

QUE FONTE DE DADOS METEOROLÓGICOS UTILIZAR NO BRASIL? QUE INCERTEZA ESPERAR? UMA COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES ABORDAGENS E VARIADAS FONTES DE DADOS

Hugo Francisco Lisboa Santos (SyraSolar) - hugolisboasantos@gmail.com

Pedro Vassalo Maia da Costa (Instituição - a informar) - comercial@syrasolar.com

Murilo Lamas Leandro Araujo (SyraSolar) - murilo@syrasolar.com

Fernanda Ouverney Torres de Sá Bezerra Pires (Instituição - a informar) - fernanda@syrasolar.com

Luciano Osório Regnier (Instituição - a informar) - luciano.regnier2010@gmail.com

Resumo:

A grande variedade de fontes de dados meteorológicos associada aos diferentes resultados obtidos com a utilização de cada um deles levanta questionamentos em relação à melhor fonte de dados a ser utilizada. Dados de solo normalmente apresentam maior precisão e normalmente possuem aquisição a cada minuto. Contudo, só devem ser utilizados diretamente até determinada distância da estação (aproximadamente 30 km). Dados de satélite normalmente possuem maior abrangência espacial. Contudo, normalmente dependem de modelos para estimar a radiação. Frequentemente, tais dados são combinados para a geração de dados sintéticos, que possuem frequência horária e grande abrangência espacial. Por outro lado, o custo de cada alternativa e a forma como será aplicada são fatores que impactam a decisão. Com o intuito de avaliar a influência das diferentes fontes de dado, são comparados dados do INMET, do INPE, do Atlas Brasileiro de Energia Solar, do NSRDB, do PVGIS, do Meteonorm, do SolarGis, do Vaisala, do Solcast, do SoDa e da utilização de uma estação própria. Além disso, é avaliada a incerteza associada aos dados medidos e como esses dados variam ano a ano.

Palavras-chave: *Dados Meteorológicos, Comparação, Fontes de Dado*

Área temática: *Radiação Solar*

Subárea temática: *Recursos Solares e Meteorologia da Radiação Solar*

QUE FONTE DE DADOS METEOROLÓGICOS UTILIZAR NO BRASIL? QUE INCERTEZA ESPERAR? UMA COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES ABORDAGENS E VARIADAS FONTES DE DADOS

Hugo Francisco Lisboa Santos – engenharia@syrasolar.com

Pedro Vassalo Maia da Costa – comercial@syrasolar.com

Murilo Lamas Leandro Araújo – murilo@syrasolar.com

Fernanda Ouverney Torres de Sá Bezerra Pires – fernanda@syrasolar.com

Luciano Osório Regnier – luciano.regnier2010@gmail.com

Empresa SyraSolar

Resumo. A grande variedade de fontes de dados meteorológicos associada aos diferentes resultados obtidos com a utilização de cada um deles levanta questionamentos em relação à melhor fonte de dados a ser utilizada. Dados de solo normalmente apresentam maior precisão e normalmente possuem aquisição a cada minuto. Contudo, só devem ser utilizados diretamente até determinada distância da estação (aproximadamente 30 km). Dados de satélite normalmente possuem maior abrangência espacial. Contudo, normalmente dependem de modelos para estimar a irradiação. Frequentemente, tais dados são combinados para a geração de dados sintéticos, que possuem frequência horária e grande abrangência espacial. Por outro lado, o custo de cada alternativa e a forma como será aplicada são fatores que impactam a decisão. Com o intuito de avaliar a influência das diferentes fontes de dados, são comparados dados do INMET, do INPE, do Atlas Brasileiro de Energia Solar, do NSRDB, do PVGIS, do Meteonorm, do SolarGis, do Vaisala, do Solcast, do SoDa e da utilização de uma estação própria. Além disso, é avaliada a incerteza associada aos dados medidos e como esses dados variam ano a ano.

Palavras-chave: Dados Meteorológicos, Comparação, Fontes de Dados.

1 INTRODUÇÃO

Uma das primeiras questões de qualquer profissional do setor fotovoltaico diz respeito às fontes de dados para a obtenção de parâmetros meteorológicos, especialmente a irradiação solar. Normalmente, uma fonte de dados é escolhida com base na experiência ou na orientação de algum outro profissional, seja ele um colega de equipe ou algum professor. Contudo, há algumas questões que raramente são levantadas. A primeira delas diz respeito à incerteza dos dados. Afinal, todas as fontes de dados apresentam resultados iguais? A resposta, naturalmente, é: não. E essa variação tem influência significativa? A resposta é: depende; depende da informação desejada e da precisão necessária. Conforme será apresentado ao longo do trabalho, as diferentes fontes de dados apresentam resultados que podem variar entre si mais de 20%.

Por outro lado, há diversos fatores que influenciam na escolha e que, normalmente, não são identificados previamente como requisitos. Um exemplo é a capacidade de disponibilização de dados em tempo real para comissionamento da planta e para calibração do modelo de geração. Os dados mensais podem variar mais de 25% entre anos para um mesmo mês. Ou seja, o uso de dados históricos ou de ano meteorológico típico (TMY) para calibração ou para verificação de operação, pode levar a erros significativos.

Há relativamente poucos trabalhos com proposta similar. Martins e Pereira (2011) comparam os resultados obtidos a partir do modelo Brasil-SR, com a interpolação de dados de estações de solo para estações no sudeste brasileiro. Marcel (2009) apresenta uma comparação entre dados de Irradiação Direta Normal para mapas na Europa. São comparados dados do Meteonorm, Saltel, NASA, SOLEMI e PVGIS. Decker, Nthontho e Chowdhury (2012) utilizam dados de uma estação própria, do SoDa e da NASA. Eles utilizam os dados dessas fontes para realizar o projeto de um sistema fotovoltaico. Comparam, então, os resultados obtidos com os diferentes dados.

O presente trabalho apresenta 10 fontes de dados meteorológicos, desde opções gratuitas disponibilizadas por diferentes órgãos governamentais até opções que custam dezenas de milhares de reais ao ano. Há, naturalmente, outras fontes de dados possíveis, mas as 10 apresentadas aqui permitem a realização de um trabalho adequado na maioria das situações. Para cada uma delas, são apresentados diferentes parâmetros, como custo, abrangência espacial, dados horários, dados em tempo real etc. A seguir, quatro estações são selecionadas, com boa distribuição espacial no Brasil. Os dados de cada uma daquelas fontes são comparados para avaliar a diferença entre as previsões de cada uma. Após, é realizada uma análise estatística para avaliar a variação dos dados meteorológicos dentro de um mesmo mês, mas ao longo de diferentes anos para essas quatro estações.

2 FONTES DE DADOS METEOROLÓGICOS

O presente trabalho avaliou algumas fontes de dados meteorológicos descritas a seguir.

2.1 INMET

O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) coleta dados através de 194 estações convencionais e de 574

estações automáticas (Fig. 1a). As estações convencionais coletam apenas as horas de insolação. Não são, portanto aplicáveis a simulações mais precisas de sistemas de aquecimento solar e de sistemas fotovoltaicos. Por outro lado, as estações automáticas possuem piranômetros entre seus sensores e são aplicáveis para tal (Fig. 1b). Essas estações coletam, de minuto em minuto, as informações meteorológicas representativas da área em questão. São coletadas temperatura, umidade, pressão atmosférica, precipitação, direção e velocidade do vento, irradiação solar. A cada hora, estes dados são integrados e disponibilizados para serem transmitidos, via satélite ou telefonia celular, para a sede do INMET, em Brasília. O conjunto dos dados recebidos é validado, através de um controle de qualidade e armazenado em um banco de dados. Além disto, os dados são disponibilizados gratuitamente, em tempo real, através da internet (INMET, 2019).

