

**Método de análise hierárquica para suporte à decisão na localização de instalações geradoras de energia solar fotovoltaica no estado de Sergipe****Hierarchical analysis method for decision support in the location of photovoltaic solar energy generating facilities in the state of Sergipe**

Recebimento dos originais: 18/06/2019

Aceitação para publicação: 16/07/2019

**Ana Laura Brasileiro Santos**

Titulação: Engenheira Eletricista pela Universidade Federal de Sergipe

Instituição: Universidade Federal de Sergipe - UFS

Endereço: Rua Engenheiro Antonio Gonçalves Soares, 135. Ap 1504, bl B.Bairro Luzia. Aracaju, Sergipe - Brasil

E-mail: analaurabrasileiro@gmail.com

**Duan Vilela Ferreira**

Titulação: Especialista em Gestão Empresarial pela Fundação Getúlio Vargas

Instituição: NA

Endereço: Av. Gonçalo Rolemberg Leite, 1400. Aracaju, Sergipe. Brasil.

E-mail: duanvilela@gmail.com

**Laís Gomes Barbosa da Silva;**

Titulação: Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Pernambuco - CAA;

Instituição: Universidade Federal de Pernambuco - Centro Acadêmico do Agreste - UFPE - CAA;

Endereço: Rua A, 36B - Loteamento Jardim Costa Mar - Zona de expansão, Aracaju - Sergipe - Brasil;

E-mail: laisgomesb@gmail.com.

**Matheus Santos Macedo**

Titulação: Bacharel em Engenharia Mecatrônica pela Universidade Tiradentes - Unit

Instituição: Universidade Federal de Sergipe - UFS

Endereço: Rua Matilde Silva Lima, 81 - Luzia, Aracaju - Sergipe, Brasil

E-mail: teusmacedo@gmail.com

**Tarso Vilela Ferreira**

Titulação: Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Campina Grande

Instituição: Universidade Federal de Sergipe (UFS)

Endereço: Rodovia SE-100, 7500. Barra dos Coqueiros, Sergipe, Brasil.

Email: tarso@ufs.br

**RESUMO**

A busca por fontes de energia renovável faz parte do contexto econômico e social brasileiro no sentido de melhorar capacidade de geração, flexibilizar a matriz energética para acompanhar o constante crescimento da demanda. A obtenção de energia elétrica a partir de painéis fotovoltaicos tem sido uma das alternativas neste processo e é realizada em instalações comumente chamadas de usinas (ou parques) solares fotovoltaicos. Os parques solares apresentam uma construção relativamente simples

e rápida, porém, para uma melhor captação da energia solar e rendimento requerem instalações complexas e custosas. Sendo assim, é indispensável realizar um estudo de viabilidade antes de selecionar um local para a implementação. Dentro deste estudo, destaca-se a influência da escolha da localização da usina solar. Neste sentido, este trabalho apresenta uma avaliação das potenciais regiões do estado de Sergipe que apresentam parâmetros mais atrativos para a instalação de usinas solares. Para a escolha da alternativa mais favorável em relação aos critérios considerados para a instalação da usina solar foi aplicado o método de decisão multicritério de análise hierárquica (AHP) baseado em dados gerados no processamento digital de imagens. Os resultados obtidos mostram a possibilidade de avaliação das localidades com base nos métodos aplicados, baseados em uma estrutura analítica de apoio à decisão.

**Palavras-chave:** Usinas solares, Método AHP, Processamento Digital de Imagens, tomada de decisão.

## ABSTRACT

The search for renewable energy sources is part of the Brazilian economic and social context in order to improve generation capacity, flexibilize the energy matrix to keep up with the constant growth of demand. Obtaining electricity from photovoltaic panels has been one of the alternatives in this process and is carried out in facilities commonly called photovoltaic solar plants (or parks). Solar parks are relatively simple and fast to build, but for better solar energy capture and throughput they require complex and costly installations. Therefore, a feasibility study is indispensable before selecting a site for implementation. Within this study, we highlight the influence of the choice of solar plant location. In this sense, this paper presents an evaluation of the potential regions of the state of Sergipe that present more attractive parameters for the installation of solar plants. In order to choose the most favorable alternative in relation to the criteria considered for the installation of the solar plant, the multi-criteria hierarchical analysis (AHP) decision method based on data generated in digital image processing was applied. The obtained results show the possibility of evaluation of the localities based on the applied methods, based on an analytical decision support structure.

**Keywords:** Solar Plants, AHP Method, Digital Image Processing, decision making.

## 1. INTRODUÇÃO

As necessidades energéticas de qualquer país com um crescimento minimamente positivo estão em constante incremento. Isto ocorre devido a diversos fatores, como por exemplo o crescimento da população ou o aumento do poder aquisitivo das pessoas, que tendem a adquirir mais bens de consumo e elevar o consumo energético per capita. Na sequência desta cadeia, haverá contribuição para o crescimento dos setores industrial, comercial e de serviços. Para acompanhar o desenvolvimento social e econômico de um país é imprescindível investir na robustez e capacidade de fornecimento de sua matriz energética.

O Brasil possui uma matriz energética formada por 81,7% de sua produção proveniente de fontes de energia renováveis, tais como: hidráulica, biomassa, nuclear, eólica e solar. Sendo o recurso hidráulico responsável pela geração de 68,1% da sua matriz energética. (EPE, 2017) Mas com o crescimento do país, a hidroeletricidade está chegando no seu potencial máximo, logo, será necessário

investir em novas fontes de produção de energia elétrica para diversificar a matriz energética. Para tanto, é importante investir em novas fontes de energia renováveis, como por exemplo, as que se baseiam na geração eólica e na geração solar. Considerando a geração solar, destacam-se as usinas fotovoltaicas como mais empregadas no Brasil.

A construção de empreendimentos de geração solar apresenta altos custos, principalmente para usinas solares de grande porte. Após a fase de implantação, tem-se que o principal insumo é a radiação solar, e esta varia de forma descontínua e de acordo com o local, a hora do dia e a estação do ano. Desta forma, a seleção de um local de implantação é parte crucial na viabilidade técnica-econômica de uma planta fotovoltaica. É importante salientar que não existem regras formalmente definidas para a escolha de uma localidade para a realização de um projeto fotovoltaico. Os fatores envolvidos no processo de escolha podem relacionar-se com aspectos meteorológicos, geográficos, hídricos, políticos, dentre vários outros. Assim, técnicas que permitam avaliar quantitativamente e de forma multiparamétrica a aptidão de determinada região territorial à implantação de usinas solares podem ser vantajosas no processo.

A tomada de decisão deve resultar na opção que apresente a melhor avaliação em relação às expectativas do decisor, considerando as relações entre os critérios a serem atendidos. Logo, o processo decisório consiste em definir uma alternativa entre várias alternativas disponíveis. Os métodos multicritérios permitem ao decisor avaliar um problema de múltiplos objetivos de forma integrada. Muitas vezes esses objetivos podem ser conflitantes ou apresentar unidades de medida diferentes e, ainda assim, os métodos multicritérios proporcionam clareza e transparência ao processo decisório.

