

ANÁLISE PARA A LOCALIZAÇÃO ÓTIMA DE UMA USINA SOLAR FOTOVOLTAICA NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Marco Pereira de Souza¹
Luis Claudio Bernardo Moura¹
Carlos Alberto Nunes Cosenza¹

¹Universidade Federal do Rio de Janeiro

DOI: 10.47168/rbe.v27i4.491

RESUMO

A energia solar fotovoltaica está se tornando uma alternativa viável para a geração de energia elétrica frente aos combustíveis fósseis. Tendo isto em vista, este estudo tem como objetivo indicar as melhores localizações para a instalação de uma usina solar fotovoltaica no Estado do Rio de Janeiro, no Brasil, através de critérios ambientais, técnicos e econômicos. A lógica *fuzzy*, com suas funções de pertinência, foi utilizada para gerar os critérios que foram aplicados no Sistema de Informações Geográficas (SIG). A revisão de artigos que utilizaram o Método Analítico de Hierarquias permitiu a definição do grau de importância dos critérios selecionados. Cada um dos critérios, combinado com a sua importância relativa, gerou o mapa das regiões mais adequadas para a localização da usina solar fotovoltaica. Os resultados mostram que o Estado do Rio de Janeiro tem um ótimo potencial para a geração de energia solar fotovoltaica, em especial no litoral norte, próximo à cidade de Campos dos Goytacazes, com potencial mais reduzido na região serrana, devido a menor insolação e maior declividade.

Palavras-chave: Energia Solar; SIG; Rio de Janeiro.

ABSTRACT

Photovoltaic energy is becoming a viable alternative for generating electricity to replace fossil fuels. In the light of this fact, this study aims to find the most suitable locations for the installation of a photovoltaic solar plant in the state of Rio de Janeiro, Brazil, considering environmental, technical and economic criteria. The fuzzy logic, with its pertinence functions, was used to compute the criteria that were applied in the Geographic Information System (GIS). The review of papers using the Analytic Hierarchy Process provided the degree of importance for each selected criterion. Each of the criterion, combined with their relative

importance, generated a map of the most suitable regions for the location of the photovoltaic solar plant. The results show that the state of Rio de Janeiro has a great potential for photovoltaic solar energy generation, especially in the north coast, near the city of Campos dos Goytacazes, with the lowest potential in the mountainous region, due to less sunstroke and greater slope.

Keywords: Solar Energy; GIS; Rio de Janeiro.

1. INTRODUÇÃO

Singh (2002) afirma que a energia é fator primordial para o desenvolvimento e melhoria da qualidade de vida das sociedades atuais e, segundo Goldemberg (2003), o aumento da demanda e consumo de energia elétrica têm como causas o progresso tecnológico e o avanço do desenvolvimento da humanidade. Consequentemente, obter esse recurso de maneira sustentável e competitiva é crucial (TSOUTSOS et. al. 2005).

De acordo com Pereira et al. (2006) e Santos et al. (2015), o aumento da demanda de energia, somado com a crescente preocupação ambiental, são incentivos à pesquisa e ao desenvolvimento de fontes de energia menos poluentes e renováveis.

O Banco Mundial (2019), através de relatórios disponíveis em seu site, afirma que os combustíveis fósseis utilizados na geração de energia elétrica, inclusive no Brasil, são os grandes responsáveis pelas emissões de CO₂ e, por consequência, pelas mudanças climáticas. A ONU (Organização das Nações Unidas) afirmou que o investimento em energias renováveis para diminuir a utilização dos combustíveis fósseis é a melhor maneira de reduzir a emissão de gases causadores do efeito estufa e manter a elevação da temperatura global abaixo de 1,5°C, a níveis anteriores à revolução industrial (ONU, 2015).

A energia nuclear é mencionada como uma fonte “limpa” de energia elétrica por não provocar a emissão de gases de efeito estufa para a atmosfera. Contudo, ela não tem sido bem aceita pela sociedade civil em razão do questionamento sobre os riscos associados (vazamento e, por consequência, a contaminação por material radioativo) e ao problema do armazenamento dos rejeitos radioativos gerados (PEREIRA et al., 2006).

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) afirma que a geração de energia elétrica através de hidroelétricas, compoendo cerca de 65% da matriz energética brasileira (EPE, 2018 – A) tem o seu maior potencial inexplorado, majoritariamente na Região Norte do Brasil, o que traz diversos desafios, em especial no que tange às questões ambientais (EPE 2018 – B). Brignol (2014) complementa que ainda há o imbróglgio do tempo para construção de novas centrais hidroelétricas.

A energia solar tem destaque nesse cenário, pois está disponível em muitos locais da Terra, tornando-a uma fonte de energia acessível e inexaurível (RAMEDANI et al., 2013, AL-SHAMISI et al., 2013 e JAIN R, 2009). Thirugnanasambandam et al. (2009) acrescentam que se somente 0,1% dessa energia fosse convertida em eletricidade com uma eficiência de 10%, seria suficiente para suprir a demanda do planeta diversas vezes.

As duas principais maneiras de se gerar energia através da fonte solar são através de processos termais (energia solar concentrada) ou através de painéis fotovoltaicos (FV) (ASAKEREH et al., 2014). Há de se ressaltar que as usinas de calor concentrado necessitam de condições muito específicas que, no caso brasileiro, são encontradas somente na região do semiárido (MARTINS, 2012).

Segundo a IRENA (*International Renewable Energy Agency*), a energia solar FV vem se tornando cada vez mais competitiva devido à redução do seu custo (IRENA, 2018). Pesquisas afirmam que os custos dos sistemas FV caíram mais de 100 vezes desde 1950, sendo que entre 1980 e 2013 a redução foi de aproximadamente 21,5% (NEMET, 2006 e EPE 2018 – C). É esperado que os custos de investimento de sistemas FV sejam reduzidos cerca de 30% entre 2020 e 2050 (EPE, 2018 - C) e, de acordo com a IRENA (2018), em 2020 espera-se que as grandes usinas FV gerem energia a um custo de aproximadamente 0,06 dólar por kWh, competindo com as tradicionais fontes geradoras de energia.

O Brasil contava, em 2018, com apenas 0,13% da sua capacidade de geração elétrica proveniente da energia solar (EPE, 2018 - A), embora o potencial de geração seja consideravelmente superior ao de países do hemisfério norte, quando comparados os níveis de irradiação solar (MARTINS et al., 2007). Vale destacar que se espera que a demanda mundial de energia elétrica cresça cerca de 200% até 2050 (EPE, 2018 – C) e que uma das maneiras de se atender esse crescimento é a diversificação da matriz energética (BRIGNOL et al., 2014).

Segundo a Fundação CEPERJ (Fundação Centro Estadual de Estatísticas, Pesquisas e Formação de Servidores Públicos do Rio de Janeiro), o Rio de Janeiro tem área de 43.752,8 km², sendo o vigésimo quarto estado brasileiro em extensão territorial. Faz parte da Região Sudeste, que é considerada a mais desenvolvida do país, e possui limites territoriais com todos os estados que a compõem (CEPERJ, 2019). A sua população é, de acordo com o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), de 17,2 milhões de pessoas (IBGE, 2019). Com relação a sua economia, a Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (FIRJAN) afirma que o PIB per capita é 25% superior à média brasileira (FIRJAN, 2018). A Figura 1 (CEPERJ, 2019) mostra a divisão do Estado do Rio de Janeiro em municípios e regiões.



Figura 1 – Mapa do Estado do Rio de Janeiro, com seus municípios e regiões

Com base nesta realidade, é evidente a necessidade de se investir em pesquisas na área da energia FV e, nesse sentido, este artigo visa contribuir para este fim. Para se conhecer a localização ótima de uma usina solar FV no Estado do Rio de Janeiro, será utilizado, neste artigo, o método analítico de hierarquias, a lógica *fuzzy* e os sistemas de informação geográfica (SIG). A escolha justifica-se, pois, a localização de usinas solares FV tem sido objeto de diversos estudos e os SIG, em combinação com as ferramentas de análise de decisão multicritério, são o procedimento frequente devido a possibilidade de aliar os dados espaciais, quantitativa e qualitativamente (ASAKEREH et al., 2017). A versão resumida deste trabalho foi publicada pelos autores no *International Journal of Development Research*, em 2019.

