

CORRELAÇÃO E ANÁLISE ESTATÍSTICA DE DADOS SOLARIMÉTRICOS ATRAVÉS DE IMAGENS DE SATÉLITE E ESTAÇÃO SOLARIMÉTRICA PARA A REGIÃO DA CIDADE DE JAÍBA - MG

Luís Guilherme Monteiro Oliveira – luis.monteiro@ceienergetica.com.br

Lucas Bacha Pereira Horta – lucas.horta@ceienergetica.com.br

Companhia Energética Integrada (CEI), Departamento de Engenharia

Marco Antônio Esteves Galdino – marcoag@cepel.br

Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), Eletrobrás

Antonio Cesar Pinho Brasil Junior - brasiljr@unb.br

Universidade de Brasília (UnB), Departamento de Engenharia Mecânica

Resumo. Neste trabalho, é apresentada a correlação e análise estatística de dados solarimétricos através de informações provenientes de estação solarimétrica e de imagens de satélite (banco de dados) para a cidade de Jaíba-MG de forma a demonstrar as suas diferenças e vantagens na utilização de ambas as bases de dados. Este estudo proporcionará um melhor aproveitamento do recuso solar na localidade, e formação de banco de dados de qualidade, onde uma usina solar fotovoltaica (UFV) com capacidade instalada de 3 MWp, com diferentes tecnologias, será instalada e consequentemente, obter uma melhor estimativa da produção de energia elétrica.

Palavras-chave: Radiação Solar, Correlação de Dados Solarimétricos, Imagens de Satélite.

1. INTRODUÇÃO

A inserção da energia solar fotovoltaica na matriz energética brasileira apesar de ainda ser tímida, 0,03 % (até abril de 2015 a capacidade instalada total era de 47,4 MWp, ABSOLAR, 2015), espera-se que nos próximos anos haja um verdadeiro “boom” (através de grande centrais e principalmente, através da geração distribuída) e assim, a mesma possa ocupar um espaço mais representativo no balanço energético nacional. Tal expectativa, deve-se a redução dos custos dos componentes (principalmente do módulo fotovoltaico) no exterior, aumento das tarifas de energia elétrica e das medidas adotadas por diversos atores, como, por exemplo, as recentes desonerações de impostos tal como o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços – ICMS, Convênio CONFAZ (16/2015), que já vem sendo aplicado em alguns estados brasileiros (exemplo: em Minas Gerais, Pernambuco, Goiás e São Paulo), os leilões específicos para UFVs (usinas solares fotovoltaicas) de 2013 (estado de Pernambuco, contratação de 122 MWp, Época, 2014), e de Energia de Reserva (LER), de 2014 e 2015 (contratação de aproximadamente 3 GWp), (EPE, 2015) além de outras ações que estão sendo estudadas como a criação de linhas de financiamento específicas e revisão da RN Aneel N°482. A título de exemplo, a Fig. 1 mostra a distribuição dos projetos ganhadores, por estado, nos LER 2014 e 1º LER 2015 de energia solar fotovoltaica realizados em outubro de 2014 e agosto de 2015 respectivamente.

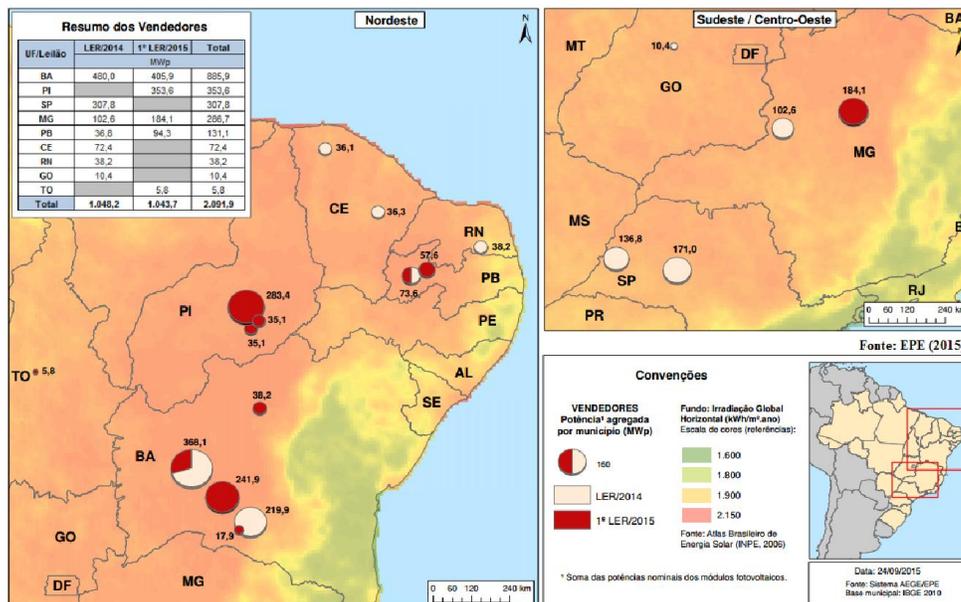


Figura 1 - Projetos ganhadores LER 2014 e LER 2015 de energia solar fotovoltaica.

