

ANÁLISE DE VARIÁVEIS DE PROJETO DE SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAÍCO UTILIZANDO O MODELO SAM: UMA COMPARAÇÃO ENTRE BELÉM, FORTALEZA E BRASÍLIA¹

Gardenio Diogo Pimentel da Silva², Marcelo José Raiol de Souza³

¹Aceito para Publicação no 2º Trimestre de 2016.

²Engenheiro Ambiental e Pós- Graduando em Perícia e Auditoria Ambiental na Universidade do Estado do Pará- UEPA, gardenio.bater@hotmail.com.

³Professor Doutor Adjunto II na Universidade do Estado do Pará- UEPA, mraiol@yahoo.com.br.

Resumo:

O Brasil possui grande capacidade de produção de energia elétrica usando a radiação proveniente do Sol, devido a localização de seu território no globo e as altas taxas insolação e radiação durante o ano inteiro. O presente trabalho buscou utilizar dados sobre irradiação, insolação, energia total, radiação no plano da matriz provenientes do software System Advisor Model (SAM) versão 2014 juntamente com dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) acerca de condições climáticas tais como temperatura e umidade relativa do ar para comparar o potencial de três grandes cidades brasileiras, Belém do Pará, Fortaleza, capital do Ceará, e Brasília, no Centro-Oeste brasileiro, para instalação de projeto de aproveitamento da energia solar. Através da análise desses parâmetros, constatou-se que Fortaleza aparenta melhores condições para aproveitamento fotovoltaico. Entretanto, Belém se destaca pelos altos e constantes índices de radiação, irradiação e insolação, Brasília demonstrou maior variabilidade nos parâmetros durante o ano, porém há possibilidade de aplicação da tecnologia fotovoltaica em todas as cidades.

Palavreas-Chaves: energia solar, irradiação, SAM.

**ANALYSIS OF PHOTOVOLTAIC SOLAR SYSTEM DESIGN VARIABLES
USING THE SOFTWARE SAM: A COMPARISON AMONG BELEM,
FORTALEZA, AND BRASILIA.**

Abstract: Brazil has great power production capacity of using the sun radiation because of the location of its territory on the globe and the high rates of sunlight and radiation throughout the entire year. This study sought to use data on irradiation, insolation hours, total energy, plan of array irradiation (POA) from the System Advisor Model software (SAM) version in 2014. In addition to that data from the National Institute of Meteorology (INMET) about weather conditions such as temperature and humidity air relative. These parameters are helpful to compare the potential project installation of solar energy of three large Brazilian cities, Belem, Fortaleza, capital of Ceará, and Brasilia, at Brazilian Midwest. Through the analysis of all parameters, the city of Fortaleza demonstrated better conditions for photovoltaic system design projects. However, Belém also presents high potential for this sort of system due to the high and constant radiation, irradiation, and insolation in its area. Brasilia showed greater variability for most parameters during the year, but there is possibility of application of photovoltaic technology system in all cities.

Keywords: solar energy, irradiation, SAM.

Introdução

O desenvolvimento econômico de países esta cada vez mais atrelado às atividades que consomem grandes quantidades de energia elétrica, por isso as questões envolvendo geração de energia para suprir as cidades, indústrias e demais atividades humanas se tornou de imenso interesse político e econômico. Diante deste cenário, a grande tendência global no ramo energético consiste na geração de energia por meio de fontes renováveis que minimizem a emissão de poluentes para a atmosfera, sejam sustentáveis e consigam prover energia, em capacidade suficiente, a quantidade demandada atualmente e futuramente (LIMA, 2014).

Dentre a busca por novos meios de produção de energia elétrica por fontes que sejam mais eficientes e menos impactantes ao meio ambiente, pode-se destacar o uso da energia proveniente do Sol, energia solar, no sistema de transformação da radiação solar em energia elétrica por meio de sistemas fotovoltaicos. Com relação a energia

solar, esta fonte de energia pode ser aproveitada de diversas maneiras, destacando-se o sistema de aquecimento de água para a movimentação de uma turbina a qual transforma energia mecânica em elétrica, o segundo sistema de geração de energia elétrica é o sistema de geração de energia pelas placas fotovoltaicas (SANTOS, 2014; CARVALHO, 2010). O sistema fotovoltaico além de não contribuir para a emissão de gases do efeito estufa, se mostra bastante útil para atendimento da demanda energética do meio urbano e projetos em localidades de difícil acesso como comunidades ribeirinhas, locais rurais e pequenas vilas de pescadores (FERIOLI, et al., 2005). As placas fotovoltaicas que compõem o sistema para aplicação de projetos terrestres são geralmente feitas de silício, destacando-se o silício cristalino (c-Si) e silício amorfo hidrogenado (a-Si:H) (MARINOSKI, SALAMONI e RUTHER, 2004)

Vários autores destacam a considerável quantidade de energia que entra na atmosfera terrestre, por isso há diversos outros estudos que buscam identificar o potencial de utilização dessa radiação, a CEPEL-CRESESB (2004), apud Santos (2014), afirma que aproximadamente $1,5 \times 10^8$ kWh ($5,4 \times 10^8$ MJ) de radiação solar chega a superfície da Terra todo ano, esta quantidade é consideravelmente maior que o consumo de energia no mundo durante o mesmo período, com isso a energia proveniente da radiação solar pode ser entendida como uma fonte inesgotável de energia e pode ser convertida em outras formas como em energia elétrica.