Inicialmente é apresentada a metodologia, o que inclui o Método Analítico de Hierarquias, a lógica *fuzzy* e o SIG. A seguir é reportado o desenvolvimento, com a revisão dos artigos, a seleção dos fatores de localização e a importância destes. Na sequência tem-se a aplicação do método, com a geração dos mapas para cada um dos fatores de localização selecionados. O resultado final e a conclusão são as partes finais deste artigo.

2. METODOLOGIA

Para determinar a localização de uma usina solar FV no Estado do Rio de Janeiro serão seguidas as seguintes etapas:

- Revisar artigos acadêmicos para a seleção dos fatores de localização que serão considerados;
- Alocar peso aos fatores de localização a partir dos artigos que utilizaram o método analítico de hierarquias;
- Determinar as zonas de restrição, que são os locais nos quais a usina solar não poderá ser instalada;
- Utilizar a lógica *fuzzy* para determinar as funções de pertinência dos fatores de localização selecionados;
- Gerar no SIG todas as camadas dos fatores de localização escolhidos;
- Gerar no SIG uma camada final ponderando os pesos de todos os fatores, identificando, desta maneira, as regiões mais propícias para a usina.

Importa destacar que definir a localização de uma usina solar FV não é tarefa simples. Segundo San Cristóbal (2012), a tomada de decisão passa por identificar e escolher alternativas com o objetivo de encontrar a melhor solução. Para tal é necessário considerar uma diversidade de fatores e o ambiente. Esse ambiente é o resultado de uma coleção de informações, alternativas, valores e preferências disponíveis em um determinado momento.

Em alguns casos, os locais com maior incidência de luz solar não são as melhores localizações em virtude de outros fatores, que têm papel significativo na localização dessas usinas. É necessário, portanto, levar em consideração a complexidade do processo, que envolve fatores sociais, ambientais e econômicos. Por isso, a definição da localização da usina solar é um dos fatores essenciais para se levar em consideração e maximizar seu desempenho (CHEN et. al., 2014; VON HAAREN et al., 2011; YUN-NA et al.; 2013). Desse modo, fica evidente a necessidade de se seguir as etapas acima mencionadas a fim de definir a localização ótima de uma usina FV no Estado do Rio de Janeiro.

2.1 Método analítico de hierarquias

O método analítico de hierarquias é uma das ferramentas mais utilizadas para eleger alternativas, de maneira estruturada, diante de diversos objetivos. Este método permite a combinação de dados quantitativos e qualitativos, o que oferece uma estrutura robusta para lidar

com problemas complexos (AL GARNI et al., 2017).

De uma maneira simples, o método funciona através da comparação par a par dos critérios selecionados para a determinação do peso final de cada um. Ao final há um teste de consistência para avaliar se o julgamento dos especialistas está condizente (SAATY, 1980).

2.2 Lógica *fuzzy*

A lógica binária admite apenas os opostos (verdadeiro e falso). Portanto, não admite intervalos de verdade entre esses dois extremos. Desse modo, a lógica clássica não admite a imprecisão da verdade. Na contramão da lógica clássica tem-se que quanto mais complexo é um sistema, mais impreciso e inexato é a informação que está disponível para caracterizá-lo (ROSS, 2010). Essa limitação em descrever esses sistemas é chamada de “Princípio da Incompatibilidade” (TANAKA, 1997).

Uma vantagem da lógica *fuzzy* é formalizar o pensamento humano, de maneira a transcrever a linguagem cotidiana (DERNON-COURT, 2013). No cotidiano é comum utilizar conceitos subjetivos para classificar ou considerar certas situações, tais como (AGUIAR et al., 1999) as palavras “bonito” e “novo”, que dependem do julgamento do indivíduo. Por exemplo, uma pessoa de 30 anos pode ser considerada jovem em um cruzeiro, mas não em uma discoteca (TANAKA, 1997).

Um conjunto *fuzzy* A em um universo U é definido por uma função de pertinência μ_A que assume valores em um intervalo $[0,1]$, que determina o grau em que um determinado elemento pertence a um conjunto (GOMIDE et al., 1995). As funções de pertinência podem assumir as mais diferentes formas para atingir a medida subjetiva que estão mensurando (CORREIA, 2016) e, segundo Tanscheit (2004), estas podem ser definidas a partir da experiência e da perspectiva das pessoas.

Portanto, a utilização da lógica *fuzzy* se faz necessária para determinar a localização de uma usina solar FV devido à sua flexibilidade diante aos mais diversos fatores de localização que serão elencados.

2.3 Sistema de informações geográficas

Um SIG é um sistema projetado para trabalhar com dados referenciados por coordenadas espaciais ou geográficas. Esses sistemas são utilizados para armazenamento, gerenciamento, análise e exibição de dados geograficamente referenciados, sendo ferramentas valiosas para planejamento e tomada de decisão em múltiplos contextos nos quais dados georreferenciados desempenham um papel relevante (SANCHEZ-LOZANO et al., 2014), e tem sido cada vez mais utili-

zados para a determinação da localização ótima de projetos de energia renovável (LEWIS et al., 2014).

Isto é, um SIG pode ser definido como um conjunto de ferramentas para analisar e editar mapas e dados espaciais, de maneira geral. Nesse mapa digital há um banco de dados associado e georreferenciado para cada camada gerada (GARCÍA-CASCALES et al., 2013). Para este trabalho o software utilizado foi o QGIS, que é de livre acesso e permite editar, analisar, visualizar e publicar informações geoespaciais.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1 Revisão de artigos

Foram revisados 20 artigos acadêmicos, conforme relação apresentada na Tabela 1, que abordam a localização de usinas solares FV, sendo que a maior parte deles utiliza a combinação de SIG com o método analítico de hierarquias. Os outros métodos utilizados foram o PROMETHEE e o ELECTRE, tendência confirmada por Pohekar (2004) quando analisou diversos artigos sobre localização de centrais que utilizam energia renovável.

Tabela 1 - Lista de artigos revisados

Artigo	Periódico
A fuzzy AHP and GIS-based approach to prioritize utility-scale solar PV sites in Saudi Arabia	2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)
Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia	Applied Energy
Spatial matching of large-scale grid-connected photovoltaic power generation with utility demand in Peninsular Malaysia	
Land suitability analysis for solar farms exploitation using GIS and fuzzy analytic hierarchy process (FAHP): A case study of Iran	Energies
Evaluation of natural conditions for site selection of ground-mounted photovoltaic power plants in Serbia	Energy
GIS-based site selection methodology for hybrid renewable energy systems: A case study from western Turkey	Energy Conversion and Management
A fuzzy multi-criteria spatial decision support system for solar farm location planning	Energy Strategy Reviews
Optimization of photovoltaic solar power plant locations in northern Chile	Environmental Earth Sciences

Tabela 1 - Lista de artigos revisados (continuação)

Artigo	Periódico
Selection of potential sites for solar energy farms in Ismailia Governorate, Egypt using SRTM and multicriteria analysis	International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS
The evaluation of solar farm locations applying Geographic Information System and multi-criteria decision-making methods: Case study in southern Morocco	Renewable and Sustainable Energy Reviews
Potential survey of photovoltaic power plants using Analytical Hierarchy Process (AHP) method in Iran	
Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations: Case study in south-eastern Spain	
Utility-scale implementable potential of wind and solar energies for Afghanistan using GIS multi-criteria decision analysis	
Environmental decision-support systems for evaluating the carrying capacity of land areas: Optimal site selection for grid-connected photovoltaic power plants	
Assessment of solar energy potential over the United Arab Emirates using remote sensing and weather forecast data	
PV site suitability analysis using GIS-based spatial fuzzy multi-criteria evaluation GIS-assisted multi-criteria evaluation	Renewable Energy
GIS-based photovoltaic solar farms site selection using ELECTRE-TRI: Evaluating the case for Torre Pacheco, Murcia, southeast of Spain	
Solar power potential of Tanzania: identifying CSP and PV hot spots through a GIS multicriteria decision making analysis	
A GIS-based Fuzzy-AHP method for the evaluation of solar farms locations: Case study in Khuzestan province, Iran	Solar Energy
A GIS-AHP combination for the sites assessment of large-scale CSP plants with dry and wet cooling systems. Case study: Eastern Morocco	

3.2 Seleção dos fatores de localização

A escolha dos fatores de localização de uma usina FV no Estado do Rio de Janeiro foi feita com base no levantamento dos artigos referidos, considerando aqueles fatores presentes em 40% ou mais dos artigos analisados, isto é, oito ou mais artigos. Os fatores que aparecem com menor representatividade serão analisados como peculiaridades locais, como a poeira em locais desérticos ou a existência de recursos hídricos. A Figura 2, gerada pelos autores, mostra o resultado da contabilização dos fatores de localização observados nos artigos.

