



## **MODELAGEM DA IRRADIAÇÃO SOLAR COMO FERRAMENTA DIDÁTICA PARA O ENSINO DA SÉRIE DE FOURIER NO CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

---

DOI: 10.37702/2175-957X.COBIENGE.2025.6208

**Autores:** MARCOS JOSé MEDEIROS DA SILVA, ALBERTO HELENO ROCHA DA SILVA, RODRIGO LUSTOSA PERONICO

**Resumo:** Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um modelo matemático para prever a Irradiação Solar como uma aplicação da Série de Fourier. Esta previsão é ferramenta importante para analisar a viabilidade e estimar a produção de energia por Sistemas Fotovoltaicos. Nesse contexto, o modelo matemático foi desenvolvido para ser de fácil aplicação como uma ferramenta introdutória no estudo de Energia Solar para estudantes do cursos de Engenharia Elétrica. Os dados modelados provêm do INMET e desenvolvidos em linguagem R, onde a Série foi utilizada como base para realizar a Regressão Harmônica de um conjunto de dados de Irradiação analisados pela média diária das amostras. A modelagem para 2024 e a previsão para 2025 foram analisadas comparando-as a modelos com mais termos de Fourier por meio do cálculo das integrais em seus respectivos intervalos. Por último, também foi analisado o comportamento do modelo sem Regressão Linear ao fazer um sobreajuste de seus termos de Fourier.

**Palavras-chave:** Modelagem Matemática, Irradiação solar, Séries de Fourier

## MODELAGEM DA IRRADIAÇÃO SOLAR COMO FERRAMENTA DIDÁTICA PARA O ENSINO DA SÉRIE DE FOURIER NO CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

### 1 INTRODUÇÃO

A Irradiação Solar é uma grandeza física que se trata da quantidade de energia do Sol que incide sobre uma área ao longo de um determinado tempo (Vian *et al.*, 2021). Na engenharia Elétrica, é um importante objeto de pesquisa para o aprimoramento da eficiência de sistemas fotovoltaicos, pois estes, são fontes de geração energética do qual converte esse volume irradiado em energia elétrica, tendo como uma das principais vantagens um menor impacto ambiental frente às formas tradicionais de geração (Soares, 2024; Porto, 2024). Assim, para seu estudo, deve-se levar em consideração aspectos atmosféricos e geográficos, onde, devido a variabilidade espacial inerente a este fenômeno, necessita de estimativas personalizada de geração de energia para cada local implementado (Soares, 2024; Vian *et al.*, 2021).

Segundo Relatório de Fontes de Energias Renováveis da ONU (SRREN, 2011), para uma maior contribuição dos sistemas fotovoltaicos na geração de energia, é importante que esses sistemas tenham tecnologia adequada em que o fornecimento de energia seja compatível com a sua demanda e tecnologias para a sua operação devem ser desenvolvidas a fim de prever a geração de energia e otimizar as funções de armazenamento do sistema. Uma das aplicações da modelagem matemática é a geração de cenários dos parâmetros físicos avaliados, fornecendo modelos matemáticos que podem ser analíticos ou numéricos, físicos ou empíricos, que auxiliam na previsibilidade do comportamento desses parâmetros (Domingos *et al.*, 2020; Moreira, 2018; Pignaton, 2022). Com a demanda do desenvolvimento tecnológico de sistemas fotovoltaicos, métodos cada vez mais sofisticados de previsão da Irradiação Solar foram desenvolvidos (SRREN, 2011).

Seguindo esta ótica e sob a luz das novas Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs), parecer nº 02 de 2019 publicado pelo Ministério da Educação (MEC), os cursos de Bacharelado em Engenharia têm como perfil do egresso, não apenas, “*ser capaz de reconhecer as necessidades dos usuários, formular, analisar e resolver, de forma criativa, os problemas de Engenharia*” (MEC, 2019). Assim, abordagens didáticas que possibilitem aos discentes a integração dos conteúdos de formação geral (e.g., Cálculo, Física, Química, etc.) com os de formação técnica (e.g., Eficiência Energética, Análise de Sinais, Sistemas Elétricos, etc.) contribuem, não exclusivamente, para maior compreensão dos conhecimentos abordados nos cursos e numa formação científica mais sólida do qual, a troca de experiências e na relação entre o professor e o estudante constrói uma atmosfera interdisciplinar vivenciada em sala de aula com o intuito de contribuir num profissional mais capacitado nas interações do curso com os problemas cotidianos (Grzebieluka, 2024; Souza, 2024).

