

Análise Estatística da Irradiação Solar de uma Estação Solarimétrica^{*}

Bruna Kariny Fontes Rodrigues^{*} Matheus Pereira Gomes^{*}
 Ângelo Marcio Oliveira Santanna^{**} Daniel Barbosa^{*}

^{*} Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal da Bahia, BA, (e-mail: bkfrodrigues@gmail.com, dbarbosa@ufba.br, elemat.eng@gmail.com).

^{**} Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Bahia, BA, (e-mail: angelo.santanna@ufba.br)

Abstract:

This paper proposes a new approach for analyzing the solar irradiation data from solarimetric station from the city of Irecê-BA. The proposed approach includes an hourly analysis solar irradiation in order to get a low stochastic variation of measurements per hour. The statistical measures used to characterize the data were minimum, maximum, mean, median and standard deviation. We applied two Normality hypothesis tests, Anderson-Darling and Shapiro-Wilk. The shape and symmetry of the data were also analyzed with boxplot and histograms. Extreme points were found in the plots, as well as great asymmetry in the distribution of data at different times. Through the adherence tests, the normality for solar irradiation distribution at most hours within the annual bank is rejected. A study by season was carried out, which showed a different behavior regarding the symmetry of the data, with autumn being more uniform and spring the most stochastic. Spring and summer showed better conditions for photovoltaic installation plates due to their high rates of solar irradiation, and autumn and winter have satisfactory solar irradiation for the maintenance of this form of generation throughout the year.

Resumo: Este estudo propõe uma nova abordagem para análise dos dados de irradiação solar de uma estação solarimétrica localizada na cidade de Irecê-BA. A abordagem proposta contempla uma análise horária da irradiação solar com finalidade de obter uma menor variação estocástica das medições por hora. As medidas estatísticas utilizadas para caracterizar os dados foram mínimo, máximo, média, mediana e desvio-padrão. A hipótese de distribuição normal foi testada usando dois testes paramétricos Anderson-Darling e Shapiro-Wilk. A simetria e forma da distribuição dos dados foram analisados utilizando *boxplots* e histogramas. Foram encontrados pontos extremos nos *boxplots*, assim como grande assimetria na distribuição dos dados em diversos horários. Através dos testes de aderência foi rejeitada a normalidade da distribuição de irradiação solar na maioria das horas dentro do banco anual. Foi realizado um estudo por estação do ano, que apresentou um comportamento diferente quanto a simetria dos dados, sendo o outono a estação mais uniforme e primavera a mais estocástica. A primavera e o verão apresentaram melhores condições para a instalação de placas fotovoltaicas devido aos altos índices de irradiação solar, já o outono e o inverno apresentam irradiação solar inferior, porém satisfatória para a manutenção dessa forma de geração durante todo o ano.

Keywords: Solar Energy; Solar Irradiation; Solarimetric station; Statistical Analysis.

Palavras-chaves: Energia solar; Irradiação solar; Estação solarimétrica; Análise estatística.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta um abundante potencial de geração de energia renovável, grande parte dessa capacidade está relacionada à sua dimensão continental e localização geográfica estratégica. Uma importante característica é a posição do seu território no globo terrestre em relação aos paralelos. Segundo Ferreira (2006), devido a grande parte região brasileira estar situada em uma latitude próxima a da linha do equador, não há variação excessiva nos níveis

de temperatura, que permanecem altas ao longo de todo o ano. Especialmente a porção que se encontra entre a linha do Equador e o Trópico de Capricórnio, que atravessa os estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Paraná e marca o fim da zona tropical do país.

As características geográficas e climatológicas conferem ao Brasil um potencial de geração de energia renovável expressivo, sendo o potencial hidrelétrico com capacidade de até 260 GWh (Plano 2015), abundância em ventos, com cerca de duas vezes maior do que a média mundial (ANEEL, 2008) e privilegiado em termos de incidência da

^{*} Agradecimentos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico(CNPq) pelo suporte financeiro.

radiação solar, que varia de 8 a 22 MJ/m^2 (Tiba et al., 2000).

O Brasil manteve uma tradição de matriz elétrica majoritariamente hidrelétrica, fato cuja origem é datada do século XIX, quando o imperador D. Pedro II construiu a primeira usina em Minas Gerais. A energia hidroeétrica já representou 90% da capacidade instalada (ANEEL, 2008), contra os atuais 67,7% (PNE, 2019). Entretanto, a modificação demasiada do meio ambiente nas regiões de construção de hidrelétrica em conjunto com indisponibilidade de recursos hídricos, devido ao efeito das mudanças climáticas nos regimes hidrológicos, a tornam vulnerável frente a essas mudanças, reduzindo os interesses em sua expansão (EPE, 2015).