Para a inserção de uma nova fonte na matriz energética, e conseqüentemente seu crescimento, é necessário amplo conhecimento do recurso natural e das tecnologias disponíveis para aproveitamento do mesmo. Em relação ao recurso natural, sabe-se que o Brasil é um país privilegiado em termos de radiação solar, e o mapeamento dos melhores locais já vêm sendo realizado, ao longo dos anos, por alguns trabalhos pioneiros de medições e estimativas da irradiação solar incidente sobre o território brasileiro (Tiba et al., 2001; Pereira et al., 2006; CEMIG, 2012).

Entretanto, para que se possa ter um melhor conhecimento do recurso solar disponível e, conseqüentemente, o desenvolvimento de projetos de UFVs de grande porte, principalmente usinas que fazem o uso de diferentes tecnologias, o conhecimento, mais detalhado e, conseqüentemente, de melhor qualidade, dos dados solarimétricos, exige informações providas de estações solarimétricas implementados no local da planta, e se possível, informações solarimétricas oriundas de imagens de satélite que possam apoiar a certificação do potencial da localidade com mais confiabilidade.

Dessa forma, este artigo visa correlacionar e analisar estatisticamente dados solarimétricos, para a cidade de Jaíba-MG, através de informações provenientes de estação solarimétrica e imagens de satélite de forma a demonstrar as suas diferenças e vantagens e também o benefício de se utilizar ambas as bases de dados para melhor aproveitamento do recurso solar na localidade e conseqüentemente em uma usina solar de grande porte, com diferentes tecnologias, para que se possa obter uma melhor estimativa da produção de energia e retorno do investimento do empreendimento solar.

2. CONTEXTO – PROJETO P&D JÁIBA SOLAR

O trabalho aqui proposto está inserido nas atividades relacionadas ao projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) intitulado “Jaíba Solar”. Este é um dos projetos oriundos da Chamada Estratégica Nº 013/2011 da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel, 2011). O projeto Jaíba Solar será concebido na cidade de Jaíba localizada ao norte do estado de Minas Gerais a, aproximadamente, 627 km da capital Belo Horizonte. A planta fotovoltaica terá a capacidade instalada de 3 MWp e serão implementados dois tipos de tecnologias fotovoltaicas: a convencional, constituída de módulos de silício cristalino com quatro tipos de estruturas de montagem (ângulo de inclinação e orientação fixos, rastreamento solar de um eixo, rastreamento solar de dois eixos e rastreamento solar sazonal ajustável manualmente), além de diferentes concentradores fotovoltaicos (*High Concentration Photovoltaics* – HCPV, do inglês) compostos de células de tripla junção, lentes/espelhos e sistema de rastreamento solar em dois eixos. Para maiores informações sobre o projeto Jaíba Solar, a composição das instituições participantes, da planta, as tecnologias adotadas e uma perspectiva da produção de energia, através de simulações, para cada uma das tecnologias e formas de montagem citadas ver em Junqueira et al., 2014 e/ou no site do projeto (<http://www.jaibasolar.com.br/o-projeto/>). Cabe salientar que, por se tratar de um projeto que utilizará tecnologias de alta concentração fotovoltaica, portanto, há a necessidade de se aproveitar ao máximo a irradiância direta, e pelo fato da região ser carente de informações, de boa qualidade, sobre, principalmente, este recurso natural o estudo aqui proposto se torna ainda mais relevante no contexto da formação de um banco de dados solarimétricos e um melhor conhecimento da radiação solar para a localidade.

3. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do trabalho proposto, foram utilizados dados provenientes de uma estação solarimétrica, ver Fig. 2, localizada na cidade de Jaíba-MG, que foi instalada em setembro de 2012 pelo projeto de P&D GT 468 - CEMIG / Aneel, constituída por diversos sensores como mostra a Tab. 1.



Figura 2 - Estação solarimétrica e sensores implementados em Jaíba – MG (Fonte: P&D GT 468 CEMIG / ANEEL).

Tabela 1 - Sensores e equipamentos que constituem a estação solarimétrica instalada em Jaíba - MG.

Sensores Radiação Solar	Radiação solar global - Piranômetro modelo CMP21, fabricante Kipp & Zonen	Secondary Standard
	Radiação solar difusa - Piranômetro modelo CMP21, fabricante Kipp & Zonen	Secondary Standard
	Radiação solar direta - Pireliômetro modelo CHP1, fabricante Kipp & Zonen	First class
Sensores Meteorológicos	Sensor pluviométrico tipo balsa modelo QMR102, fabricante Vaisala	< 24 mm/h (< ±1 %)
	Sensor de temperatura e umidade relativa do ar fabricante Vaisala modelo HMP155, com abrigo meteorológico DTR503A	± 0,1 °C ± 1 %
	Anemômetro ultrassônico modelo WINDSONIC, fabricante Gil Instruments	± 0,02 m/s - ± 3°
	Sensor de pressão atmosférica modelo BARO-1, fabricante Vaisala	± 0,25 hPa
Demais Equipamentos	Rastreador solar modelo SOLYS 2 fabricante, Kipp & Zonen	N/A
	Datalogger modelo QML201C fabricante, Vaisala	N/A
	Modem GPRS /GSM modelo TC65i, fabricante Cinterion	N/A

De acordo com a Fig. 2 e Tab. 1 a estação solarimétrica (catalogar) realiza medidas de irradiância e (piranômetros e pireliometro) a cada minuto. Os dados coletados são armazenados internamente e posteriormente transmitidos, a cada 10 minutos, via modem GPRS/GSM para um servidor localizado em Belo Horizonte. Cabe salientar que para os demais sensores da estação são usados intervalos de 5 minutos.

