

POTENCIAL SOLAR NA ILHA DE FLORIANÓPOLIS – PROPOSTA DE MÉTODO

Solar Potential in Florianopolis Island – Proposed Method

Vivian da Silva Celestino Reginato

Universidade Federal de Santa Catarina

Departamento de Engenharia Civil

vivian.celestino@ufsc.br

Resumo:

Imagens de satélite têm sido utilizadas para muitas atividades em diferentes áreas do planeta, inclusive na busca de fontes alternativas e sustentáveis para atender a demanda crescente de energia com finalidade de diminuir a emissão dos Gases de Efeito Estufa (GEE). Uma maneira de minimizar esses efeitos e expandir o parque gerador é incentivar a geração local através do uso de fontes renováveis, como a energia solar, que é gratuita e acessível em muitas regiões do planeta. Mas para que seja tomada uma decisão assertiva no momento de instalar um sistema solar é necessário utilizar ferramentas que envolvam o sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas (SIG), realizando a compilação de informações e variáveis que sejam pertinentes ao tema de geração de energia solar e que levem em consideração o espaço geográfico inerente. Neste contexto o objetivo principal deste trabalho é desenvolver um modelo em SIG para identificar áreas com potencial solar em escala regional utilizando imagens de sensores remotos ativos e modelos solares já disponíveis. Como forma de validar o modelo foi utilizada como área de estudo a parte insular do município de Florianópolis no Estado de Santa Catarina – Brasil. Os resultados apontaram para um potencial solar alto e que pode ser explorado ao longo de todo o ano.

Palavras-chave: Energia Solar; Sensoriamento Remoto; SRTM; Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Abstract

Satellite imagery is used for many activities in different areas of the planet, including searching for alternative and sustainable sources to meet growing energy demand to reduce greenhouse gas (GHG) emissions. One way to minimize these effects and expand energy parks is to encourage local generation through the use of renewable sources, such as solar energy, which is free and affordable in many regions of the planet. But in order to make an assertive decision when installing a solar power system, one needs to use tools that involve remote sensing and geographic information systems (GIS), and compile information and variables that are relevant to the subject of solar power generation and take into account the inherent geographic space. In this context, the main objective of this work is to develop a GIS model to identify areas with solar potential on a regional scale using active remote sensor images and previously available solar models. To validate the model, this study used an area on the island part of the city of Florianópolis in Santa Catarina State - Brazil. The results pointed to a high solar potential that can be exploited throughout the year.

Keywords: Solar Energy; Remote Sensing; SRTM; Geographic Information Systems (GIS).

1. INTRODUÇÃO

Em 1957, um objeto terrestre, construído pela mão do homem, foi lançado ao universo, onde durante algumas semanas girou em torno da Terra segundo as mesmas leis de gravitação que governam o movimento dos corpos celestes – o Sol, a Lua e as estrelas (ARENDDT, 2000). Hannah Arendt se referia ao Sputnik, primeiro satélite artificial colocado em órbita no mundo e que abriu caminho para a nova tecnologia denominada Sensoriamento Remoto, que é a arte e a ciência de obter informações sobre um objeto sem estar em contato físico direto com ele.

Desde o surgimento dos primeiros satélites as imagens de sensoriamento remoto têm sido utilizadas nos ramos da ciência, educação e tecnologia em diversos países. São exemplos as

advindas de sensores ativos da *Space Shuttle Topography Mission* (SRTM) e as advindas de sensores passivos como da série Landsat. Tais imagens são ferramentas/recursos fundamentais para que os analistas identifiquem problemas, visualizem panoramas e proponham alternativas políticas viáveis para tomada de decisão em gestão territorial.

Na era contemporânea onde a humanidade se multiplica e utiliza cada vez mais energia, é urgente e contingente progredir sem perder de vista a preservação dos recursos naturais. Encontrar alternativas que utilizem fontes renováveis de energia, além de necessário, é vital para a preservação dos seres vivos, pois os impactos ambientais causados pelas emissões de gases de efeito estufa são irreversíveis, sendo o aumento do buraco na camada de ozônio, o aquecimento global, o derretimento das calotas polares e as mudanças climáticas, somente alguns exemplos notáveis.

Diversas fontes de energia podem ser utilizadas como alternativas ao uso de energias poluentes. Para permitir a visualização de cenários futuros em espaços físicos e colaborar no processo decisório atual na identificação de potencial de energias renováveis os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) têm sido utilizados como ferramentas em diversas escalas, níveis de abstração e espacialização de fenômenos, onde os advindos de natureza abstrata, como temperatura e radiação solar, entre outros.

Os atlas solarimétricos produzidos e os modelos de radiação solar já desenvolvidos e disponíveis no mercado são exemplos de aplicações que utilizaram SIG na sua produção. Porém, tanto os atlas (por possuírem escala pequena) quanto os modelos de radiação (por serem mais precisos na identificação pontual) não suprem a necessidade de investigação de potencial solar a ser aplicado em escalas regionais (modelos que possam ser aplicados a municípios, por exemplo). É necessária uma nova geração de modelos espaciais que combinem as respectivas vantagens dos modelos de radiação solar pontuais com a visualização de pequenas escalas dos atlas, para proporcionar rapidez e precisão aos modelos em escalas regionais.

