho escuro são as melhores, como pode ser observado pela palheta ao lado do mapa.

Quanto à imagem em *3D*, a Figura 24 detalha a sobreposição ocorrida em processamentos anteriores, dando ênfase ao resultado tanto apresentado pelo mapa final, quanto ao contorno do mesmo. É bastante visível que algumas regiões se sobressaem, assim como há afundamentos, mostrando o quanto elas são obsoletas.

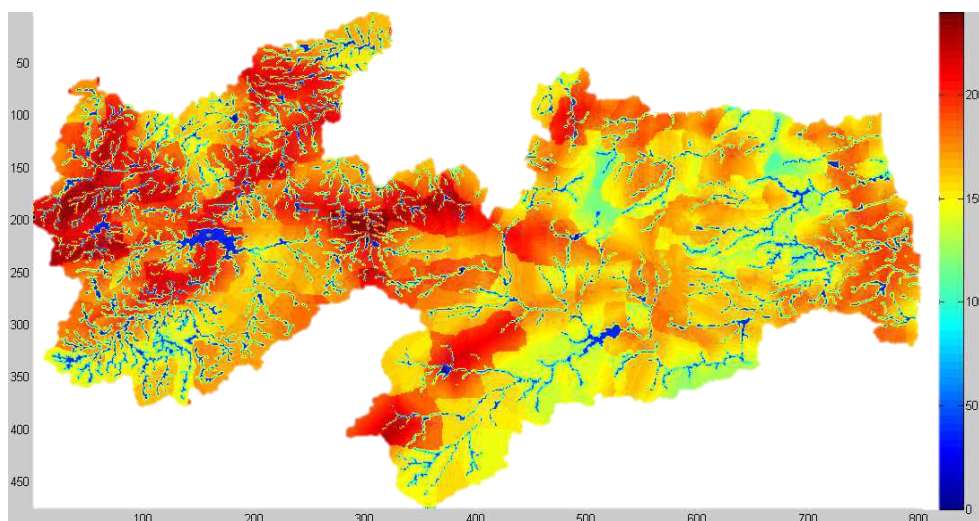


Figura 23. Mapa em contorno do mapa final.

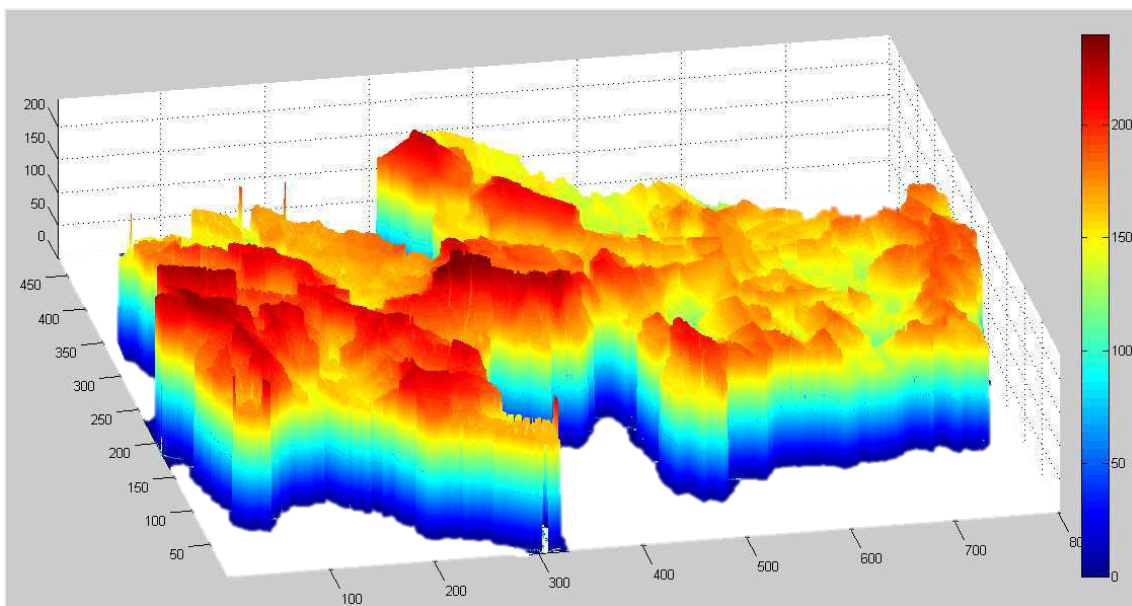


Figura 24. Vista tridimensional do mapa final, enfatizando a sobreposição das regiões.

Com todos esses efeitos visuais, e com apoio do Algoritmo de Localização, é possível levantar as principais regiões de destaque nesse cenário. A Tabela 2 relata as regiões com maiores potenciais energéticos solares em proximidade as cidades em destaque. São apresentadas as intensidades de o quanto uma região é boa, em porcentagens, como discutido na metodologia de parametrização. Com isso todos os resultados propostos no início deste trabalho foram obtidos, não excluindo outras análises que podem ser feitas.

Tabela 2. Regiões do Estado da Paraíba com maiores potenciais energéticos solares.

