

DESENVOLVIMENTO DE MAPAS DE AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE SISTEMAS FOTVOLTAICOS EM DIFERENTES ÂNGULOS DE INCLINAÇÃO E DE AZIMUTE

L. Kormann¹, J. Peroza¹, J. E. Silva¹, G. A. Rampinelli¹.

¹Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Rodovia Governador Jorge Lacerda, n° 3201 – Araranguá, SC

e-mail: mmkormann@hotmail.com, josi_peroza@hotmail.com, joanaemilie@grad.ufsc.br, giuliano.rampinelli@ufsc.br

Recibido 11/08/14, aceptado 24/09/14

RESUMO: O Brasil, devido às suas dimensões continentais, apresenta condições muito distintas de radiação solar e clima, o que torna difícil modelar um sistema fotovoltaico baseado em dados que não sejam locais. A instalação de sistemas fotovoltaicos fixos em inclinações e orientações adequadas é fundamental para otimizar o desempenho energético do mesmo. Este trabalho apresenta e desenvolve mapas de avaliação do desempenho de sistemas fotovoltaicos em distintos ângulos de inclinação e de azimute considerando diferentes perfis de radiação solar. Os mapas de avaliação foram desenvolvidos a partir de resultados obtidos de simulações computacionais com o software *System Advisor Model* (SAM) desenvolvido pelo Laboratório Nacional de Energias Renováveis (NREL) do Departamento de Energia (DOE) dos Estados Unidos. Os mapas desenvolvidos permitem avaliar o desempenho energético de um sistema fotovoltaico genérico em duas regiões com perfis distintos de radiação solar.

Palavras-chave: Energia Solar, Sistemas Fotovoltaicos, Índices de Desempenho.

INTRODUÇÃO

No processo de implantação de um sistema fotovoltaico um dos primeiros passos é o estudo das condições climáticas e de potencial de geração local. Ainda não existem muitos dados apresentados de forma explícita que facilitem esse estudo e determinem as condições ideais para diferentes locais, principalmente no Brasil, onde a tecnologia solar ainda vêm se consolidando. O Brasil, apesar de também fazer parte desta realidade, ainda tem poucos sistemas reais, sujeitos a situações típicas do dia a dia, instalados e monitorados. (BLASQUES et al, 2014). Em vista disso uma análise direcionada para determinar o perfil de irradiância local no formato de um mapa de desempenho global pode vir a ser útil no planejamento de futuras instalações fotovoltaicas nas cidades estudadas.

A necessidade do desenvolvimento de análises referentes aos perfis do recurso solar em diversas localidades cresce principalmente em decorrência dos incentivos governamentais concedidos nos últimos anos. Um marco que exemplifica esses incentivos é a resolução normativa da Aneel n° 482/2012, a qual define uma regulamentação para sistemas fotovoltaicos conectados à rede. Essa regulamentação define condições gerais para sistemas com microgeração e minigeração, com potência instalada menor ou igual a 100 kW e superior a 100 kW e menor ou igual a 1 MW, respectivamente. Desse modo um sistema de compensação de energia é previsto a fim de se obter um balanço entre energia consumida e energia gerada. Contudo pesquisas envolvendo o perfil de irradiância local, assim como os índices de mérito técnico do sistema devem ser realizadas com a finalidade de se obter a viabilidade da instalação desses sistemas. (ANEEL, 2012)

A cidade de Florianópolis, localizada na latitude de 27°67', apresenta clima bastante influenciado pelos ventos, com as quatro estações do ano bem definidas. A temperatura média anual da cidade é 20°C e a umidade apresenta médias de 80 %. A cidade de Petrolina, no nordeste do país, fica na latitude de 9°35' e apresenta clima semiárido, com grande irregularidade de chuvas. A temperatura média anual é de 26,3°C e a umidade média é de 58 %. As duas cidades foram analisadas neste estudo em decorrência dos seus perfis de radiação, que se diferenciam muito devido a fatores como a proximidade do mar, a localização latitudinal e os períodos de insolação.

METODOLOGIA

Na parte de obtenção dos dados locais de ambas as cidades foi utilizado o banco de dados do *EnergyPlus Energy Simulation Software*, indicado no próprio *software* SAM. Para trabalhar com esses dados optou-se por uma configuração de sistema fotovoltaico constituído por módulos de silício monocristalino *SUNPOWER SPR-250NX – BLK-D* arranjados em conjuntos de sete por *string*, com seis *strings* em paralelo. Os dados referentes ao módulo são especificados na Tabela 1.

Características do módulo fotovoltaico	Valores
Eficiência	20,09 %
Máxima potência	250 W
Tensão de máxima potência	42,8 V
Corrente de máxima potência	5,84 A
Tensão de circuito aberto	50,93 V
Corrente de curto circuito	6,2 A
Área do módulo	1,244 m ²

Tabela 1: Especificações Técnicas do Módulo Fotovoltaico Sun Power SPR-250NX-BLK-D.