Mas para que seja tomada uma decisão assertiva, em relação à definição de áreas com potencial para gerar energia por fonte solar de forma regional, é necessário verificar quais são as premissas fundamentais para que esse potencial exista, como, por exemplo, o relevo e o aspecto adequado. As técnicas mais indicadas para realizar essas análises ainda incluem o uso de produtos, como imagens advindas de sensoriamento remoto e/ou fotogrametria quanto ferramentas SIG, primeiro, para gerar modelos digitais e, segundo, para realizar a análise espacial. Tal análise se faz necessária para que as informações, advindas da superfície terrestre e do meio ambiente quando espacializadas geograficamente, se transformem em um conhecimento que permita a tomada de decisão assertiva.

Neste contexto o objetivo principal deste trabalho é desenvolver um modelo em SIG para identificar áreas com potencial solar em escala regional utilizando imagens de sensores remotos ativos e modelos solares já disponíveis.

2. ENERGIAS RENOVÁVEIS OU SUAVES E OS MODELOS DE INSOLAÇÃO ESPACIAL

São consideradas energias renováveis ou suaves todas aquelas que utilizam as forças da natureza para gerar energia sem agredir o meio ambiente e sem grandes sistemas logísticos para transportar a energia gerada. Lovins (1997) destaca que o processo da geração da energia, até o consumo final, deve percorrer um caminho sustentável, portanto, suave. O "caminho suave da energia" pressupõe que a energia é apenas um meio para fins sociais e não é um fim em si

mesmo. Caminhos de energia suave envolvem uso eficiente de energia, diversidade de métodos de produção de energia (combinados em escala e qualidade para usos finais) e dependência especial de cogeração e "tecnologias de energia suave" como energia solar, energia eólica, biocombustíveis, energia geotérmica, energia das ondas, a energia das marés, etc.

De acordo com Eloy (2009) a energia solar é uma fonte inesgotável, livre e não poluente, pois o sol atinge a Terra em formas térmicas e luminosas, porém a captação desta radiação é variável de acordo com o local, pois depende da latitude, da estação do ano e de condições atmosféricas diversas como nebulosidade e umidade relativa. Se uma superfície escura for usada para captura, a energia solar será transformada em calor e, se forem usadas células fotovoltaicas, o resultado será eletricidade (ANEEL, 2008). Um sistema fotovoltaico, por exemplo, não precisa do brilho do sol para operar, também pode gerar eletricidade em dias nublados. Isso porque a energia excedente gerada disponibilizada na rede funciona como um crédito que pode ser utilizado pelo consumidor quando a energia solar não estiver disponível.

É importante ressaltar que a maior parte da capacidade instalada corresponde a instalações conectadas à rede, representando 98% da capacidade global, embora haja um interesse recente em instalações isoladas e sistemas de pequena escala, principalmente em áreas remotas, difíceis de acessar (ONU, 2013).

O Brasil, por ser um país localizado majoritariamente na zona intertropical, possui grande potencial para aproveitamento de energia solar durante todo o ano (TIBA, 2000 e COLLE e PEREIRA, 1998), onde são utilizados os sistemas térmico e fotovoltaico. Devido a características climáticas, o primeiro é mais indicado a ser explorado nas regiões Sul e Sudeste, e o segundo, nas regiões Norte e Nordeste, em comunidades isoladas.

Esse potencial foi verificado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) quando da publicação, no ano de 2006, do Atlas Brasileiro de Energia Solar. O Atlas disponibiliza dados de energia solar para todo o território brasileiro e foi produzido utilizando modelo de transferência radiativa, foi alimentado por dados climatológicos e 10 anos de informações extraídas de imagens de satélite geostacionário e validado por dados coletados em estações de superfície (PEREIRA, 2006). Através de técnicas de Geoprocessamento os dados do Atlas podem ser acessados pelos interessados. Porém, por se tratar de um produto de abrangência espacial muito grande, possui suas limitações no tocante a escala e exatidão, não sendo indicado para identificar o potencial solar de forma regional ou local.

Segundo Santos et al (2014), a radiação solar incidente pode ser medida por estações meteorológicas terrestres, por satélites meteorológicos e/ou estimada por meio de modelos. Existem vários modelos solares disponíveis na literatura, que variam em detalhes acerca dos parâmetros de entrada e, conseqüentemente, no mapa de saída. Os dois exemplos de modelos de radiação solar mais utilizados são o *Solar Analyst* do ArcGIS (FU E RICH, 1999/2000) e o Sistema de Informação Geográfica Fotovoltaica (PVGIS) (ŠŪRI ET AL, 2005).

Modelos de insolação espacial são modelos geográficos e podem ser categorizados em dois tipos: baseados em ponto específico e baseados em área. Modelos específicos de ponto calculam a insolação para uma localização baseada na geometria da orientação da superfície e do céu visível. O efeito local da topografia é explicado por relações empíricas, por estimativa visual ou, mais precisamente, pelo auxílio de imagens hemisféricas voltadas para cima (THE SOLAR ANALYST 1.0 - USER MANUAL, 1999 - 2000).

Modelos específicos de ponto podem ser altamente precisos para um determinado local, mas não é viável construir um modelo específico para cada local em uma região. Em contrapartida, os modelos baseados em área calculam a insolação para uma área geográfica,

calculam a orientação da superfície e os efeitos de sombra a partir de um Modelo Digital de Elevação (MDE).