Diante do exposto, esse trabalho teve como objetivo a avaliação das potenciais regiões do estado de Sergipe com base em parâmetros técnicos mais atrativos para a instalação de usinas solares. Para tanto, dois métodos foram aplicados, sequencialmente. No primeiro método, proposto por Oliveira Neto (2014), as informações de entrada necessárias foram coletadas a partir de mapas nos quais são representados os parâmetros (critérios) de interesse. Contudo, visto que este método isoladamente não leva em consideração a decomposição e análise das relações entre os critérios, procedeu-se a aplicação do método da Análise Hierárquica (*Analytic Hierarchy Process*, AHP). De acordo com Almeida (2013), o método AHP é baseado na decomposição e análise das relações entre os critérios, até que se obtenha a priorização das alternativas, aproximando os resultados da melhor resposta de medição única de desempenho.

## **2. REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1. ENERGIA SOLAR - HISTÓRICO E EVOLUÇÃO NO BRASIL**

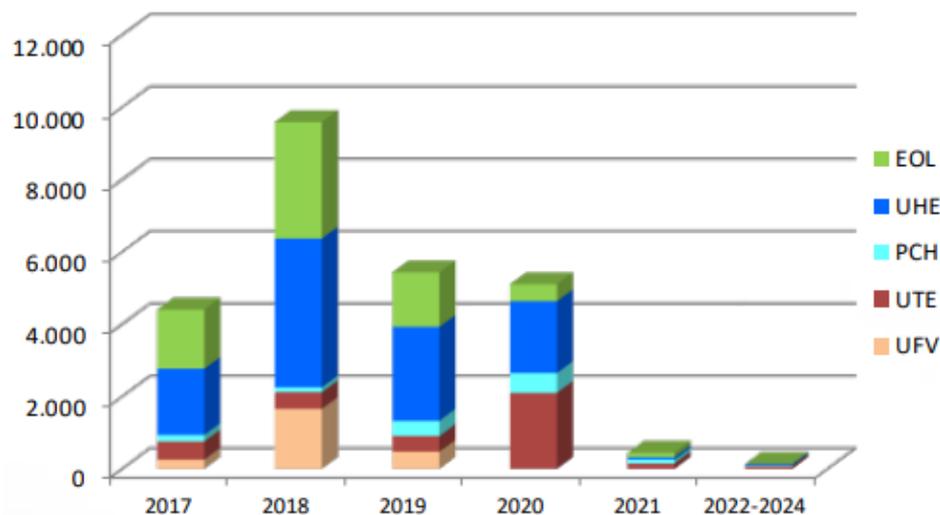
No Brasil, a energia solar fotovoltaica era restrita a pequenos sistemas isolados em locais não atendidos pela rede elétrica, em regiões de difícil acesso ou em locais onde a instalação de linhas de distribuição de energia elétrica eram economicamente inviáveis (VILLALVA, 2012). Logo, o crescimento da geração de sistemas fotovoltaicos autônomos ocorreu devido a criação de diversos programas para a eletrificação de propriedades rurais e de comunidades isoladas.

A entrada da geração fotovoltaica no Brasil teve como marco a publicação da Resolução nº 482 da ANEEL, publicada em 17 de abril de 2012, pois obrigou as concessionárias de energia elétrica a aceitar a entrada de sistemas próprios de geração fotovoltaica em suas redes de distribuição de eletricidade. Então, é estabelecido por esta resolução que cada cidadão brasileiro ou empresa poderá ter sua própria usina fotovoltaica (VILLALVA, 2012).

A instalação de usinas fotovoltaicas no Brasil, no que se refere a uma primeira planta, foi um empreendimento de iniciativa privada com uma potência de um megawatt-pico, sendo inaugurada em 2011 no município de Tauá, CE (CRESESB, 2014). Ainda em 2011, a ANEEL desenvolveu um projeto estratégico denominado “Arranjos técnicos e comerciais para a inserção da geração solar fotovoltaica na matriz energética brasileira” (CRESESB, 2014).

A previsão de entrada em operação de novas usinas para a geração de energia elétrica nos próximos sete anos é mostrada na Figura 1. Com base neste gráfico, é possível notar a previsão de entrada de uma potência de 2.980,5 *megawatts* para a geração de Usinas Solares Fotovoltaicas (UFV) entre os anos de 2017 e 2019. Percebe-se ainda que o ano de 2018 possui o maior aumento da capacidade instalada para este tipo de geração, correspondendo a 1.658,9 *megawatts*.

Figura 1 - Previsão de entrada em operação de novas usinas



Fonte: Aneel (2017)

## 2.2. ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP)

O método multicritério *Analytic Hierarchy Process* (AHP) surgiu no final da década de 60 e foi desenvolvido pelo matemático Thomas L. Saaty, que trabalhava para um setor do Estado Americano. Forman e Selly (2002) *apud* Briozo e Musetti (2015) afirmam que a motivação para desenvolver um método de apoio à tomada de decisão surgiu pelo fato de Saaty observar a dificuldade de comunicação entre os membros do governo americano. Assim, o método foi desenvolvido visando modelar problemas do cotidiano das pessoas, visto que estas tomam decisões sem necessariamente ter a noção exata da importância dos critérios utilizados.

O processo de hierarquia analítica subdivide um problema complexo de tomada de decisão em níveis e os organiza em uma ordem hierárquica. Em cada nível os componentes são confrontados entre si por meio de comparação de pares. Isso é efetuado através de avaliações em escala semântica de cinco níveis, tendo nove níveis no total, pois em caso de hesitação do decisor, valores intermediários podem ser considerados. Os níveis são apresentados no Quadro 1, visto abaixo (ALMEIDA, 2013).

Quadro 1 - Escala de comparação de pares

1	As duas alternativas contribuem igualmente para o atingimento da meta.
3	Uma das alternativas tem uma importância pequena em relação a outra.
5	Uma das alternativas é fortemente mais importante que a outra.
7	Uma das alternativas é muito mais fortemente importante que a outra.
9	Uma das alternativas possui importância absoluta em relação a outra.
2, 4, 6 e 8	Valores intermediários.

Fonte: adaptado de Saaty (1990)

As matrizes pareadas são construídas a partir das avaliações baseadas na escala de Saaty. A figura abaixo demonstra a matriz padrão para a realização das comparações.

Figura 2 - Matriz pareada

$$A = \begin{vmatrix} 1 & \alpha_{12} & \dots & \alpha_{1n} \\ 1/\alpha_{12} & 1 & \dots & \alpha_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/\alpha_{1n} & 1/\alpha_{2n} & \dots & 1 \end{vmatrix}$$

Fonte: Adaptado de Saaty (1990)

Após a construção das matrizes é realizada a etapa de obtenção dos autovetores, que são definidos como a média de cada linha, sendo calculado por meio da soma dos elementos de cada linha da matriz normalizada e da divisão desta soma pelo número de elementos na linha.

Através dessas comparações por pares, as prioridades são calculadas e capturam medidas subjetivas e objetivas, demonstrando a intensidade de domínio de um critério sobre o outro e assim, de uma alternativa em relação a outra. Saaty (1990) afirma que essa priorização envolve evidenciar julgamentos em relação à dominância de um elemento sobre outro quando comparados a um critério específico.