Devido ao grande número de estações, possui grande abrangência espacial, de modo que é possível encontrar uma estação meteorológica a menos de 30 km, na maior parte do país. Além disso, os dados são coletados de minuto em minuto, integrados e disponibilizados de hora em hora. Desse modo, é possível utilizar esses dados para simulações em aplicativos computacionais como o PVSyst, PVSol e SAM. Ainda, esses dados são disponibilizados gratuitamente em tempo real, de modo que é possível utilizá-los não apenas para projeto, mas também para calibração. Finalmente, por se tratar de dados coletados em solo, não é necessário realizar aproximações e estimativas a partir de modelos físicos, de modo que esses dados tendem a ser mais confiáveis.

Por outro lado, como boa parte das estações se encontra em local remoto, é relativamente comum ocorrerem falhas nas estações e haver perda de dados. Adicionalmente, apesar da boa cobertura espacial, ela possui grandes áreas na região Norte do Brasil sem estações próximas. Ainda, locais próximos a grandes mudanças geográficas podem necessitar de dados com uma resolução espacial maior. Finalmente, não são coletados dados de irradiação direta normal e de irradiação difusa horizontal, de modo que esses dados devem ser estimados a partir da irradiação global horizontal.

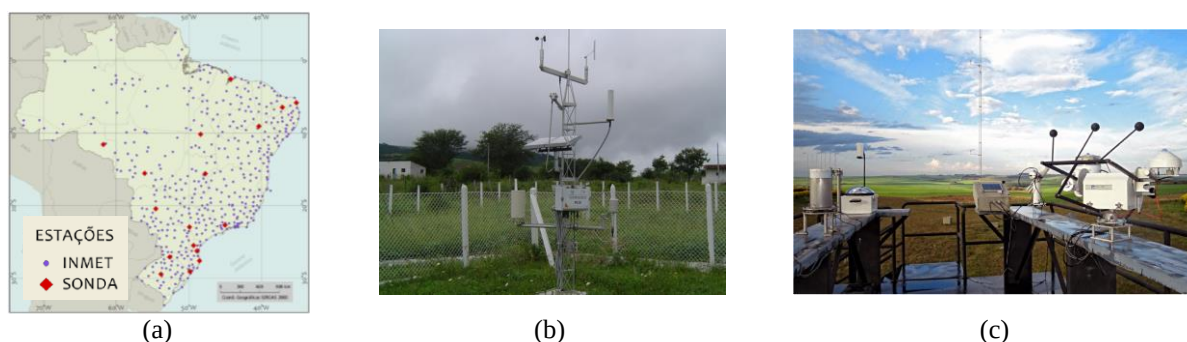


Figura 1 – (a) Distribuição espacial das estações automáticas do INMET e da Rede Sonda; (b) Foto de uma estação automática do INMET e (c) Foto de uma estação da Rede Sonda

2.2 Rede Sonda (INPE)

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) possui a rede Sonda. Essa rede entrou em operação em 2004 e atualmente a rede dispõe de 20 estações de observação distribuídas estrategicamente para representar as diferentes características climáticas do Brasil (Fig. 1a). Do total, 14 dessas estações são operadas pelo INPE, enquanto instituições parceiras mantêm e operam as outras 6. Todas as estações da rede SONDA (Fig. 1c) empregam piranômetros para aquisição de dados de irradiação global e irradiação difusa, sendo que algumas incluem pirheliômetro e rastreador solar para medição da irradiação direta normal (INPE, 2019).

Os dados são coletados a cada 1 minuto e disponibilizados online. As estações da rede sonda coletam os dados de minuto em minuto. Esses dados são verificados e disponibilizados gratuitamente após alguns meses. São coletados dados de irradiação global, de irradiação direta normal e de irradiação difusa horizontal. Novamente, se a estação estiver suficientemente próxima, os dados podem ser utilizados diretamente em aplicativos como PVSyst, PVSol e SAM. Mais uma vez, por se tratar de dados medidos em solo, tendem a ser mais confiáveis.

Contudo, a abrangência espacial é extremamente baixa, com apenas 20 estações em todo o país. Essa baixa abrangência praticamente impossibilita a aplicação direta dos dados dessas estações na maior parte do Brasil. Além disso, os dados não são disponibilizados em tempo real, o que impede seu uso para calibração.

2.3 Atlas Brasileiro de Energia Solar

O Atlas Brasileiro de Energia Solar agrega as informações de satélite obtidas pelo INPE com dados medidos em estações de terra, tanto das estações do INMET quanto das estações da rede Sonda, do INPE. Para tal, utiliza o modelo Brasil-SR. O modelo BRASIL-SR é um modelo físico para obtenção de estimativas da irradiação solar incidente na superfície que combina a aproximação de “dois-fluxos” na solução da equação de transferência radiativa com o uso de parâmetros determinados de forma estatística a partir de imagens de satélite (INPE, 2017).

O modelo Brasil-SR foi inicialmente desenvolvido na Alemanha e, posteriormente, adaptado e aperfeiçoado no Brasil. A cobertura de nuvens é considerada o principal fator de modulação da transmitância atmosférica e as demais propriedades óticas são parametrizadas a partir das variáveis meteorológicas de temperatura na superfície, umidade

relativa do ar, visibilidade atmosférica e albedo de superfície. A obtenção de uma estimativa da irradiação solar incidente na superfície pode ser dividida em três etapas: (1) tratamento dos dados meteorológicos e imagens de satélite; (2) aplicação do método de transferência radiativa de “dois-fluxos”; (3) cálculo das componentes da irradiação solar incidente na superfície. São utilizados satélites da série GOES, com resolução temporal de 30 minutos e resolução espacial de 3 km x 5 km, atualmente.

O Atlas Brasileiro de Energia Solar possui abrangência espacial em todo o território nacional. Os dados são apresentados graficamente no próprio Atlas ou podem ser obtidos gratuitamente a partir das coordenadas (Latitude/Longitude) no site do LABREN (2017). Como foram utilizados dados das estações do INPE e do INMET em sua calibração, os valores tendem a ser extremamente confiáveis. Contudo, os dados são disponibilizados com periodicidade mensal, apenas, de modo que não podem ser utilizados em aplicativos computacionais como o PVSyst, PVSol e SAM. Os dados também não são disponibilizados em tempo real, o que dificulta a utilização para calibração.

2.4 NSRDB

O National Solar Resource Database (NSRDB) é um banco de dados desenvolvido pelo National Renewable Energy Laboratory (NREL). Com ele, é possível estimar a quantidade de energia solar que está historicamente disponível em um determinado momento e local. Esses dados estão disponíveis para qualquer lugar nos Estados Unidos e para alguns locais fora de lá, incluindo as regiões norte e nordeste do Brasil (NREL, 2019).

Ele oferece em seu banco de dados um conjunto de dados apresentados de hora em hora ou de meia em meia hora para dados nos Estados Unidos e para diversas outras partes do mundo, inclusive o Brasil. No momento em que esse artigo foi escrito, o NREL não disponibilizava em seu site (NREL, 2019) os dados mensais e horários para o Brasil, apenas os dados anuais. Contudo, esses dados estão disponibilizados no site do PVGIS, conforme apresentado na seção 2.5. São disponibilizados dados de irradiação global horizontal e de irradiação direta normal e alguns dados meteorológicos.