O modelo *SolarFlux* (Hetrick et al. 1993a, 1993b, Rich et al. 1995) simula a influência dos padrões de sombra sobre insolação direta usando a função *Hillshade* em intervalos discretos ao longo do tempo. O modelo *Solar Analyst* baseia-se nos pontos fortes dos modelos baseados em pontos específicos e em áreas. Em particular, ele gera uma visão hemisférica voltada para cima, produzindo na essência o equivalente a uma fotografia hemisférica (olho de peixe) (Rich 1989, 1990) para cada localização em um MDE. As vistas hemisféricas são usadas para calcular a insolação para cada local e produzir um mapa de insolação preciso. Calcula a insolação integrada para qualquer período de tempo utilizando a latitude e elevação do local, a orientação da superfície (aspecto), sombras projetadas pela topografia circundante, mudanças diárias e sazonais no ângulo solar e atenuação atmosférica.

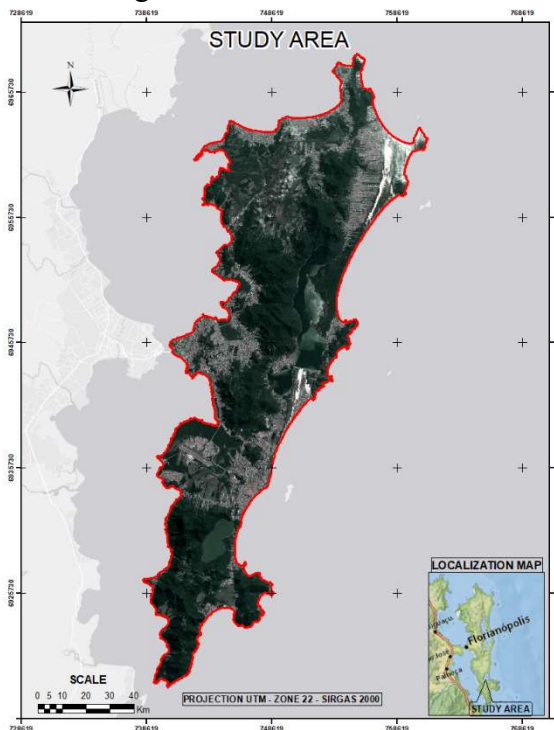
De acordo com o site <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis> (2019), o PVGIS fornece acesso gratuito e aberto na *internet* para dados de radiação solar e temperatura para avaliação de desempenho de potencial fotovoltaico. Possui como funcionalidades: potencial fotovoltaico; radiação solar e temperatura; séries temporais completas de valores horários de radiação solar e desempenho fotovoltaico; dados do ano meteorológico típico para nove variáveis climáticas; mapas, por país ou região, de recursos solares e potencial fotovoltaico prontos para impressão.

3. DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo definida (ver Figura 1) abrange a maior ilha da parte insular do Município de Florianópolis e conta com 421,23 km². Situa-se na latitude 27° Sul e longitude 48° Oeste. Possui uma forma alongada e estreita, com comprimento médio de 55 km e largura média de 18 km. Seu relevo é formado por cristas montanhosas e descontínuas, servindo como divisor de águas. O ponto mais alto é o morro do Ribeirão, com 532 m de altitude. Em relação ao clima, segundo a classificação climática de Koeppen (1996) que analisa, simultaneamente, a temperatura e a precipitação, é considerado mesotérmico úmido, com verões quentes, invernos frios e umidade durante o ano todo. Já de acordo com a classificação climática de Strahler (1986), que se baseia nos controles climáticos e nas características das precipitações sobre os lugares, o clima é considerado Subtropical Úmido, controlado pelas massas de ar tropicais e massas de ar polares, com chuvas abundantes durante todo o ano, com as máximas ocorrendo no verão, principalmente em janeiro.

Já sobre as temperaturas, a média registrada pela Estação Climatológica Principal e Sinótica de Florianópolis, durante o período de 1911 a 2009 foi de 20,6 ° C. Acerca da vegetação possui uma variedade muito grande por se situar em zona costeira e apresenta uma biogeografia peculiar com diversos ecossistemas: mangues, restingas, lagoas, dunas, praias, costões rochosos, florestas. Cada um deles possui função vital no equilíbrio ecológico e na manutenção da qualidade de vida e por isso muitas são instituídas legalmente como Unidades de Conservação (UC) (DEBETIR & ORTH, 2007). De acordo com as autoras, existiam em 2007 13 UC na Ilha de Florianópolis: sete parques, uma reserva extrativista, uma reserva particular do patrimônio natural, uma área de proteção ambiental, dois monumentos ambientais e uma estação ecológica. Importante ressaltar que, nestas áreas, não são permitidas construções, inviabilizando a instalação de estruturas para captação de energia via fontes renováveis. Como o trabalho se limita a região insular de Florianópolis, não são contabilizadas, neste artigo, as UC do município como um todo.

Figura 1 – Área de Estudo.