Para um melhor dimensionamento, a fim de evitar sobre dimensionamento ou subdimensionamento, a potência do inversor e a potência do arranjo fotovoltaico devem apresentar compatibilidade. O dimensionamento da potência do inversor inferior à potência do arranjo fotovoltaico, usualmente, conduz a um melhor funcionamento do sistema, principalmente em climas com pouca irradiação, nas quais a duração dos valores de pico da radiação solar é curta e, dessa forma, o limite máximo do inversor é pouco utilizado (RAMPINELLI; KRENZINGER; ROMERO, 2013).

A relação entre a potência do arranjo e a potência do inversor é denominada de Fato de Dimensionamento do Inversor (FDI). O FDI é definido como a razão entre a potência nominal em corrente alternada do inversor e a potência do arranjo fotovoltaico na condição padrão como mostra a equação [1]:

$$FDI = \frac{P_{NCA}}{P_{STD}} \quad (1)$$

Onde: FDI é o fator de dimensionamento do inversor; P_{NCA} é a potência nominal em corrente alternada do inversor, P_{STD} é a potência do arranjo fotovoltaico na condição padrão.

A localização onde será instalado o sistema fotovoltaico conectado à rede determina o FDI mais adequado para a instalação. A otimização de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, no Brasil, obtém-se índices de FDI inferiores a 0,9 para a região sul e sudeste e com índices de FDI entre 0,9 e 1 para regiões de baixas latitudes (RAMPINELLI; KRENZINGER; ROMERO, 2013).

Em vista disso, com a configuração *array* especificada foram necessários três inversores SCHUCO USA L.P. SB4000US 208 V, com eficiência CEC de 95,5 % para atender as necessidades do FDI. O FDI do *array* ficou dentro da faixa de valores desejada, estabelecendo-se em 0,9998. As principais características do inversor estão citadas na Tabela 2. O *array* ficou com uma capacidade de 10.500 kW_p em uma área de 52,2 m².

Características do inversor	Valores
Eficiência	95,525 %
Tensão nominal	208 V _{CA}
Máxima potência (AC)	3500 W _{CA}
Máxima potência (DC)	3700,17 W _{CC}
Tensão de máxima potência	600 V _{CC}
Corrente de máxima potência	36 A _{CC}
Tensão nominal	310,663 V _{CC}

Tabela 2: Especificações Técnicas do Inversor Schuco USA L.P: SB4000US 208 V.

INFLUÊNCIA DO PERFIL DE IRRADIÂNCIA

Os perfis de radiação das cidades de Florianópolis e Petrolina seguem apresentados na Figura 1. É possível verificar que a cidade de Petrolina apresenta uma razão entre a radiação direta e a radiação total superior à Florianópolis. Estas características sugerem que os perfis de radiação solar das duas cidades são distintos. A cidade de Florianópolis apresenta uma média de radiação solar total cerca de 38 % inferior à Petrolina.

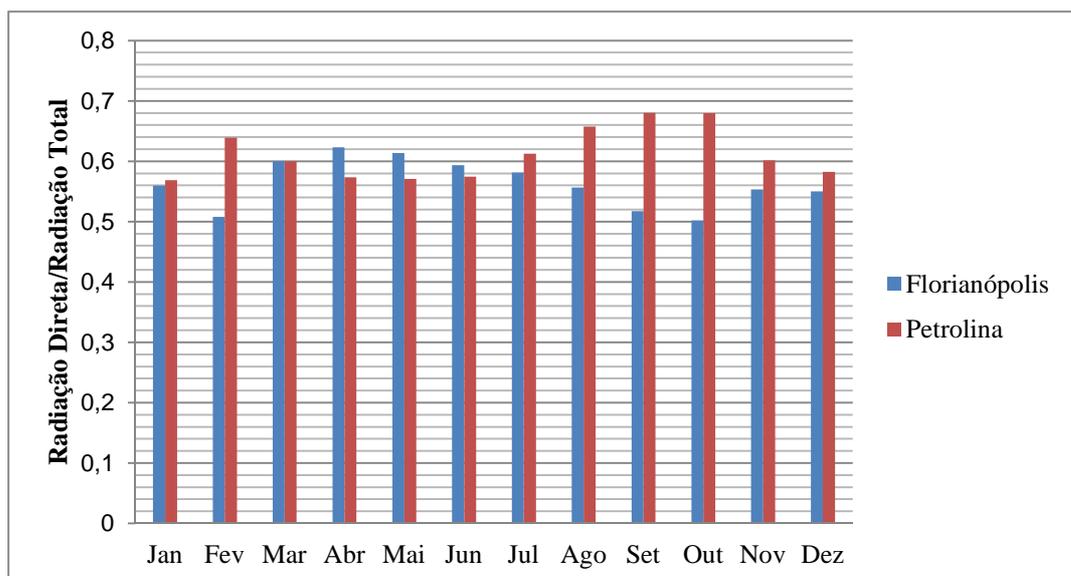


Figura 1: Razão entre Radiação Solar Direta e Radiação Solar Total ao longo do ano.