No que concerne ao potencial da geração de energia solar no Brasil, o país se destaca pelo seu imenso nível de radiação solar que incide em todo o território devido localização do território do país na região vicinal à linha equatorial, fazendo com que não se observe elevadas variações nos níveis de radiação solar e insolação (ACHILES, 2013; ESPOSITO & FUCHS, 2013), por isso o Brasil possui um nível superior para uso de energia solar a vários países que se encontram em regiões temperadas com variações de radiação e insolação de acordo com cada estação do ano. Por exemplo Esposito e Fuchs (2013), destacam que a Alemanha em seu maior nível de radiação apresenta um nível 40% inferior ao Brasil no seu menor nível de radiação solar, entretanto a Alemanha é o país que possui maior mercado na área de energia solar mesmo com a limitação de radiação em relação ao Brasil.

A exemplo de estudo sobre o potencial brasileiro existe o Atlas Solarimétrico do Brasil (2000) que mapeou o território nacional através de várias estações solarimétricas em diferentes regiões e apresentou o potencial de cada a região brasileira

de acordo com os resultados obtidos. De uma forma geral o Brasil possui um grande potencial para transformação da radiação solar em eletricidade, com destaque para a região Nordeste.

É importante salientar que a radiação solar que chega na superfície varia de acordo com a latitude de cada local e com o eixo de inclinação da Terra durante cada estação do ano, além disso a radiação depende de fatores como nebulosidade, umidade relativa do ar, da composição química da atmosfera e do albedo de superfície (SANTOS, 2014; ACHILLES, 2013; LIMA, 2014; ATALAS SOLARIMÉTRICO DO BRASIL, 2000). Desta forma, cada região do Brasil irá receber uma quantidade diferente de radiação em sua superfície em determinado mês do ano devido as características distintas existentes em cada região.

Pereira et al (2006) ressaltam que as tendências regionais mostram, num período de 10 anos estudados, que a região Nordeste do país possui uma disponibilidade energética para radiação solar superior aos demais regiões com potencial de 5,9 kWh/m², seguido da região Centro-Oeste com 5,7 kWh/m², e Sudeste 5,6 kWh/m², em seguida a região Norte 5,5 kWh/m² e Sul com 5,2 kWh/m², valores médios no plano inclinado. Com relação à variabilidade interanual, a região Nordeste continua sendo a região com superioridade energética variando de 5,7 a 6,1 kWh/m², e posteriormente a região Norte se destaca pela pouca variação entre 5,2 a 5,8 kWh/m².

Contudo é extremamente relevante pontuar que mesmo dentro de uma mesma região existem diferenças nas características locais geográficas, como presença de montanhas, vegetação, influência de ventos ou até mesmo o ambiente altamente urbanizado. Desta maneira, estudar o potencial de radiação solar para transformação em energia elétrica em cada cidade, ou pelo menos em microrregiões, é de notável interesse para desenvolvermos mais alternativas sustentáveis de geração de energia de acordo com as especificidades de cada microrregião.

Na busca de se melhor estudar essas características há atualmente diversos softwares que compactam dados sobre potencial solar para várias localidades do mundo, como por exemplo, o System Advisor Model desenvolvido pelo Laboratório Nacional de Energias Renováveis dos Estados Unidos. Este software, ou modelo, contém uma base de dados para várias estações espalhadas pelo planeta, além disso, é possível criar projetos de engenharia envolvendo custos e eficiência energética de sistemas solares, assim como comparar dados sobre irradiação, energia total, radiação no plano da matriz

e outros dados importantes na projeção de sistemas que aproveitem a energia fotovoltaica.