Regiões com proximidade às Cidades de	Intensidade do Potencial Energético (%)
Patos	95,34
Cajazeiras	93,65
Santa Luzia	90,47
Souza	89,23
São José de Piranhas	89,23
Monteiro	88,89
Pombal	87,30
São João do Rio do Peixe	87,30
Catolé do Rocha	86,50
Sumé	85,32
Coremas	83,33
Soledade	80,95

6 CONCLUSÕES

Neste trabalho apresentou-se um algoritmo não assistido de localização de regiões propícias à instalação de usinas solares, fotovoltaicas ou heliotérmicas. Demonstrou-se que a identificação de localidades com potencial para geração de energia elétrica a partir da energia solar pode ser, do ponto de vista técnico, representada por um levantamento de mapas referentes às características afins, uma vez que se desenvolveu o recurso computacional de localização ótima.

Como estudo de caso, a localização de pontos ótimos no Estado da Paraíba para instalação de usinas solares, certificou dentro de critérios estabelecidos arbitrariamente e de forma não viciada, que o Estado em questão possui regiões com alto potencial energético. Em razão disso e destacando-se o uso de fontes não polarizadas, o estudo fornece uma base teórica agregada de contribuições tanto para investimentos governamentais como privados, cada qual com seus instintos sociais e econômicos.

As ferramentas auxiliares de trabalho, quando devidamente manuseadas, permitem e facilitam todas as atividades, análises e procedimentos. Com o Algoritmo Desassistido para localização ótima não é diferente. A automatização das ações, velocidade e exatidão são características buscadas pela dinâmica moderna. Não muito longe disso, a preocupação com a demanda energética reflete uma busca maior pela diversificação de fontes geradoras e principalmente onde e como consegui-las. Como foi visto, o algoritmo desenvolvido em tela supre tais fundamentos e o estudo de caso demonstra isso.

Fundamentou-se ainda a importância do geoprocessamento no contexto energético, e que dados bem lapidados podem ser instrumentos valiosíssimos na tomada de decisão.

BIBLIOGRAFIA

ACHARYA, T. & RAY, A. K. *Image Processing- Principles and Applications*. John Wiley & Sons, Inc. 2005.

FORSYTH, D. & PONCE, J. *Computer Vision: A modern approach*. Prentice Hall, 2001.

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

COSTA, E. G & MOREIRA, V. D. & FERREIRA, T. V. *Laboratório de Instalações Elétricas. Guia Experimental de Fotometria*. Agosto de 2008.

JOHN, C. & RUSS. 3rd Ed. 1998.

RENCZ, A. N. & RYERSON, R. A. (Eds.) *Manual of Remote Sensing, Remote Sensing for the Earth Sciences*. John Wiley & Sons, 3rd ed. Inc. 1999.

HANSEN, C. D. & JOHNSON, C. R. *Visualization Handbook*. Elsevier, 2005.

BANKMAN, I. (Ed.) *Handbook of Medical Imaging: Processing and Analysis*. Academic Press, 2000.
 QUEIROZ, J. E. R. & GOMES, m. H. *Introdução ao Processamento Digital de Imagens*. Universidade Federal de Campina Grande – UFCG.

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

BATISTA, L. V. *Introdução ao Processamento Digital de Imagens*, 2005.

BANON, G. J. F. *Formal Introduction to digital image processing*. INPE, São José dos Campos Julho de 2000.

BRITO, S. F. & CARVALHO, J. M. *Sistemas de Processamento digital de imagens para Fins didáticos/científicos: Estudo, seleção e implementação de algoritmos de segmentação*. Relatório de iniciação científica. Agosto de 1998.

COMETTA, Emilio. *Energia Solar utilização e empregos práticos*. São Paulo: Editora Hemus Editora Ltda, 2004.

MARIA, L. G. F. *Processamento Digital de Imagens*. INPE, Junho de 2000.

MASCARENHAS, N. A. & VELASCO, F. R. D. *Processamento Digital de Imagens*. Ministério da ciência e Tecnologia -MCT. Instituto de Pesquisa Espaciais - INPE. Janeiro de 1989.

POMARES, L. F. & PÉREZ, A. V. & Gámez, 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.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). *Atlas de Energia Elétrica do Brasil*. Brasília. 1º ed. 2002.

DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ATEMOSFÉRICAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE (DCA/UFCG). *Mapa de Radiação Global do Estado da Paraíba*. 2002.

FÁTIMA, M. O. S & SOUZA, K. O. F & MACHADO, A. M. *Movimento Anual do Sol*. 2001.

DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ATEMOSFÉRICAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE (DCA/UFCG). *Mapa de Insolação Solar Global do Estado da Paraíba*. 2002.

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

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.

DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ATEMOSFÉRICAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE (DCA/UFCG). *Mapa de Precipitação Global do Estado da Paraíba*. 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Censo demográfico*. 2010.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). *Projeção da Demanda de Energia Elétrica*. 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). *Atlas de Energia Elétrica do Brasil*. Brasília. 3º ed. 2008.

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

AGÊNCIA EXECUTIVA DO ESTADO DA PARAÍBA (AESAs). *Rios e Açudes do Estado da Paraíba*. 2010.

AGÊNCIA EXECUTIVA DO ESTADO DA PARAÍBA (AESAs). *Cobertura Vegetal do Estado da Paraíba*. 2010.

ESTADÃO, *Custo da Transmissão sobe 500 % em 10 anos*. 23 Novembro de 2009.

ENERGISA. *Mapa Eletro-geográfico do Estado da Paraíba*. Junho de 2013.

MATLAB. *Toolbox de Processamento de Imagens*. 2013

ANEXO A1

MAPA ELETROGEOGRÁFICO DO ESTADO DA PARAÍBA.