Também é possível verificar que na cidade de Florianópolis os meses de maior aproveitamento da Radiação Total ficam entre Março e Julho, no período de Outono, enquanto para Petrolina o período de Primavera destaca um maior aproveitamento da Radiação Total.

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO SISTEMA

Através dos valores de irradiação solar mensal, de energia elétrica convertida e outros parâmetros é possível calcular os índices de mérito técnico dos sistemas fotovoltaicos. Tais parâmetros permitem avaliar o desempenho de um sistema fotovoltaico de modo que seja possível compará-los a sistema em diferentes configurações.

Entre os índices de mérito técnico há o fator de capacidade F_C (equação [2]), que é a razão entre a energia real gerada pelo sistema e a energia que seria gerada caso o sistema operasse em sua potência nominal de forma contínua, ou seja, em todas as horas do ano. Esse índice é uma forma de comparação da capacidade de gerar energia de diferentes fontes. Nos sistemas fotovoltaicos conectados à rede o fator de capacidade se encontra na faixa de 14 a 18 %.

$$F_C = \frac{E_{CA}}{E_{STD}} \quad (2)$$

A produtividade de referência Y_R (equação [3]) é a quantidade de irradiação total no plano do gerador FV por unidade de irradiância de referência. (ALMEIDA, 2012).

$$Y_R = \frac{H}{G_{STD}} \quad (3)$$

A produtividade final Y_F (equação [4]) é definida como a quantidade de energia elétrica em corrente alternada injetada na rede por unidade de potência nominal do gerador fotovoltaico (ALMEIDA, 2012). Y_F também pode ser definido como a quantidade de horas que seriam necessárias para que o sistema produzisse (em sua potência nominal) a energia gerada obtida anteriormente.

$$Y_F = \frac{E_{CA}}{P_{STD}} \quad (4)$$

A razão entre a produtividade final e a produtividade de referência é conhecida como Desempenho Global PR . A taxa de desempenho (PR) leva em consideração o sistema em condições reais de operação, ou seja, para melhor avaliar o PR deve-se avaliar criteriosamente todas as perdas envolvidas (perdas por queda de tensão, sujeira, sombreamento, eficiência do inversor, carregamento do inversor, *mismatching*, resposta espectral, temperatura [...]) (BLASQUES, 2014). Segundo ALMEIDA (2012), o Desempenho Global é um valor adimensional que mostra o efeito total de perdas e falhas em um sistema fotovoltaico, indicando o quanto sua operação se aproxima da localização geográfica ideal ($PR = 1$), e permite comparar sistemas independentemente da localização geográfica, posicionamento do gerador e potência nominal, pois normaliza a produtividade em relação à irradiação solar. O Desempenho Global pode ser obtido através da equação [5].

$$PR = \frac{Y_F}{Y_R} \quad (5)$$

Este índice de mérito representa a real capacidade do sistema em converter a energia solar disponível no plano dos painéis em eletricidade, pois é a razão entre a energia entregue pelo sistema e a energia que esteve disponível no plano considerado (FUSANO, 2013). Este índice não deve ser utilizado como parâmetro principal para avaliação e dimensionamento de um sistema, uma vez que sua maximização pode e tende a resultar em ângulos de inclinação maiores que os ângulos otimizados, reduzindo, portanto a conversão de energia.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados obtidos com o software SAM foram convertidos em gráficos que representam os valores de Energia Anual, Fator de Capacidade e PR para ambas as cidades. Em função do perfil de radiação contrastante das cidades os resultados foram diferentes, apresentando peculiaridades. O desempenho de um sistema fotovoltaico está propenso a sofrer alterações de acordo com diferentes condições ambientais, tais como temperatura, umidade, espectro solar, radiação solar. Para ponderar esta afirmativa, vale a análise da energia elétrica em corrente alternada gerada nas duas cidades mencionadas neste trabalho, Florianópolis e Petrolina, em que as Figuras 2 e 3 representam, respectivamente, a energia elétrica anual em função da variação do ângulo azimutal e inclinação do módulo em um mapa de contorno.

De acordo com a Figura 2, a energia elétrica anual gerada na cidade de Florianópolis apresenta um padrão adequado. Em uma inclinação de 0° a energia gerada não varia com a orientação azimutal, o que de fato, já era esperado devido ao módulo estar na sua posição horizontal e receber radiação solar de forma igual em todos os azimutes. Observa-se também, que conforme a latitude da cidade, girando em torno de 27°, o gráfico apresenta valores altos de produção nas orientações de azimute de 0 até 50°, o que representa que o módulo está orientado para o norte geográfico. Espelhando-se a figura, valores altos de geração também são encontrados nos azimute de 300° a 360°. Já os valores mais baixos de produção de energia anual compreendem as inclinações de 50° a 90° com orientações azimutais entre 90° e 250°. Isso se explica devido a localização da cidade referencial; Florianópolis tem latitude 27°S, portanto inclinações muito maiores que sua latitude e orientações diferentes da orientação para norte geográfico, para onde o módulo deve estar orientado, diminuem a produção de energia anual gerada.