A demanda de energia elétrica de um país está correlacionada com a sua atividade econômica, que pode ser representada pelo Produto Interno Bruto (PIB) (Bronzatti and Iarozinski Neto, 2008). Para Horta and Giambiagi (2018), apesar da queda observada no biênio 2016-2017, projeta-se o crescimento do PIB a uma taxa positiva até 2023. Para suplantar possíveis crises de suprimento de energia causadas pelo aumento da demanda, é habitual recorrer a alternativas mais comuns a hidrelétrica, como as termoeletricas, que são de origem não-renovável, encarecem o custo de produção, degradam o meio ambiente e estão sujeitos à intervenção da economia internacional, uma vez que o preço do petróleo varia com mercado internacional. Com o enrijecimento de leis ambientais ao longo dos anos, a preferência por matrizes energéticas de baixo impacto tornou-se importante no combate ao aumento não natural da temperatura relatado por Nobre et al. (2012), fato que contribui negativamente para a manutenção da vida no planeta Terra nos próximos anos.

No Brasil, há destaque para a matriz fotovoltaica, caracterizada pelo crescente número de regulamentações promovidas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Em 2012, a ANEEL regulamentou a geração fotovoltaica de pequeno porte, chamadas de micro e mini geração, com a ANEEL (2012). A partir de 2013, a agência passou a incluir a energia solar em leilões de energia para novos empreendimentos, sendo, portanto, uma forma de incentivar a construção de usinas fotovoltaicas.

Devido a sua importância para o cenário da geração de energia elétrica no Brasil, a matriz fotovoltaica é fonte de pesquisas dos mais diversos tipos, como estudos de viabilidade econômica de implementação (Cabral and Vieira (2012)) ou a avaliação de características dos semicondutores que compõem os painéis fotovoltaicos (Marques (2013)), visando melhorar a sua eficiência. Como a provisão luminosa é um processo estocástico, é comum e conveniente a aplicação de técnicas de análise estatística, com o intuito de obter parâmetros que podem auxiliar significativamente os processos relacionados a esse modal.

O conhecimento sobre a radiação solar que incide a superfície é um aspecto importante ao dimensionar e avaliar a possibilidade de instalação de usinas fotovoltaicas. As principais motivações para o estudo da irradiação solar são a facilidade de medição, utilizando piranômetros, e a sua relação direta, através de uma função de transferência, com a potência elétrica gerada por um painel fotovoltaico.

Existem diversas metodologias de estudo da irradiação solar, sendo os mais comuns os modelos analíticos, estocásticos, empíricos, estatísticos e as redes neurais. Os modelos analíticos são baseados no conhecimento das leis físicas que regem o fenômeno, como a interação entre radiação solar e a atmosfera terrestre (Mubiru and Banda (2008)). Esses modelos costumam ser usados para reconstruir a irradiação solar a fim de utilizar como parâmetro de entrada em modelos climáticos (Gómez et al. (2018)).

Os modelos empíricos estimam a radiação solar a partir de outros parâmetros climáticos, como duração da luz solar, temperatura e nebulosidade (Besharat et al. (2013)). Esses modelos são mais utilizados em locais onde não há a possibilidade da medição direta da irradiação, sendo Angstrom (1924) o pioneiro desse método.

Outra abordagem é obtida por meio dos Modelos Estocásticos, a exemplo dos modelos com componentes autoregressivos (AR) e média-móvel (MA, do inglês *Moving Average*), que presumem processos lineares (Mihalakakou et al. (2000)) e têm como objetivo a previsão de pontos futuros. A não-linearidade dos dados e fenômenos dinâmicos pode afetar a precisão desses modelos. Ainda no intuito de previsão, o uso das redes neurais artificiais é crescente no estudo da irradiação solar. Esse modelo usa técnicas de *Machine Learning* para obter as previsões. Ambas técnicas são amplamente utilizadas, seja de forma única, como feito por Balbinot et al. (2017) (ARIMA), Bosch et al. (2008) (Redes Neurais), ou em conjunto com operadores lineares, a exemplo das transformadas, para filtrar variações não lineares (Mellit et al. (2006)).

A análise estatística utiliza banco de dados de medição de irradiação (ou estimativas baseadas em modelos empíricos) e buscam caracterizar o fenômeno através de estatísticas descritivas e da frequência de distribuição, como feito por Pashiardis et al. (2017) e que também será adotado neste artigo.