Foram também utilizados dados horários em alta resolução (30 minutos de resolução temporal, 250 metros de resolução espacial para os dados solarimétricos e resolução espacial de 1 km, para os dados de temperatura ambiente, e resolução espacial de 33 à 55 km para os demais dados meteorológicos e 15 anos de cobertura temporal para todos os dados, ou seja, de 1999 à 2014) oriundos de imagens de satélite através do sistema de informação geográfica (SIG's) / banco de dados denominado de SolarGIS climData © 2014 que foi desenvolvido pela empresa GeoModel Solar e adquirido no âmbito do projeto Jaíba. O banco de dados Solargis, que utiliza a análise multi espectral para a classificação de pixels, possui os seguintes parâmetros: irradiância / irradiação global no plano horizontal (*Global Horizontal Irradiance* – GHI, do inglês), irradiância / irradiação direta no plano normal (*Direct Normal Irradiance* – DNI, do inglês), irradiância / irradiação difusa no plano horizontal (*Diffuse Irradiance* – DIF, do inglês), temperatura do ar a 2 metros (TEMP), umidade relativa do ar (relative humidity – RH, do inglês) e finalmente, velocidade (*wind speed* – WS, do inglês) e direção do vento (*wind direction* – WD, do inglês) a 10 metros de altura. Cabe salientar que este banco de dados comercial foi identificado pela Agência Internacional de Energia (IEA), Task 36 (IEA, 2011) e também por Ineichen (2014), por apresentar baixos erros médios, como o melhor banco de dados de radiação solar disponível no mercado na atualidade.

Após coleta, organização e análise dos dados provenientes da estação solarimétrica e do banco de dados SolarGIS climData © 2014, foi considerado o período de 1 ano (setembro de 2012 a outubro de 2013) para a realização da correlação e análises estatísticas através de regressões lineares / coeficiente de correlação (R^2) e o desvio padrão dos dados (σ). Além disso, também foram aplicadas duas figuras de mérito estatísticas bastante utilizadas e citadas na literatura: Stone et al. (1993), Ineichen (2011), Falayi et al. (2011), Gueymard (2009) e Karakoti et al. (2012), ou seja, o erro médio sistemático (*Means Bias Error* - MBE) e o erro médio quadrático (“Root Mean Square Error” - RMSE) as equações 1 e 2 mostram a forma matemática para o cálculo destes dois parâmetros.

$$RMSE = \left(\frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n (K_{estação} - K_{solargis})^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$MBE = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n (K_{estação} - K_{solargis}) \quad (2)$$

Onde:

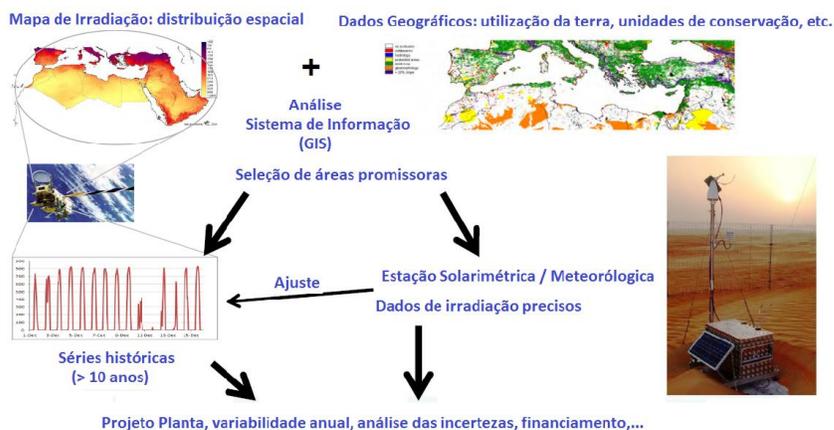
$K_{estação}$: dados coletados pela estação solarimétrica Cemig em Jaíba-MG;

$K_{solargis}$: dados fornecidos pelo banco de dados (imagens satélite);

De acordo com Ineichen (2011), essas ferramentas estatísticas demonstram a qualidade média dos dados fornecidos pelo SolarGIS (satélite) em relação ao valor medido (estação solarimétrica) sendo que o indicador RMSE fornece a informação a curto prazo das correlações permitindo a comparação, termo a termo, do desvio atual entre os valores coletados em campo e os valores do banco de dados (satélite). Quanto menor o indicador RMSE, mais próxima é a correlação entre os dados. O MBE, por sua vez, oferece uma média entre todas as diferenças de valores do SolarGIS e coletados em campo, sendo assim, um resultado positivo desse indicador mostra uma tendência dos valores SolarGIS serem superestimados e um valor negativo uma tendência de subestimação dos valores do SolarGIS. Finalmente, os valores de MBE representam o erro sistemático, ou “*bias*”, enquanto o RMSE é o erro não sistemático.