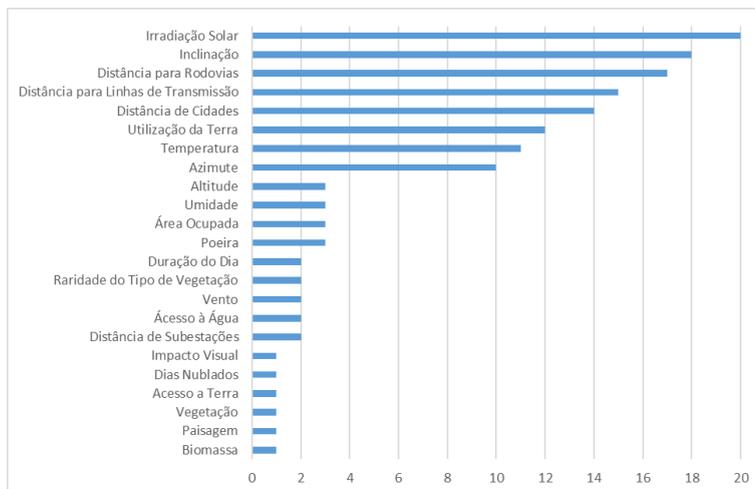


Figura 2 – Contabilização dos fatores de localização

Desse modo, evidenciam-se, a seguir, os fatores de localização escolhidos, quais sejam:

- Irradiação Solar: o Banco Mundial (2011) afirma que altos índices de irradiação solar é o fator mais básico para se desenvolver um projeto de usina solar FV em uma região, afirmação corroborada por Lubitz (2011). Em uma determinada área, quanto maior a irradiação solar, maior é o potencial de geração FV de energia elétrica (ARNETTE et al. 2011).

- Temperatura média: dentre os fatores de perda para a geração de energia solar FV destaca-se a redução da eficiência elétrica das células e módulos FV com o aumento da temperatura de operação (SIMIONI, 2017). Portanto, quanto maior a temperatura ambiente, maior a temperatura dos módulos e, por consequência, menor sua eficiência (RADZIEMSKA, 2003, HUL et al., 2015; YELMEN et al., 2016).

- Proximidade a Linhas de Transmissão: Azevêdo (2016) afirma que os quesitos para a interligação da usina solar com o sistema elétrico são semelhantes aos das usinas termoeletricas. É, portanto, crucial utilizar linhas com capacidade de carga suficiente e/ou subestações o mais próximo possível da usina solar, visto que os custos de construção de novas linhas são, via de regra, elevados e dependem do nível de voltagem da linha e de seu comprimento.

- Proximidade a Rodovias: outro fator relevante na implantação das usinas solares é a facilidade de acesso, particularmente pela necessidade de transportar equipamentos. Deste modo, a proximidade de infraestrutura de transporte ao local de implantação da usina é um requisito relevante e poderá apresentar reflexos no custo geral de operação e construção (AZEVEDO, 2016). Além disso, a proximidade da infraestrutura de transporte já existente evita custos adicionais (ALY et al., 2017).

- Proximidade de Centros Urbanos: a EPE (2018-B) afirma que a geração de energia distribuída pode ser localizada mais próxima a centros urbanos, isto é, próximo aos locais que demandam mais energia elétrica, o que traz o benefício da redução das perdas elétricas.

- Inclinação do terreno: os painéis devem, preferencialmente, ser localizados em regiões planas. De acordo com o Banco Mundial (2011), o terreno plano ainda reduz significativamente os custos de instalação e manutenção.

- Azimute: o Banco Mundial (2011) afirma que, no hemisfério sul, os painéis devem ser voltados para o norte a fim de receberem a maior radiação solar possível.

- Utilização da terra: a maior parte dos artigos considerou que o fator “utilização da terra” tem relação com a fertilidade do solo. Isto é, solos férteis e aptos para a agricultura, representam um fator restritivo para a localização de uma usina solar FV.

Todos os artigos consideraram zonas de restrição, isto é, regiões em que a usina solar FV não poderia se localizar, seja por questões legais ou por uma restrição física. Neste quesito tem-se as seguintes restrições para a localização de uma usina solar FV:

- Áreas protegidas;
- Florestas e matas;
- Territórios Indígenas;
- Territórios Quilombolas;
- Áreas urbanas, e
- Corpos d'água.

3.3 Importância dos fatores de localização

Dos 20 artigos, nove foram excluídos para a análise da importância dos fatores de localização pois não utilizaram o método analítico de hierarquias ou, quando utilizaram, agruparam os fatores de localiza-

ção, tornando inviável isolá-los para a determinação da importância individual.

A partir dos 11 artigos restantes foi feita a média aritmética dos pesos de cada fator de localização e, depois, estes valores foram corrigidos para a soma totalizar 100%, conforme resultados apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Peso dos fatores de localização

Irradiação Solar	42,41%
Temperatura	11,34%
Inclinação	13,69%
Azimute	8,50%
Distância para rodovias	5,33%
Distância para Linhas de Transmissão	9,12%
Distância de Cidades	5,68%
Utilização da Terra	3,92%
Total	100%

Analisando a Tabela 2, percebe-se que, relativamente, a irradiação solar corresponde a cerca de 42% da importância para a localização de usinas solares FV. Os fatores que dependem da intervenção humana, majoritariamente relativos à presença ou não de infraestrutura, como a distância de rodovias e linhas de transmissão, somam 20,13%. Isto é, os fatores relativos ao meio ambiente e geografia correspondem a aproximadamente 80% da importância para a determinação da usina solar FV, enquanto fatores humanos e de infraestrutura representam cerca de 20% dessa fração.

4. APLICAÇÃO DO MÉTODO

4.1 Fonte dos dados georreferenciados

Os dados georreferenciados, que foram utilizados no SIG, vêm de diversas fontes, em sua maior parte de órgãos do governo federal, conforme apresentado a seguir.