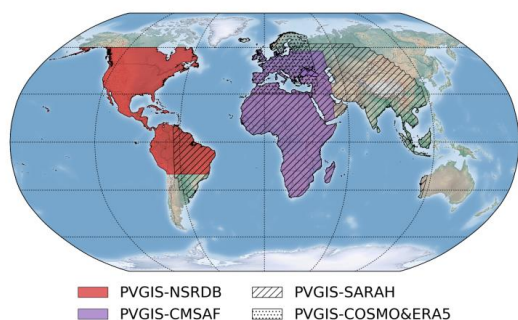
O NSRDB atualmente é modelado utilizando medições multicanais de satélites geoestacionários. As versões mais antigas do NSRDB eram modeladas utilizando dados de nuvens e clima coletadas principalmente nos aeroportos. A fim de representar com precisão a influência de climas regionais na irradiação solar, foi utilizado um número razoavelmente grande de localizações e escalas espaciais e temporais.

2.5 PVGIS

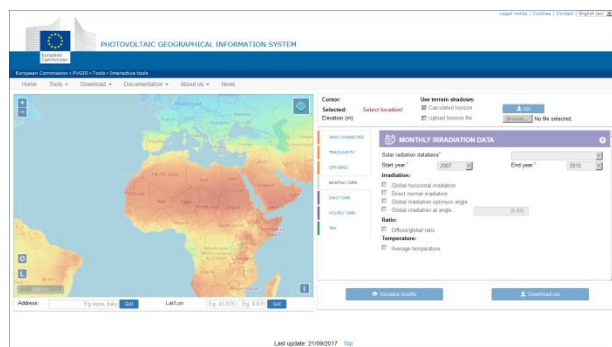
O PVGIS foi desenvolvido por mais de 10 anos pelo Centro Comum de Pesquisa da Comissão Europeia, em Ispra, Itália. O foco do PVGIS é a pesquisa em avaliação de recursos solares, estudos de desempenho fotovoltaico (PV) e a disseminação de conhecimento e dados sobre irradiação solar e desempenho fotovoltaico. O aplicativo web PVGIS sofreu várias alterações ao longo dos anos, tendo o PVGIS 5 como sua versão mais atual (2019). Cada nova versão do PVGIS expandiu os recursos do sistema e ampliou a extensão geográfica dos dados utilizados.

O primeiro passo no cálculo é utilizar as imagens de satélite para estimar a influência das nuvens na irradiação solar. Em uma segunda etapa, o método calcula a irradiação solar em condições de céu limpo usando a teoria da transferência radiativa na atmosfera. A irradiação total é então calculada a partir do albedo da nuvem e da irradiância do céu claro. Na versão atual, são utilizados dados dos satélites METEOSAT para Europa, África e grande parte da Ásia. Para a porção leste do Brasil, são utilizadas imagens do Heliosat. Adicionalmente, o PVGIS replica os dados do NSRDB em sua plataforma (Fig. 2a). Os dados do NSRDB utilizados nos capítulos 3 e 4 foram obtidos a partir do PVGIS. Outro recurso do PVGIS é permitir consultas através de uma interface gráfica (Fig. 2b) ou diretamente ao banco de dados, via URL. Nos dois casos, permite a obtenção de dados mensais, diários ou horários, para vários anos ou para anos típicos.

Os dados de irradiação solar produzidos a partir das imagens de satélite são comparados com as medições no nível do solo para ter uma ideia da incerteza nos dados de irradiação solar com base nos dados de satélite. Vários trabalhos apresentaram resultados de validação para os dados de irradiação solar pelos satélites usados no PVGIS, comparando com as medições das estações terrestres. A maioria das medições de estações terrestres é da Rede de Irradiação de Superfície da Linha de Base (BSRN), que fornece medições de irradiação solar de alta qualidade para estações em todo o mundo.



(a)



(b)

Figura 2 – (a) Fontes dos dados apresentados no PVGIS para cada local do mundo e (b) Imagem do site.

2.6 Meteonorm

Os dados do Meteonorm também utilizam informações de satélite e calibram essas informações com os dados obtidos em estações de terra. Os dados para a Europa, Oriente Médio e África são derivados de dados de satélite meteorológicos de segunda geração (Meteosat Second Generation ou MSG). Os dados de irradiação fora dessa área são obtidos a partir de reanálise dos dados do ERA5.

O ERA5 é um conjunto de dados fornecido pelo Centro Europeu para previsões climáticas de médio alcance (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts ou ECMWF). O ERA5 provê dados horários de um grande número de variáveis climáticas atmosféricas, terrestres e oceânicas. Os dados cobrem a terra em grades de 30 km e modelam a atmosfera utilizando 137 camadas da superfície até uma altitude de 80 km. Os dados do ERA5 incluem ainda informações sobre a incerteza para cada uma das variáveis.

A partir dos dados do MSG ou do ERA5, a equipe do Meteonorm compila os dados de irradiação utilizando o método Heliosat, aplicado aos canais 1 a 12 (espectro visível de alta resolução) com uma recuperação multicanal para detecção de cobertura por gelo, utilizando os canais infravermelho e infravermelho próximo. Uma regressão estatística é aplicada para correção de viés e para redução de incerteza. Nesse processo, são utilizados dados de solo.

O Meteonorm possui custo de aproximadamente R\$ 2.500 por ano, para dados de ano meteorológico típico (TMY) (valores de nov/2019). É disponibilizado isoladamente ou junto com outros aplicativos computacionais, como o PVSyst e PVSol. Por utilizar dados de satélite, possui abrangência espacial em todo o território nacional. Além disso, os dados são disponibilizados de hora em hora, o que possibilita a utilização em aplicativos como o PVSyst, PVSol e SAM.

2.7 SolarGis

Os dados do SolarGis também são produzidos pela combinação de dados de satélite com dados de estações em terra. Eles utilizam informações de satélite e calibram essas informações com os dados obtidos em estações de terra. Possui diferentes opções de contratação, com custo em torno de R\$ 10 mil (valores de nov/2019) por localidade para dados de ano meteorológico típico (TMY). Trata-se de uma ferramenta bastante utilizada no mercado. Os dados apresentam viés em torno de 4%, para mais, nas médias anuais no Brasil, conforme reportado no próprio site da empresa.

2.8 Vaisala

A empresa começou a operar na década de 1930, com a fabricação de radiosondas e essa continua sua principal atividade até hoje. Contudo, oferece outros produtos, como dados de irradiação global, direta e difusa. Os dados gerados são baseados em imagens de satélite visível de alta resolução por meio do canal de comprimento de onda visível de banda larga em uma resolução de 2 minutos por arco. Para o Brasil, é utilizado o GOES 8-14. Esses dados são processados para obter os valores horários de irradiação global horizontal, direta normal e difusa horizontal (VAISALA, 2019). Os dados são obtidos mediante solicitação e possuem custo elevado.

2.9 Solcast

Os dados do Solcast são produzidos utilizando imagens de alta resolução (1-2 km) obtidas a partir de satélites meteorológicos geoestacionários. São utilizados satélites da NOAA, EUMETSAT e JMA (satélites em 5 posições primárias diferentes). Eles produzem varreduras da Terra em intervalos entre 5 e 15 minutos, com resolução de até 500 m (SOLCAST, 2019).

O método utilizado consiste em três etapas. A primeira é a detecção da cobertura de nuvens e a caracterização dessa cobertura em termos de seu impacto na irradiância. O segundo é a modelagem da irradiância solar disponível sob céu limpo, incluindo tratamento de aerossóis (poeira, sal, etc.) e teor de água. E a terceira é a estimativa final combinada da irradiância solar que atinge a superfície da Terra depois que ela passa pelas nuvens (se houver alguma).

São disponibilizados dados históricos, ano meteorológico típico, dados em tempo real e dados para previsão. Esses dados são disponibilizados com frequência mensal, horária e sub-horária. Possui custo em torno de R\$ 1,5 mil (valores de nov/2019) por localidade para dados de ano meteorológico típico (TMY).