Além dos inúmeros modelos de análise de irradiação, há diferentes intervalos de tempo em que a coleta dos dados de irradiação são executados, as quais estão em conformidade com os tipos de sazonalidade apresentado por esse fenômeno. As mais utilizadas são a média diária mensal, como usado por Mubiru and Banda (2008), a média diária (Mellit et al. (2006)) e a média por hora (Mihalakakou et al. (2000)). Os pontos da média por hora tradicionalmente são organizados sequencialmente, com todas as horas do dia dentro da mesma série. Nesse tipo de série, há uma grande variância, uma vez que a série tem como mínimo nulo (a noite) e picos de irradiação que chegam a mais de $1.000 Wh/m^2$. Com a intenção de minimizar essa variação os dados foram separados em 24 séries correspondentes às 24 horas no dia.

Neste trabalho, os dados de irradiação solar são provenientes de uma estação solarimétrica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada na cidade de Irecê-BA. O banco de dados contém medições realizadas durante um ano (365d), integralizadas em intervalos de uma hora (24h). A análise estatística dos dados foi fundamentada nas medidas de tendência central e dispersão, além de testes de aderência à normalidade, pois a distribuição Gaussiana representa a distribuição de frequência de muitos fenôme-

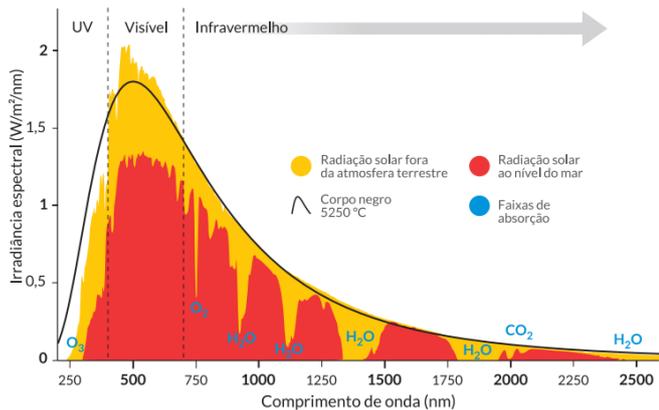


Figura 2. Espectro da radiação solar (ONS, 2018)

nos naturais e é requisito de diversas análises da estatística inferencial.

A análise dos dados e simulações foram realizadas no software R, uma linguagem *open search*. Esse trabalho é organizado como segue: a seção Materiais e Métodos descreve as características dos dados utilizados, os procedimentos e métodos abordados; na seção Resultados, é apresentado a análise estatística dos dados de irradiação solar e, por fim, na seção Conclusão, é discutido os resultados, as contribuições e as perspectivas futuras do estudo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

As análises apresentadas nesse trabalho contaram com um banco de dados que contém medições de irradiação solar efetuadas entre os anos de 2013 e 2014. Essas medidas foram efetuadas por uma estação solarimétrica, situada na cidade de Irecê-BA (11°33'S, 41°86'E, height 747.16m amls), que se encontra na zona climática tropical, ou ainda usando a classificação de Novais (2017), na Zona climática Tórrida, o que lhe confere uma alta incidência de radiação solar durante todo o ano.