Diante deste contexto, o presente trabalho buscou utilizar dados sobre irradiação, insolação, energia total, radiação no plano da matriz provenientes do software System Advisor Model (SAM) versão 2014 juntamente com dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) acerca de condições climáticas tais como temperatura e umidade relativa do ar para comparar o potencial de três grandes cidades brasileiras para instalação de projeto de aproveitamento da energia solar as cidades escolhidas foram Belém do Pará, Fortaleza, capital do Ceará, e Brasília capital do Brasil e localizada no Centro-Oeste o país,

Materiais e Métodos

A primeira parte deste projeto contou com uma pesquisa bibliográfica sobre o assunto, posteriormente foi realizada uma comparação dos dados com outros dados referentes a cidades de Fortaleza, Nordeste brasileiro, e Brasília no Centro-Oeste. Foi escolhido Belém e Fortaleza, pois estas cidades possuem uma latitude e longitude aproximada e são cidades que possuem influência do oceano. Não obstante, Brasília possui características diferentes das duas cidades em relação a latitude, clima e localização e segundo o Atlas Solarimétrico do Brasil (2000) possui melhores índices de radiação que Belém. Diante disto Brasília serve como um excelente ponto de comparação de potencial para energia solar com relação à fortaleza e Belém.

Para a coleta de dados existentes utilizou-se duas fontes principais: o INMET e o modelo SAM versão 2014. Do banco de dados do INMET foram extraídos informações mensais desde 2002 até 2013 sobre insolação (horas), precipitação (mm), nebulosidade (décimos), temperaturas máxima e mínimas (graus celcius) e umidade relativa (%) para as cidades de Belém, Fortaleza e Brasília. Através do banco de dados do SAM foram extraídos para uma folha do excel informações sobre energia mensal (kwh), radiação no plano da matriz (kwh/m²) e irradiação diária (Kwh/m²/dia) nas três cidades, o período dos dados não é informado porém o software foi primeiramente desenvolvido em 2005 com uso pelo Departamento de Energia Solar dos Estados Unidos, os dados são especificados de acordo com a estação escolhida no SAM como fonte de dados e ID da estação, para mais informações acerca do banco de dados do SAM, visite National Renewable Energy Laboratory (2014). Após essa etapada de

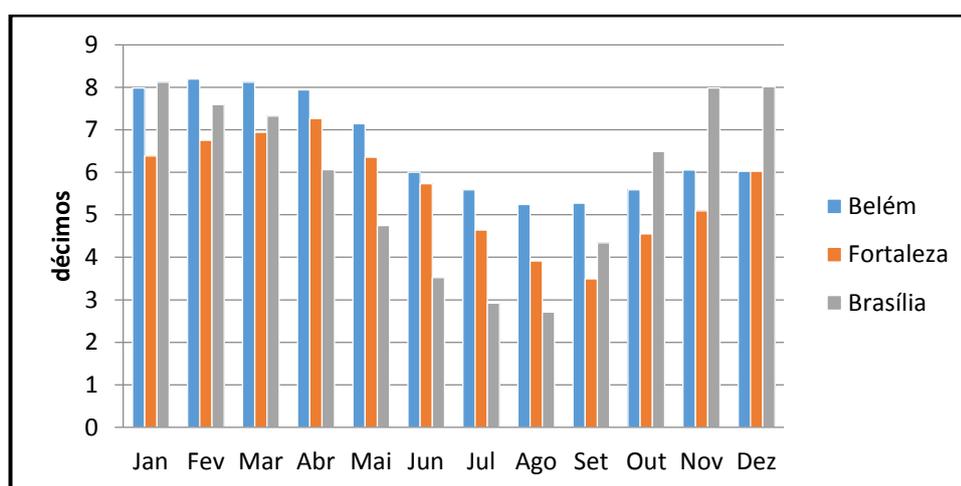
coleta, foi utilizado o programa excel office professional Plus 2013 para organização dos dados, criação de gráficos e comparação entre os mesmo.

Resultados e Discussão.

nebulosidade.

Um fator muito importante para se dimensionar sistemas de geração de energia através da radiação é a nebulosidade, pois esse parâmetro influencia diretamente na quantidade de radiação que chega à superfície terrestre. Devido a localização de Belém próximo a foz do Rio Amazonas, há grande interferência do oceano causando uma elevada nebulosidade na região (Pereira et al, 2006). Fortaleza também possui influência oceânica, porém comparando os dados notou-se menor incidência de nebulosidade que Belém em todos os meses, com relação a Brasília os valores são bastante variados com altos níveis de nebulosidade em Janeiro e decaindo até Agosto, onde obteve-se o menor valor, e elevando os valores novamente até novembro onde alcança números iguais a Janeiro. No meses entre Maio e Agosto encontram-se valores ideais em Brasília em termos de nebulosidade, porém a quantidade de energia que entra no ambiente e sua intensidade devem ser analisadas da mesma forma. Na figura 1 onde é mostrado uma média da nebulosidade, em décimos, usando dados do INMET desde 2002 até 2013 para a cidade de Belém, Fortaleza e Brasília.

Figure 1. Nebulosidade Média de Belém, Fortaleza e Brasília no de período 2002-2013.