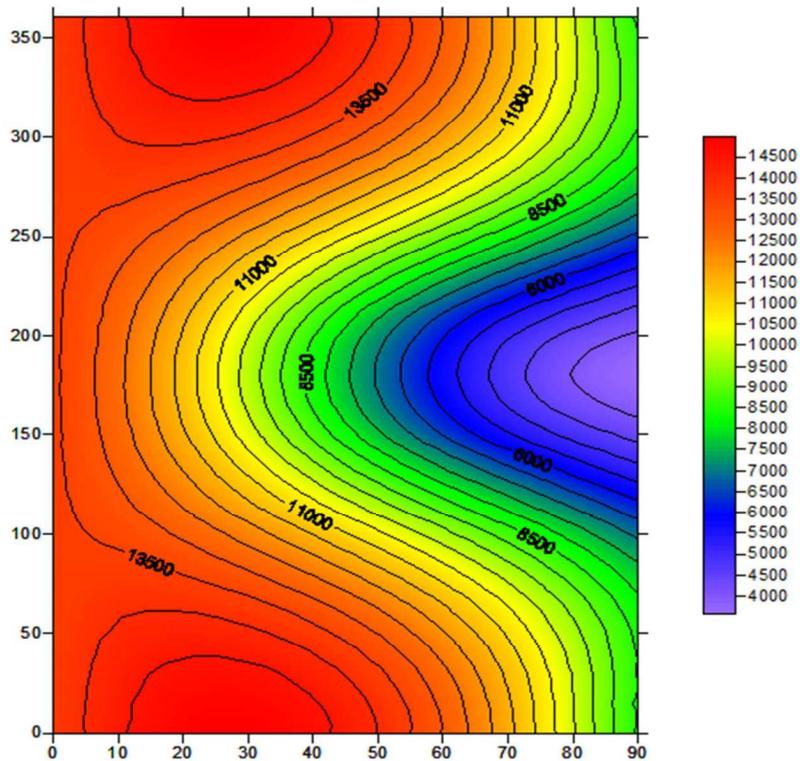


Figura 2: Energia elétrica anual de Florianópolis em Função da Orientação Azimutal e da Inclinação do Módulo.

A Figura 3 apresenta a energia elétrica anual gerada na cidade de Petrolina. Conforme mencionado anteriormente, com 0° de inclinação, não há variação de energia produzida com diferentes orientações azimutais. No entanto, como a cidade de Petrolina se encontra mais próxima a linha do Equador, com latitude de 9° S, altos valores de produção de energia se encontram em inclinações de 0° a 20°, em orientações azimutais entre 0° a 30°, e também em azimutes de 300° a 360°. Estas assimetrias podem ser resultantes de diferenças climáticas entre o período da manhã e da tarde.

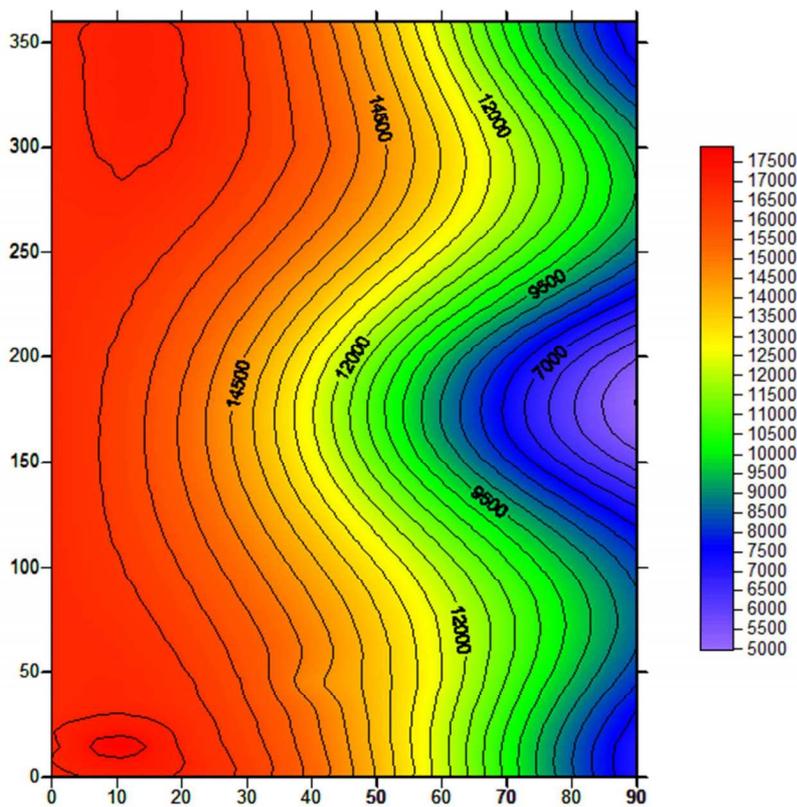


Figura 3: Energia elétrica anual de Petrolina em Função da Orientação Azimutal e da Inclinação do Módulo.