4. DADOS SATELITE (IMAGENS) E/OU DE ESTAÇÃO SOLARIMÉTRICA (CAMPO)

Como já mencionado anteriormente, um bom conhecimento do recurso solar da localidade onde será instalada uma UFV de grande porte, com diferentes tecnologias, é fundamental para uma melhor produção de energia e assim, um melhor retorno financeiro. Dessa forma, quanto mais informações, de qualidade, o projetista obter, mais credibilidade terá seu projeto e também os resultados gerados pelas suas simulações. Atualmente, além das informações solarimétricas / meteorológicas disponíveis publicamente através de Atlas (Tiba et al., 2001; Pereira et al., 2006; CEMIG, 2012) e banco de dados (ex: Projeto “Solar and Wind Resource Assessment” - SWERA, Sundata – Cresesb / Cepel, “Surface meteorology and Solar Energy (SSE) Data and Information” / NASA), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), há também empresas privadas especializadas (ex: SolarGis / Geomodel, Meteonorm / Meteotest, “SolaranyWhere” / “Clean Power Research”) que fornecem informações, de forma comercial, utilizando principalmente imagens oriundas de satélites e prestam consultorias (ex: monitoração de estações solarimétricas, manipulação / tratamento de dados, expectativa de produção de energia de usinas solares, criação de mapas solarimétricos e etc). O ideal é que o projetista tenha “em mãos” dados, em boa resolução espacial, de imagens de satélites (geralmente fornecidos pelas empresas comerciais citadas) e dados, com boa precisão, provenientes de estações solarimétricas instaladas na região do projeto e/ou principalmente no exato local do empreendimento. A Fig. 3 mostra procedimento geral para a avaliação do recurso solar de forma a determinar localidade para a instalação de um empreendimento solar.



(Fonte: Adaptado Geuder, N., 2013).

Figura 3 - Procedimento geral para a avaliação do recurso solar e determinação da localidade.

Uma vez tendo essas informações, a combinação / correlação entre elas deve ser analisada de forma a minimizar as incertezas (Suri e Cebecauer, 2015) e assim, obter uma melhor estimativa do potencial solar. Porém, já é sabido (Geuder, 2013; Kankiewicz, 2015) que as duas fontes de dados possuem diferenças (vantagens e desvantagens) conforme destacam a Tab. 2 e a Fig. 4.

Tabela 2 - Vantagens e desvantagens entre dados de estação solarimétrica e dados de satélite.

	Estação Solarimétrica (Campo)	Dados de Satélite
Vantagens	Alta precisão (dependendo do sensor)	Resolução espacial
		série histórica (>10 anos)
		baixa taxas de falhas
	Alta resolução temporal	sem presença de poeira nos sensores
		sem necessidade de ocupação de área
		baixo custo
Desvantagens	Alto custo de instalação e O&M	Baixa resolução temporal
	poeira sobre os sensores	
	possibilidade de falhas	
	sem possibilidade de dados do passado	Baixa precisão em alta resolução temporal

Fonte: Adaptado Geuder, N. (2013).

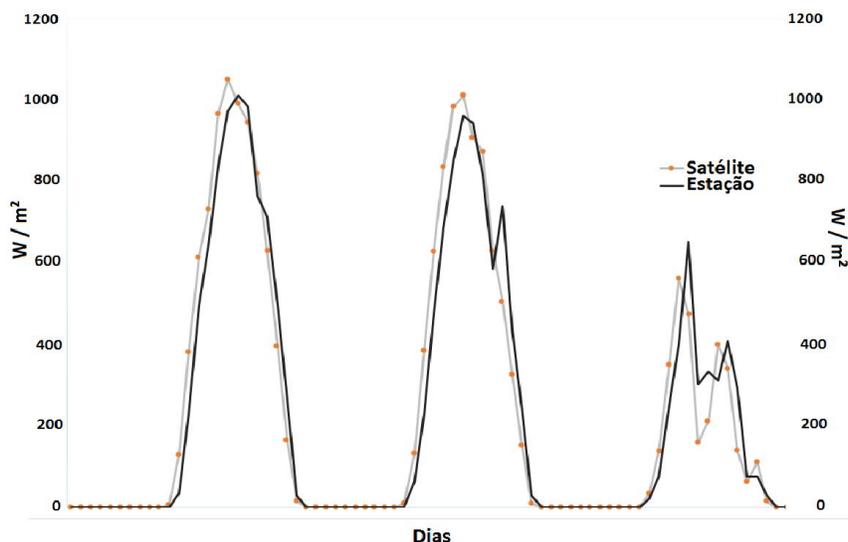


Figura 4- Exemplo de três dias de valores da irradiância através de dados de satélite (linha cinza com pontos) e de estação solarimétrica (linha contínua escura).