A capacidade de transformação de energia solar em energia elétrica é afetada em dias nebulosos, porém ela não irá ser extinta por completo devido ao fato que a radiação solar difusa ainda é capaz de chegar às placas solares. Por isso mesmo em meses nebulosos ainda se pode aproveitar a radiação solar para diversos fins.

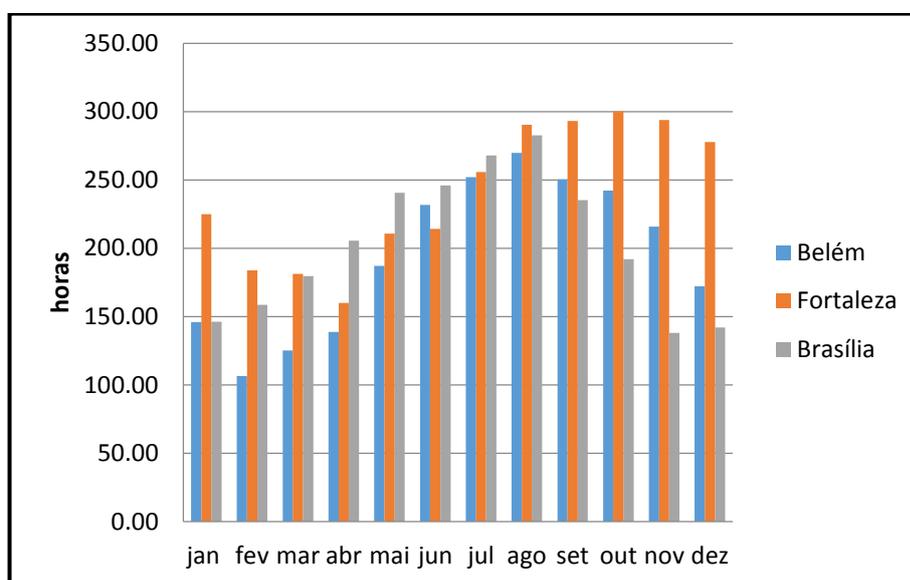
Insolação.

A insolação é ser definida como a energia proveniente do sol que atinge uma área de superfície plana em um determinado período de tempo e pode ser expressa em Wh/m^2 (Watts-hora por metro quadrado) (CARVALHO, 2013). O Brasil possui um alto índice de insolação global, ou radiação solar global, ao longo do ano em todo território nacional, esta radiação pode ser expressa em radiação direta ou radiação difusa. Muitas técnicas aproveitam dessa insolação como fonte de energia térmica para iluminar ambientes, aquecer líquidos e geração de energia mecânica ou elétrica, pois o Sol opera como um gigante reator de fusão que irradia quantidades imensas de radiação, potencial energético, superior a diversas outras fontes (BRAGA, 2008; ACHILLES, 2013).

Com relação a cidade de Belém, devido sua localização próxima ao equador é esperado chegar todos os dias altos índices de insolação total, Fortaleza apesar de também sofrer influência do oceano e possuir latitudes similares que Belém, apresentou níveis superiores de insolação que Belém principalmente a parti do mês de agosto a fevereiro. Brasília registra valores maiores no intervalo de Abril a Junho, entretando a partir de setembro até dezembro registra-se menores níveis de insolação até mesmo que Belém, fato que pode ser explicado pela latitude local.

Os dados fornecidos pelo INMET sobre insolação estão em horas de insolação que cada cidade recebe, representando apenas o número de horas que o local recebe de radiação e não a energia-hora por metro quadrado. A figura 2 mostra a média de insolação total, em horas, que chega nas cidades de estudo de acordo com cada mês do ano. Essa média foi feita com dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e abrangiu registros desde 2002 até 2013. Uma análise com valores na unidade Wh/m^2 seria mais eficiente, no entanto não foi possível devido à falta de disponibilidade desse parâmetro com a respectiva unidade no banco do INMET. Com o intuito de compensar tal parâmetro outras análises em unidades semelhantes, como a irradiação no plano da matriz (kWh/m^2), fornecida pelo SAM foram realizadas em outro tópico.

Figure 2. Horas de Insolação Média na cidade de Belém, Fortaleza e Brasília 2002-2013.



Esse índice é de extrema importância para estudos de implantação de sistemas de placas fotovoltaicas e irá influenciar na temperatura da célula fotovoltaica, conseqüentemente, a produção de energia elétrica por sistemas de placas fotovoltaicas poderá sofrer impactos em sua eficiência (BRAGA, 2008).

Temperatura e Umidade Relativa do Ar

Normalmente os modelos usados para calcular a capacidade de transformação de energia solar em energia elétrica incluem a umidade relativa do ar e temperatura como parâmetros influenciadores. A umidade relativa pode ser definida como uma relação existente entre a pressão do vapor d'água presente na atmosfera e a pressão de vapor d'água que é obtida em condições saturadas a temperaturas semelhantes (PEREIRA et al, 2006).