2.10 SoDa: NASA, ENTPE, NCEP, Meteotest, MINES Paris Tech, ISAC

O Solar Radiation Data (SoDa) é um agregador de dados relacionado a recursos de algumas instituições em diferentes países. Algumas delas são: NASA, ENTPE, NCEP, Meteotest, MINES Paris Tech, ISAC e NOAA. O SoDa é originário de um projeto europeu financiado pela Comissão Europeia em 1999 e liderado pela MINES ParisTech. A implementação foi finalizada em 2003 pela MINES ParisTech e tem sido gerenciado desde 2013 pelo Centro de Pesquisa O.I.E., também da MINES ParisTech (Center Observation, Impact, Energy). O SoDa é comercializada pela Transvalor S.A. desde 2009. Os produtos SoDa são co-desenvolvidos pelo Centro de Pesquisa O.I.E. e Transvalor S.A.

Entre os serviços disponibilizados, estão dados de irradiação, dados astronômicos, dados atmosféricos e dados climáticos. Alguns serviços são gratuitos e outros são pagos. Os dados de irradiação disponibilizados apresentam periodicidade a partir de 15 minutos e há serviços de previsão de irradiação, inclusive gratuito.

2.11 Estação própria

A última alternativa é a mais precisa, mas a mais cara de todas. Ela consiste na instalação de uma estação meteorológica no local desejado. A instalação de uma estação desse tipo é obrigatória para projetos que desejam participar de leilões de geração centralizada. Contudo, seu custo é inviável para projetos de geração distribuída.

2.12 Outras fontes de informação

Há outras fontes de dados que devem ser mencionadas. A primeira delas é o **Global Solar Atlas**, patrocinado pelo Banco Mundial e ligado à Esmap e ao SolarGis (WORLD BANK, 2019). Essa ferramenta disponibiliza simulações simplificadas de sistemas fotovoltaicos. Contudo, os dados de irradiação global não são disponibilizados por essa ferramenta, de modo que ela não pode ser tratada como uma fonte de dados de irradiação solar.

Outra fonte de informação que deve ser mencionada é **World Radiation Data Centre (WRDC)**, ligada à World Meteorological Organization (WMO). O centro possui um site específico com o objetivo de disponibilizar dados mensais de irradiação em estações de diversos países (WRDC, 2019). Contudo, o Brasil não é um deles. O WRDC é citado no site da WMO (2019).

Uma iniciativa de banco de dados aberto é o **OpenSolarDB**. Ele trabalha como um banco de dados aberto, no qual colaboradores enviam dados, um moderador avalia a coerência dos dados de acordo com o local e adiciona ou não ao banco de dados da plataforma. Contudo, essa ferramenta também não apresenta dados de estações brasileiras (OpenSolarDB, 2019).

3 COMPARAÇÃO ENTRE AS DIFERENTES FONTES DE DADOS

A fim de comparar os dados de diferentes fontes, foram utilizadas três estações da rede Sonda e quatro estações do INMET como referência. As três estações da rede Sonda foram utilizadas por se tratarem de estações de solo, com grande quantidade de medições de irradiação global, irradiação direta normal e irradiação difusa horizontal. Três estações do INMET foram selecionadas por sua proximidade com as estações da rede Sonda. A quarta foi selecionada para permitir avaliação em pelo menos um local da região norte do país. Foram selecionadas quatro estações, a fim de permitir uma boa abrangência espacial em todo o país. As estações da rede Sonda selecionadas foram: Brasília (BRB), São Martinho da Serra (SMS) e Petrolina (PTR). As estações do INMET selecionadas foram: Águas Emendadas (A045), Petrolina (A307), Santa Maria (A803) e Manaus (A101). Os dados dessas estações estão apresentados na Tab. 1.

Tabela 1 - Posição das estações de referência da Rede Sonda e do INMET.

Estação Rede Sonda	Nome (Sigla)	Brasília (BRB)	Petrolina (PTR)	S. Mart. Serra (SMS)	- (-)
	Latitude	15° 36' 03" S	09° 04' 08" S	29° 26' 34" S	-
	Longitude	47° 42' 47" O	40° 19' 11" O	53° 49' 23" O	-
	Altitude (m)	1023	387	489	-
Estação INMET	Nome (Sigla)	Ág Emend (A045)	Petrolina (A307)	Santa Maria (A803)	Manaus (A101)
	Latitude	15° 35' 47" S	09° 23' 18" S	29° 43' 30" S	03° 06' 13" S
	Longitude	47° 37' 33" O	40° 31' 14" O	53° 43' 14" O	60° 00' 56" O
	Altitude (m)	1030	373	103	49
Distância entre as estações (km)		9,5	42,0	32,7	-
UF		DF	PE	RS	AM

3.1 Comparação dos Dados de Irradiação Global Horizontal

Os dados de Irradiação Global Horizontal das estações estão apresentados de forma gráfica na Fig. 3. Para os dados do INMET e do INPE, foram considerados os dados disponíveis no período de 2000 a 2019. Os dados do NSRDB e do PVGIS são a média mensal do período disponível na plataforma. Os dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar, do Meteonorm e do Solcast são os dados de ano meteorológico típico (TMY). Os dados do SolarGis são os dados médios anuais, uma vez que a empresa não possui nenhuma versão de teste que disponibilize esses dados. Por se tratar de um valor único, estão apresentados como uma linha reta.

Pode-se observar que os resultados são bem próximos, indicando coerência nos resultados. Contudo, em determinados períodos do ano, particularmente na estação de Petrolina, há certo descolamento dos dados, com diferenças de mais de 10% entre os valores previstos por cada fonte.

3.2 Comparação dos Dados de Irradiação Direta Normal e Difusa Horizontal

Os dados de Irradiação Direta Normal estão apresentados de forma gráfica na Fig. 4 e os dados de Irradiação Difusa Horizontal estão apresentados na Fig. 5. Pode-se observar que os resultados são relativamente próximos, indicando coerência nos resultados. Contudo, a diferença entre as previsões é bastante superior à diferença nas previsões de Irradiação Global Horizontal. Em determinados períodos do ano, particularmente na estação de Petrolina,

há certo descolamento dos dados, com diferenças de mais de 25% entre os valores previstos por diferentes fontes.

3.3 Correlação entre os perfis de irradiação e o clima local

Analizando os gráficos das Fig. 6, 7 e 8, pode-se observar também o comportamento da irradiação ao longo do ano para essas quatro estações e sua correlação com o clima local (conforme a classificação de Köppen-Geiger). A estação de Brasília encontra-se em local com clima tropical com inverno seco (Aw), caracterizado por verão úmido e estação seca de inverno. Isso se reflete na alta irradiação direta normal no inverno e na relativamente alta participação da irradiação difusa no verão.

A estação de Juazeiro se encontra em local de clima semi-árido quente de baixa latitude e altitude (BSh), caracterizado por verões e invernos quentes e baixa precipitação. Isso se reflete nos altos valores de irradiação direta normal e na baixa participação da irradiação difusa ao longo do ano.

A estação de São Martinho da Serra encontra-se em latitude bem mais elevada, o que fica bem aparente pela diferença de mais de 100% na irradiação global horizontal no verão em relação ao inverno. Adicionalmente, por se tratar de clima subtropical úmido sem estação seca e com verão quente (Cfa), os valores de Irradiação Direta Normal e Difusa Horizontal acompanham a variação da Irradiação Global Horizontal.