Como apresentado na Tab. 2 e Fig. 4, os dados de radiação solar obtidos a partir de imagens de satélite não são precisos quando comparados aos dados provindos de estações solarimétricas (“dados de chão / campo”) devido a uma série de motivos, conforme destaca Stein, Perez e Parkins (2010). Primeiramente, as imagens de satélite são indiretamente interpretações dos dados observados do espaço (ex: irradiância) e assim, estão associadas a todas as incertezas inerentes a generalização de modelos. Segundo, a resolução temporal das imagens de satélite é considerada “grosseira” quando comparadas as medições das estações solarimétricas. Para a geração final das imagens de satélites, os valores são calculados a partir de imagens instantâneas da Terra os quais não distinguem diferenças na área de um mesmo “pixel”. Esses fatores ocasionam desvios significativos entre as medidas vindas de satélites e estações solarimétricas especialmente em condições de céu parcialmente nublado como é possível observar na Fig. 4, onde a mesma mostra a irradiância para as médias dos valores instantâneos de dados de satélite e do “chão” (em base horária) e, como pode ser visto, os dados de satélite são muito próximos aos dados coletados pela estação para dias de céu claro entretanto, os dados de satélite se desviam, para médias horárias, durante os períodos de céu parcialmente nublado. Dessa forma, a utilização (combinação / correlação) dos dois tipos de dados se torna importante e potencializa a escolha do local adequado para realização de projetos de usinas solares bem como a expectativa de produção de energia. A Tab. 3 mostra os ganhos que são obtidos na junção dos dois tipos de informações.

Tabela 3 - Potencialização na utilização conjunta de dados de estação solarimétrica e dados de satélite.

Estação Solarimétrica e Dados Satélite (Fonte: Adaptado Geuder, N., 2013).	
Satélite	Avaliação regional
	Média histórica representativa
	Variabilidade regional
Estação Solarimétrica (Campo)	Alta precisão
	Alta resolução temporal (até 1 minuto para modelamento de efeitos transientes)
	Boa função de distribuição
	Localidade específica

5. RESULTADOS E ANÁLISES

Como descrito anteriormente, de forma a certificar o potencial de energia solar e iniciar a formação de um banco de dados confiável, principalmente de dados de radiação solar direta, para a cidade de Jaíba-MG e consequentemente, para a UFV Jaíba Solar, os dados solarimétricos disponíveis da estação meteorológica da CEMIG (instalada em Jaíba desde de setembro/2012) e do banco de dados, de imagens de satélite, adquirido para o projeto Jaíba, ou seja, o SolarGIS climData©2014, foram correlacionados e analisados. As Fig. 5(a), Fig. 5(b) e Fig. 5(c) mostram os resultados encontrados na correlação dos dados solarimétricos, das duas fontes mencionadas para o período de 1 ano, para as grandezas GHI, DNI e DIF.