Em sistemas de placas fotovoltaicas, esses parâmetros podem exercer influência na produtividade e na própria vida útil das placas. Por exemplo, no sistema de geração de energia elétrica por placas fotovoltaicas tem-se o uso de uma bateria para armazenar energia e evitar desperdícios, todavia estas baterias podem sofrer diminuição em sua vida útil quando exposta a ambientes com condições extremas de temperaturas e umidade (CARVALHO, 2013).

Analisando o cenário das três cidades para esses parâmetros, observou-se que: as temperaturas máximas de Belém e Fortaleza são comparáveis, porém maior na capital cearense, apresentando valores que variam entre 30 a 34°C, Brasília possui

temperatura máximas menores variando de 26 a 29°C; as temperaturas mínimas de Fortaleza também são superiores as das outras duas cidades variando de 22 a 25°C, em Belém notou uma média de 23°C e Brasília sendo a cidade com maior flutuação entre 14 a 18°C; a umidade relativa em Belém foi a maior registrada chegando até 90% e mínima de 78%, Fortaleza como sofre influência oceânica apresentou valores maiores máximos de 84% e mínima de 71%, em Brasília se notou clima mais seca, como esperado devido suas características locais. A umidade relativa do ar máxima em Brasília foi de 76% e mínima de 42%.

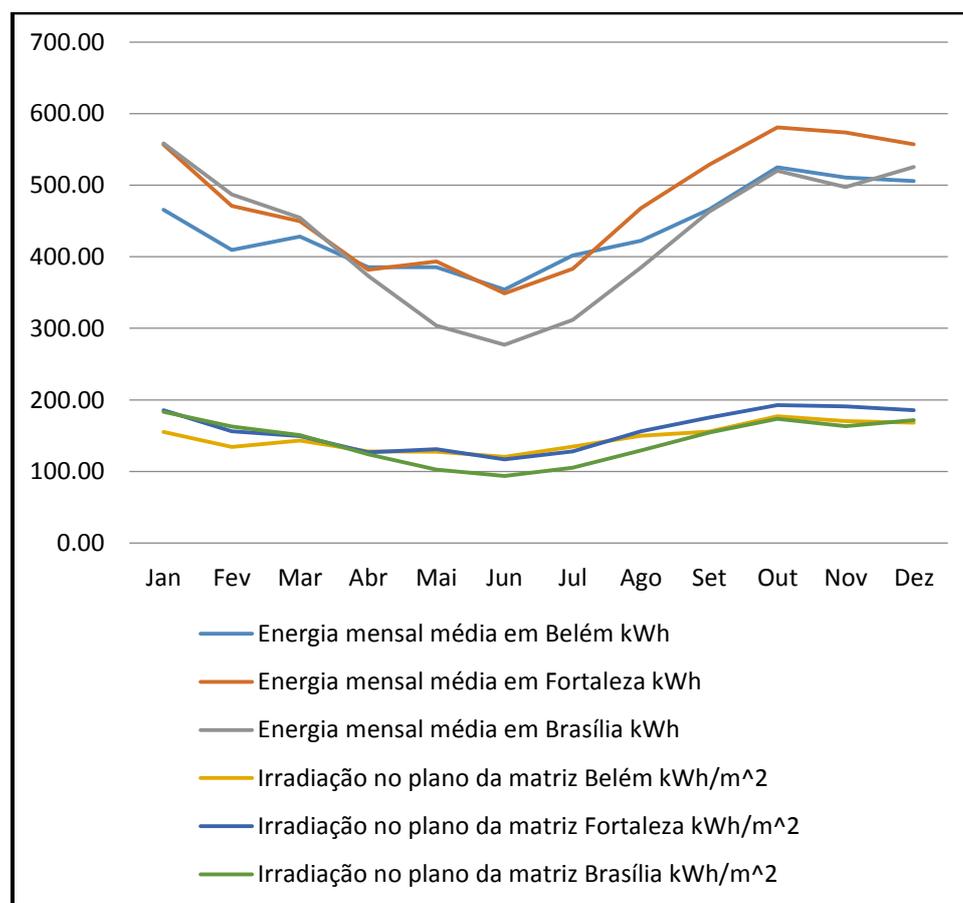
Com isso, conclui-se que Belém é a cidade, entre as três analisadas, que possui maiores índices desses dois parâmetros e portanto devem haver estudos detalhados antes da instalação de projetos de aproveitamento energético através de placas fotovoltaicas. Estes estudos precisam relacionar a eficiência das placas, materiais do sistema, à pressão da temperatura e umidade local, além de outras características locais.

Energia Mensal e Energia no Plano da Matriz.