Ao analisar os dados disponibilizados pelo Atlas Solar para a Ilha de Florianópolis, percebe-se a existência de radiação solar global absoluta entre 4500 wh/m² e 4700 wh/m² (watt hora por metro quadrado) (PEREIRA, 2006). Percebe-se que a energia solar fotovoltaica é explorada em residências e em algumas empresas, como a Eletrosul, bem como em projetos de pesquisa onde a UFSC Fotovoltaica é um exemplo. A energia solar térmica também é explorada em residências.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Para desenvolver o método proposto, primeiramente, foi necessário realizar pesquisas em diferentes fontes bibliográficas e definir qual a matriz de energia (por fonte renovável) seria utilizada, levando em consideração as necessidades da Ilha de Florianópolis. O segundo passo foi identificar quais informações e produtos convencionais e cartográficos primários seriam considerados fundamentais para gerar informações secundárias para identificar o potencial de energia por fonte solar. Foi definido como *software* de SIG para desenvolver o modelo, o ArcGIS da ESRI. Considerou-se fundamental a utilização de um MDE, donde poderiam ser derivadas as informações de altitude, inclinação, declividade para gerar o potencial solar por aspecto da superfície mapeada. Para tanto foi utilizado um mosaico de imagens SRTM com 30 m de pixel devido a limitação da escala regional definida para o trabalho, pois demais MDE com maiores resoluções espaciais poderiam ter sido utilizados, como o disponibilizado pela Secretaria de Estado do Desenvolvimento Social do Estado de Santa Catarina, com 1 m de pixel, por exemplo. Para estimar o potencial solar por aspecto foram definidos pesos para os diferentes caminhamentos do sol aplicados à região de estudo através de *Analytic Hierarchy*

Processe (AHP). Ver detalhes desta definição na rosa dos ventos da Figura 2 e também na Tabela 1.

Figura 2 – Rosa dos Ventos.

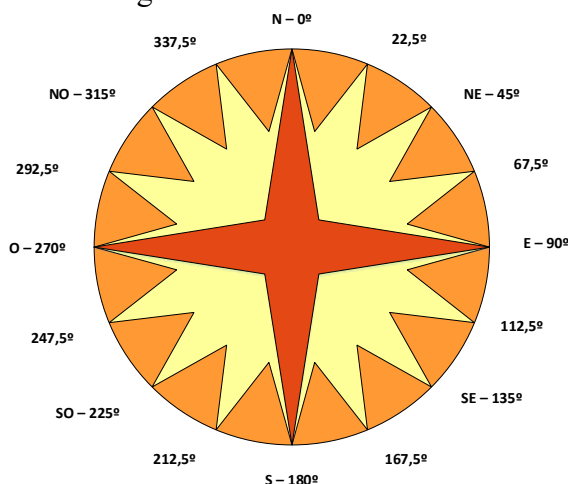


Tabela 1 - Pesos por potencial e aspecto (faces de sol) da área de estudo.

Aspecto/Faces de Sol	Potencial	Orientação ao Sol	Peso
Flat	Excelente	-1°	5
Norte	Altíssimo	337,5° a 360° e 0° a 22,5°	4
Nordeste	Alto	22,5° a 67,5°	3
Noroeste	Alto	292,5° a 337,5°	3
Oeste	Médio	247,5° a 292,5°	2
Leste	Médio	67,5° a 112,5°	2
Sudeste	Baixo	112,5° a 167,5°	1
Sudoeste	Baixo	212,5° a 247,5°	1
Sul	Nulo	167,5° a 212,5°	0

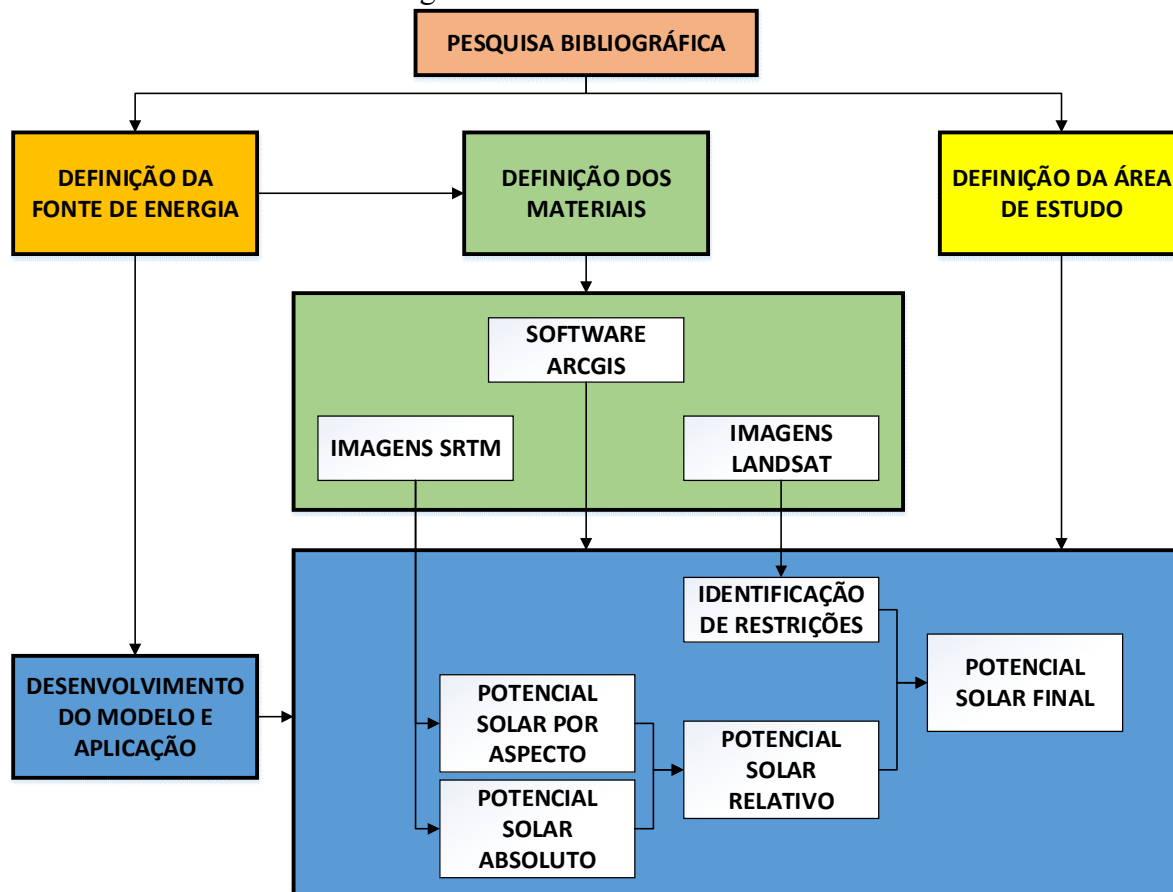
Também se verificou a necessidade de obter informações a respeito do uso e ocupação do solo, para definir as restrições que devem ser levadas em consideração no mapeamento de potencial energético solar, como as UC, por exemplo. A partir desta definição foi utilizado mosaicos de imagens LandSat 8 da *United States Geological Survey* (USGS) com 30 m de resolução, fusionadas a partir das bandas vermelho, verde e pancromática com resolução final de 15 m e após foi realizada classificação supervisionada para extrair 6 classes de uso e ocupação do solo (vegetação arbórea, vegetação arbustiva, urbano, solo exposto, dunas e campo). Foram consideradas como áreas restritas as 13 UC identificadas na Ilha de Florianópolis já listadas no capítulo 3. Assim, essas áreas, após rasterização para um pixel de 15 m formaram mais uma classe de restrição denominada UC.