Neste método deve-se calcular a Razão de Consistência dos julgamentos, denotada por:

$$RC = IC/IR$$

em que IR é o Índice de Consistência obtido para uma matriz recíproca de ordem n, com elementos não-negativos e gerada randomicamente, conforme a Tabela 1. O Índice de Consistência (IC) é dado por  $IC = (\lambda_{\text{máx}} - n)/(n-1)$ , em que  $\lambda_{\text{máx}}$  é o maior autovetor da matriz de julgamentos. A condição de consistência dos julgamentos é  $RC \leq 0,10$ . (OLIVEIRA & SAMED, 2015)

Tabela 1 - Índice randômico

Número de Critérios	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IR	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: adaptado de Saaty (1990)

A última etapa envolve a análise das alternativas e consideração dos resultados. Nesta, deverão ser avaliadas as respostas do método, considerando a melhor alternativa viável de decisão para a empresa.

Os componentes de um determinado nível estão relacionados a um nível superior e, assim, geram uma integração entre os níveis da hierarquia. Estruturar hierarquicamente qualquer problema de decisão é uma maneira eficiente de lidar e identificar os principais componentes do problema.

Vaidya e Kumar (2006) estabelecem que, em resumo, a estratégia do AHP pode ser descrita como: criar matrizes de preferência para cada critério e para cada alternativa; normalizar essas matrizes; calcular a média de cada uma delas; criar a matriz de prioridade; efetuar a comparação dos critérios após a obtenção dos vetores de prioridades sob cada critério. Daí encontra-se uma medida global para cada uma das alternativas, priorizando-as ao final do método.

Em confirmação, Randhawa & West (1995) *apud* Briozo e Musetti (2015) afirmam que, para a localização de instalações, a utilização do método AHP abrange quatro etapas principais: determinar os critérios a serem considerados para avaliar os locais concorrentes; estabelecer pesos para os

critérios que apresentem a importância relativa de cada um deles no ambiente de decisão; avaliar cada local respeitando cada critério; e agregar os pesos de cada critério em uma classificação geral. Assim, a aplicação do AHP no auxílio à tomada de decisão em localização de instalações vem sendo utilizada em diversos países com diferentes objetivos, desde localização de instalações industriais, até a localização de uma usina geradora de energia.

### 2.3. MÉTODO BASEADO EM PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS PARA LOCALIZAÇÃO DE REGIÕES PROPÍCIAS À INSTALAÇÃO DE USINAS SOLARES

Proposto por Oliveira Neto (2014), o método baseado em processamento digital de imagens para localização de regiões propícias à instalação de usinas solares tem por objetivo avaliar quantitativamente e de forma multiparamétrica a aptidão de determinada região territorial à implantação de usinas solares, tomando os mapas da região como informação de entrada. O resultado do processamento é um novo mapa, no qual serão indicadas as regiões com condições mais favoráveis à implantação de usinas solares. Uma vantagem da técnica 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 a ser empregados como entrada no algoritmo. Além disso, o método permite minimizar a subjetividade humana do processo de decisão.

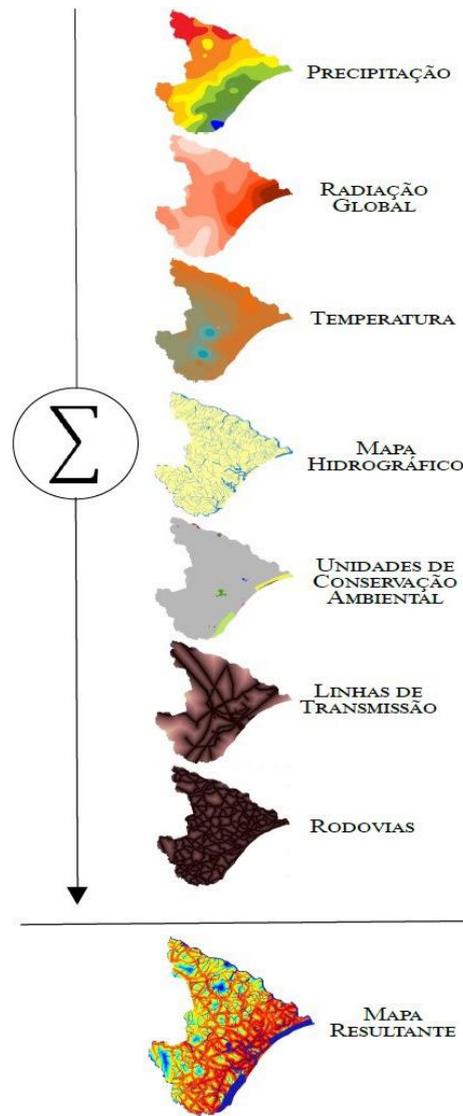
O método emprega como ferramenta fundamental o processamento digital de imagens. Inicialmente são coletados mapas (na forma de imagens digitais ou ainda dados brutos adquiridos em bases de dados de satélites) que representem os critérios de interesse na tomada de decisão acerca da unidade de geração solar. Posteriormente, estes mapas são processados por uma série de algoritmos: Padronização, Parametrização, Síntese e Localização (Oliveira Neto, 2016). Após o algoritmo de Padronização, os mapas passam a ser tratados como matrizes de dimensões iguais, sendo que cada matriz é produto do processamento de um dos mapas empregados como entrada. Nelas, após o algoritmo de Parametrização, está representada de forma ponderada (entre 0 e 255) a intensidade do parâmetro originalmente retratado no mapa.

Como exemplo, tome-se o parâmetro (ou critério) “radiação solar”, de primeiro interesse na tomada de decisão acerca da localização de uma unidade de geração solar fotovoltaica. Sendo este parâmetro retratado na forma de um mapa, no começo do processamento, após os algoritmos de Padronização e Parametrização obter-se-á uma matriz na qual os elementos em que há a menor radiação solar incidente terão valor zero. Por outro lado, os elementos da matriz correspondentes às coordenadas do mapa em que havia maior incidência de radiação solar terão valor 255. Esta lógica pode ser invertida de acordo com a relação entre o parâmetro e a geração de energia solar: “nebulosidade” e “precipitação” costumam ser parâmetros empregados com a lógica invertida.

Diversos critérios podem ser considerados na análise, como por exemplo: radiação solar, temperatura, precipitação, hidrografia, unidades de conservação ambiental, disposição geográfica da rede elétrica e da malha rodoviária, dentre outros. Os critérios podem ser escolhidos pelo próprio analista, contudo, sua aplicação está limitada pela disponibilidade da informação em representação bidimensional digital.

Obtidas as matrizes oriundas dos mapas, cada uma relacionada com um parâmetro de interesse, é realizada a adição das matrizes (empregando-se ou não pesos), no algoritmo de Síntese. Uma ilustração do conceito é apresentada na Figura 3, aplicado ao estado de Sergipe.