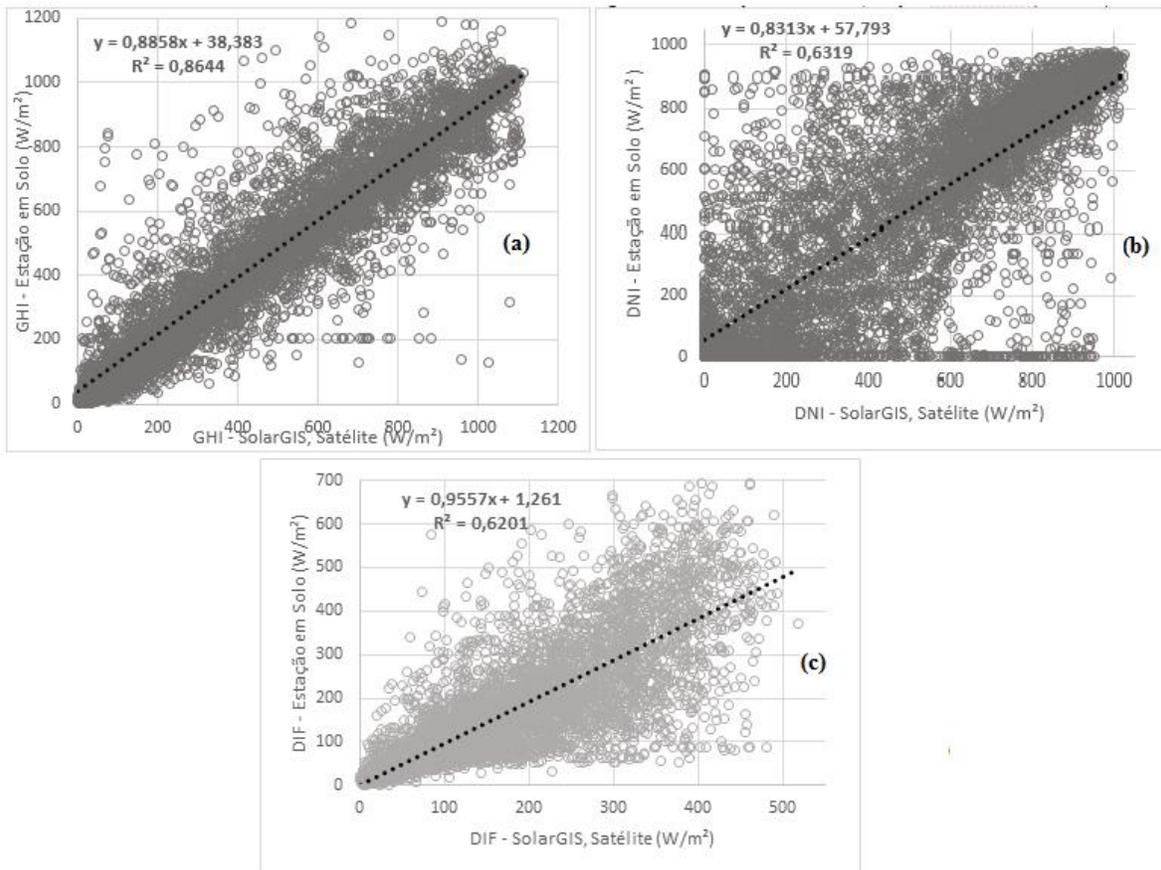


Figura 5 – (a) Correlação entre GHI (estação solarimétrica) e GHI (Satélite); (b) correlação entre DNI (estação solarimétrica) e DNI (Satélite) e (c) correlação entre DIF (estação solarimétrica) e DIF (Satélite) para o período de 1 ano.

Conforme mostra a Fig. 5(a), os dados de irradiância solar global (GHI), medidos no solo, e irradiância solar global, medidos por satélite, apresentaram uma boa correlação entre si com coeficiente de correlação (R^2) da ordem de 0,86 e desvio padrão da ordem de 68,5 W/m². Porém, a correlação entre os dados de irradiância direta (DNI), solo e satélite, Fig. 5(b), apresentaram uma correlação média, ou seja, um R^2 no valor de 0,63 e desvio padrão da ordem de 194 W/m², enquanto que a irradiância difusa (DIF), solo e satélite, Fig. 5(c), R^2 igual a 0,62 e desvio padrão da ordem de 114 W/m². De forma a compararmos resultados encontrados com os de outros locais para os quais foram realizadas correlações do recurso solar, foram tomados como base as correlações encontradas por Perez, Stein e Parkins (2010), as quais apresentaram resultados similares conforme mostra a Fig. 6.

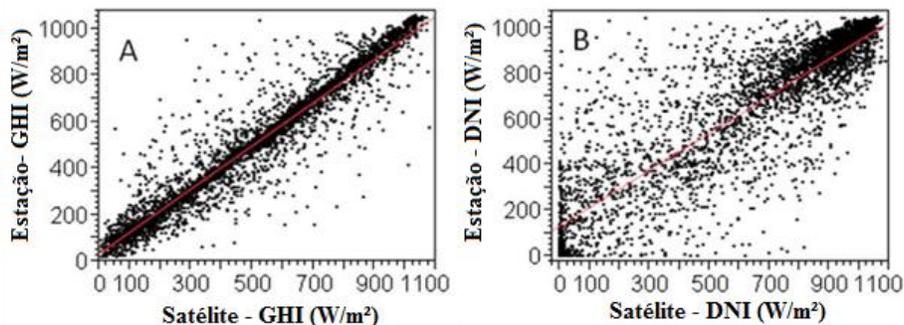


Figura 6 - Correlação entre GHI e DNI de dados de estações e de satélite. Fonte: Adaptado Perez, Stein e Parkins (2010).

De acordo com a Fig. 6, os dados entre irradiância solar global (GHI), solo, e irradiância solar global, satélite, apresentaram uma boa correlação entre si com desvio padrão da ordem de 83,06 W/m². Já a correlação entre os dados de irradiância direta (DHI), solo e satélite, apresentaram desvio padrão da ordem de 166,45 W/m². De acordo com Perez, Stein e Parkins (2010), uma justificativa para o padrão apresentado nas Fig.5(a), Fig. 5(b) e Fig. 6, é que os dados de

satélite são interpolados de medidas instantâneas, realizadas a cada hora, a partir de medições horárias de estações solarimétricas enquanto que os dados de solo / campo, utilizam valores médios calculados de diversas medições durante uma hora. A diferença entre a frequência de aquisição dos dados e interpolação espacial horária de uma grande área explica as correlações observadas, especialmente durante os períodos quando frentes climáticas estão passando sobre a área analisada. Finalmente, aplicando as figuras de mérito estatísticas MBE e RMSE aos dados, obtemos os seguintes resultados, apresentados na Tab. 4.

Tabela 4- Erros médios, calculados para o período set/2012 a out/2013, entre os dados da estação solarimétrica de Jaíba e os dados do banco de dados SolarGIS (satélite).