Segundo o Atlas de Energia Solar do Brasil (2000), o Nordeste é a região que apresenta as melhores características para aproveitamento da energia solar na geração de energia elétrica por vários fatores como menor variabilidade de radiação global no ano no plano inclinado e maior disponibilidade energética (PEREIRA et al., 2006). Porém é importante levar em consideração que interferem no ângulo que a radiação solar incide na superfície terrestre assim como a quantidade de horas que um dia pode durar. Precisa-se então comparar diversos parâmetros para definir as localidades com maior potencial de geração de energia elétrica através de placas fotovoltaicas.

Por isso, nesse trabalho se realizou uma comparação entre a energia mensal em kwh, energia que entra no ambiente, e o plano de irradiação da matriz em kwh/m^2 (que consiste em uma medida da energia total disponível para as placas solares) nas três cidades. Na figura 3 é mostrado essa comparação usando dados provenientes do SAM (2014).

Figure 3. Comparação de energia média e plano de irradiação da matriz entre Belém, Fortaleza e Brasília com dados do SAM (2014).



A energia média mensal apresentou maior variação em Brasília, fato que pode estar atrelado a sua latitude mais a Sul que as outras cidades. Belém obteve valores considerados constantes e compatíveis a Fortaleza em alguns meses, entre Março a Junho. Fortaleza também apresentou valores superiores de irradiação no plano da matriz, entretanto, a diferença não é consideravelmente superior a Belém, pois a capital paraense se iguala a Fortaleza entre Abril a Agosto e superando até mesmo Brasília, que segundo o mapa anual do Atlas Solamétrico do Brasil, apresenta melhores condições de radiação solar em média anual. Esta simples comparação destaca a importância de analisar os valores de energia mensais que chegam a cada regional e não somente as médias, pois estas não demonstram o comportamento variável de energia disponível em cada mês do ano.

Esses resultados implicam o elevado potencial de energia disponível para as placas nas cidades de Belém e Fortaleza. Além disso, mostram que em Belém os resultados esperados na transformação de energia solar em energia elétrica podem ser superiores a Brasília durante alguns meses, portanto esses dois parâmetros são

fundamentais na escolha do local, projeção é simulação de um sistema solar, visto que são elementos cruciais na geração e aproveitamento da radiação solar. Ressalta-se que somente estes dois parâmetros não são suficientes para a instalação de um projeto bem sucedido, outros parâmetros devem ser analisados, pois interferem na eficiência e longevidade de todo o sistema. Todos os valores representados na figura 3 estão disponíveis na tabela 1.

Tabela 1. Valores de energia mensal e energia no plano da matriz para Belém, Fortaleza e Brasília com dados do SAM

EMM Belém	EMM Fortaleza	EMM Brasília	
465,50	556,83	558,44	jan
409,35	471,15	487,12	fev
428,00	449,57	454,38	mar
385,41	381,81	373,39	abr
385,17	393,55	303,76	mai
354,11	348,62	276,96	jun
401,94	383,27	311,65	jul
422,23	468,08	385,12	ago
466,16	528,48	463,11	set
524,99	580,53	519,86	out
510,87	573,39	497,27	nov
505,80	556,98	525,23	dez
IPM Belém	IPM Fortaleza	IPM Brasília	
155,08	185,50	183,41	jan
134,15	156,30	162,63	fev
143,04	149,28	150,74	mar
128,02	126,90	124,16	abr
127,50	131,29	102,77	mai
120,26	116,83	93,81	jun
134,68	127,84	105,34	jul
149,95	156,02	129,38	ago
155,86	175,52	154,31	set
177,15	192,52	173,58	out
170,34	190,73	163,48	nov