Figura 3- Conceito geral do método



Fonte: adaptado de (Santos, 2018)

O resultado é uma nova matriz, representada como “Mapa Resultante”, no qual podem-se identificar representadas por gradientes de cores as regiões mais (e menos) propícias à implantação de usinas fotovoltaicas no estado de Sergipe.

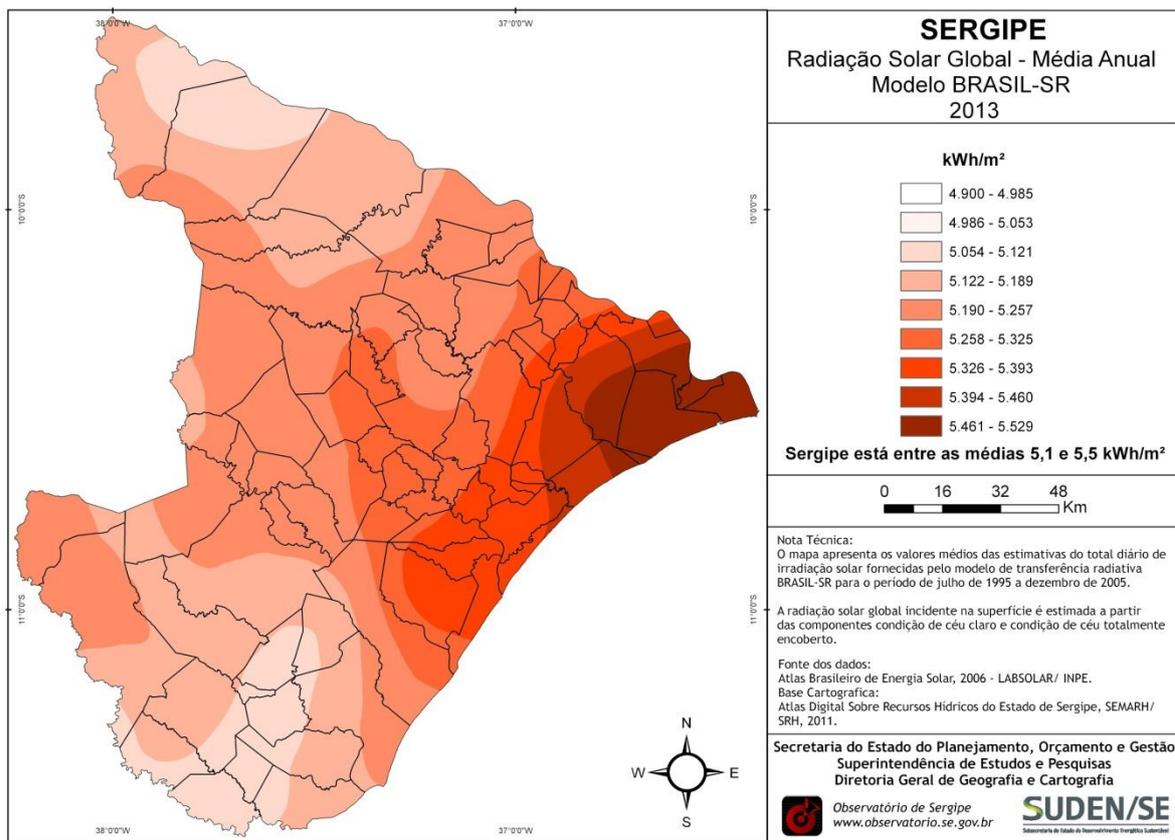
Apesar de sua abrangência de aplicação, objetividade e representação inteligível de resultados, o método descrito nesta seção não leva em consideração a decomposição e análise das relações entre os critérios.

### 3. METODOLOGIA

Visando agregar maior confiabilidade à tomada de decisão permitida pelo método baseado em processamento digital de imagens para localização de regiões propícias à instalação de usinas solares, foi empregado o método AHP após o algoritmo de Padronização.

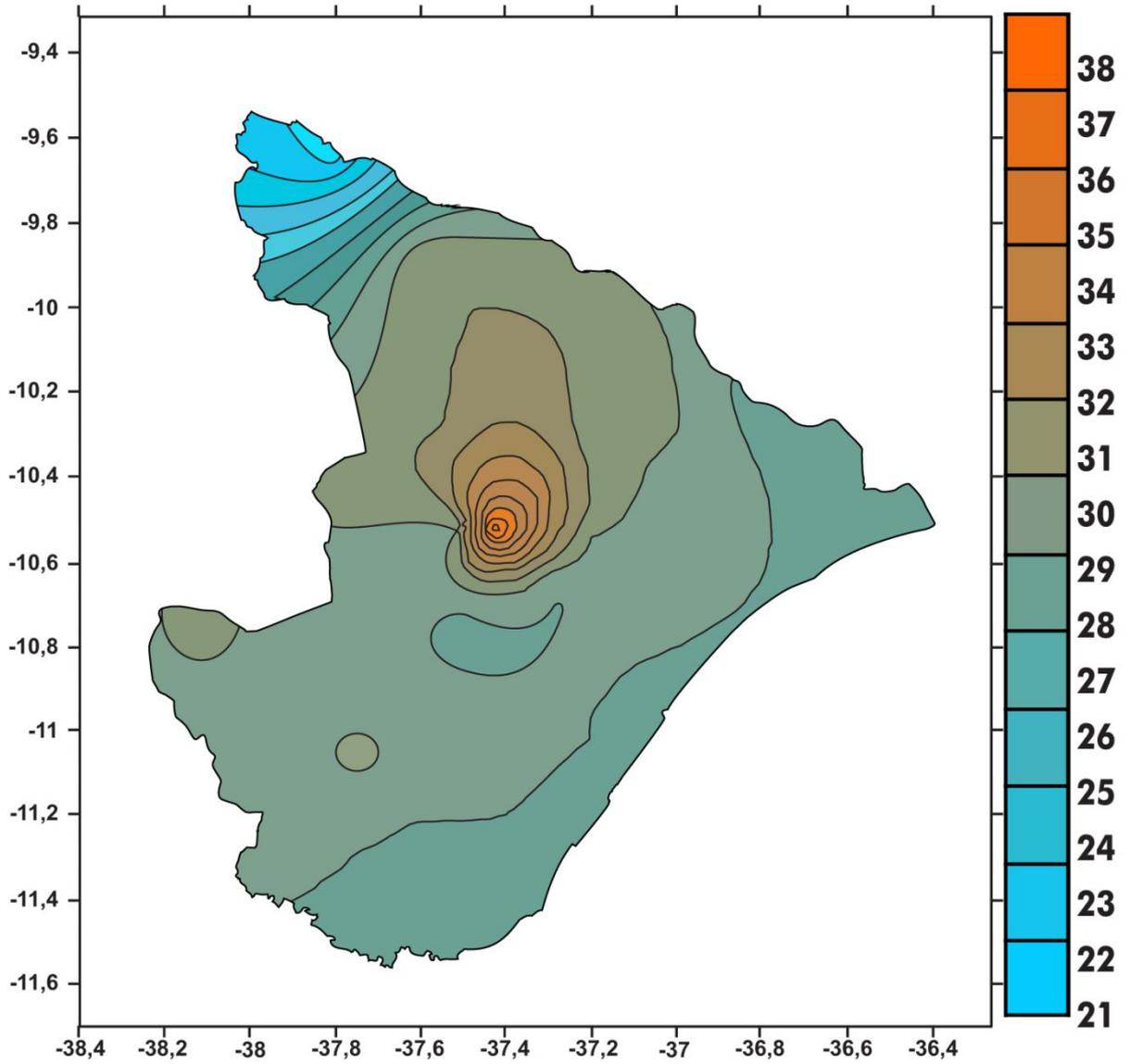
Como material de entrada foram empregados mapas do estado de Sergipe com a representação dos critérios: radiação solar, temperatura, precipitação, rede elétrica e malha rodoviária. Tais mapas podem ser observados, respectivamente, nas Figuras 4, 5, 6, 7 e 8.