Para a cidade de Petrolina, faixas mais altas de energia gerada são encontradas até inclinações de 40° e 50° devido ao fato da cidade estar localizada em uma região de alta incidência solar. Baixos valores de geração podem ser observados nas inclinações do módulo entre 70° e 90° em quase todas as faixas de azimute, mas principalmente entre 150° e 200°, que compreende o azimute 180°, orientação sul, ao contrário da ideal orientação, que para o caso das cidades escolhidas é o norte geográfico.

Quanto ao índice de desempenho do fator de capacidade, é possível observar, de modo geral que esse parâmetro segue o padrão de produção de energia anual. Para a cidade de Florianópolis, através da Figura 4, nota-se que em condições propícias de geração de energia, como inclinação no valor de 20° e 40° e orientação voltada para o norte geográfico, há uma maior geração de energia o que acarreta em uma maior capacidade de produção do sistema fotovoltaico. Os valores de FC em tais posições, consideradas ideais, chegam a um valor de até 16 %. Na medida em que é aumentada a inclinação do módulo e a orientação se volta ao sul geográfico, os valores de FC vão diminuindo chegando ao mínimo de fator de capacidade de 4% .

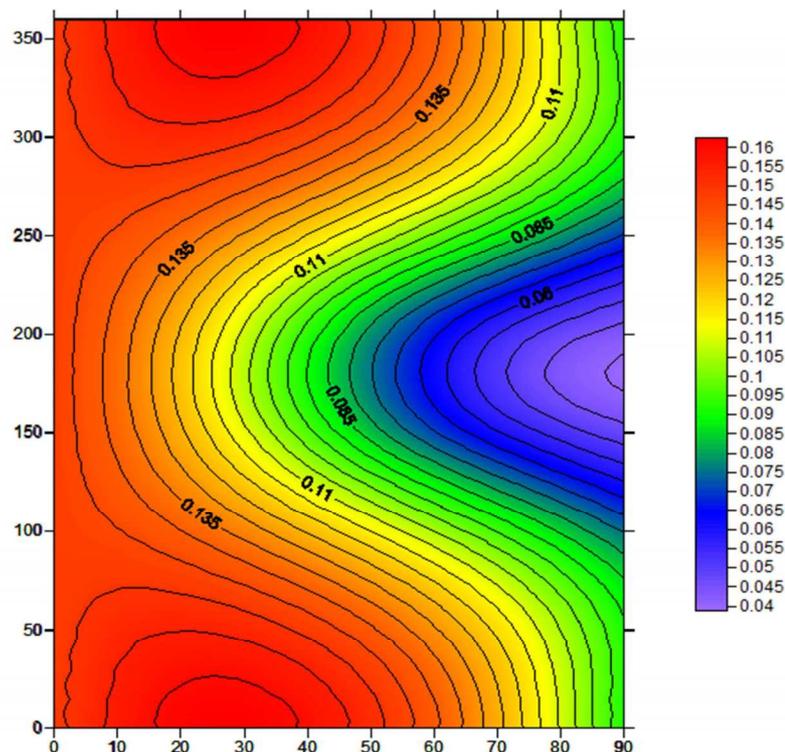


Figura 4: Fator de Capacidade de Florianópolis em função da Orientação Azimutal e da Inclinação do Módulo.

Na Figura 5 é representado o fator de capacidade para Petrolina. Novamente pode se observar que o fator de capacidade é proporcional a geração de energia, sendo que na inclinação de 0° não haverá influência do ângulo azimutal resultando em um valor constante de FC. Os maiores índices de FC são encontrados nas inclinações de 0° a 20°, no qual é alcançado o valor de 19 %.

À medida que a orientação se direciona para o sul geográfico os valores para FC vão diminuindo, porém pode se perceber que em relação a Florianópolis, o azimute não influencia com a mesma magnitude o valor de FC. Isso se deve ao fato de Petrolina estar localizado mais próximo ao equador, de modo que as mudanças no fator de capacidade para diferentes valores de orientações não são tão bruscas quanto às observadas em Florianópolis. O valor mínimo de FC, 6%, se encontra com os módulos posicionados quase ou completamente na vertical e orientados para o sul geográfico.

De acordo com BENEDITO (2009) os sistemas fotovoltaicos conectados à rede instalados no Brasil apresentam fator de capacidade no valor entre 13 % e 18 %, variando de acordo com a disponibilidade e intensidade do recurso solar, do tipo de tecnologia e de dimensionamento adotados. Sendo assim, ambas as cidades analisadas, quando dimensionadas corretamente de acordo com a inclinação e orientação ideal, apresentam potencial para implantação de SFCR.