Foi definido para construir o modelo de SIG a ferramenta *ModelBuilder* e para calcular a radiação global da área de estudo a função *Area Solar Radiation*, ambas do ArcGIS. Essa última função utilizou o mesmo MDE SRTM com 30 m de resolução. Foram inseridos como parâmetros de entrada: o ano de 2019; 14 h de radiação diária; frequência de 30 minutos; latitude geográfica média de 27,5° S; resolução do *sky size* de 200; fator de difusão 0,3; transmissividade de 0,5 e; tipo de modelo de difusão céu uniforme. A radiação calculada global

retorna o valor total acumulado no ano, então foi realizado cálculo para obter o valor médio diário da radiação em kwh/m^2 utilizando a calculadora *raster calculator*. Foram obtidos valores diários globais médios absolutos (radiação absoluta).

Para melhor representação da realidade do potencial solar da área de estudo, multiplicou-se o potencial solar por aspecto pelos valores diários globais médios absolutos (radiação absoluta), o que gerou os valores de potencial solar relativo. Para investigação do potencial solar final ainda foi multiplicado como valor nulo (peso 0), a restrição relativa à classe UC. Nenhum outro tipo de restrição foi considerado porque, *a priori*, painéis solares podem ser instalados em ambientes urbanos (telhados), bem como, inclusive, em reservatórios de água. No final foi possível identificar as áreas com potencial para gerar energia pela fonte solar para a Ilha de Florianópolis. Ver o fluxograma dos materiais e métodos utilizados na Figura 3.

Figura 3 – Materiais e Métodos.



6. RESULTADOS

O desenvolvimento do modelo e sua aplicação permitiu apresentar resultados em dois planos distintos: a aplicação em *Modelbuilder* onde foi produzido o fluxo para a identificação de áreas com potencial solar (ver Figura 4) e a produção de mapas identificando as áreas com potencial para gerar energia pela fonte renovável solar.

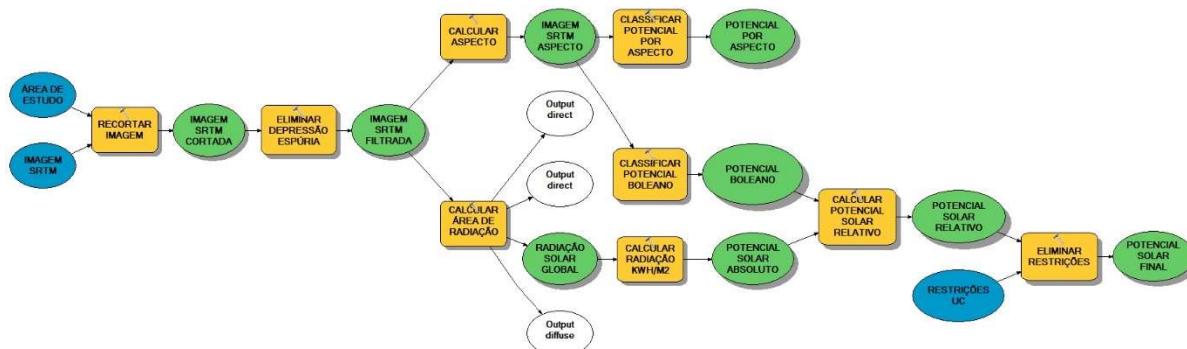
Na Tabela 2 e na Figura 5 pode ser verificado o quantitativo do potencial solar por aspecto geográfico da área de estudo. De acordo com os resultados apresentados na Tabela 2 e na Figura

5, aproximadamente 84% da região investigada possui algum potencial solar, *a priori*, devido ao seu posicionamento em relação ao sol, com potencial solar por aspecto enquadrado entre baixo e excelente. A face voltada para Sul corresponde a 15,66% da área e não possui potencial solar. *A priori*, as faces de sol flat e orientadas a Noroeste, Nordeste e Norte, correspondem aos maiores potenciais atribuídos, resultando em 55,93% do total da área, ou seja, área possui potencial solar por aspecto entre alto e excelente. 28,4% da área pesquisada possui também potencial, porém, entre baixo e médio. Merece destaque a orientação a Norte, Nordeste e Noroeste que corresponde a 48% do total da área, devido a localização geográfica da Ilha de Florianópolis.