EMM= Energia mensal média kWh

EPM= Energia no plano da matriz kWh/m²

Irradiação

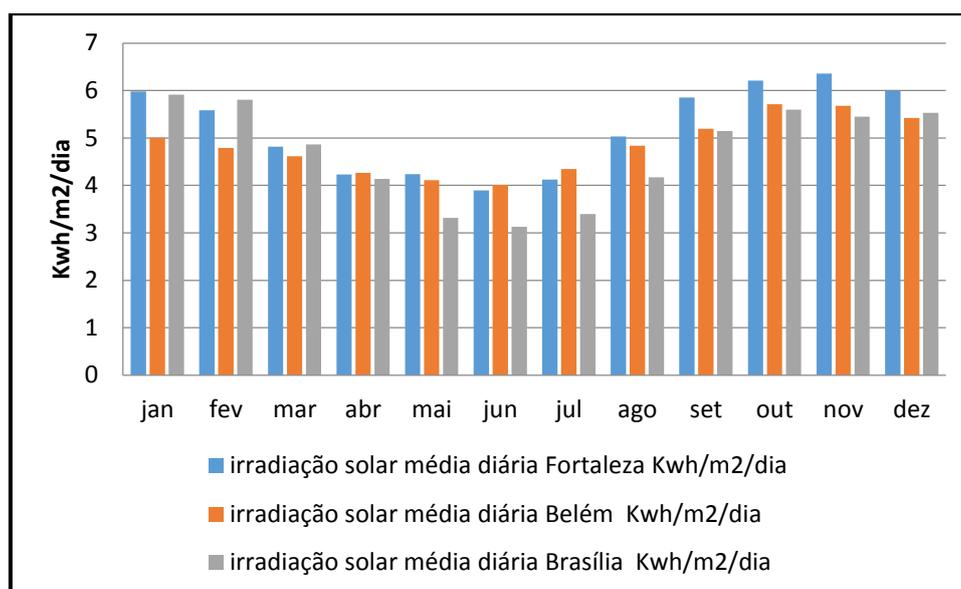
A irradiação solar, ou irradiância, pode ser definida como a potência da radiação solar que incide em uma determinada área expressa em W/m² (Watts por metro quadrado) (CARVALHO, 2013), o modelo SAM apresenta os valores de irradiação solar em W/m²/dia o que facilita a análise para valores diários e mais

próximos aqueles que incidirão sobre um sistema de aproveitamento solar. A irradiação pode ser proveniente diretamente do Sol é difusa quando passa por obstáculos como nuvens e dispersa na atmosfera ou radiação direta refletida em uma superfície vizinha.

Na instalação de um projeto do aproveitamento da energia solar para transformação em outras formas de energia, mensurar a irradiação solar na área é um dos processos fundamentais no planejamento da viabilidade do projeto. Por exemplo, em uma usina de transformação de energia solar em eletricidade ocorre a converção da irradiação solar do local combinada o fator de capacidade (FC) e o número de horas do ano, isto pode dar uma estimativa de quanto de energia elétrica pode ser produzida através desse sistema na usina (FRANCO, 2013). O Brasil possui um elevado índice de irradiação distribuído de forma não uniforme pelo seu vasto território, porém mesmo com esta não uniformidade de irradiação o país possui um potencial duas vezes superior a países líderes no aproveitamento de energia solar como a Alemanha (CARVALHO, 2010).

Utilizando o software System Advisor Model (SAM) versão 2014, criou-se a Figura 4 apresentando as médias da irradiação diária em cada mês do ano para as cidades de Belém, Fortaleza e Brasília, valores em $\text{Kwh/m}^2/\text{dia}$. Este gráfico contribui para a comparação do potencial de aproveitamento baseado na energia disponível por metro quadrado que incide diariamente nas três cidades.

Figure 4. Comparação de irradiação solar diária entre Fortaleza, Brasília e Belém.



Fortaleza apresenta valores superiores de irradiação solar média dentre as três cidades de regiões e comparáveis com os de Belém, principalmente desde o mês de março até agosto, onde a capital paraense apresenta valores de irradiação superiores aos de Brasília. Diante desse fato, entende-se que Belém, apesar de se localizar numa região com grandes índices de radiação difusa causado pela intensa nebulosidade, apresenta um potencial constante para aproveitamento da energia solar, quando analisada mensalmente e comparada com outras cidades de elevado potencial de radiação solar. A irradiação diária constitui um dos melhores parâmetros a serem analisados, pois as placas trabalham na conversão em unidades kWh que incidem na área das placas.

Conclusões

Comparando as cidades de Belém, Fortaleza e Brasília o presente constatou as diferenças em vários parâmetros como irradiação, horas de insolação, energia total, radiação no plano da matriz, temperatura e umidade relativa que cada área representa nessas regiões. Este trabalho buscou fazer uma abordagem específica para estas três cidades e não generalizando os resultados encontrados nessas áreas para representação toda área regional. Para uma análise regional necessita-se de diversos pontos de coleta, abordando regiões distintas e que disponham dados de no mínimo dez anos.

A cidade de Fortaleza apresentou características identificadas como as mais propícias ao aproveitamento de energia solar, tais quais: altos índices de insolação, energia mensal, irradiação solar média, energia disponível no plano da

matriz, temperaturas (em torno de 30°C), média umidade relativa do ar e poucos meses com grande nebulosidade. Essa afirmação condiz com os diversos outros estudos feitos no Brasil e que usam da média anual de irradiação solar.

Belém em alguns pontos compara-se a Fortaleza como: altas temperaturas (em torno de 30°C), irradiação no plano da matriz, irradiação solar média para os meses de março a agosto e insolação entre maio a agosto. Na cidade de Belém a energia mensal que chega a superfície é mais constante entre as três cidades; todavia, a maior umidade relativa do ar encontrada se deu em Belém fato que pode danificar a estrutura ou baterias da placa fotovoltaica, a intensa nebulosidade também pode gerar perda na eficiência de aproveitamento solar na cidade. Por isso, antes de fazer um projeto para a cidade, devem-se levar em consideração todos os aspectos positivos e negativos na transformação e eficiência do projeto solar, tanto os impactos de geração quanto de durabilidade das baterias, para sistemas isolados, e das próprias placas. No presente estudo se levou em consideração apenas os valores dos parâmetros, não havendo discussões detalhadas nos valores que podem causar deteriorização do sistema.