A análise dos mapas de energia solar convertida e fator de capacidade sugerem que os ângulos otimizados de inclinação (valores próximos à latitude do lugar de instalação do sistema) e de azimute (norte geográfico para sistemas fotovoltaicos instalados no hemisfério sul) podem sofrer variações (considerados certos limites) sem implicações de perdas significativas de energia. Este fato deve ser observado, destacado e avaliado criteriosamente principalmente para sistemas fotovoltaicos integrados em edificações urbanas. Os limites ou intervalos para os ângulos de inclinação e azimute devem ser respeitados e considerados na fase de projeto de sistemas fotovoltaicos a fim de garantir o desempenho energético adequado e esperado.

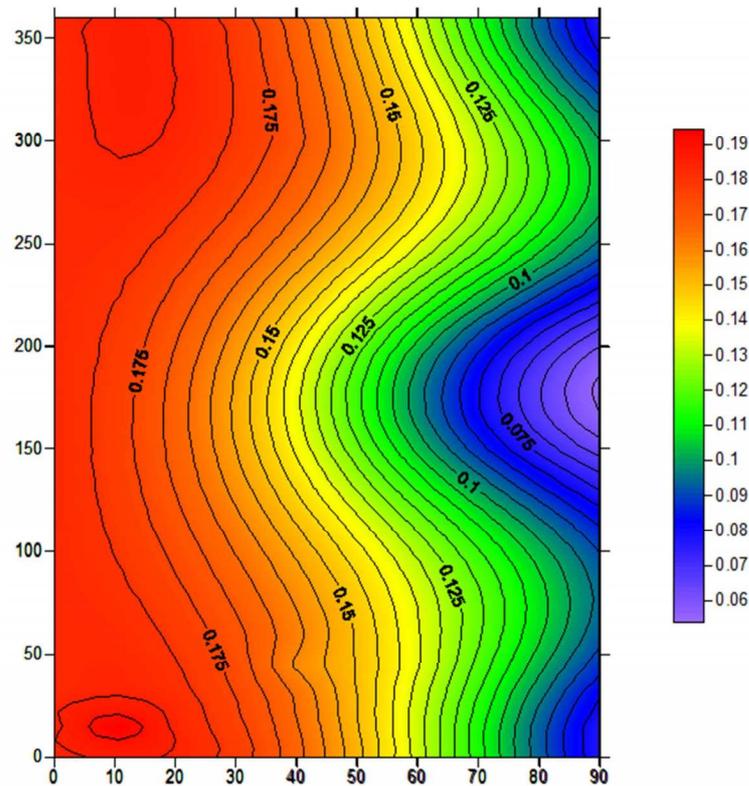


Figura 5: Fator de Capacidade de Petrolina em função da Orientação Azimutal e da Inclinação do Módulo.

Na Figura 6 estão os valores de PR para a cidade de Florianópolis, onde se localizam os melhores valores de PR com o módulo na inclinação de aproximadamente 70°, nas orientações azimutais de 30°, 65° e 320°. Nesses pontos o Desempenho Global atinge valores superiores a 83 %, que representa uma condição ótima de desempenho. Já com a orientação azimutal entre 150° e 200° e a inclinação do módulo superior a 50° o PR apresenta os valores mínimos, em decorrência da orientação azimutal.

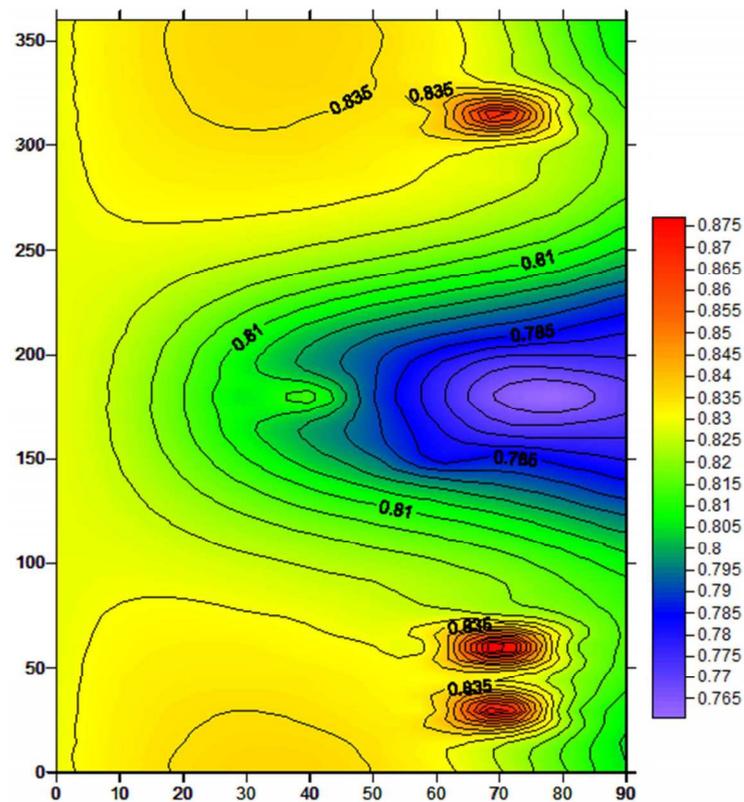


Figura 6: Desempenho Global de Florianópolis em Função da Orientação Azimutal e da Inclinação do Módulo.