Por último, tem-se a estação de Manaus, com localização próxima ao equador e de clima equatorial (Af), caracterizado por ser quente e úmido. Nessa estação, pode-se observar a linearidade dos valores de irradiação ao longo do ano, em todas as componentes.

3.4 Tabela comparativa

A Tab. 2 resume as características de cada uma das fontes de dados avaliadas e os resultados obtidos. Por outro lado, a Tab. 3 apresenta a aplicabilidade de cada uma das fontes de dados para necessidades específicas.

Tabela 2 - Comparação entre as diferentes fontes de dados.

Fonte de Dados	Custo	Frequência	Cobertura	DNI/DHI?	Tempo Real?	Previsão?
INMET	Gratuito	Horária	Alta	Não	Sim	Sim, limitada
Rede Sonda	Gratuito	1 Minuto	Baixa	Sim	Não	Não
Atlas Brasileiro	Gratuito	Mensal	Alta	Sim	Não	Não
NSRDB	Gratuito	Horária	Média	Sim	Não	Não
PVGis	Gratuito	Horária	Alta	Sim	Não	Não
Meteonorm	\$	Horária	Alta	Sim	Não	Não
SolarGis	\$\$\$	Até 15 minutos	Alta	Sim	Sim	Sim
Vaisala	\$\$\$	Horária	Alta	Sim	Sim	Sim
Solcast	\$\$	Até 15 minutos	Alta	Sim	Sim	Sim
SoDa	\$	Até 15 minutos	Alta	Sim	Sim	Sim
Estação própria	\$\$\$\$	1 Minuto	Baixa	Sim	Sim	Não

Tabela 3 - Comparação entre diferentes necessidades do usuário.

Fonte de Dados	Baixo custo	Simul. PVSyst, PVSol, SAM	Boa Precisão	Alta Cobertura	Calibração	Previsão
INMET	X	X	X	X	X	X
Rede Sonda	X	X	X			
Atlas Brasileiro	X		X	X		
NSRDB	X	X	X			
PVGis	X	X	X	X		
Meteonorm		X	X	X		
SolarGis		X	X	X	X	X
Vaisala		X	X	X	X	X
Solcast		X	X	X	X	X
SoDa		X	X	X	X	X
Estação própria		X	X		X	

4 ANÁLISE DE DISPERSÃO DOS DADOS

Após a comparação propriamente dita, foi realizada uma análise de dispersão dos dados, a fim de avaliar a variação dos mesmos ao longo dos meses e entre diferentes anos. A Fig. 6 apresenta a energia recebida em função do mês nas estações do INMET e do INPE, bem como os dados apresentados no PVGIS e do NSRDB. Pode-se observar a significativa variação da energia recebida dentro de um mesmo mês entre diferentes anos.

No caso dos dados do INMET e do INPE, por se tratarem de dados de estações meteorológicas automáticas, há grande quantidade de dados faltantes e alguns dados fisicamente impossíveis. Desse modo, para a geração do gráfico, foi realizada uma filtragem, a fim de remover ou recompor dados faltantes. Para tal, foi realizada a eliminação dos dados contidos nos meses que possuíam mais de 1% de dados faltantes ou fisicamente impossíveis e foi realizada a recomposição nos meses que possuíam até 1% de dados faltantes ou fisicamente impossíveis.

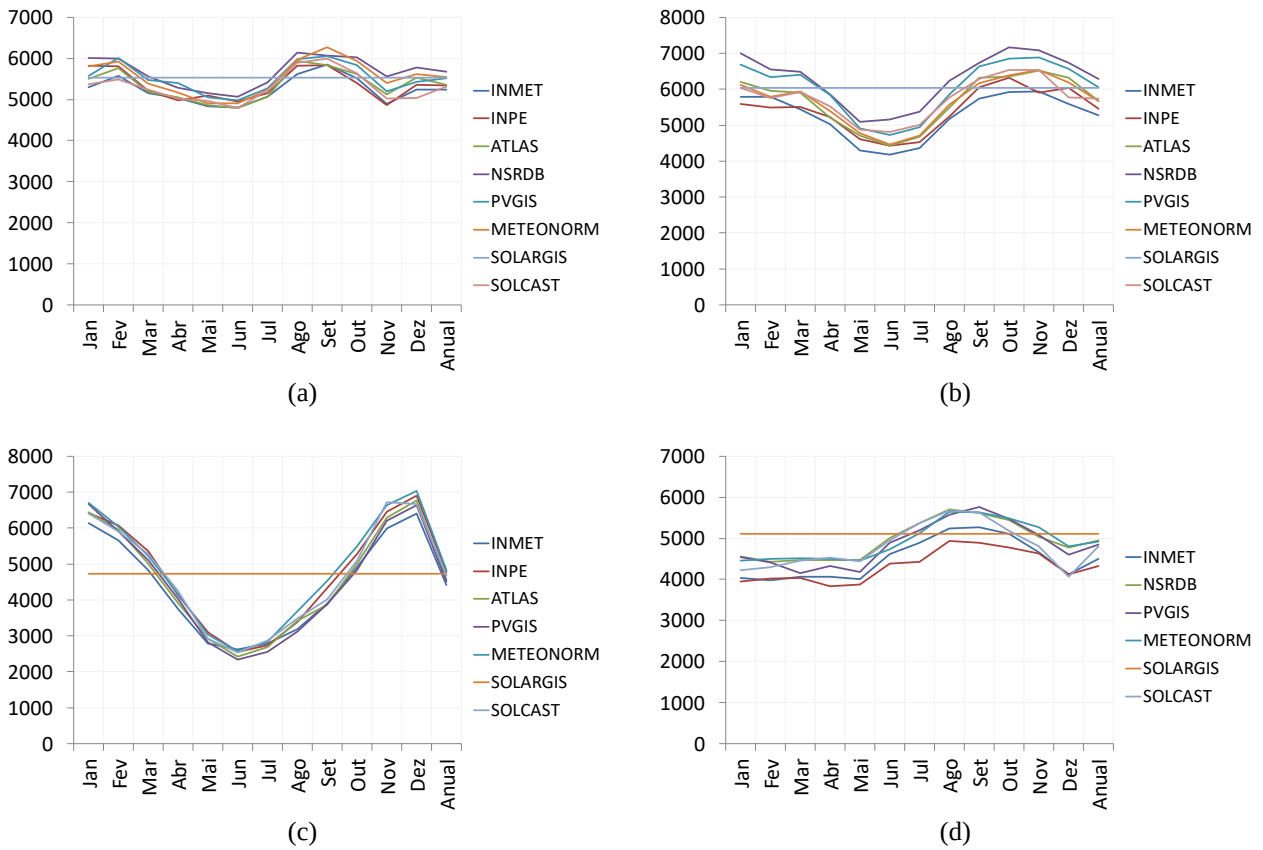


Figura 3 – Valor médio mensal da Irradiação Global Horizontal ($\text{Wh/m}^2/\text{dia}$) para cada fonte de dados nas estações: (a) Brasília, (b) Petrolina, (c) São Martinho da Serra e (d) Manaus.