Figura 4 - Média da radiação solar global anual para o estado de Sergipe



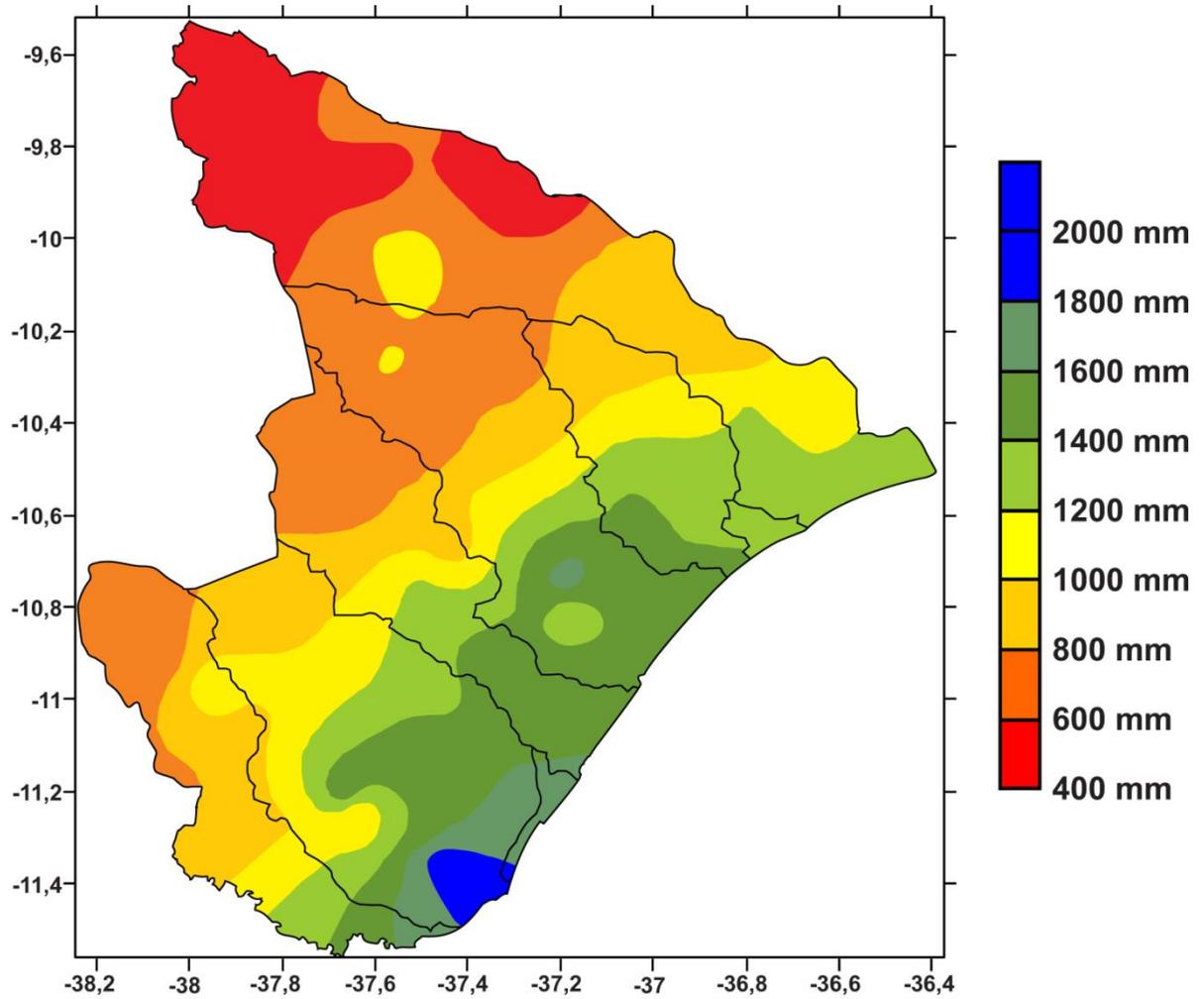
Fonte: (SEMARH, 2013)

Figura 5 - Temperatura máxima (°C) anual para o estado de Sergipe



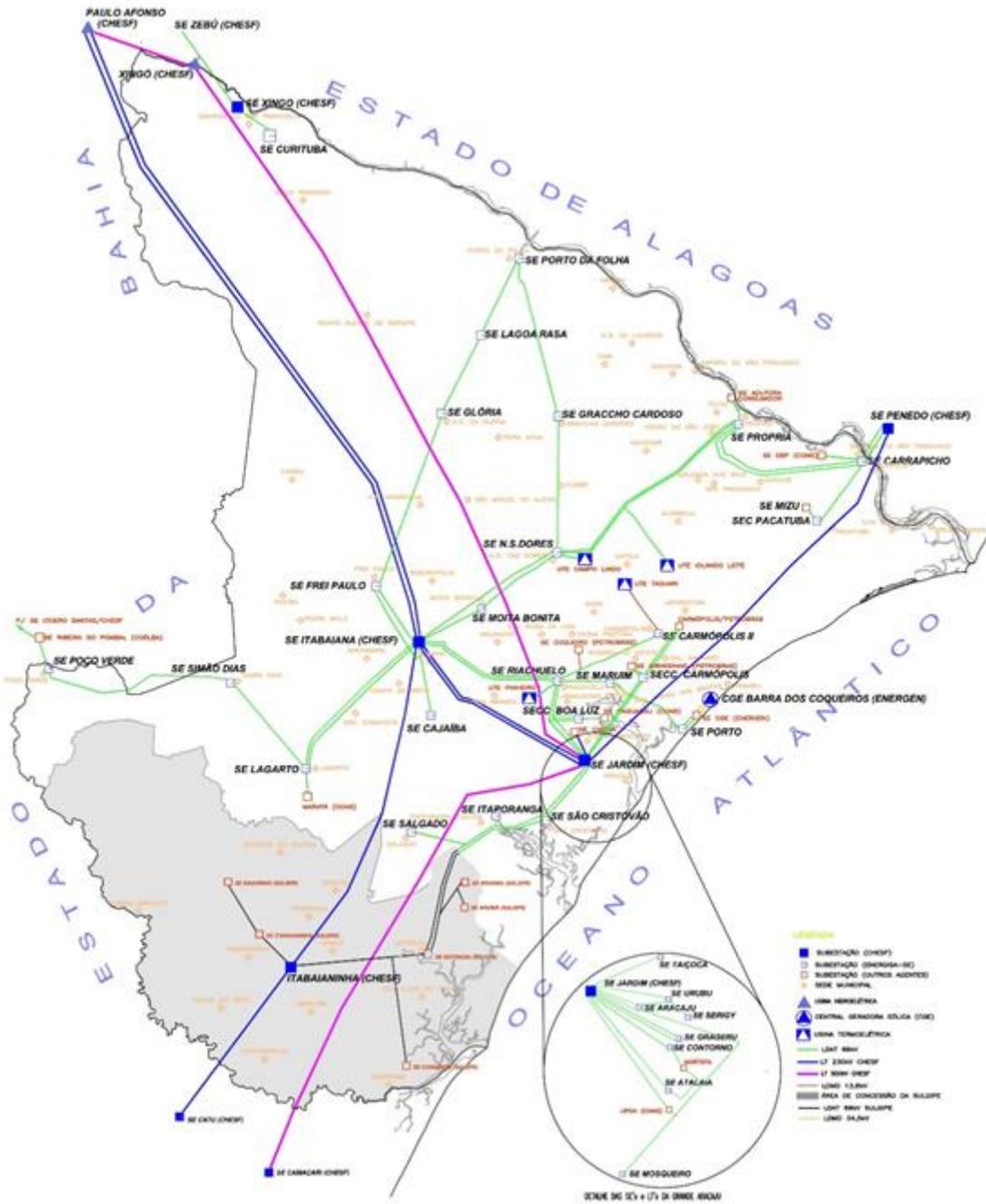
Fonte: (SEMARH, 2013)