Na Figura 7 está representado o mapa do Desempenho Global para a cidade de Petrolina. Em Petrolina o maior valor de PR está na orientação azimutal de 70°, com uma inclinação de módulo de 70° com o plano horizontal. Esse pico apresenta desempenho superior a 84%. Os piores valores de desempenho estão na orientação azimutal de 175° e 0°-360° (Norte e Sul, respectivamente), com grandes inclinações do módulo.

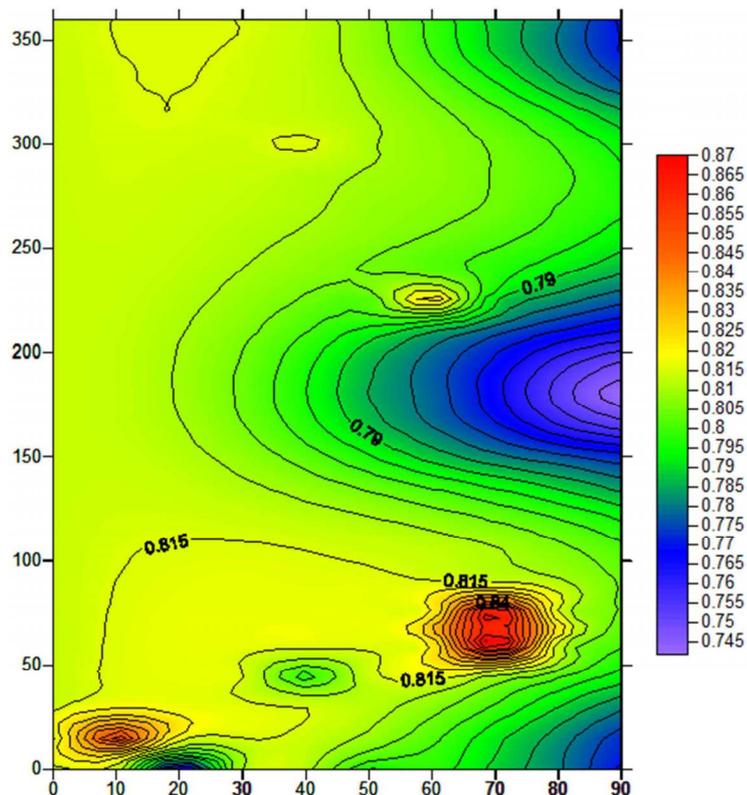


Figura 7: Desempenho Global de Petrolina em Função da Orientação Azimutal e da Inclinação do Módulo

É importante destacar que o índice PR não considera às condições de inclinação e orientação que maximizam a conversão de energia solar em energia elétrica, mas considera todas as perdas envolvidas (perdas por queda de tensão, sujeira, sombreamento, eficiência do inversor, carregamento do inversor, *mismatching*, resposta espectral, temperatura). Além disso, as variações de PR observadas nos mapas são relativamente pequenas. Segundo VERA e KREZINGER (2011), a faixa de PR para os diferentes tipos e configurações de sistemas fotovoltaicos fica dentro dos valores apresentados na Tabela 3.

Sistema	PR
Fotovoltaico Conectado à Rede	0,6 – 0,8
Híbrido	0,3 – 0,6
Fotovoltaico Autônomo	0,1 – 0,6

Tabela 3: Faixa de valores de PR para diferentes sistemas.

O índice PR, isoladamente, não permite a verificação da real capacidade de energia a ser produzida, pois um sistema com um índice PR baixo em um local com altos recursos de energia solar pode produzir mais energia do que um sistema com um PR alto em um local de baixo recurso solar. (FUSANO, 2013). Portanto, para fins de análise acerca de um projeto de implantação o ideal é avaliar tanto o desempenho global quanto o fator de capacidade, entre outros índices. Por exemplo, o fator de capacidade é mais importante que o desempenho global, uma vez que este tende a resultar em inclinações mais elevadas que as ideais e, portanto reduzir a conversão de energia solar em energia elétrica.

Os maiores valores de desempenho global (PR) foram obtidos em configurações com a inclinação do gerador fotovoltaico próximo a 70°, com ângulos azimutais distintos. Esses resultados podem apresentar perfis diferentes em comparação com as representações de fator de capacidade e energia anual, pois os valores de PR representam na verdade as perdas, sem relação com a capacidade de geração do sistema.