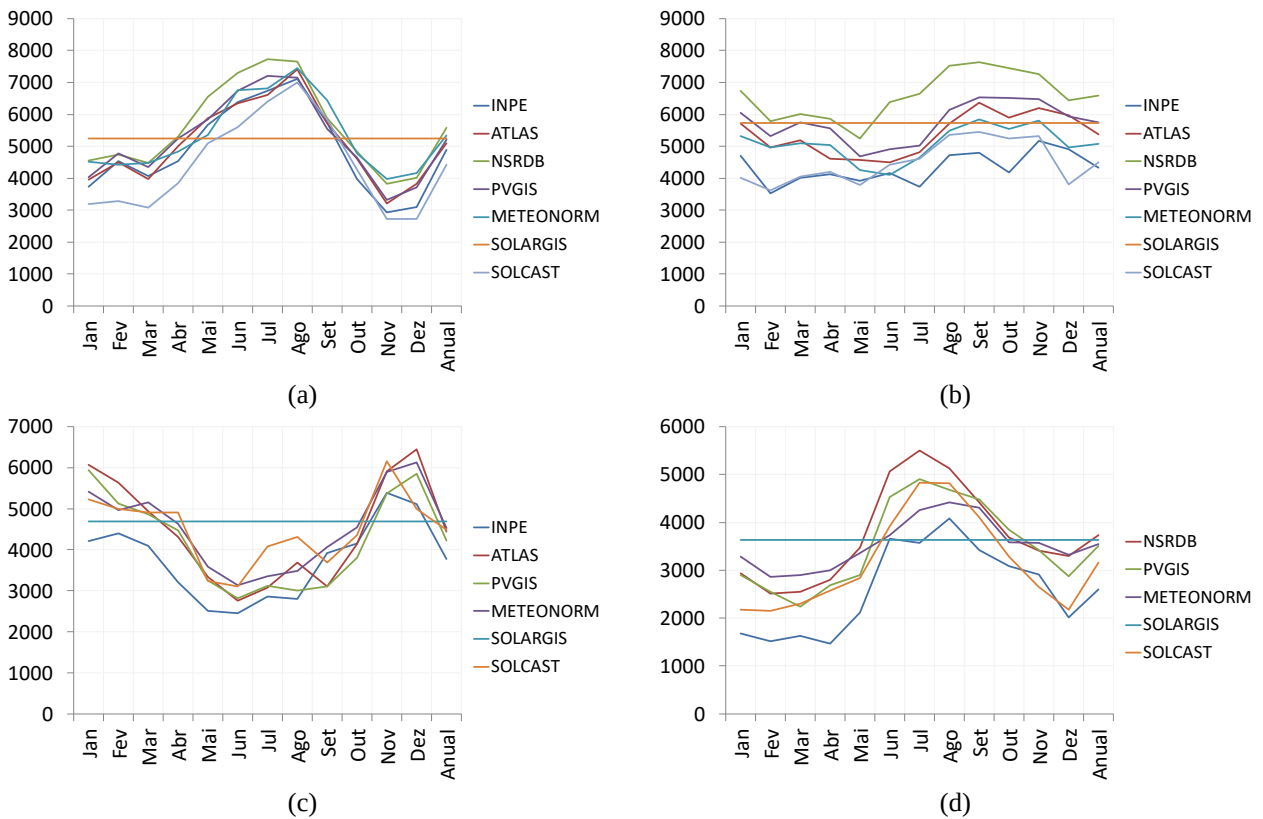


Figura 4 – Valor médio mensal da Irradiação Direta Normal ($\text{Wh/m}^2/\text{dia}$) para cada fonte de dados nas estações: (a) Brasília, (b) Petrolina, (c) São Martinho da Serra e (d) Manaus.

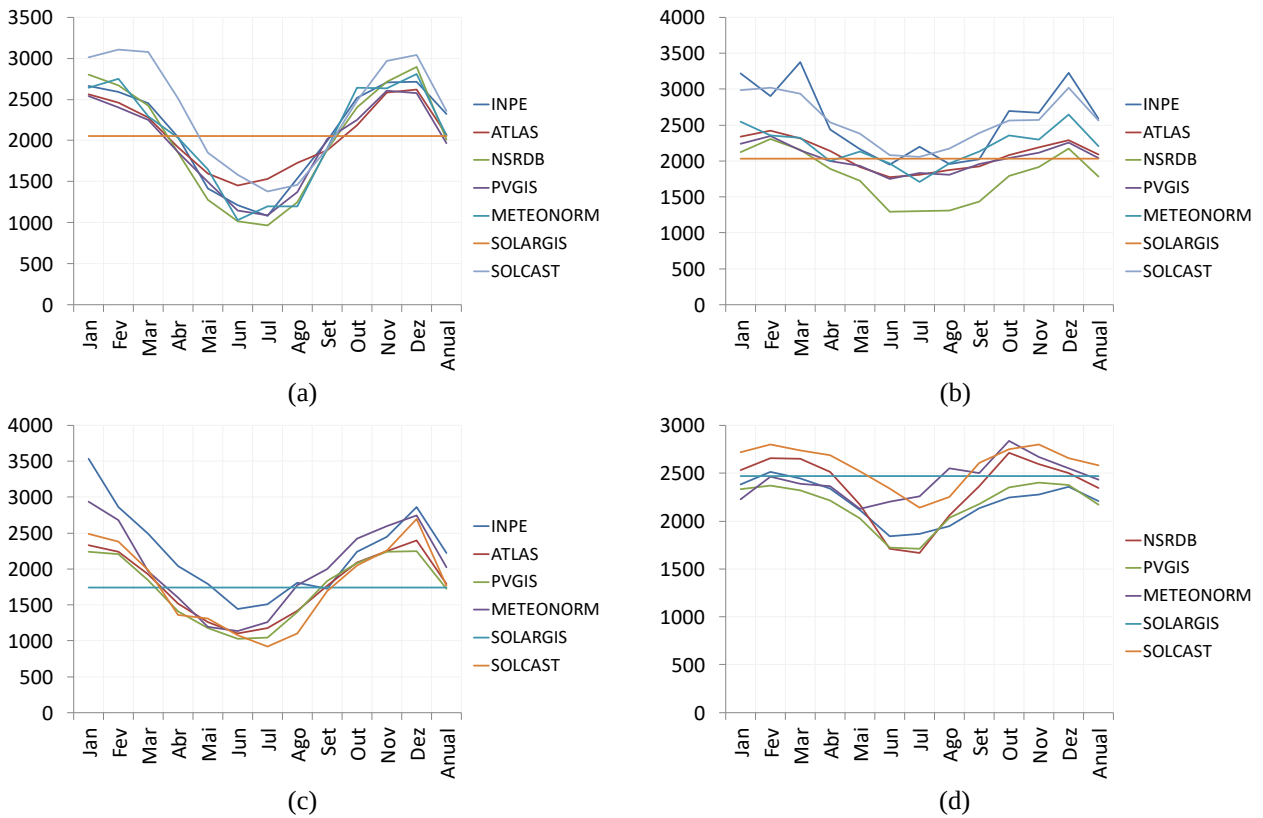


Figura 5 – Valor médio mensal da Irradiação Difusa Horizontal ($\text{Wh/m}^2/\text{dia}$) para cada fonte de dados nas estações: (a) Brasília, (b) Petrolina, (c) São Martinho da Serra e (d) Manaus.