Figura 6 - Climatologia da precipitação anual para o estado de Sergipe



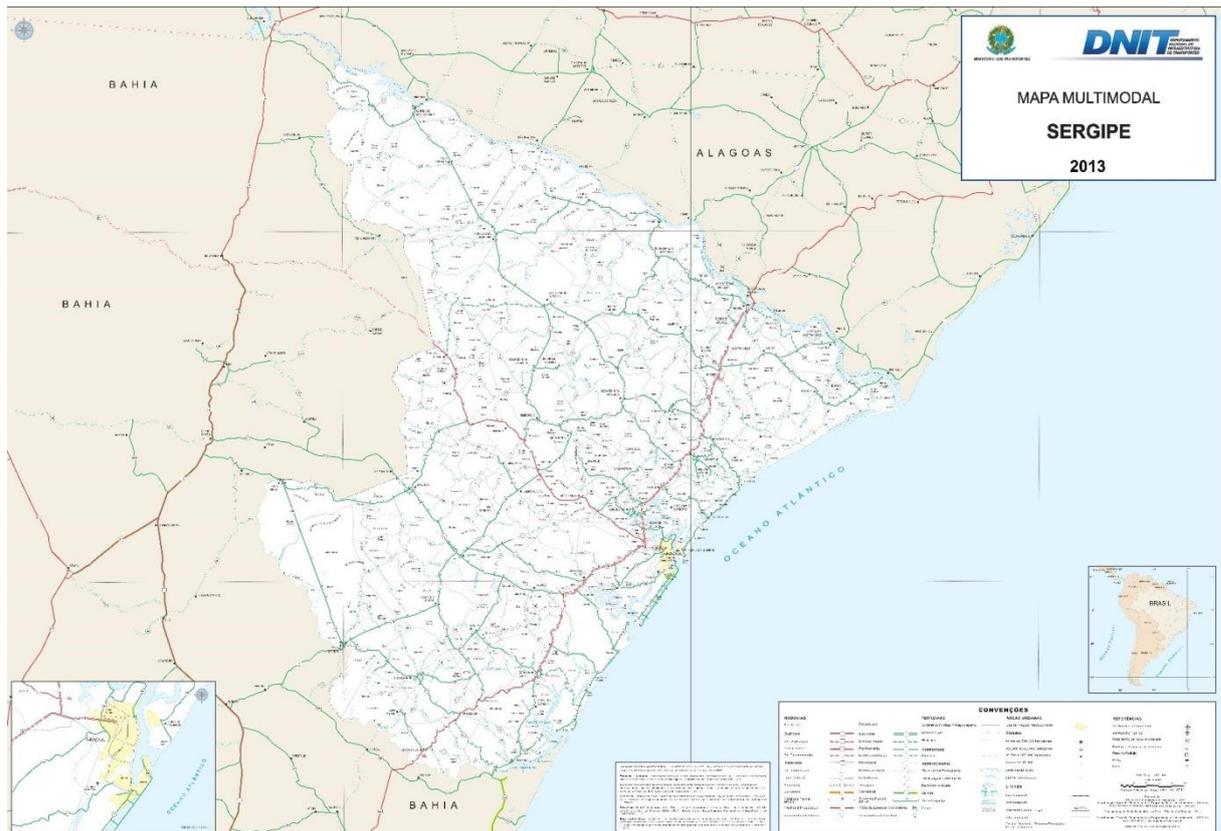
Fonte: (SEMARH, 2013)

Figura 7 - Mapa eletrogeográfico do estado de Sergipe



Fonte: (ENERGISA, 2017)

Figura 8 - Malha rodoviária do estado de Sergipe



Fonte: (DNIT, 2013)

Posteriormente os mapas passaram pelo algoritmo de Padronização, Parametrização e Síntese, conforme descrito na Seção 2.3. Como resultado obteve-se um novo mapa, e neste foram detectadas as 10 cidades sergipanas com maior propiabilidade para implantação parques solares.

Após o levantamento dos dados relacionados às 10 cidades com base nos mapas, realizou-se o processamento via AHP, onde foram estabelecidos os critérios a serem considerados na tomada de decisão. Para tal, foram seguidas as seguintes etapas: construção da hierarquia; definição das prioridades; construção das matrizes pareadas; obtenção dos autovetores; realização do teste de consistência; avaliação das alternativas. Para a etapa de avaliação foram levados em consideração os dados coletados, os índices de consistência e as informações obtidas no método. A partir daí foi obtido um *ranking* dos municípios sergipanos com melhor propiabilidade para instalação de parques solares, considerando os critérios acima elencados e as relações entre eles. A análise dos resultados e um breve comparativo entre os achados obtidos com ambos os métodos é realizado na Seção 4.

## 4. ESTUDO DE CASO

### 4.1. CRITÉRIOS AVALIADOS PARA A ESCOLHA DA LOCALIZAÇÃO

Serão apresentados os fatores considerados na análise realizada neste trabalho.