CONCLUSÃO

O território brasileiro em seu total recebe altos índices de irradiação solar quando comparado a países europeus de maior disseminação da energia solar fotovoltaica, evidenciando todo potencial que ainda pode ser explorado. Através dos resultados obtidos foi possível verificar o potencial de geração fotovoltaica para sistemas conectados à rede em diferentes regiões do território brasileiro. Com a escolha das cidades de Florianópolis e Petrolina, foram observados parâmetros de desempenho de

sistemas fotovoltaicos como produção de energia anual, fator de capacidade e desempenho global através de mapas de contorno variando-se tanto a orientação azimutal quanto a inclinação dos módulos.

Referente a energia elétrica anual tanto Petrolina, quanto Florianópolis não variam sua produção com diferentes azimutes quando seus módulos estão em uma inclinação 0°, ou seja, encontram-se na face horizontal, e portanto recebem de forma equivalente a radiação incidente independentemente da variação azimutal. Como esperado, altos valores de geração de energia são encontrados com inclinações próximas a mais ou menos 15° da latitude equivalente a cidade analisada, com orientações azimutais para o norte geográfico ou variações próximas a essa referência.

Quanto ao índice de fator de capacidade foi notório que o comportamento nas variações dos ângulos de inclinação e orientação, seguiu o padrão da produção de energia anual. Sendo assim, nas melhores posições foram encontrados valores de FC de 18% e 19%, em Florianópolis e Petrolina, respectivamente. Ressalta-se ainda a menor influência de variações no ângulo azimutal na cidade de Petrolina.

Contudo, apesar de Petrolina apresentar maior produção de energia elétrica anual e fator de capacidade, com as alterações estipuladas, muito devido a sua localização de alta irradiação solar e aproximação da linha do Equador, ambas as cidades possuem alto potencial de geração de energia elétrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida M. P. (2012) Qualificação de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede. Programa de Pós-Graduação em Energia. Universidade de São Paulo, USP.
- Pinheiro E., Nascimento L.R., Deschamps E., Montenegro A. A., Lachini C., Rütther R. (2014) Avaliação do Potencial da Geração Fotovoltaica em Diferentes Condições Climáticas na Matriz Elétrica Brasileira. V Congresso Brasileiro de Energia Solar, Recife.
- Barbosa E. M. S., Uribe F. B., Figueiredo T. M., Freitas D. S., Mascarenhas A. C., Vilela O. C., Tiba, C. (2014) Índices de produtividade na Montagem de Usinas Fotovoltaicas no Brasil. Estudo de caso - Usina Solar Fotovoltaica São Lourenço da Mata. V Congresso Brasileiro de Energia Solar, Recife.
- Blasques L. C. M., Vale S. B., Cavalcante R. L. (2014) Avaliação de Desempenho do Primeiro SFCCR instalado em Edificação Comercial na Cidade de Belém, Estado do Pará, após os primeiros 20 meses de Operação Monitorada. V Congresso Brasileiro de Energia Solar, Recife.
- Rampinelli G. A., Krenzinger A. R., Faustino C. (2013) Descrição e análise de inversores utilizados em sistemas fotovoltaicos. Revista Ciências Exatas e Naturais, v. 15, n. 1, p.25-50, jan/jun.
- Torres P. F., Amorim A. S., Macêdo W. N., Cavalcante R. L., Braga R. J. Galhardo M. A. B., Pinho J. T. (2014) Análise de Geração de Dois Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Instalados no Laboratório de Energias Renováveis e Eficiência Energética do GEDAE. V Congresso Brasileiro de Energia Solar, Recife.
- Nascimento L. R., Rütther R. (2014) A Avaliação de Longo Prazo de um Sistema Fotovoltaico Integrado à Edificação Urbana e Conectado à Rede Elétrica Pública. V Congresso Brasileiro de Energia Solar, Recife.
- Fusano R. H. (2013) Análise dos Índices de Mérito do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede do Escritório Verde da UTFPR. Departamento Acadêmico de Eletrotécnica - UTFPR. Curitiba.
- Vera L. H., Krenzinger A. (2011) Análise do Desempenho de Sistemas Fotovoltaicos Autônomos através de Índices de Mérito. Avances en energías Renovables y Medio Ambiente. Argentina.

ABSTRACT

Brazil has very different conditions of solar radiation, which makes it difficult to model a PV system based on data that are not local. The installation of photovoltaic systems with angles of inclination and azimuth appropriate is critical to optimizing the energy performance of the same. This paper presents and develops evaluation maps of performance of photovoltaic systems at different angles of inclination and azimuth considering different profiles of solar radiation. The evaluation maps were developed from the results of computational simulations with System Advisor Model (SAM) that was developed by the National Renewable Energy Laboratory (NREL) of the U.S. Department of Energy (DOE). Developed maps allow assessing the energy performance of a generic PV system into two regions with distinct profiles of solar radiation.

Keywords: Solar Photovoltaic Energy, Irradiance, Performance Parameters.