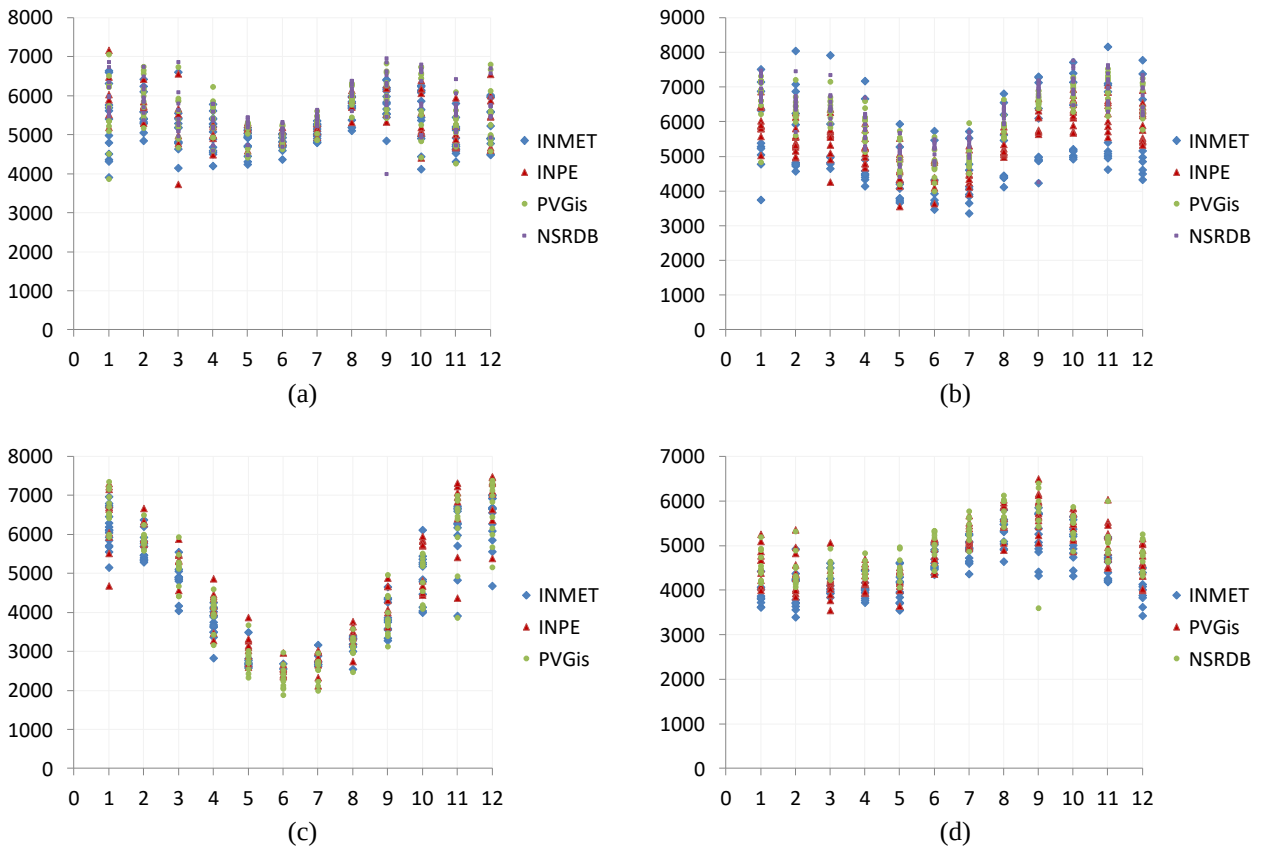


Figura 6 – Dispersão da Irradiação Global Horizontal (GHI, em $\text{Wh/m}^2/\text{dia}$) em cada mês: (a) Brasília, (b) Petrolina, (c) São Martinho da Serra e (d) Manaus.

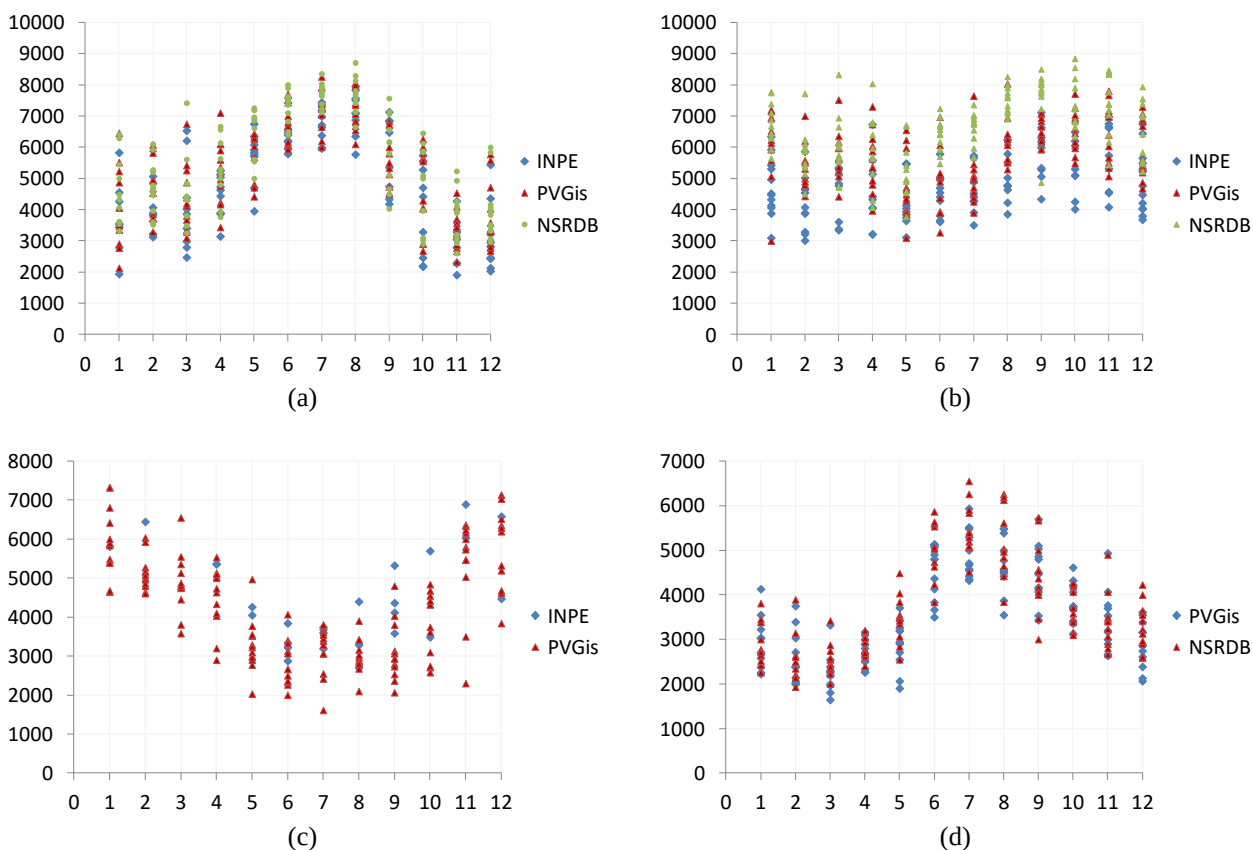


Figura 7 – Dispersão da Irradiação Direta Normal (DNI, em $\text{Wh/m}^2/\text{dia}$) em cada mês: (a) Brasília, (b) Petrolina, (c) São Martinho da Serra e (d) Manaus.