RMSE [Wh/m ²]			MBE [Wh/m ²]		
GHI	DNI	DIF	GHI	DNI	DIF
88,4 (39%)	134,6 (60,8%)	62,2 (77,6%)	8,4 (3,7%)	5,5 (2,5%)	0,3 (0,4%)

Como descrito anteriormente, a interpretação dos resultados é diferente para cada tipo de parâmetro avaliado, como, por exemplo, o MBE indica apenas a tendência do erro, se positivo, o valor coletado pela estação solarimétrica é maior que o SolarGIS (dado de satélite). Se negativo, o valor da estação é menor que o valor SolarGIS.

Um fato interessante dessa figura de mérito estatística é que ela demonstra de forma simples a diferença de energia (no caso dos dados solarimétricos) entre os dados coletados em campo e dados de satélite, isso significa que com um MBE igual ao zero, apesar de não se ter certeza se o comportamento dos dados é similar, sabemos que para o período considerado a energia incidente total para ambas as fontes de dados são iguais. Como exemplo, o MBE para GHI, DNI e DIF, apresentados na Tab. 4, informam que, de forma geral, os dados da estação solarimétrica resultam, em uma média de 8,4 Wh/m² (3,7%), 5,5 Wh/m² (2,5%), 0,3 Wh/m² (0,4%), respectivamente, acima dos dados fornecidos pelo SolarGIS. Já a figura de mérito RMSE reflete a variação instantânea entre os dados, como exemplo, o RMSE para GHI informa que, em média, a diferença entre um dado da estação solarimétrica e um dado do banco de dados SolarGIS, para um mesmo momento, é de 88,4 Wh/m² (39%) já o RMSE para DNI e DIF apresentaram valores da ordem de 134,6 Wh/m² (60,8%) e 62,2, Wh/m² (77,6%). Cabe salientar que este parâmetro estatístico mostra a qualidade dos resultados obtidos para a região da cidade de Jaíba-MG.

6. CONCLUSÕES

Este artigo teve como principal objetivo correlacionar dados solarimétricos, através de informações provenientes de estação solarimétrica e imagens de satélite, e analisá-los, estatisticamente, de forma a identificar suas variações e vantagens e assim, ter um maior conhecimento do potencial de energia solar da região de Jaíba-MG para sua melhor estimativa da produção na UFV Jaíba Solar, que será construída, e também para a formação de um banco de dados confiável para a localidade. Para isso, foram realizadas regressões lineares entre os dados das duas fontes e determinados seus coeficientes de correlação (R^2) e desvios padrões (σ), sendo que os dados para o parâmetro GHI mostraram uma boa correlação, com R^2 da ordem de 0,83 e desvio padrão de 68,5 W/m², e os dados para DNI e DIF apresentaram R^2 similares mostrando que houve uma correlação média entre os dados.

Para a figura de mérito RMSE, GHI apresentou um valor de 88,4 Wh/m², comprovando a boa correlação entre os dados das duas fontes para este parâmetro, e para DNI e DIF apresentaram valores da ordem de 134,6 Wh/m² e 62,2, Wh/m² respectivamente. Já o parâmetro MBE, os dados para GHI, DNI e DIF, em média, resultaram 8,4 Wh/m², 5,5 Wh/m² e 0,3 Wh/m², respectivamente, ou seja, as informações da estação solarimétrica estão um pouco acima dos dados fornecidos pelo SolarGIS, portanto, apresentando uma boa reciprocidade.

Finalmente, as duas fontes (imagens de satélite e estação) apresentam diferenças as quais podemos destacar: os métodos utilizados para a aquisição de dados de campo representam medições pontuais (“pin-point measurements”, do inglês) na superfície da Terra, já os dados por satélite, incluem uma unidade de área, tipicamente na resolução de um “pixel” de seus sensores portanto, e, devido a essa natureza, ambas as abordagens fornecem resultados distintos sendo que as diferenças são refletidas em dados de séries temporais, mas diminui com a agregação dos dados ou média. No geral, os modelos de satélite-irradiância fornecem dados de cobertura globais com qualidade razoável sendo que os conjuntos de dados contínuos superam as questões problemáticas de interpolação / extrapolação de dados de medição de campo (estação meteorológica). Por outro lado, há uma grande necessidade de ser realizar e obter medidas em campo de alta qualidade, que registram, com grande precisão, as condições solares locais e também, ajudam a validar / adaptar os modelos de satélites. Dessa forma, ambas as fontes de dados são complementares e apresentam vantagens que potencializam a análise do recurso solar na localidade, apesar de ambos também possuírem limitações.