Tabela 2 – Potencial solar por aspecto.

Aspecto/Faces de Sol	Potencial	Peso	Área (km2)	Área (%)
Flat	Excelente	5	33,24	7,89
Norte	Altíssimo	4	90,32	21,44
Nordeste/Noroeste	Alto	3	112,05	26,60
Oeste/Leste	Médio	2	88,30	20,96
Sudeste/Sudoeste	Baixo	1	31,33	7,44
Sul	Nulo	0	65,98	15,66
Total	-	-	421,23	100

Figura 4 - Aplicação do Modelo.



Após o cálculo do potencial por aspecto foi calculada, a radiação global absoluta acumulada para o ano de 2019. A seguir calculou-se o valor médio diário da radiação em wh/m^2 para o ano de 2019, o que resultou nos valores entre 2.188 e 4.564 wh/m^2 . A radiação média diária reflete a quantidade de radiação recebida em um determinado local a depender da função da espessura óptica, do ângulo zenital e do comprimento de onda vinda do sol. Ver o mapa na Figura 6 e a descrição dos resultados na Tabela 3, onde pode ser verificado que a função utilizada para calcular a radiação global utiliza a área como um todo e não leva em consideração as faces de sol. De acordo com este resultado toda a área possui potencial solar entre 2,188 e $4,564 \text{ wh/m}^2$, o que não corresponde à realidade.

Tabela 3 – Potencial solar absoluto - Média diária para o ano de 2019.

Radiação (Wh/m2)	Área (km2)	Área (%)
Entre 2,188 e 3,418	12,41	2,95
Entre 3,419 e 3,735	34,79	8,26
Entre 3,736 e 3,968	52,76	12,53
Entre 3,969 e 4,173	267,16	63,42
Entre 4,174 e 4,564	54,11	12,85

Total	421,23	100,00
-------	--------	--------

Para melhor representação da realidade, o potencial solar absoluto foi multiplicado ao potencial solar por aspecto, gerando o potencial solar relativo, que está sendo apresentado na Figura 7 e na Tabela 4, onde pode ser verificado que as áreas identificadas em preto não possuem potencial solar devido ao seu posicionamento (face Sul). Isso corresponde a 7,89% da área pesquisada.

Tabela 4 – Potencial solar relativo - Média diária para o ano de 2019.

Radiação (wh/m2)	Área (km2)	Área (%)
0	33,24	7,89
Entre 2,188 e 3,562	18,17	4,31
Entre 3,563 e 3,902	48,77	11,58
Entre 3,903 e 4,152	258,36	61,33
Entre 4,153 e 4,564	62,69	14,88
Total	421,23	100,00

Figura 5 – Potencial Solar por Aspecto.

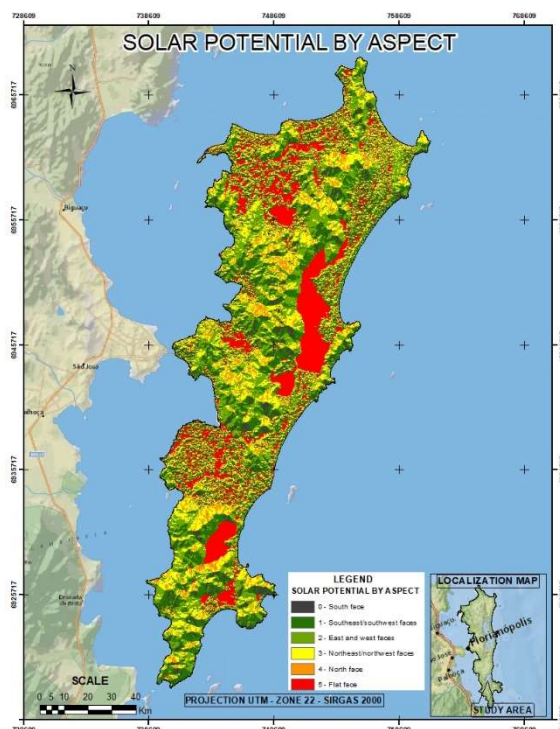
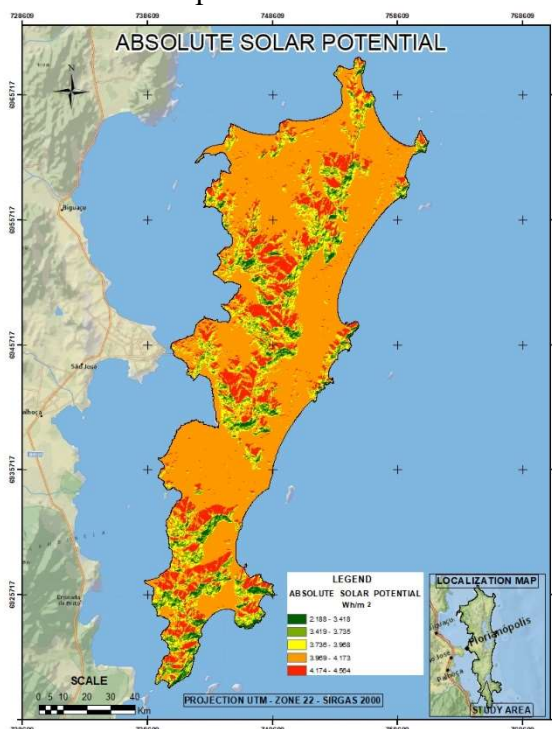


Figura 6 – Potencial solar absoluto – Média diária para o ano de 2019.