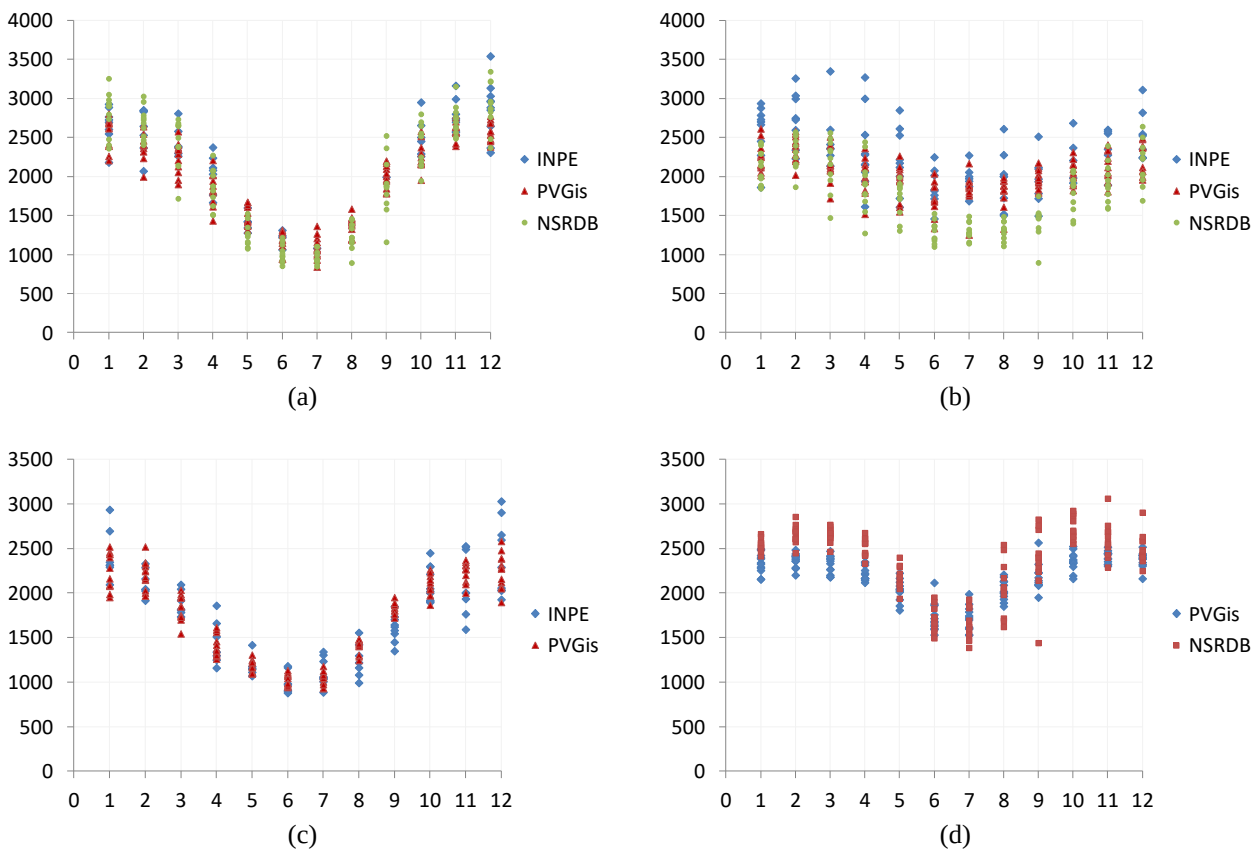


Figura 8 – Dispersão da Irradiação Difusa Horizontal (DHI, em $\text{Wh/m}^2/\text{dia}$) em cada mês: (a) Brasília, (b) Petrolina, (c) São Martinho da Serra e (d) Manaus.

5 CONCLUSÃO

Com base nas informações e nas análises realizadas, pode-se observar que há diversas opções de fontes de dados para cada uma das necessidades específicas. Para simulação em programas como o PVSyst, PVSol, SAM etc, praticamente todas as fontes de dados atendem de modo razoável. A maior parte das fontes de dados também possui boa cobertura espacial e boa precisão. Para calibração e para previsão futura, as fontes de dados são mais limitadas, uma vez que boa parte delas não disponibiliza os dados em tempo real. Mas mesmo assim, há algumas fontes de dados, inclusive gratuitas, que disponibilizam dados para tal.

Em relação à precisão, as fontes de dados apresentam dados que são, de modo geral, bastante coerentes, especialmente considerando dados anuais e dados de irradiação global horizontal. Quando se considera os dados de irradiação direta normal, dados de irradiação difusa horizontal e dados mensais, essa precisão tende a diminuir um pouco. Naturalmente, dados horários ou mesmo diários irão apresentar variabilidade ainda maior.

Um ponto importante de atenção diz respeito à variabilidade interanual da irradiação. Esse valor pode chegar a mais de 25% em algumas situações. Apesar de ser menos sensível a variações interanuais, a energia solar também possui variação interanual significativa, especialmente quando se considera as variações dentro de um mesmo mês. Esse ponto deve ser levado em conta especialmente para calibração de modelos de geração.

Agradecimentos

Os autores agradecem a empresa SyraSolar por financiar o trabalho e por fornecer acesso às informações de seus projetos e a outros recursos, sem os quais o presente trabalho não poderia ter sido realizado.

6 REFERÊNCIAS

- DEKKER, J.; NTHONTHO, M.; CHOWDHURY, S; CHOWDHURY, S. P.; 2012. Investigating the effects of solar modelling using different solar irradiation data sets and sources within South Africa. Em: Solar Energy
- EUROPEAN COMMISSION, 2017. PVGIS. Disponível em: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#MR. Acesso em 13/10/2019.
- INMET, 2019. Estações Automáticas. Disponível em <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>. Acesso em 13/10/2019.
- INPE, 2017. Atlas Brasileiro de Energia Solar. 2ª edição. São José dos Campos.
- INPE, 2019. Estações Sonda. Disponível em: <http://sonda.ccst.inpe.br/infos/index.html>. Acesso em 13/10/2019.
- LABREN, 2017. Atlas Brasileiro de Energia Solar - 2ª Edição. Disponível em: http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html#mod
- MARCEL, S.; JAN, R.; TOMAS, C. et al; 2009. Comparison of Direct Normal Irradiation Maps for Europe. Em: Solar Paces.
- MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B, 2011. Estudo comparativo da confiabilidade de estimativas de irradiação solar para o sudeste brasileiro obtidas a partir de dados de satélite e por interpolação/extrapolação de dados de superfície. Revista Brasileira de Geofísica.
- METEONORM, 2019. Meteonorm. Disponível em: <https://meteonorm.com/en/>. Acesso em 13/10/2019.
- NREL, 2019. NSRDB Data Viewer. Disponível em: <https://maps.nrel.gov/nsrdb-viewer>. Acesso em 13/10/2019.
- SODA, 2019. Radiation. Disponível em: <http://www.soda-pro.com/web-services/radiation/nasa-sse>. Acesso em 13/10/2019.
- SOLARGIS, 2019. SolarGis. Disponível em: <https://solargis.info/>. Acesso em 13/10/2019.
- SOLCAST, 2019. Solcast. Disponível em: <https://solcast.com/>. Acesso em 13/10/2019.
- VAISALA, 2019. Solar Resource Assessment. Disponível em <https://www.vaisala.com/en/products/data-subscriptions-and-reports/solar-renewable-energy/solarresourceassessment>. Acesso em 13/10/2019.
- WMO, 2019. The World Radiation Data Centre. Disponível em: <https://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/solar-radiation.html>.
- WORLD BANK GROUP, ESMAP, SOLARGIS, 2019. Global Solar Atlas. Disponível em: globalsolaratlas.info.

WHAT METEOROLOGICAL DATA SHOULD I USE IN BRAZIL?

A COMPARISON BETWEEN DIFFERENT APPROACHES AND DIFFERENT DATA SOURCES

Abstract. *The variety of meteorological data sources associated with the different results obtained from the use of each one raises questions regarding the best data source to be used. Data obtained from ground stations is usually more accurate and usually acquired every minute. However, they should only be used directly up to a certain distance from the station. Satellite data typically has greater spatial coverage. However, we usually need to rely on models in order to estimate radiation. In some situations, such data may be combined to generate synthetic data that has hourly frequency and wide spatial coverage. Additionally, the cost of each alternative and the way it will be applied are factors that aid the decision. In order to evaluate the influence of different data sources, data from INMET, INPE, the Brazilian Solar Energy Atlas, NSRDB, PVGIS, Meteonorm, SolarGis, Vaisala and Solcast are compared.*

Keywords: Meteorological Data, Comparison, Datasource.