Agradecimentos

Trabalho desenvolvido no âmbito da Chamada Estratégica nº013/2011 (Aneel PE-0394-1113/2011 – Projeto Jaíba Solar) do Programa de P&D Tecnológico do Setor de Energia Elétrica regulado pela ANEEL.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética – SPE. Chamada N° 013/2011: Projeto Estratégico: “Arranjos Técnicos e Comerciais para Inserção da Geração Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira”. Brasília, 2011.
- Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR). Energia Solar Fotovoltaica: Oportunidades e Desafios. Disponível em: http://palmassolar.palma.to.gov.br/media/palestra_pdf/27.pdf. Acesso em 02/09/2015.
- Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ). Ministério de Fazenda. Convênio Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços (ICMS) N° 16. Disponível em: https://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/convenios/convenio-icms/2015/cv016_15. Acesso em 02/09/2015.
- Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), 2012. Atlas Solarimétrico de Minas Gerais. Belo Horizonte.
- Duffie, J. A.; Beckman, W. A., 2006. Solar Engineering of Thermal Processes, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York, NY.
- Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Expansão da Geração. 1º Leilão de Energia de Reserva de 2015. Disponível em: [http://www.epe.gov.br/leiloes/Documents/Leil%C3%A3o%20de%20Reserva%20\(2015\)/NT_EPE-DEE-NT-127_2015-r0_completo.pdf](http://www.epe.gov.br/leiloes/Documents/Leil%C3%A3o%20de%20Reserva%20(2015)/NT_EPE-DEE-NT-127_2015-r0_completo.pdf). Acesso em 26/09/2015.
- Falayi, E.; Rabi, A.; Teli, R., 2011. Correlation to Estimate Monthly Mean of Daily Diffuse Solar Radiation in Some Selected Cities in Nigeria. *Advances in Applied Science Research*, v.2, no 4, pp. 480-490.
- Geuder, N., 2013. Solar Resource Measurements and Satellite Data. 4th Sfera School 2013. Hornberg Castle. Alemanha.
- Gueymard, C., 2009. Direct and indirect uncertainties in the prediction of tilted irradiance for solar engineering applications *Solar Energy*, Vol. 83, No. 5, pp. 432-444. Erratum, *Solar Energy*, 1988, Vol. 40, No.2, p. 175.
- Ineichen, P., 2011. Global Irradiance on tilted and oriented planes: model validations. technical report. University of Geneva, February.
- Ineichen, P., 2014. Long Term Satellite Global, Beam and Diffuse Irradiance Validation, *Energy Procedia*, Volume 48, Pags 1586–1596.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Brasília/DF, 2008-2010. Disponível em <http://www.inpe.br/>.
- Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Brasília/DF, 1961-1990 e 2009-2010. Disponível em <http://www.inpe.br/>.
- International Energy Agency (IEA), Solar Heating & Cooling Programme (SHC), Task 36 / Université de Genève, 2011. Five satellite products deriving beam and global irradiance validation on data from 23 ground stations. Genebra.
- Junqueira, R., Monteiro, L., Galdino, M., Viloz, M., Godoy, N., Carneiro, M., 2014. Projeto Jaíba Solar: Desenvolvimento da Energia Solar no Brasil – Objetivos, Metodologia para Definição do Local de Instalação e Tecnologias Empregadas, V CBENS - V Congresso Brasileiro de Energia Solar, Recife-PE.
- Kankiewicz, A., 2015. Combining Satellite and Ground Data: What Works & What Doesn't Work. 2015 NREL PV Solar Resource Workshop.
- Karakoti, I., Datta, A., Singh, K. 2012. Validating satellite-based solar radiation data with ground measurements. *Geospatial World Weekly*. 26 November.
- Pereira, E. B., Martins, F. R., Abreu, S. L., Rütther, R., 2006. Atlas Brasileiro de Energia Solar, INPE, São José dos Campos, ISBN 978-85-17-00030-0.
- Revista Época. Blog do Planeta. Disponível em: <http://epoca.globo.com/colunas-e-blogs/blog-do-planeta/noticia/2014/02/pernambuco-quer-virar-bpolo-de-energia-solar-no-pais.html>. Acesso em 02/09/2015.
- Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA). Disponível em <http://en.openei.org/apps/SWERA/>.
- SUNDATA 2.0 Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB / CEPEL / ELETROBRÁS).
- Stein, J.; Perez, R., Parkins, A., 2010. Validation of PV performance models using satellite-based irradiance measurements: a case study. National Solar Conference of American Solar Energy Society (ASES).
- Stone, R., 1993. Improved Statistical Procedure for the Evaluation of Solar Radiation Estimation Models. *Solar Energy*, v. 51, no 4, pp. 289-291.
- Suri, M., Cebecauer, T., 2014. Satellite-based Solar Resource Data: Model Validation Statistics Versus User's Uncertainty. ASES Solar 2014 Conference, São Francisco, EUA.
- Tiba, C., 2001. Atlas Solarimétrico do Brasil Banco de dados Terrestres. Pernambuco: Editora Universitária Pernambuco.

CORRELATION AND STATISTICAL ANALYSIS OF SOLARIMETRIC DATA FROM SATELLITE IMAGES AND SOLARIMETRIC STATION FOR THE REGION OF JAÍBA CITY IN MINAS GERAIS STATE

Abstract. *In this paper, the correlation and statistical analysis of solarimetric data using information from Solarimetric station and satellite images is presented to the city of Jaiba-MG in order to demonstrate their differences and advantages to using both databases for better use of solar resource in the locality and quality database training, poor information in the region, where a photovoltaic solar plant (UFV) with installed capacity of 3 MWp, with different technologies, will be installed and hence get a better estimate of energy production and return of the solar project investment.*

Key words: *Solar radiation, solarimetric Data Correlation, Satellite Images.*