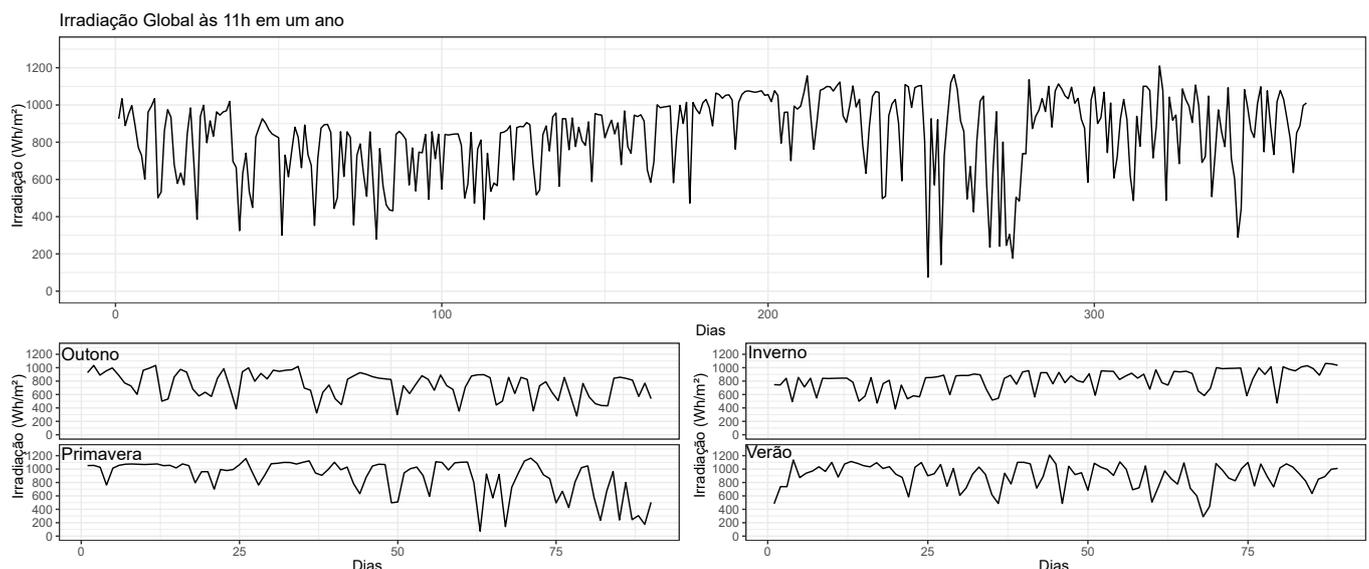


Figura 1. Irradiação solar avaliada às 11h

A energia gerada pelo Sol por meio da fusão de átomos de hidrogênio é irradiada em amplo espectro eletromagnético e é chamada de radiação solar (ANEEL, 2008). Durante o caminho até o nível do solo, a distribuição espectral se altera, conforme a Fig. 2.

A irradiância solar corresponde ao nível de radiação solar capturado na superfície horizontal. Ao integrar no tempo, é obtido a irradiação solar (Wh/m^2), parâmetro utilizado neste trabalho. O instrumento de medida da irradiância é o piranômetro, um sensor que converte a energia térmica da radiação em energia elétrica, cuja curva de resposta está entre 300 nm e 3000 nm.

Os dados originais correspondem a integração da irradiância em intervalos de 10 min (dez minutos) durante o período anual (365 dias). A fim de obter uma quantidade de dados mais concisa, foi efetuada a média a cada seis medidas de irradiação solar, obtendo as medidas de irradiação em intervalos de 1h (uma hora). Assim, obteve-se um banco de dados de 24 estratos, referentes as horas, onde cada um contém 365 registros de irradiação solar.

Essa abordagem permite diminuir a variabilidade diária de amplitudes inerente do fenômeno, que começa com baixa irradiação no amanhecer, cresce até seu pico, por volta de $1.000 Wh/m^2$ e decresce ao anoitecer. Ao particionar a série por hora, deixa-se de levar em conta esse processo e passa a ser analisado apenas as diferenças de amplitudes causados pelas estações do ano e por fenômenos climáticos. É importante ressaltar a diferença entre as abordagens, uma vez que a escolha do intervalo de dados e forma de considerá-los permite visualizar ou ignorar variação diária, sazonalidade e tendências não-sazonais. Por exemplo, Pashiardis et al. (2017) analisa a média diária dentro de cada mês ao longo três anos, o que permite visualizar as amplitudes sem a interferência das estações do ano.

Foram utilizados estatísticas descritivas e inferenciais para caracterizar os dados. As medidas de tendência central utilizadas foram a média e a mediana da irradiação solar a cada hora, ao longo de todo o intervalo de medições.