Nesse contexto, a realização de prática de modelagem matemática a partir de dados reais tem potencial como ferramenta educativa para auxiliar no estudo de disciplinas dos cursos de engenharia (Bertone *et al.*, 2014). Afinal, como aponta Pavanelo (2017), é importante evidenciar o papel dos cursos de engenharia no Brasil como elemento ativo no desenvolvimento tecnológico da sociedade. O mesmo também destaca que a adaptação das instituições de Educação Superior de Ensino às necessidades de uma nova sociedade

**15 a 18 DE SETEMBRO DE 2025**  
**CAMPINAS - SP**

baseada na informação e no conhecimento, constituindo-as como fundamento para o desenvolvimento sustentável, é um dos desafios principais para tornar a educação superior capaz de atender às demandas regionais.

Segundo Helm (2008) a Série de Fourier é uma ferramenta capaz de relacionar matematicamente grandezas físicas harmônicas temporais (e.g., análise de sinais periódicos) expressando-as como uma combinação de senos e cossenos e, na finalidade do presente trabalho, relacionar os conteúdos vistos na disciplina de Energia Solar com os conteúdos abordados nas disciplinas de Cálculo ofertados no curso. Com essas considerações, foram feitas diversas modelagens de uma quantidade de dados equivalente a um ano, sendo as duas primeiras com enfoque na previsão de Irradiação Solar, para compreender e investigar sua utilidade como objeto de estudo complementar no que envolve o ensino das Séries de Fourier nos cursos de Engenharia Elétrica no Brasil.

A primeira modelagem se baseia inteiramente em uma Regressão não linear por Série de Fourier, também chamada de Regressão Harmônica. A segunda foi feita pela implementação de uma Regressão Linear ao modelo anterior, e a partir desta, foi realizada uma previsão da Irradiação Solar para o ano de 2025. Então, por meio da Transformada Rápida de Fourier, método comum no estudo de sinais elétricos, foi investigado possíveis comportamentos periódicos que não foram considerados nos modelos anteriores. Por último, foi feito um sobreajuste (*overfitting* em inglês), para analisar o comportamento modelo obtido quando seu número de termos se aproxima do número de amostras.

O modelo e a previsão foram feitos pela linguagem de programação R, presente como ferramenta em diversos cursos de estatística na grade de graduação em Engenharia Elétrica, através do software Rstudio, ambiente utilizado para a elaboração de todas as representações gráficas e para a determinação dos coeficientes dos modelos apresentados.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Sítio Experimental

O conjunto de dados analisados foram retirados do portal do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) como dados numéricos de Irradiação Solar ao longo do tempo. Nesse caso, um medidor registrou 4230 medições no ano de 2024 para a cidade de Arapiraca, Alagoas, em intervalos de uma hora, todos os dias, das 9 da manhã às 9 da noite. O conjunto dessas amostras foi exportado manualmente do INMET para o software Rstudio.

### 2.2 Série de Fourier

Segundo Helm (2008), uma função periódica pode geralmente ser representada como uma série de pares compostos por senos e cossenos, onde o período de cada par é um submúltiplo de algum período base. Essa é a principal característica da Série de Fourier, representada genericamente pela Equação (1).

$$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(2\pi r n x) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin(2\pi r n x) \quad (1)$$

onde  $a_0$ ,  $a_n$  e  $b_n$  são coeficientes de ajuste da Série de Fourier para cada  $n = 0, 1, 2, 3, \dots$  e  $r$  é uma constante. Os termos da Série de Fourier são utilizados na regressão harmônica, que é possivelmente o método de menor complexidade quando se trata dos conceitos estatísticos envolvidos para analisar dados em função do tempo e é uma regressão por mínimos quadrados de uma ou mais funções senoidais (Bloomfield, 2000).

A generalização da série de Fourier é a Transformada de Fourier, e para aplicações em tempo discreto, tal como a série de radiação solar, temos a Transformada Discreta de Fourier.