- Divisão Territorial do Estado do Rio de Janeiro

Conteúdo: Limite dos municípios

Instituição: IBGE (2015)¹

- Zonas Urbanas e Rurais

Conteúdo: Setores censitários de classificação urbana e rural

Instituição: IBGE (2010)²

- Irradiação Solar

Conteúdo: Contém as médias anuais e mensais do total diário da irradiação Global Horizontal, Difusa, Direta Normal, no Plano Inclinado e PAR, em Wh/m²/dia, em resolução espacial de 0,1° x 0,1° (aproximadamente 10 km x 10 km)

Instituição: INPE (2017)³

- Unidades de Conservação

Conteúdo: Unidades de conservação federais, estaduais e municipais do Estado do Rio de Janeiro

Instituição: Ministério do Meio Ambiente (MMA – 2019)⁴

- Mata Atlântica

Conteúdo: Zonas de Mata Atlântica remanescente do Estado do Rio de Janeiro

Instituição: ONG SOS Mata Atlântica (2016)⁵

- Territórios Indígenas

Conteúdo: Relação dos Grupos Indígenas Brasileiros

Instituição: FUNAI (2019)⁶

- Territórios Quilombolas

Conteúdo: Relação dos Grupos Quilombolas do Estado do Rio de Janeiro

Instituição: INCRA (2019)⁷

1 <https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais.html>

2 <https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais.html>

3 http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html

4 <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>

5 http://mapas.sosma.org.br/dados/solicitacao_mapas/

6 <http://www.funai.gov.br/index.php/servicos/geoprocessamento>

7 http://certificacao.incra.gov.br/csv_shp/export_shp.py

- Recursos Hídricos

Conteúdo: Relação dos recursos hídricos (rios, lagos, lagoas...) do Estado do Rio de Janeiro

Instituição: IBGE (2015)¹

- Rodovias

Conteúdo: Relação das rodovias estaduais e federais do Rio de Janeiro

Instituição: IBGE (2016)² e DNIT (2015)³

- Linhas Elétricas

Conteúdo: Linhas, Seccionadoras e Subestações do Sistema Elétrico do Estado do Rio de Janeiro.

Instituição: IBGE (2018)⁴

- Temperatura

Conteúdo: Temperatura do ar, em graus Celsius x 10, obtida a 10 m da superfície do solo – valores anuais e mensais. As grades de clima recortadas para o Brasil e Amazônia Legal correspondem a dados de observação, representativos de 1950 a 2000

Instituição: INPE⁵

- Inclinação (Declividade)

Conteúdo: A grade de declividade foi gerada a partir da grade de altitude, e os valores estão expressos em porcentagem

Instituição: INPE⁶

- Aptidão Agrícola:

Conteúdo: Classificação dos solos do Brasil segundo o potencial agrícola

Instituição: Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2002)⁷

- Azimute:

Conteúdo: Ângulo em graus da orientação geográfica

Instituição: INPE⁸

1 ftp://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bc250/versao2015/Shapefile/

2 ftp://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bc25/rj/versao2016/shapefile/

3 <http://www.dnit.gov.br/mapas-multimodais/shapefiles>

4 ftp://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bc25/rj/

5 <http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/download.php>

6 <http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/download.php>

7 <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>

8 <http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/download.php>

4.2 Geração dos mapas georreferenciados

Conforme já mencionado, através do SIG é possível processar e analisar os fatores de localização. Cada um desses fatores é uma camada (*layer*) que serviu como base de análise. Para facilitar a análise e processamento dos dados, o Estado do Rio de Janeiro foi dividido em um *grid* de 1 km x 1 km. Cada uma das células desse *grid* recebeu o valor dessas camadas.

4.3 Delimitação da zona de restrição

O primeiro passo é analisar as regiões em que a usina solar não poderá ser localizada, com base nas zonas de restrição elencadas no item 3.2 (áreas protegidas; florestas e matas; territórios indígenas; territórios quilombolas; áreas urbanas; corpos d'água). A Figura 3 mostra essas zonas de restrição.

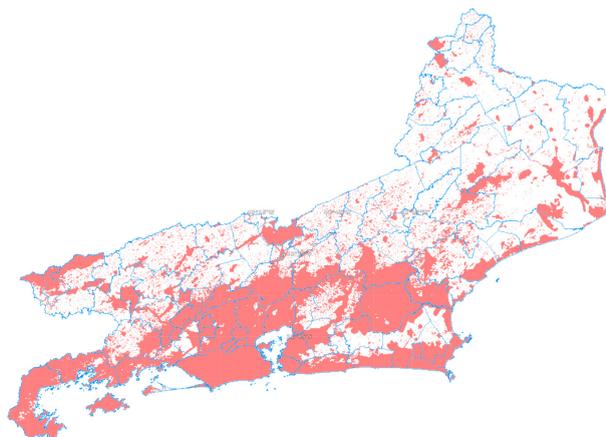


Figura 3 – Zonas de restrição para instalação da unidade de geração

Analisando a Figura 3, elaborada a partir dos dados do IBGE (2015), MMA (2019), SOS Mata Atlântica (2016), FUNAI (2019), INCRA (2019), percebe-se que há, de acordo com os critérios selecionados para restringir a localização de uma usina solar FV, a impossibilidade de localizá-la na maior parte da região metropolitana da cidade do Rio de Janeiro, devido ao elevado grau de urbanização, e, também, a impossibilidade da localização em grande parte da Região Serrana e

da Costa Verde, em virtude das zonas de conservação ambiental.

Em seguida é necessário averiguar as zonas onde é possível localizar a usina solar. Vale ressaltar que, segundo Charabi e Gastli (2011) esses fatores dependem da localização geográfica, atributos físicos, socioeconômicos e da infraestrutura das regiões a serem analisadas.

A lógica *fuzzy* e as funções de pertinência foram usadas para criar todas as camadas, que representam cada fator de localização a ser utilizado no SIG. Cada camada tem um valor entre zero e um. Quanto maior o valor, maior é a adequação do fator de localização para a instalação da usina solar FV. E, usando os pesos de cada fator de localização, com base nos estudos anteriores, forma-se a camada final em que se tem as melhores localizações para a usina solar FV. Vale ressaltar que as funções de pertinência *fuzzy* foram desenvolvidas a partir dos fatores de localização escolhidos através da análise dos artigos revisados.

4.4 Aplicação aos fatores de localização selecionados

Os graus de pertinência *fuzzy* foram determinados através da revisão dos artigos para cada um dos fatores de localização selecionados.

- Irradiação solar: A energia gerada pela usina solar FV é diretamente proporcional à irradiação solar de uma determinada localidade. Os valores anuais entre 5000 e 5500 Wh/m² são considerados ótimos de acordo com os artigos revisados. Por este motivo tomou-se 5200 Wh/m² (próximo do valor máximo encontrado no Estado do Rio de Janeiro) para o grau de pertinência deste fator de localização. O grau de pertinência *fuzzy* cai a zero com níveis de irradiação solar nulos. A equação abaixo mostra a função de pertinência para a irradiação solar.

$$\mu(X) = \frac{X}{5200}$$

Sendo X a irradiação solar.

A Figura 4, elaborada a partir de dados da INPE (2017), mostra ao lado esquerdo os níveis de irradiação solar, e do lado direito os graus de pertinência da irradiação solar. Ao analisá-la, percebe-se que os maiores níveis de irradiação estão na Região Norte do Rio de Janeiro.

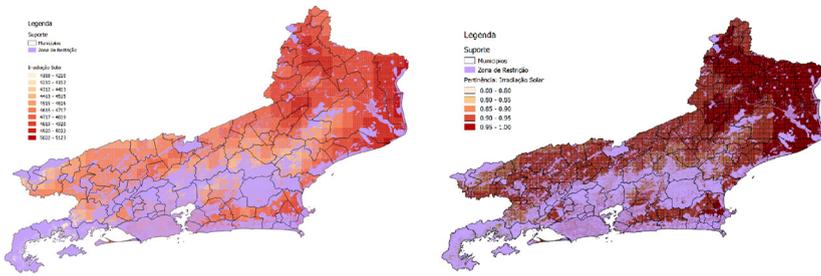


Figura 4 – Irradiação solar no Estado do Rio de Janeiro

- Temperatura média: A energia gerada pela usina solar FV é inversamente proporcional a temperatura ambiente e, por este motivo a função de pertinência *fuzzy* para a temperatura, mostrada na equação abaixo, diminui conforme a temperatura aumenta. Tem-se grau de pertinência máximo para zero grau, e mínimo para 30 graus centígrados.

$$\mu(X) = 1-0,0334X$$

Sendo X = temperaturas superiores em graus centígrados.

A Figura 5, também elaborada a partir de dados do INPE (2017), mostra ao lado esquerdo a temperatura média, e do lado direito os graus de pertinência da temperatura média. Ao analisá-la, percebe-se que a região central do Estado do Rio de Janeiro (conhecida como Região Serrana), tem os maiores graus de pertinência *fuzzy* para a temperatura, enquanto a porção norte os menores.