Ainda na Figura 7 pode ser verificado que existem muitas áreas com potencial solar identificado em 92,11% da área, com radiações calculadas entre 2,188 e 4,564 wh/m² (média diária para o ano de 2019).

De forma a identificar o potencial solar levando em consideração as restrições, ainda foi subtraído do mapa de potencial solar relativo, às Unidades de Conservação (UC) da Ilha de Florianópolis, resultando no mapa da Figura 8, onde pode ser verificado que aproximadamente

17% da Ilha de Florianópolis é composta por essas UC (apresentadas na cor azul) e nos valores por área de potencial solar relativo com restrições apresentados na Tabela 5.

Ao observar a Figura 8 e a Tabela 5 pode ser verificado que, apesar de existir uma área de aproximadamente 17% de UC na Ilha, portanto sem expectativa de exploração de potencial solar, ainda restam 76,73% de área com potencial solar relativo a ser explorada, com valores de radiação entre 2,188 e 4,564 wh/m² (média diária para o ano de 2019), sendo que a maioria da área (63,14%) possui alto potencial solar com valores entre 3,903 e 4,564 wh/m². Nenhuma outra restrição foi pesquisada porque considera-se que a energia solar pode ser explorada em áreas urbanas e, inclusive, em regiões de lagos/lagoas.

Tabela 5 – Potencial solar relativo com restrições - média diária para o ano de 2019.

Radiação (wh/m ²)	Área (km ²)	Área (%)
Restrição (UC)	71,63	17,01
Sem potencial	26,36	6,26
Entre 2,188 e 3,562	16,37	3,89
Entre 3,563 e 3,902	40,92	9,71
Entre 3,903 e 4,152	212,70	50,50
Entre 4,153 e 4,564	53,25	12,64
Total	421,23	100,00

Figura 7 – Potencial solar relativo – Média diária para o ano de 2019.

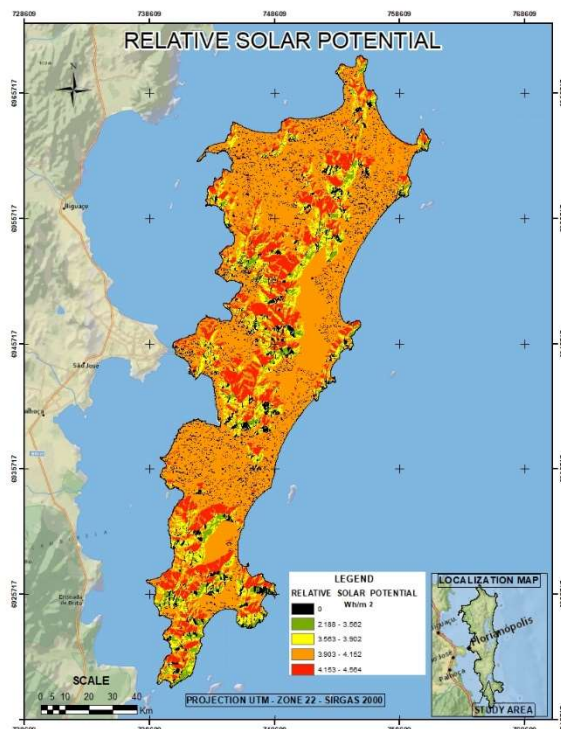
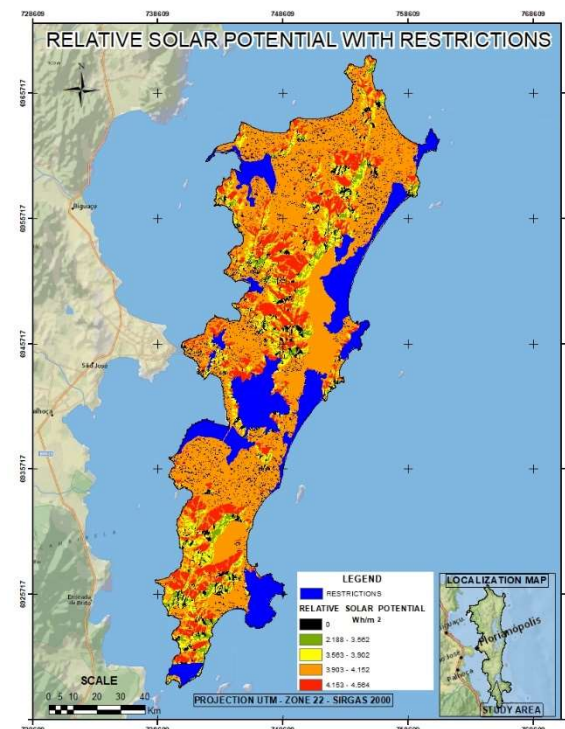


Figura 8 - Radiação solar global relativa com restrições – Média diária para o ano de 2019.



6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Conclui-se que todos os objetivos foram atingidos, pois: foram definidas as informações e produtos cartográficos necessários ao desenvolvimento do modelo e da aplicação; foi implementado um modelo em *ModelBuilder* que resultou na identificação de possíveis áreas com potencial solar e; este modelo foi aplicado em uma área de estudo para validação. Os consequentes mapas gerados apresentaram resultados satisfatórios, apontando o referido potencial solar para a área de estudo, ou seja, a Ilha de Florianópolis.