– Radiação solar: A duração do dia e a quantidade de energia solar incidente ou de radiação solar depende da latitude local e da variabilidade temporal. O estado de Sergipe está localizado relativamente próximo à linha do Equador, de forma que não se observam grandes variações na quantidade de horas de sol pleno (o número de horas em que a irradiância solar deve permanecer constante e igual a um *quilowatt* por metro quadrado). Foi utilizado a distribuição da radiação solar global média anual do estado de Sergipe, segundo o SEMARH (2013);

– Temperatura: As variações da temperatura ambiente afetam a temperatura de operação das células fotovoltaicas, tendendo a reduzir a sua eficiência. O estado de Sergipe apresenta variações de temperatura ao longo do seu território, causando variação nos módulos solares, ocasionando uma redução da potência do módulo fotovoltaico. Utilizou-se o mapa da temperatura máxima anual do estado de Sergipe, segundo o SEMARH (2013);

– Precipitação: Quanto maior for o índice pluviométrico, menor será a quantidade de dias com o céu claro ao longo do ano (PEREIRA, 2016), então o índice de radiação solar irá diminuir em locais com uma maior precipitação. Sergipe é um estado que apresenta pouca variação no índice pluviométrico anual, então, também apresentará uma variação pequena na radiação solar, que é um fator fundamental para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico. Utilizou-se o mapa da precipitação média anual do estado de Sergipe, segundo o SEMARH (2013);

– Rede elétrica: A proximidade à rede elétrica deverá ser considerada, pois, é um fator que pode reduzir os custos de implantação das instalações elétricas necessárias para o escoamento da energia gerada na usina solar. Utilizou-se o mapa geoelétrico (linhas de transmissão e distribuição) das concessionárias de energia do estado de Sergipe, que são a Energisa e a Sulgipe (ENERGISA S.A., 2017);

– Malha rodoviária: A vicinalidade a rodovias deverá ser considerada, pois, é um fator que pode aumentar os custos de instalação da usina solar. Isto ocorre devido ao preço do quilômetro de implantação de uma pista simples ser em média 2.168.000,00 reais (DNIT, 2017). Logo, os locais próximos rodovias serão mais propícios quanto à implantação deste tipo de geração de energia elétrica. Utilizou-se o mapa rodoviário do Estado de Sergipe, segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (DNIT) em 2013.

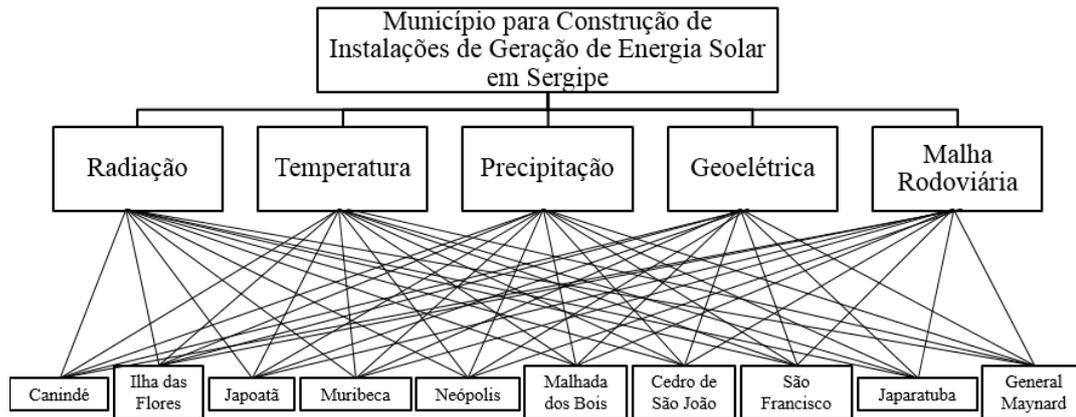
#### **4.2. APLICAÇÃO DO ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP)**

Para a aplicação do método AHP foram utilizados como dados de entrada os resultados do método proposto por Oliveira Neto (2014). Tal aplicação foi dividida em três etapas macro que serão

descritas nesta seção: modelagem do problema, estabelecimento de prioridades e verificação lógica, definição dos resultados.

- Modelagem do problema: Nesta etapa do trabalho foi realizada uma análise da problemática em questão para visão geral da decisão a ser tomada, variáveis envolvidas, opções e a relação entre todos eles dentro de uma hierarquia. Na Figura 9 pode se observar uma representação da estrutura estabelecida.

Figura 9 - Estrutura Hierárquica da Decisão



Fonte: autoria própria

No primeiro nível da estrutura tem-se a decisão a ser tomada (objetivo). No segundo, pode-se observar as variáveis envolvidas. Estas representam os critérios levados em consideração para avaliação da decisão após avaliação dos autores. E no terceiro nível as opções de decisão, 10 cidades elencadas com base no processamento dos dados obtidos através dos mapas. As linhas de conexão entre os níveis representam a relação e influência entre todos os parâmetros estabelecidos.

- Estabelecimento de Prioridades e Verificação Lógica: Neste estágio, foram definidas as prioridades entre critérios de avaliação com base na Escala de Saaty e no julgamento dos autores. Neste sentido, foram estabelecidas matrizes de paridade entre os critérios e opções de decisão relacionadas aos critérios. Na Tabela 1, tem-se a representação da matriz de prioridade entre critérios.

Tabela 2 - Matriz de paridades entre critérios de avaliação da decisão

	Radiação	Temperatura	Precipitação	Geolétrica	M. Rodoviária
Radiação	1	3	5	5	9
Temperatura	1/3	1	3	3	5
Precipitação	1/5	1/3	1	1	3
Geolétrica	1/5	1/3	1	1	3
M. Rodoviária	1/9	1/5	1/3	1/3	1
Total	2	5	10	10	21

Fonte: autoria própria

A matriz de paridades entre critérios representa o grau de prioridade ou intensidade de domínio entre um critério e outro. A título de exemplo, a Radiação tem extrema prioridade em relação à Malha Rodoviária, com peso 9 estabelecido pelos decisores. Analisando-se inversamente a relação, pode-se afirmar também que a Malha Rodoviária é extremamente dominada pela Radiação com peso de 1/9. A matriz foi normalizada para determinação do autovetor de prioridade dos critérios baseado na média dos valores normalizados de cada variável considerada. Na Tabela 3 pode-se avaliar o autovetor de prioridade encontrado.

Tabela 3 - Autovetor de Prioridade de Critérios

Critério	Prioridade
Radiação	0,511
Temperatura	0,241
Precipitação	0,103
Geolétrica	0,103
M. Rodoviária	0,043

Fonte: autoria própria

Em seguida, para verificação dos níveis de consistência das paridades julgadas pelo decisor representadas na matriz, foi mensurada a Razão de Consistência com valor de 0,02, considerado muito confiável para tomada de decisão ( $RC \leq 0,10$ ).

Da mesma forma, para mensuração das influências entre as opções de decisão (cidades) relacionadas aos critérios, foram elaboradas as matrizes pareadas para cada critério, como também encontrado o autovetor de prioridade e a razão de confiabilidade. Na Tabela 4 tem-se a representação da matriz pareada para o critério radiação.