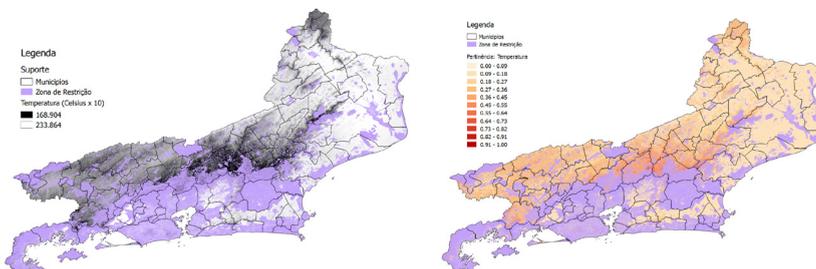


Figura 5 – Temperatura média no Estado do Rio de Janeiro

- Proximidade a linhas de transmissão: Nos artigos revisados a usina solar FV deve se localizar próxima à linhas de transmissão e, por este motivo, o grau de pertinência *fuzzy*, indicado pela equação abaixo, reflete os benefícios dessa proximidade, com valores máximos entre 0 e 5 km e mínimos para distâncias superiores à 20 km.

$$\begin{aligned}\mu(X) &= 1 \text{ para } 0 < X < 5 \text{ km} \\ \mu(X) &= 0,75 \text{ para } 5 < X < 10 \text{ km} \\ \mu(X) &= 0,5 \text{ para } 10 < X < 15 \text{ km} \\ \mu(X) &= 0,25 \text{ para } 15 < X < 20 \text{ km} \\ \mu(X) &= 0 \text{ para } X > 20 \text{ km}\end{aligned}$$

A Figura 6, elaborada a partir de dados do IBGE (2018), mostra, ao lado esquerdo, as linhas de transmissão no Estado do Rio de Janeiro e, do lado direito, os graus de pertinência da distância de linhas de transmissão. Ao analisá-la, percebe-se que o Estado do Rio de Janeiro tem uma ampla malha de transmissão, porém um pouco mais concentrada nas proximidades dos centros urbanos.

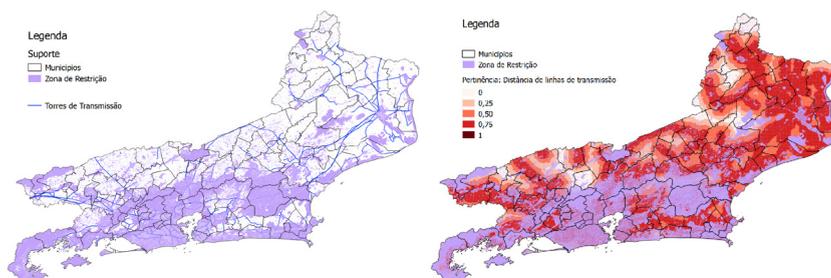


Figura 6 – Proximidade de linhas de transmissão

- Proximidade a rodovias: Assim como para as linhas de transmissão, nos artigos revisados a usina solar FV deve se localizar próxima às rodovias e, por este motivo, o grau de pertinência *fuzzy*, estimado pela equação abaixo, reflete os benefícios dessa proximidade, com valores máximos entre 0 e 2,5 km e mínimos para distâncias superiores a 12,5 km.

$$\begin{aligned}\mu(X) &= 1 \text{ para } 0 < X < 2,5 \text{ km} \\ \mu(X) &= 0,8 \text{ para } 2,5 < X < 5 \text{ km} \\ \mu(X) &= 0,6 \text{ para } 5 < X < 7,5 \text{ km} \\ \mu(X) &= 0,4 \text{ para } 7,5 < X < 10 \text{ km} \\ \mu(X) &= 0,2 \text{ para } 10 < X < 12,5 \text{ km} \\ \mu(X) &= 0 \text{ para } X > 12,5 \text{ km}\end{aligned}$$

A Figura 7, elaborada a partir de dados do IBGE (2016) e DNIT (2015), mostra, do lado esquerdo, a malha rodoviária do Estado do Rio de Janeiro e, do lado direito, os graus de pertinência da distância desta malha. Ao analisá-la, percebe-se que o Estado do Rio de Janeiro tem uma ampla malha rodoviária, com poucas regiões com graus de pertinência abaixo de 0,6.

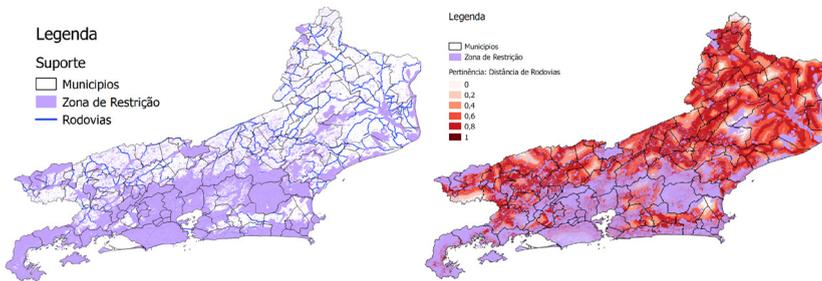


Figura 7 – Proximidade de rodovias

- Proximidade de centros urbanos: Nos artigos revisados a proximidade de centros urbanos é considerada vantajosa para a instalação de usinas solares fotovoltaicas. A função de pertinência, indicada pela equação abaixo, reflete tal aspecto. Para distâncias de até 5 km a função de pertinência é máxima, e cai até zero para locais com mais de 15 km de distância dos centros urbanos.

$$\begin{aligned}\mu(X) &= 1 \text{ para } 0 < X < 5 \text{ km} \\ \mu(X) &= 0,66 \text{ para } 5 < X < 10 \text{ km} \\ \mu(X) &= 0,33 \text{ para } 10 < X < 15 \text{ km} \\ \mu(X) &= 0 \text{ para } X > 15 \text{ km}\end{aligned}$$

A Figura 8, elaborada a partir de dados do IBGE (2010), mostra, do lado esquerdo, os setores censitários com características urbanas e, do lado direito, o grau de pertinência *fuzzy* relativo à proximidade dos centros urbanos. Ao analisá-la, percebe-se que as Regiões Norte e Noroeste apresentam os menores graus de pertinência, enquanto ao redor da região metropolitana os valores são maiores.

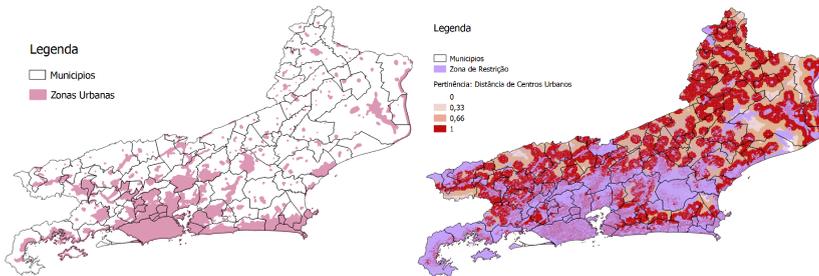


Figura 8 – Proximidade de centros urbanos

- Inclinação do terreno: A inclinação do terreno aumenta os custos de construção e manutenção da usina solar FV. De acordo com os artigos revisados, o valor máximo aceitável é de 10%, que é o valor de pertinência zero indicado pela equação abaixo. Inclinações de 0% tem valor de pertinência máximo.

$$\mu(X) = 1-10X, \text{ onde } X \text{ é percentual de inclinação. Se } x>10, \mu(X)=0$$

A Figura 9, elaborada a partir de dados do INPE (2017), mostra, do lado esquerdo, a inclinação (em %) do terreno no Estado do Rio de Janeiro e, do lado direito, o grau de pertinência da inclinação. Ao analisá-la, percebe-se que a Região Norte apresenta os maiores graus de pertinência.