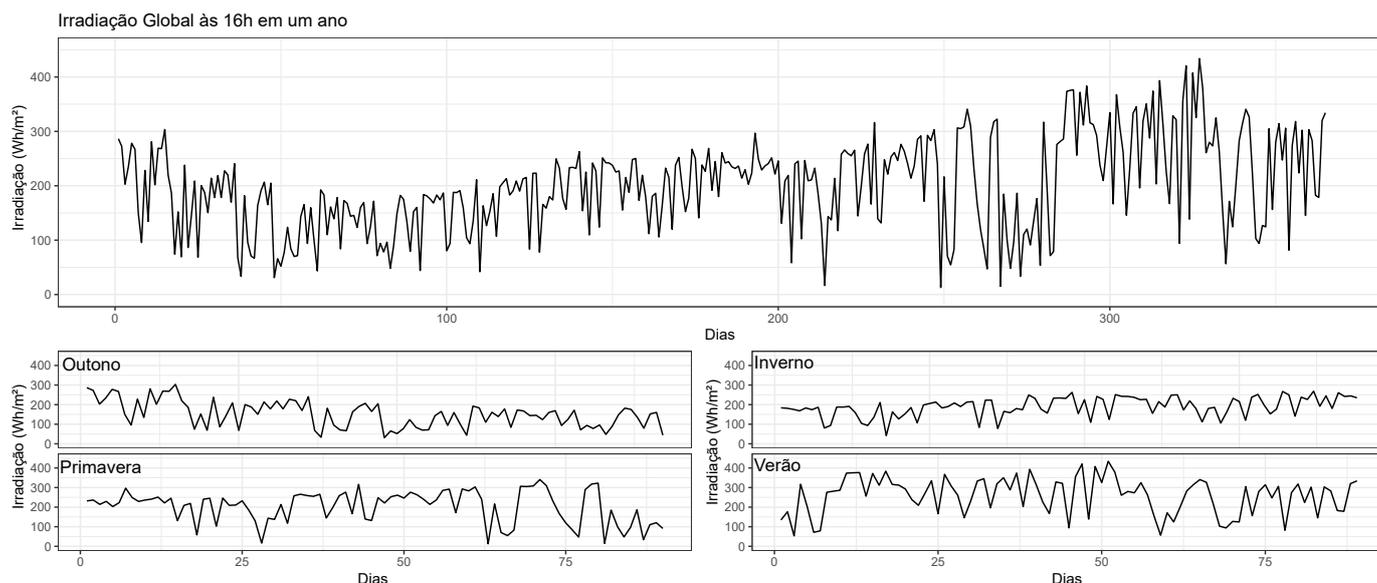


Figura 3. Irradiação solar avaliada às 16h

As medidas de variabilidade usadas foram desvio padrão, irradiação mínima e máxima.

A verificação da compatibilidade dos dados com a distribuição normal é uma importante informação, uma vez que é recorrente em fenômenos naturais e muitas análises estatísticas sustentam-se nesse requisito. Assim, optou-se por realizar testes de aderência a normalidade, sendo escolhidos os testes de Anderson-Darling e o de Shapiro-Wilk, que são testes paramétricos. Os testes presumem a normalidade dos dados como a hipótese H_0 , e um p -valor $> 0,05$ caso os resultados confirmem a normalidade da amostra. As análises foram executadas com o auxílio do software R, sendo utilizadas as funções de média, desvio padrão, máximo e mínimo e teste de Shapiro-Wilk do pacote base do R. Para o teste de Anderson-Darling, utilizou-se o pacote *nortest*.

3. RESULTADOS

A Fig. 1 representa os gráficos da irradiação global medida às 11h, com as representações durante o intervalo de 365 dias e para as quatro estações do ano. O gráfico correspondente à irradiação anual tem seu início no primeiro dia do outono de 2013 e seu fim no último dia do verão de 2014. Abaixo da representação anual, estão os gráficos da irradiação solar exibidos por estação.

É possível constatar, na Fig. 1, tendências sutis em alguns dos gráficos por estação. Observa-se a queda na irradiação no outono, condizente com a aproximação do inverno. Assim como há uma tendência crescente no inverno, condizente com a aproximação da primavera. Enquanto que, nos gráficos de primavera e verão, percebe-se a estabilização na irradiação, o que é esperado, pois são épocas em que o sol está perto do zênite (Novais, 2017), com a diminuição no fim da primavera e alguns vales em ambas estações devido às chuvas.

A Fig. 3 reproduz a mesma configuração que a Fig. 1; mas, agora, representa os resultados para as medições de irradiação solar às 16h. Nessa figura, pode-se perceber uma

maior variação na radiação entre as estações, fenômeno que pode ser explicado por ser um horário perto do crepúsculo, beneficiando-se com o aumento a irradiação causada pela maior duração dos dias no verão.

Esses dois horários, 11h e 16h, foram escolhidos por destacarem-se na análise estatística especificada na tabela 1. Pode-se perceber que o horário que apresenta o maior pico de irradiação, assim como maior média e mediana, é o das 11 horas.

O horário das 16 horas foi colocado em destaque devido ao resultado nos testes de normalidade. Apresentando p -valor $> 0,05$ nos testes de Anderson-Darling e Shapiro-Wilk, foi o único dos 24 bancos de dados que não rejeitou a hipótese H_0 , apresentando aderência à distribuição normal.

Os horários cuja irradiação assume valores desejados no tocante à geração de energia fotovoltaica, ou seja, entre as 8h e 15h, apresentam uma mediana maior que a média, resultado esperado de variáveis aleatórias cuja distribuição não é normal. A diferença entre valores de ambas medidas de tendência central deve-se ao fato de que a média é influenciada por extremos, a qual tende a decrescer devido aos pontos de mínimo, que são oriundos de momentos em que o céu está nublado ou em ocasiões de chuva. A mediana não é influenciada pelos máximos e mínimos e, como representa apenas o valor central, retrata de forma mais adequada os casos em que a variável aleatória não é aderente a distribuição normal.

Os *boxplot* foram utilizados no processo de avaliar se um conjunto de dados obedece a distribuição gaussiana (Fig. 4). Pode-se notar que a mediana, de cada *boxplot* está deslocada do centro, assim como a caixa está deslocada em relação aos máximos e mínimos. Essas assimetrias demonstram que os dados não estão distribuídos de maneira uniforme em torno da média por hora, fato que valida os testes anteriores e confirmam a não aderência a normalidade.