Considera-se que: a aplicação do *Modelbuilder* em diferentes regiões geográficas depende de alguns fatores e necessita que algumas premissas sejam contempladas, como a utilização de MDE para extração da altitude e aspecto (faces de sol), de imagens de satélite ou mapas de uso e ocupação do solo de forma rasterizada para definir as possíveis restrições.

Em relação ao potencial solar da região conclui-se que é alto para exploração solar, pois mais de 76% da região possui algum potencial solar, entre baixo e excelente, devido, principalmente ao relevo e à situação geográfica da Ilha, com muitas faces voltadas ao Norte, Nordeste e Noroeste.

Para as áreas com potencial solar identificadas neste trabalho recomenda-se a realização de estudos mais aprofundados em relação ao tipo de equipamento a ser instalado (térmico para aquecimento de fluídos ou fotovoltaico para geração de energia elétrica), bem como a utilização de outros modelos com maiores resoluções, como os Modelos Digitais de Superfícies (MDS) advindos de levantamentos à laser ou de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT), para validação e aprimoramento dos resultados. Recomenda-se ainda que, para aplicações deste modelo geográfico em outras regiões do globo terrestre, as seguintes premissas sejam levadas em consideração a priori: existência de MDE e MDS, configuração de parâmetros para o hemisfério, latitude e aspecto do local, bem como verificação do número de horas de sol por ano, nebulosidade e chuvas.

Referências

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3ª edição. Brasília: ANEEL. 2008. 236 p.

ARENDR, H. **A condição humana**. 10º ed. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2000.

COLLE, S.; PEREIRA, E. B.; **Atlas de Irradiação Solar do Brasil – 1ª versão para irradiação global derivada de satélite e validada na superfície**. Instituto Nacional de Meteorologia - INPE. Brasília. 1998. 65 p.

DEBETIR, E.; ORTH, D. M. Estratégias de gestão para unidades de conservação. In: Emiliana Debetir; Dora Orth. (Org.). **Unidades de conservação: gestão e conflitos**. 1ed. Florianópolis: Insular Ltda, 2007, v. 1, p. 43-66.

ELOY, A. **Energias Sem-fim – Contrariando as Alterações Climáticas**. Edições Colibri. Lisboa. 2009.

FU, P., RICH, P.M.. Design and implementation of the solar analyst: an ArcView extension for modeling solar radiation at landscape scales. In: **Proceedings of IX Annual ESRI User Conference**. 1999/2000.

HETRICK, W. A. , P. M. RICH, AND S. B. WEISS. 1993B. Modeling insolation on complex surfaces. **Thirteen Annual ESRI User Conference**, Volume 2, pp. 447–458.

HETRICK, W.A., P.M. RICH, AND F.J. BARNES, AND S.B. WEISS. 1993a. GIS-based solar radiation flux models. **American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Technical Papers**, Vol 3, GIS Photogrammetry and Modeling. pp. 132–143.

KÖEPPEN, W. **Sistema geográfico dos climas**. Trad. Antônio C. de Barros Corrêa. Série B: Textos Didáticos, nº13. Departamento de Ciências Geográficas, Recife, UFPE, 1996.

LOVINS, A. B. **Soft energy paths: towards a durable peace**. Harmondsworth, United Kingdom: Penguin Books. 1977.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (ONU/DI) - **Observatório de Energias Renováveis para a América Latina e o Caribe – Energia e Mudança Climática**. Programa de Capacitação em Energias Renováveis. 2013. 75 p.

PEREIRA, E. B.; **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. Brasília. 2006.

RICH, P.M. 1989. **A manual for analysis of hemispherical canopy photography**. Los Alamos National Laboratory Report, LA-11733-M.

RICH, P.M. 1990. Characterizing plant canopies with hemispherical photography. In: N.S. Goel and J.M. Norman (eds). Instrumentation for studying vegetation canopies for remote sensing in optical and thermal infrared regions. **Remote Sensing Reviews** 5:13-29.

RICH, P.M., W.A. HETRICK, S.C. SAVING. 1995. **Modeling Topographic Influences on Solar Radiation: a manual for the Solarflux model**. Los Alamos National Laboratory Report LA-12989-M.

SANTOS, C. M.; SOUZA, J. L.; TERAMOTO, E. T.; TIBA, C.; MELO, R. O. Modelagem da irradiação solar global média horária mensal (h_g^h) para quatro localidades de Alagoas/Brasil. *Nativa, Sinop*, v. 02, n. 02, p. 79-88, abr./jun. 2014. **Pesquisas Agrárias e Ambientais**. doi: 10.14583/2318-7670.v02n02a04.

STRAHLER, A. N. **Geografia Física**. Barcelona, Ediciones Omega, 1986, 767p.

ŠÍRÍM · HUBÍD T A · DIINI OP F D. PVGIS: a web-based solar radiation database for the calculation of PV potential in Europe. **International Journal of Sustainable Energy**. Taylor & Francis online: United Kingdom. 2005.

THE SOLAR ANALYST 1.0 - USER MANUAL. 1999 - 2000. Helios Environmental Modeling Institute (HEMI). Disponível em: <http://professorpaul.com/publications/fu_rich_2000_solaranalyst.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2019.

TIBA, C. **Atlas Solarimétrico do Brasil – banco de dados terrestre**. Editora Universitária UFPE. Recife. 2000. 111 p.