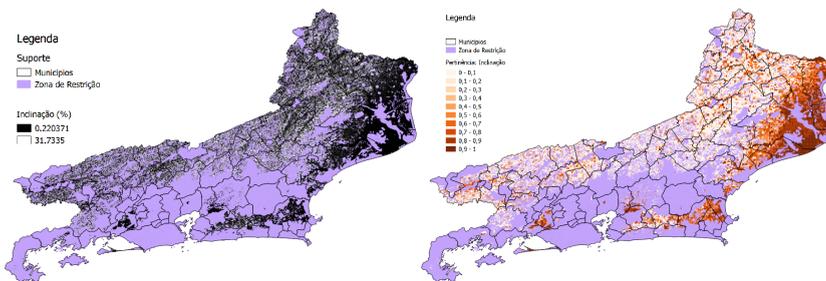


Figura 9 – Inclinação do terreno no Estado do Rio de Janeiro

- Azimute: Para obter a máxima irradiação solar, a inclinação do terreno deve estar direcionada para o norte ou o terreno deve ser plano. A função de pertinência *fuzzy* indicada pela equação abaixo reflete essas necessidades. Para inclinações inferiores a 2%, ou azimute do terreno na direção norte, tem-se valores máximos, já para o azimute na direção sul tem-se os valores mínimos.

Se inclinação do terreno $< 2\%$, $\mu(X) = 1$

Azimute = Norte, $\mu(X) = 1$

Azimute = Nordeste, $\mu(X) = 0,7$

Azimute = Noroeste, $\mu(X) = 0,7$

Azimute = Leste, $\mu(X) = 0,5$

Azimute = Oeste, $\mu(X) = 0,5$

Azimute = Sudeste, $\mu(X) = 0,3$

Azimute = Sudoeste, $\mu(X) = 0,3$

Azimute = Sul, $\mu(X) = 0$

A Figura 10, elaborada a partir de dados do INPE (2017), mostra, no lado direito, o azimute do Estado do Rio de Janeiro e, do lado esquerdo, a função de pertinência do azimute. Ao analisá-la, percebe-se que a Região Norte apresenta os maiores graus de pertinência.

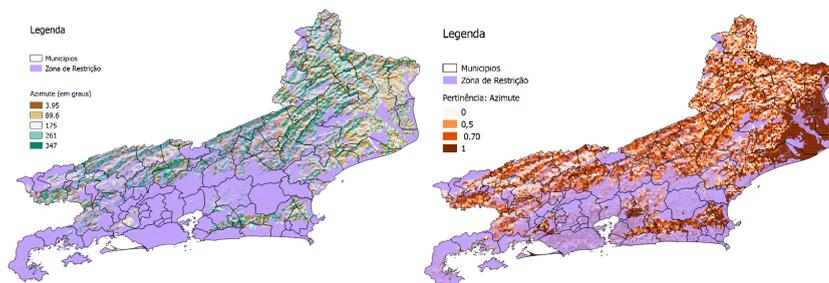


Figura 10 – Azimute do Estado do Rio de Janeiro

- Utilização da terra: Segundo os artigos revisados, a usina solar fotovoltaica deve se localizar preferencialmente em zonas com pouca aptidão agrícola, devido ao tamanho da sua área ocupada. A função de pertinência indicada pela equação abaixo reflete esta necessidade, sendo que para aptidão agrícola muito baixa tem-se grau de pertinência *fuzzy* máximo e, para aptidão agrícola alta, tem-se o grau de pertinência *fuzzy* mínimo.

$$\begin{aligned} \text{Aptidão Agrícola} = \text{Muito Baixa, } \mu &= 1 \\ \text{Aptidão Agrícola} = \text{Baixa, } \mu &= 0,66 \\ \text{Aptidão Agrícola} = \text{Média a Alta, } \mu &= 0,33 \\ \text{Aptidão Agrícola} = \text{Alta, } \mu &= 0 \end{aligned}$$

A Figura 11, elaborada a partir de dados do MMA (2002), mostra, do lado direito, a aptidão agrícola do Estado do Rio de Janeiro e, do lado esquerdo, a função de pertinência desta aptidão. Ao analisá-la, percebe-se que a Região Norte apresenta os maiores graus de pertinência e a maior parte do estado apresenta o valor 0,66.

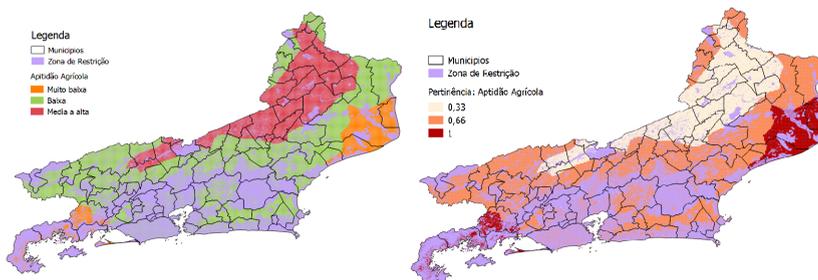


Figura 11 – Utilização da terra

5. RESULTADOS

Para cada célula de 1 x 1 km gerada no mapa, os fatores de localização foram ponderados da seguinte maneira:

$$\sum_n^1 (\text{grau de pertinência fuzzy}) \times (\text{peso do fator de localização})$$

sendo N = fatores de localização

Fica claro que as possibilidades de resposta para a equação acima variam entre zero e 1, sendo os valores mais próximos de 1, preferencialmente acima de 90%, os melhores resultados.

O resultado da aplicação da equação para todas as células de 1x1 km do Estado do Rio de Janeiro podem ser observados na Figura 12, elaborada pelos autores.

Analisando a figura, percebe-se que a região mais propícia para receber projetos de grande porte de energia solar FV é o município de Campos dos Goytacazes e arredores (destacada no mapa), com aptidão maior que 90%. Outras regiões bastante propícias são uma área próxima da região metropolitana da cidade do Rio de Janeiro e outra no interior da Região dos Lagos, ambas com aptidão maior do que 80%. A Região Serrana do estado teve os menores índices para a aptidão da usina solar fotovoltaica, assim como as cidades de Resende, Volta Redonda e arredores. Outro aspecto que chamou atenção foi a extensão da zona de restrição, que ocupa parte considerável do estado. Isto se deve, em especial, pela existência de unidades de con-

servação ambiental e das zonas urbanas.

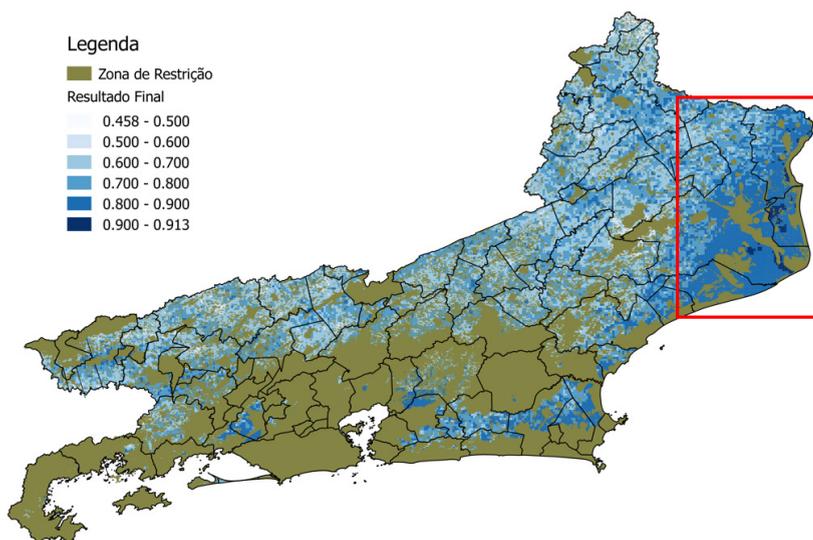


Figura 12 – Resultado final com indicação das regiões mais aptas

6. CONCLUSÕES

As questões ambientais vêm ganhando cada vez mais importância no cenário mundial. O aquecimento global, em especial, é o principal foco dessas preocupações, em vista dos prejuízos materiais e humanos, como também para a flora e a fauna. O Acordo de Paris, assinado em 2015, tem como objetivo frear esse aquecimento de modo a restringir o aumento da temperatura média da Terra a não mais do que 1,5°C. Vale ressaltar que a produção de energia elétrica no mundo é uma das maiores fontes de emissão de CO₂, principal gás responsável pelo efeito estufa, com um papel significativo no Brasil também. Existe, portanto, um dilema: “como suprir a demanda crescente por energia sem a degradação ambiental resultante do uso de combustíveis fósseis”?