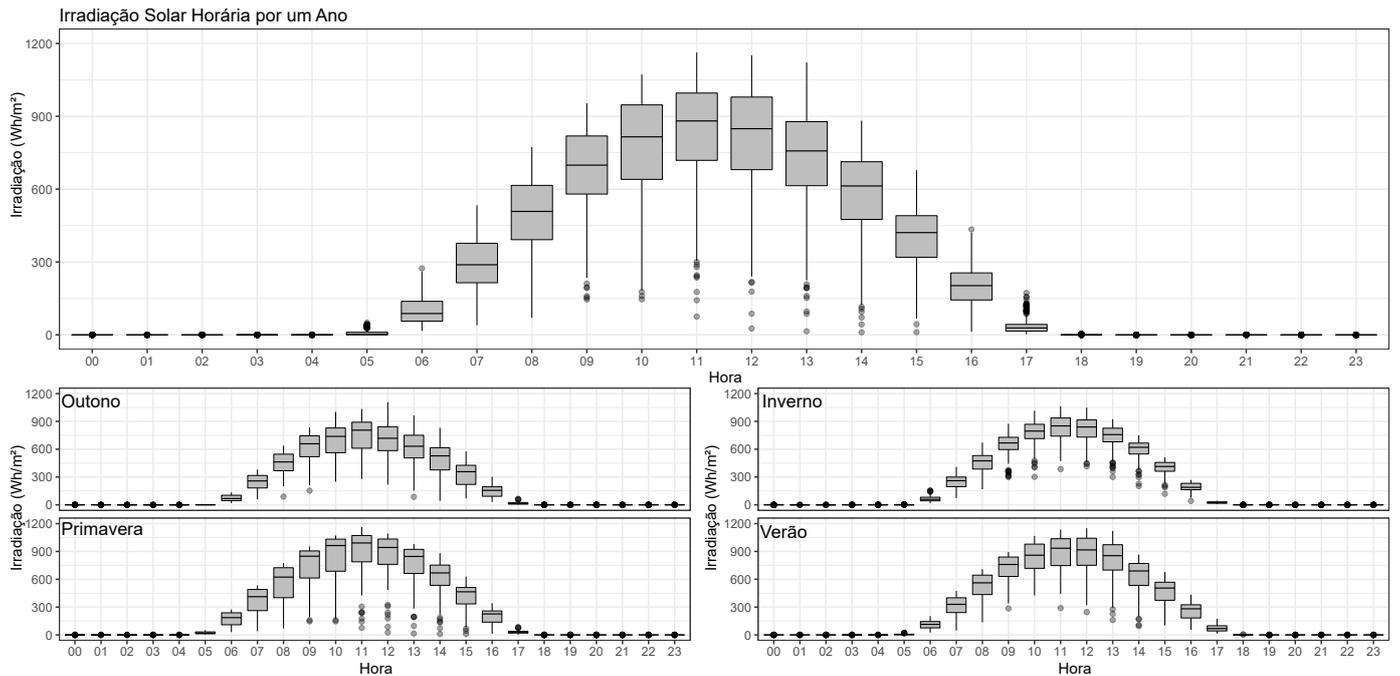


Figura 4. *Boxplot* da irradiação solar ao longo do ano

Hora	Estatísticas Descritivas					Testes de Normalidade			
	Mínimo	Máximo	Mediana	Média	Desvio Padrão	Teste Anderson-Darling	AD p-value	Teste Shapiro-Wilk	S-W p-value
0	0.00	0.33	0.00	0.02	0.04	65.417	0,000	531	0,000
1	0.00	0.35	0.00	0.02	0.04	53.896	0,000	583	0,000
2	0.00	0.22	0.00	0.03	0.04	50.814	0,000	657	0,000
3	0.00	0.35	0.00	0.03	0.06	50.77	0,000	621	0,000
4	0.00	0.5	0.01	0.03	0.06	45.948	0,000	642	0,000
5	0.00	50.52	1.70	7.33	11.09	44.699	0,000	0.69	0,000
6	16.82	273.82	87.46	104.59	63.91	10.198	0,000	0.91	0,000
7	39.41	533.32	288.50	295.39	113.49	973	0,014	985	0,001
8	70.41	773.34	506.74	493.98	153.95	1.741	0,000	978	0,000
9	145.86	953.68	700.05	674.76	180.7	5.48	0,000	947	0,000
10	146.36	1072.26	814.62	780.54	209.02	6.289	0,000	936	0,000
11	75.05	1209.73	880.94	834.12	214.28	6.963	0,000	934	0,000
12	26.18	1151.17	848.87	808.5	216.08	5.765	0,000	941	0,000
13	14.82	1121.51	756.95	722.96	206.57	5.647	0,000	945	0,000
14	10.44	881.74	612.93	579.8	179.53	6.356	0,000	942	0,000
15	10.87	678.04	420.86	397.04	134.12	4.853	0,000	964	0,000
16	12.9	434.01	202.22	199.74	84.31	542	0,163	992	0,573
17	2.23	172.78	28.16	36.4	30.36	19.302	0,000	824	0,000
18	0.00	4.87	0.00	0.29	0.72	81.382	0,000	468	0,000
19	0.00	0.32	0.00	0.01	0.03	91.988	0,000	0.29	0,000
20	0.00	0.47	0.00	0.01	0.04	95.788	0,000	273	0,000
21	0.00	0.53	0.00	0.01	0.04	86.453	0,000	343	0,000
22	0.00	0.29	0.00	0.02	0.04	78.379	0,000	442	0,000
23	0.00	0.47	0.00	0.02	0.04	72.228	0,000	426	0,000