Para a cidade de Brasília verificou-se as maiores variações nos parâmetros, este fato pode ser explicado pela latitude mais distante do equador que a cidade tem em relação a Belém e Fortaleza. Em Brasília se constatou níveis de energia mensal abaixo que Belém entre abril a agosto, ocorrendo o mesmo para a irradiação no plano da matriz, pois a quantidade de energia que entra na atmosfera influencia diretamente na porção de energia disponível para as placas. No mesmo período nota-se maior insolação na região em comparação com a capital paraense devido os menores índices de nebulosidade na região, houve também maiores flutuações na irradiação média diária em Brasília, ficando abaixo de Belém durante alguns meses. As temperaturas e porcentagem de umidade relativa foram mais diversificadas para Brasília.

Conclui-se que apesar dessas diferenças, as três cidades possuem grande potencial para aplicação de projetos para transformação de energia solar em eletricidade, na qual Fortaleza destaca-se com melhores índices para todos os meses do ano. Belém apesar de esta localizada em uma região com grande nebulosidade também apresenta características de bom aproveitamento principalmente nos meses de “verão amazônico”. Brasília também demonstra condições potências no uso da tecnologia de aproveitamento solar, porém existem maiores flutuações de alguns parâmetros na

região, o que pode afetar na quantidade de transformação de energia durante alguns meses do ano.

Referências Bibliográficas

ACHILLES, R. **Energia Solar Paulista: levando do potencial**. Governo do Estado de São Paulo. São Paulo, P. 27. 2013.

ATLAS SOLARIMÉTRICO DO BRASIL. **Banco de dados solarimétricos**. Coordenador: Chigueru Tiba... et al. Recife: UFPE, 2000. 111 p.

BRAGA, Renata Pereira. **Energia solar fotovoltaica: fundamentos e aplicações**. 2008. 80 p. Projeto (Engenharia Elétrica)- Escola Politécnica, UFRJ, Rio de Janeiro, 2008.

CARVALHO, Ana Raquel Franco. **Evolução do uso de energia solar: estudo comparativo entre Israel e Brasil**. 2010. 65 f. Monografia (Pós-Graduação Lato Sensu em Formas alternativas de Energia)- Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

CARVALHO, Clázia Ramayana Freitas de. **Sistema Fotovoltaico isolado: uma aplicação prática no Projeto Xapuri**. 2013. 46 f. Monografia (Especialista em Formas Alternativas de Energia)- Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

ESPOSITO, A. S.; FUCHS, P. G. **Desenvolvimento tecnológico e inserção da energia solar no Brasil**. Revista do BNDES, 40, 85-114, 2013.

FRANCO, Arthur Portilho. **Sistemas fotovoltaicos: contextualizando e perspectivas para sua massificação no Brasil**. 2012. 102 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialista em Formas Alternativas de Energia)- Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

FERIOLI, K. C. O. et al. **Projeto de Sistema fotovoltaico isolado (OFF GRID) para residências**. IESAM: Belém, 2005.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>> acesso em 29/11/14.

LIMA, Juliana Luíza Barroso. **Energia fotovoltaica como alternativa energética viável**. 2014. 48 f. Projeto de Graduação (Curso de Engenharia de Materiais)- Escola Politécnica, UFRJ, Rio de Janeiro, 2014.

Marinoski, D. L.; Salamoni, I. T.; Ruther, R. **Pré-Dimensionamento de Sistema Solar Fotovoltaico: Estudo de Caso do Edifício Sede do Crea-Sc**. In: I Conferência Latino-Americana De Construção Sustentável X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. São Paulo: claCS'04/ENTAC'04. 2004. p. 1-14.

NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY. **System Advisor Model, SAM 2014.1.14: General Description.** 2014, Disponível em <<<http://www.nrel.gov/docs/fy14osti/61019.pdf>>> Acesso 20/03/2015.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; ABREU, S. L.; RUTHER, R. **Atlas brasileiro de energia solar.** São José dos Campos: IMPE, 2006. 60 p.

SANTOS, Whelton Brito dos. **Estímulos e incentivos a produção de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos no Brasil.** 2014. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental)- Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014.

SAM, System Advisor Model version 2014.1.14. Goldem, Co: National Renewable Energy Laboratory. Disponível em <<<https://sam.nrel.gov/content/downloads>>> acesso em 29/11/2014.