A energia solar entra nesse cenário como uma alternativa não poluente e que vem se tornando cada vez cada vez mais competitiva economicamente diante das fontes de geração tradicionais (combustíveis fósseis, hidroelétrica e nuclear). Essa redução no custo de gera-

ção da energia solar fotovoltaica se deve majoritariamente a dois fatores: aumento da eficiência energética de conversão e a redução dos custos de produção dos painéis.

A geração de energia solar no Brasil ainda corresponde a um percentual pequeno na sua matriz energética, apesar de preencher todos os requisitos básicos para geração em maior escala. Estes são os motivos que levaram ao desenvolvimento deste artigo: descobrir os melhores locais para se instalar uma usina solar fotovoltaica no Estado do Rio de Janeiro.

Para localizar uma usina solar fotovoltaica não basta levar em consideração apenas a irradiação solar incidente. Há outros fatores relevantes. Para este trabalho foram elencados, através da revisão bibliográfica, oito fatores de localização determinantes: irradiação solar, proximidade de centros urbanos, proximidade de rodovias, proximidade de linhas de transmissão, inclinação do terreno, azimute, a utilização da terra (fertilidade) e a temperatura média. Além disso, zonas de restrição, onde a usina não poderia ser localizada, também foram definidas.

O Rio de Janeiro possui diversos fatores que favorecem a instalação de uma usina solar fotovoltaica: ampla infraestrutura rodoviária e rede elétrica, diversos centros urbanos e um litoral bastante ensolarado (em especial na Região Norte).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, HIME E OLIVEIRA JR. *Lógica Difusa: Aspectos Práticos e Aplicações*. 1ª Edição. Editora Interciência. 1999.

AL GARNI, HASSAN; AWASTHI, ANJALI. Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia. In: *Applied Energy*. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030626191731437X?via%3Dihub>>. Acesso em: set. de 2019.

AL-SHAMISI MH; ASSI, AH; HEJASE, HAN. Artificial Neural Networks for Predicting Global Solar Radiation in Al Ain City – UAE. *Int. J. Green Energy*; 10:443–56. 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/15435075.2011.641187>>. Acesso em: set. de 2019.

ALY, AHMED; JENSEN, STEEN; PEDERSEN, ANDERS. Solar Power Potential of Tanzania: Identifying CSP and PV Hot Spots through a GIS Multicriteria Decision Making Analysis. *Renewable Energy*. 2017.05-077. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148117304718>>. Acesso em: set. de 2019.

ARNETTE, A.N.; ZOBEL, C.W. Spatial Analysis of Renewable Energy Potential in the Greater Southern Appalachian Mountains. *Renewable Energy* 36, 2785–2798. 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148111001960>>. Acesso em: set. de 2019.

ASAKEREH, A.; OMID, M.; ALIMARDANI, R.; SARMADIAN, F. Developing a Gis-Based Fuzzy AHP Model for Selecting Solar Energy Sites in Shodirwan Region in Iran. *IJAST* 68, 37–48. 2015. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/cfbc/5b016c6eede063d3d0374d2271bd4f4d5042.pdf?_ga=2.267730892.319028039.1568931397-600012443.1568931397>. Acesso em: set. de 2019.

ASAKEREH, ABBAS; SOLEYMANI, MOHSEN; JAVAD SHEIKHDAVOODI, MOHAMMAD. (2017). A GIS-Based Fuzzy-AHP Method for the Evaluation of Solar Farms Locations: Case Study in Khuzestan Province, Iran. *Solar Energy*. 155.342-353.10.1016/j.solener.2017.05.075. 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X17304851>>. Acesso em: set. de 2019.

AZEVEDO, V W B. Estudo de Localização de Usina Solar Termoelétrica no Estado De Pernambuco. Dissertação de Doutorado. UFPE. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares. 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/17712/1/TESE%20N%20127%20-%20PROTEN%20DEN%20UFPE%20-%20VERONICA%20AZEVEDO.pdf>>. Acesso em: set. de 2019.

Banco Mundial – Disponível em: <<https://data.worldbank.org/indicator/en.co2.etot.zs?end=2014&start=1960&view=chart>>. Acessado em: mar. de 2019

BRIGNOL, W S; CANHA, L; BARIN, A. SANTOS, A. C; CARLI, M. Diversificação da Matriz Energética a Partir da Conexão de Fontes de Geração Distribuída Abastecidas com Biogás de Dejetos Suínos. *Revista Brasileira de Energia*. Volume 20, No2. 2014. CEPERJ. Disponível em: <<http://www.ceperj.rj.gov.br/Conteudo.asp?ident=81>>. Acesso em: mai. de 2019.

CEPERJ. 2019. Disponível em: <http://arquivos.proderj.rj.gov.br/sefaz_ceperj_imagens/Arquivos_Ceperj/ceep/informacoes-do-territorio/cartografia-fluminense/Mapa%20das%20Regi%C3%B5es%20de%20Governo%20e%20Munic%C3%ADpios%20do%20Estado%20do%20Rio%20de%20Janeiro%20-%202019%20-%20CEPERJ.pdf>. Acesso em: fev. de 2021.

CHARABI, Y; GASTLI, A. PV Site Suitability Analysis Using GIS-Based Spatial Fuzzy Multi-Criteria Evaluation. *Renewable Energy* 36, 2554–2561. 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148111000760>>. Acesso em: set. de 2019.

CHEN, C-R;HUANG, C-C; TSUEI, H-J. A hybrid MCDM Model for Improving GIS-Based Solar Farms Site Selection. *Int J Photo* 2014. 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/273597325_A_hybrid_MCDM_model_for_improving_GIS-based_solar_farms_site_selection>. Acesso em: set. de 2019.

CORREIA, M. F. Z. Proposta de Aplicação da Lógica Fuzzy nos Materiais Cirúrgicos do Almoarifado Central do HCUFF para Auxiliar a Tomada de Decisão Concernente ao Controle de Estoques. Tese de Mestrado em Engenharia de Produção. COPPE – UFRJ. 2016. Disponível em: <<http://www.pep.ufrj.br/index.php/br/teses-e-dissertacoes/teses-e-dissertacoes/mestrado/2016-1/229--198>>. Acesso em: set. de 2019.

DERNONCOURT, FRANCK. *Introduction to Fuzzy Logic*. MIT. 2013.

SANTOS, I. F. S.; FILHO, G. L.; BARROS, R. M. Análises Econômicas, de Sensibilidade e Elasticidade em Projetos de Energias Renováveis no Brasil. *Revista Brasileira de Energia*. Volume 21, No2. 2015. Disponível em: <<https://sbpe.org.br/index.php/rbe/article/view/345/326>>. Acesso em: set. de 2019.

EPE (EMPRESA DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO). *Balço Energético Anual de 2018*. 2018 – A.

EPE (EMPRESA DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO). *Premissas e Custos da Oferta de Energia Elétrica*. 2018 – B.

EPE (EMPRESA DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO). *Premissas e Custos da Oferta de Energia Elétrica no Horizonte 2050*. 2018 – C.

FIRJAN (FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO). *Retratos Regionais: Perfil Econômico Regional*. 2018.

GARCÍA-CASCALES; M. SOCORRO; SÁNCHEZ-LOZANO, J.M. Geographical Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Methods for the Evaluation of Solar Farms Locations: Case Study in South-Eastern Spain. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032113001780>>. Acesso em: set. de 2019.