Tabela 1. Resultados das estatísticas descritivas e testes de aderência

A Fig. 4 apresentam *outliers*, pontos fora dos limites máximos e mínimos, cuja sobreposição dá origem a pontos com tonalidade mais escura. Na figura anual (Fig. 4), percebe-se *outliers* acima do máximo, nas primeiras horas da manhã e nas duas últimas horas da tarde. Esses pontos correspondem à medições no verão, época em que o sol nasce mais cedo e se põe mais tarde. Os *outliers* abaixo dos valores mínimos podem indicar medidas do outono/inverno, ou dias nublados de qualquer estação.

O estudo por estações do ano permite a observação das peculiaridades de cada período. No outono, há níveis de insolação mais baixos, sendo irrisórios os níveis de insolação nos horários de 6 e 17 horas, apresentando poucos *outliers* e distribuição de probabilidades mais uniforme. No

inverno há muitos *outliers* e um leve aumento na irradiação em relação ao outono. Na primavera há um aumento nos níveis de irradiação, que pode ser percebido de forma mais eloquente ao observar a posição do primeiro quartil dos *boxplots*, assim como, há a maior quantidade de *outliers* dentre todas estações e maior assimetria na distribuição dos dados. No verão, há uma alta irradiação entre os horários das 10h e 13h, poucos pontos extremos e níveis mais altos de irradiação às 17h.

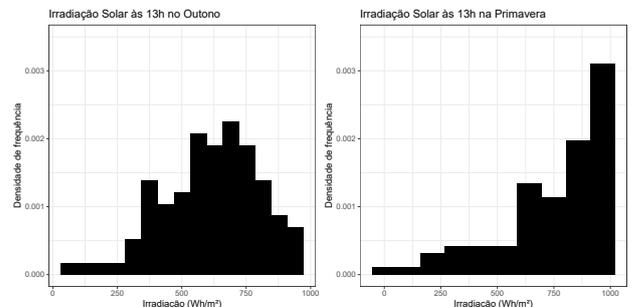


Figura 5. Histogramas referentes ao mesmo horário no Outono e na Primavera

A assimetria da distribuição na primavera pode ser verificada nos histogramas da Fig. 5, que compara as medidas das 13h desta estação com os dados do mesmo horário no outono. Esse horário foi escolhido com base na análise do *boxplot* da Fig. 4, que demonstra uma aparente simetria no outono e grande assimetria na primavera. O histograma referente ao outono apresenta uma distribuição mais uniforme, em forma de sino. O teste de Shapiro-Wilk foi aplicado a este conjunto de dados, ($SW.Test = 0.985$ e $p.value = 0.395502$), confirmando a aderência à hipótese de normalidade da amostra. Os dados da primavera apresentam uma maior frequência em irradiações mais altas, expondo uma assimetria a esquerda.

4. CONCLUSÃO

Este trabalho apresenta uma abordagem proposta para analisar a irradiação solar anual de uma estação solarimétrica localizada na cidade de Irecê-BA (11°33'S, 41°86'E, height 747.16m amls), que se encontra na zona climática tropical. Esta abordagem de análise horária permitiu obter uma menor variação estocástica das medições da irradiação solar anual. Foram utilizadas medidas de tendência central e de variabilidade a fim de caracterizar os dados, os testes de aderência à normalidade. (essa frase não faz sentido)

Com base na tabela 1, que contém os dados provenientes de estatísticas descritivas para todas as horas do dia durante um ano, observou-se que o horário das 11h apresentou os maiores valores de média e mediana. Nessa análise, a média foi uma medida de tendência central que mostrou-se bastante afetada pelo valores extremos. Em contrapartida, a mediana não é influenciada por esses pontos destoantes, sendo, portanto, uma medida que melhor representa os dados.

Dois testes paramétricos foram usados para verificar a hipótese de distribuição normal dos dados anuais, o Anderson-Darling e o Shapiro-Wilk. O retorno de p-valor $< 0,05$ rejeita a hipótese H_0 que pressupõe a normalidade. A tabela 1 exibe os resultados para a análise obtida pelos testes de aderência, a qual mostrou que a rejeição da normalidade se deu em todos os horários, exceto no horário das 16h para ambos testes.