Tabela 4 - Matriz de paridades para o critério radiação

	Canidé	Ilha das Flores	Japoatã	Muribeca	Neópolis	Malhada dos Bois	Cedro de São João	São Francisco	Japarutuba	General Maynard
Canidé	1	3	1	5	3	7	7	5	5	5
Ilha das Flores	1/3	1	3	7	3	7	7	5	5	5
Japoatã	1	1/3	1	5	1	7	7	5	3	5
Muribeca	1/5	1/7	1/5	1	3	3	5	3	3	3
Neópolis	1	1/3	1	1/3	1	7	7	5	3	5
Malhada dos Bois	1/7	1/7	1/7	1/3	1/7	1	5	3	3	3
Cedro de São João	1/7	1/7	1/7	1/5	1/7	1/5	1	3	1	3
São Francisco	1/5	1/5	1/5	1/3	1/5	1/3	1/3	1	3	1
Japarutuba	1/5	1/5	1/3	1/3	1/3	1/3	1	1/3	1	5
General Maynard	1/5	1/5	1/5	1/3	1/5	1/3	1/3	1	1/5	1
Total	4	6	7	20	12	33	41	31	27	36

Fonte: autoria própria

- Definição dos Resultados: Para mensuração do resultado final realizou-se o produto dos autovetores de prioridade (critérios e opções de decisão por critério). Assim, a prioridade de cada opção foi ponderada em relação ao autovetor de critérios estabelecido primeiramente. Na Tabela 5 pode-se analisar o resultado final obtido de acordo com os critérios adotados pelos decisores. Para fins comparativos, na Tabela 6, é apresentado o *ranking* obtido sem

considerarem-se as dominâncias entre os critérios (realização de soma simples entre as matrizes RGB).

Tabela 5 - *Ranking* de localidade mais propícias com base no método AHP

Posição	Cidade	Resultado AHP
1º	Canindé	0,135
2º	Ilha das Flores	0,114
3º	Neópolis	0,110
4º	Japoatã	0,107
5º	Japaratuba	0,097
6º	São Francisco	0,092
7º	General Maynard	0,089
8º	Muribeca	0,087
9º	Malhada dos Bois	0,085
10º	Cedro de São João	0,084

Fonte: autoria própria

Tabela 6 - *Ranking* de localidade mais propícias sem considerarem-se relações de dominância entre os critérios

Posição	Cidade	RGB Total
1º	Canindé	182,2
2º	Ilha das Flores	177,3
3º	Japoatã	176,6
4º	Muribeca	172,1
5º	Neópolis	164,2
6º	Malhada dos Bois	163,4
7º	Cedro de São João	160,2
8º	São Francisco	159,7
9º	Japaratuba	159,0
10º	General Maynard	155,8

Fonte: autoria própria

Considerando-se a Tabelas 5 e a Tabela 6, percebe-se houve mudanças na ordem do ranking de propiabilidade, em especial a partir do terceiro lugar. Os municípios de Canindé e Ilha das Flores mantiveram-se em primeiro e segundo lugares respectivamente, em ambas as análises. Este comportamento se deve ao fato de que os critérios de radiação, temperatura e precipitação têm valores relevantes tanto na sumarização dos RGBs como no vetor de prioridades do AHP.

A partir da terceira posição do *ranking*, onde os critérios passam a ser menos destacados entre si, percebe-se a mudança de posição entre diversas localidades.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi apresentado um estudo de caso de aplicação do Método AHP no auxílio à tomada de decisão na definição de localidades para instalação de usinas solares fotovoltaicas. A informação de entrada para a aplicação do Método AHP derivou de mapas que representam os

critérios para a tomada de decisão. A transformação da informação contida nos mapas, de gráfica para numérica, se deu através de PDI.

Foi possível observar a mudança na ordem de classificação entre as localidades consideradas, quando da aplicação do Método AHP e quando da simples sumarização dos critérios sem considerarem-se relações de dominância entre os mesmos.

Sendo assim, o processamento digital de imagens associado à ferramentas de decisão multicritério demonstrados neste trabalho se mostram de forma aderente e concreta para melhoria das análises envolvidas nos processos decisórios na implantação de novos empreendimentos de geração de energia solar fotovoltaica.

### REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Adiel T. **Processo de decisão nas organizações: construindo modelos de decisão multicritério**; 1 ed., São Paulo: Atlas, 2013;

ANEEL. **Boletim de informações gerenciais 1º trimestre de 2017**. 2017. Online; Acessado em 06/05/2018. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14854008/Boletim+de+Informa%C3%A7%C3%B5es+Gerenciais+1%C2%BA+trimestre+de+2017/798691d2-990b-3b36-1833-c3e8c9861c21>>

BRIOZO, R. A.; MUSETTI, M. A. Método multicritério de tomada de decisão: aplicação ao caso da localização espacial de uma Unidade de Pronto Atendimento – UPA 24 h. **Gestão & Produção**, v. 22, n. 4, p. 805–819, 2015.

DNIT. **Mapa Multimodal**. 2013. Disponível em: < <http://www.dnit.gov.br/download/mapas-multimodais/mapas-multimodais/se.pdf>>. Acesso em 05 de novembro de 2017.

ENERGISA. **Mapa Geométrico do Estado de Sergipe**. Agosto de 2017.

EPE. **Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional 2017** – Ano base 2016. RJ, junho de 2017. Disponível em: < <https://ben.epe.gov.br/benrelatoriosintese.aspx> >. Acesso em: 08 de maio 2018.

OLIVEIRA NETO, Antonio B. **Um algoritmo desassistido baseado em processamento digital de imagens para localização eficiente de usinas solares**. Campina Grande, PB: UFCG, 2013.

OLIVEIRA NETO, Antonio B., ALVES, Lidja N.T, LUCENA, Matheus D., FERREIRA, Tarso V. **Um método baseado em PDI para localização de regiões propícias à instalação de usinas solares.** Campina Grande, PB: UFCG, 2014.

SAATY, Thomas L.. Analytic Hierarchy Process. **Encyclopedia Of Biostatistics**, p.1-9, 15 jul. 2005. John Wiley & Sons, 2005;

SAATY, Thomas L.. How to make a decision: The analytic hierarchy process. **European Journal Of Operational Research**, [s.l.], v. 48, n. 1, p.9-26, set. 1990;

SAMED, M. M. A., OLIVEIRA, F. B. R., **Aplicação do método AHP a um problema de localização no contexto da logística humanitária no estado do Paraná**, Fortaleza: XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2015;

SANTOS, Ana Laura Brasileiro. **Estudo da identificação de regiões propícias para a instalação de usinas solares fotovoltaicas no Estado de Sergipe.** Aracaju, SE: UFS, 2018;

SEMARH. **Radiação Solar Global média anual do Estado de Sergipe.** 2013. Disponível em: <<http://www.semarh.se.gov.br>>. Acesso em 15 de maio de 2017.

SEMARH. **Temperatura máxima anual do Estado de Sergipe.** 2013. Disponível em: <<http://www.semarh.se.gov.br>>. Acesso em 15 de maio de 2017.

SEMARH. **Precipitação média anual do Estado de Sergipe.** 2013. Disponível em: <<http://www.semarh.se.gov.br>>. Acesso em 15 de maio de 2017.

VAIDYA, O. S.; KUMAR, S. Analytic hierarchy process: An overview of applications. **European Journal of Operational Research**, v. 169, n. 1, p. 1–29, 2006.