GOLDEMBERG, J.; VILLANUEVA, L. D. *Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento*. São Paulo: EDUSP. 2003.

GOMIDE, F. A. C.; GUDWIN, R. R.; TANSCHKEIT, RICARDO. Conceitos Fundamentais da Teoria de Conjuntos Fuzzy, Lógica Fuzzy e Aplicações. Sixth International Fuzzy Systems Association World Congress/Tutorials - IFSA95, pages 01 – 38, July 1995. Disponível em: <<http://www.calhau.dca.fee.unicamp.br>>. Acesso em: set. de 2019.

HULD, T.; AMILLO, A.M.G. Estimating PV Module Performance Over Large Geographical Regions: The Role of Irradiance, Air Temperature, Wind Speed and Solar Spectrum. *Energies*. 8, 5159–5181. 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/279171402_Estimating_PV_Module_Performance_over_Large_Geographical_Regions_The_Role_of_Irradiance_Air_Temperature_Wind_Speed_and_Solar_Spectrum>. Acesso em: set. de 2019.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA) Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>>. Acesso em: fev. de 2019.

INTERNATIONAL FINANCE CORPORATION (BANCO MUNDIAL). Utility-Scale Solar Photovoltaic Power Plants. 2011.

LUBITZ, WILLIAM. Effect of Manual Tilt Adjustments on Incident Irradiance on Fixed Tracking Solar Panels. *Applied Energy*. 2011. Disponível em: <<https://ideas.repec.org/a/eee/appene/v88y2011i5p1710-1719.html>>. Acesso em: set. de 2019.

IRENA (INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY). Renewable Power Generation Costs in 2017. 2018.

JAIN, R. MEHTAK; MITTAL S.K. Modeling Impact of Solar Radiation on Site Selection for Solar PV Power Plants in India. *Int J Green Energy*. 8:486–98. 2009. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15435075.2011.576293>>. Acesso em: set. de 2019.

LEWS, S. M, FITTS, G., KELLY, M, DALE, L. A fuzzy logic-based spatial suitability model for drought-tolerant witch grass in the United States. *Comput Electron Agric* 2014; 103:39–47.

MARTINS, F. R., ABREU, S. L., PEREIRA, E. B. Scenarios for solar thermal energy applications in Brazil. *Energy Policy*, Guildford, v. 48, p. 640-649, 2012. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421512005113>>. Acesso em: set. de 2019.

MARTINS, F. R., PEREIRA, E. B., ABREU, S.L. “Satellite-derived solar resource maps for Brazil under SWERA project”, *Solar Energy*, v. 81, pp. 517–528, Set. 2007. Disponível em: <[http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/periodicos/SolarEnergy_2007_v81\(4\)_p517-528.pdf](http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/periodicos/SolarEnergy_2007_v81(4)_p517-528.pdf)>. Acesso em: set. de 2019.

MIRHOSSEINI, M., SHARIFI, F., SEDAGHAT, A., 2011. Assessing the wind energy potential locations in province of Semnan in Iran. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 15, 449– 459 Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032110003163>>. Acesso em: set. de 2019.

NEMET, G. F. Beyond the learning curve: factors influencing cost reductions in photovoltaics. *Energy Policy*, v. 34, p. 3218-3232, 2006. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421505001795>>. Acesso em: set. de 2019.

PEREIRA, Enio Bueno. MARTINS, Fernando Ramos. Abreu, Samuel Luna. Ruther, Ricardo. Atlas Brasileiro de Energia Solar. 1ª Edição. 2006. INPE.

POHEKAR, S.D. & RAMACHANDRAN, M. (2004). Application of Multi-criteria Decision Making Tosustainable Energy Planning - A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 8. 365-381. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032104000073>>. Acesso em: set. de 2019.

RADZIEMSKA, E. The effect of temperature on the power drop in crystalline silicon solar cells. *Renew. Energ.* 2003, 28, 1–12. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148102000150>>. Acesso em: set. de 2019.

RAMEDANIR, Z; OMIDO, M, KEYHANI, A. Modeling solar energy potential in Tehran province using artificial neural networks. *Int J Green Energy* 2013; 10:427–41. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/236345200_Modeling_Solar_Energy_Potential_in_a_Tehran_Province_Using_Artificial_Neural_Networks>. Acesso em: set. de 2019.

TANSCHUIT, Ricardo. SISTEMAS FUZZY, PUC-RJ, 2004, Disponível em: <<http://www2.ica.ele.puc-rio.br/Downloads%5C41/LN-Sistemas%20Fuzzy.pdf>>. Acesso em: mar. de 2019.

ROSS, Timothy J., *Fuzzy Logic With Engineering Applications*, 3a Edição, Editora Wiley, 2010

SAATY TL. *The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resources allocation.* New York: McGraw-Hill; 1980.

SAN CRISTÓBAL R. J. *Multi Criteria Analysis in the Renewable Energy Industry*, IX. Springer. 2012.

SANCHEZ-LOZANO, J.M. & ANTUNES, Carlos & GARCIA-CASCALLES, M. Socorro & DIAS, Luis. (2014). GIS-based photovoltaic solar farms site selection using ELECTRE-TRI: Evaluating the case for Torre Pacheco, Murcia, Southeast of Spain. *Renewable Energy*. 66. 478-494. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148114000093>>. Acesso em: set. de 2019.

SANTOS, I. F. S.; FILHO, G. L.; BARROS, R. M. Análises Econômicas, de Sensibilidade e Elasticidade em Projetos de Energias Renováveis no Brasil. *Revista Brasileira de Energia*. Volume 21, No2. 2015. Disponível em: <<https://sbpe.org.br/index.php/rbe/article/view/345/326>>. Acesso em: set. de 2019.

SIMIONI, Tássio. O Impacto da Temperatura para o Aproveitamento do Potencial Solar Fotovoltaico do Brasil. COPPE-UFRJ. Dissertação de Mestrado. 2017. Disponível em: <http://www.ppe.ufrj.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/mestrado/T%C3%A1ssio_Simioni.pdf>. Acesso em: set. de 2019.

SINGH, J.M., 2002. On Farm Energy Use Pattern in Different Cropping Systems in Haryana, India (MS. Thesis). International Institute of Management, University of Flensburg.

TANAKA, Kazuo – An Introduction to Fuzzy Logic For Practical Applications – Springer, 1997

Thirugnanasambandam, Mirunalini & Iniyar, S. & Goic, Ranko. (2010). A review of solar thermal technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 14. 312-322. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032109001750>>. Acesso em : set. de 2019.

TSOUTSOS, T.; FRANTZESKAKI, N.; GEKAS, V. Environmental impacts from the solar energy technologies. *Energy Policy*, Volume 33, Issue 3, February 2005, Pages 289-296. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421503002416>>. Acesso em: set. de 2019.

UNITED NATIONS (UN). Adoption of the Paris Agreement. In Proceedings of the Conference of the Parties, Paris, France, 30 November–11 December 2015. Disponível em: <https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf>. Acesso em: set. de 2019.

VAN HAAREN, V. Fthenakis, GIS-based wind farm site selection using spatial multi-criteria analysis (SMCA): evaluating the case for New York State, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 15 (7) (2011) 3332e3340. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S136403211100147X>>. Acesso em: set. de 2019.

W. Yun-na, Y. Yi-sheng, F. Tian-tian, K. Li-na, L. Wei, F. Luo-jie, Macro-site selection of wind/solar hybrid power station based on Ideal Matter-Element Model, *Int. J. Electr. Power & Energy Syst.* 50 (2013) 76e84, Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142061513000847>>. Acesso em: set. de 2019.

YELMEN, B.; ÇAKIR, M.T. Influence of temperature changes in various regions of Turkey on powers of photovoltaic solar panels. *Energy Sources Part A Recover. Util. Environ. Eff.* 2016, 38, 542–550. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15567036.2011.551925>>. Acesso em: set. de 2019