O *boxplot* permite um estudo gráfico de simetria, distribuição dos dados e existência de pontos extremos (*outliers*). Foi realizado o *boxplot* para cada hora usando os dados anuais, assim como em cada hora nos dados divididos por estações. Pôde-se observar diversos *outliers* abaixo dos limites mínimos, originários de momentos de céu nublado. Nos gráficos de *boxplot* por estação, pode-se observar uma maior simetria no outono, e evidente assimetria nas outras estações, acentuada na primavera.

Observa-se pelos testes de normalidade, gráficos de *boxplot* e histogramas que a irradiação solar não segue a distribuição normal na maioria das medições horárias. A investigação do tipo de distribuição dos dados anuais e maior aprofundamento no estudo sazonal são temas para trabalhos futuros.

A primavera e o verão apresentam melhores condições para a instalação de geração fotovoltaica, devido à concentração da frequência de irradiação em níveis mais altos, assim como mais horas de altos índices de irradiação solar. Já o outono e o inverno, apesar de menores níveis de irradiação solar, apresentam amplitudes satisfatórias para a manutenção da geração solar durante todo o ano.

REFERÊNCIAS

- ANEEL (2008). Atlas de energia elétrica, do Brasil. *Brasília, Brasil. 3aEd.*
- ANEEL (2012). Resolução normativa 482/2012. *Brasília, Brasil.*
- Angstrom, A. (1924). Solar and terrestrial radiation. report to the international commission for solar research on actinometric investigations of solar and atmospheric radiation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 50(210), 121–126.
- Balbinot, E.J., Scotton, J.W., Cerezer, S.M., and Martinazzo, C.A. (2017). Modelos de séries temporais aplicados a previsão de radiação solar.
- Besharat, F., Dehghan, A.A., and Faghieh, A.R. (2013). Empirical models for estimating global solar radiation: A review and case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 21, 798–821.
- Bosch, J., Lopez, G., and Batlles, F. (2008). Daily solar irradiation estimation over a mountainous area using artificial neural networks. *Renewable Energy*, 33(7), 1622–1628.
- Bronzatti, F.L. and Iarozinski Neto, A. (2008). Matrizes energéticas no Brasil: cenário 2010-2030. *Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 28, 13–16.
- Cabral, I. and Vieira, R. (2012). Viabilidade econômica x viabilidade ambiental do uso de energia fotovoltaica no caso brasileiro: uma abordagem no período recente. In *III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental*, volume 19.
- EPE (2015). Plano nacional de energia 2050. *Rio De Janeiro.*
- Ferreira, A.G. (2006). *Meteorologia prática*. Oficina de Textos.
- Gómez, J., Carlesso, F., Vieira, L., and Da Silva, L. (2018). Solar irradiance: basic concepts. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 40(3).
- Horta, G.T.d.L. and Giambiagi, F. (2018). Perspectivas depec 2018: o crescimento da economia brasileira 2018-2023.
- Marques, P.S.G. (2013). Caracterização e purificação de quartzo para indústria fotovoltaica.
- Mellit, A., Benghanem, M., and Kalogirou, S.A. (2006). An adaptive wavelet-network model for forecasting daily total solar-radiation. *Applied Energy*, 83(7), 705–722.
- Mihalakakou, G., Santamouris, M., and Asimakopoulos, D. (2000). The total solar radiation time series simulation in Athens, using neural networks. *Theoretical and Applied Climatology*, 66(3-4), 185–197.
- Mubiru, J. and Banda, E. (2008). Estimation of monthly average daily global solar irradiation using artificial neural networks. *Solar energy*, 82(2), 181–187.
- Nobre, C.A., Reid, J., and Veiga, A.P.S. (2012). Fundamentos científicos das mudanças climáticas. *São José dos Campos, SP: Rede Clima/INPE.*
- Novais, G. (2017). Distribuição média dos climas zonais no globo: estudos preliminares de uma nova classificação climática (average distribution of zonal climates on the globe: preliminary studies of a new climatic classification). *Revista Brasileira de Geografia Física*, 10(5).
- ONS (2018). *Atlas Solar Bahia*. ONS.
- Pashiardis, S., Kalogirou, S.A., and Pelengaris, A. (2017). Statistical analysis for the characterization of solar energy utilization and inter-comparison of solar radiation at two sites in Cyprus. *Applied energy*, 190, 1138–1158.
- Tiba, C., Fraidenraich, N., Lyra, F., and Nogueira, A. (2000). Atlas solarimétrico do Brasil: banco de dados terrestres. *Recife: Editora Universitária da UFPE*, 32.