**15 a 18 DE SETEMBRO DE 2025**  
**CAMPINAS - SP**

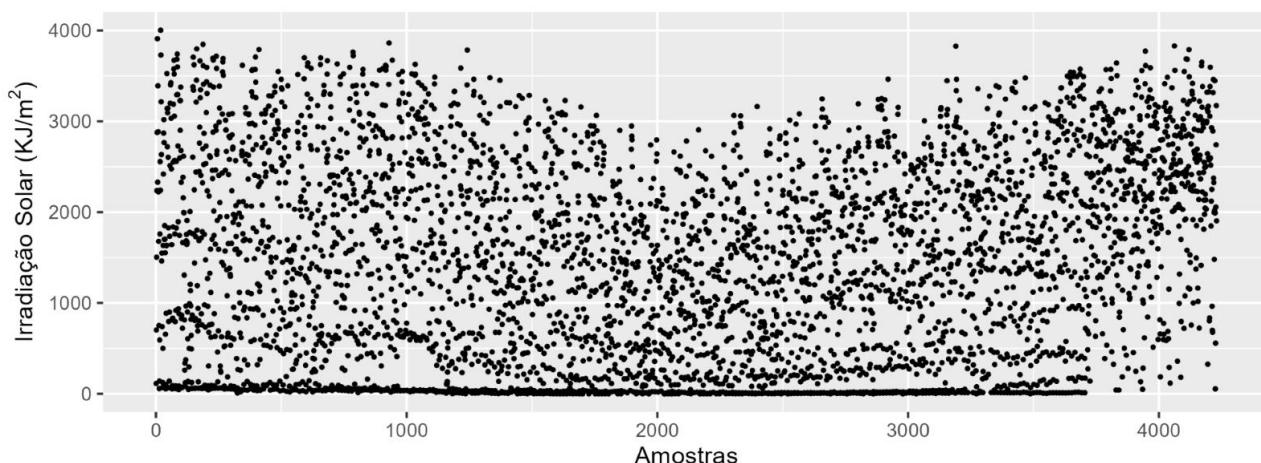
Schuster (1896) introduziu o periodograma como método de análise de dados ao longo do tempo, e aplicou sua metodologia em conjuntos de dados tais como o número de manchas solares em função do tempo. Seu método foi aprimorado ao longo dos anos e se tornou ferramenta importante para a análise de dados na variável do tempo.

Já no século XX, um dos avanços mais importantes para análise de séries ao longo do tempo foi de Cooley e Tukey (1965) com o desenvolvimento do algoritmo para a computação de transformadas discretas de Fourier para todas as frequências possíveis, a Transformada Rápida de Fourier (FFT), que é frequentemente representada na forma de um periodograma.

### 3 RESULTADOS

O modelo e a previsão foram feitos pela linguagem de programação R através do software Rstudio, e o método utilizado para modelar e prever estatisticamente os dados numéricos de Irradiação foi escolhido pela sua relação com conceitos de Série de Fourier e Estatística abordados nos cursos de Engenharia Elétrica do Brasil. Primeiramente, foi feita uma representação gráfica das amostras, com eixo vertical representando o valor da Irradiação Solar e eixo horizontal representando o número de amostras ao longo do ano de 2024.

Figura 1 – Gráfico da Irradiação Solar para cada amostra em ordem de coleta, da esquerda para a direita.

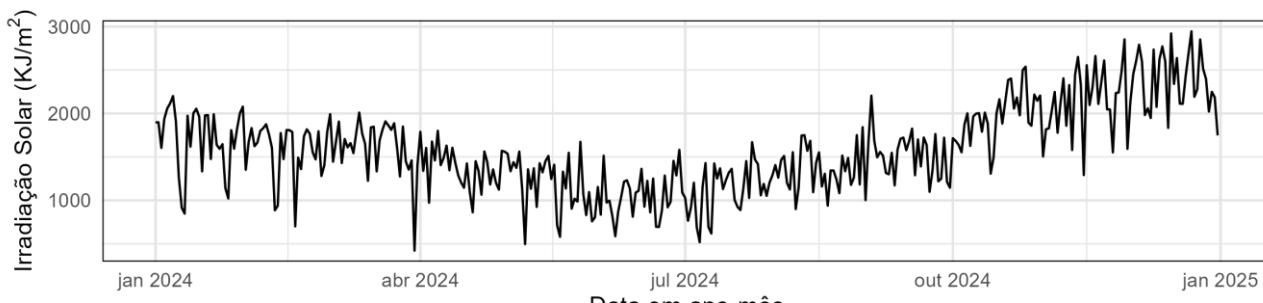


Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir dos dados da Figura 1, foi feita a média dos valores de Irradiação de cada dia, representados ao longo do tempo. Segundo Honsberg (2019), a radiação solar diária média em uma região é uma aproximação geralmente suficiente para uma análise básica de um sistema fotovoltaico. Além disso, pela quantidade relativamente alta de dados, a escolha dessa aproximação foi feita para proporcionar um menor esforço computacional em análises posteriores e permitir uma abordagem graficamente mais intuitiva para a escolha de um modelo que mais se aproxima do fenômeno abordado.

**15 a 18 DE SETEMBRO DE 2025**  
**CAMPINAS - SP**

Figura 2 – Gráfico da Média diária da Irradiação Solar ao longo do tempo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O decrescimento geral seguido de um crescimento sugere um comportamento oscilatório, levando em conta que esse comportamento se dá, em sua maior parte, pela distância em que a Terra está do Sol, visto que a Terra faz uma órbita completa ao redor do Sol em trajetória elíptica em um ano, como sugere Honsberg (2019). Assim, escolheu-se modelar a Figura 4 a partir de um termo da Série de Fourier, de frequência estimada de 1/365.25 ciclos por dia, a partir de regressão harmônica.

A regressão harmônica utilizada se baseia no seguinte modelo, composto por um termo da Série de Fourier:

$$x(t) = a_0 + a_1 \cos(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t) + b_1 \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t) + e(t) \quad (2)$$

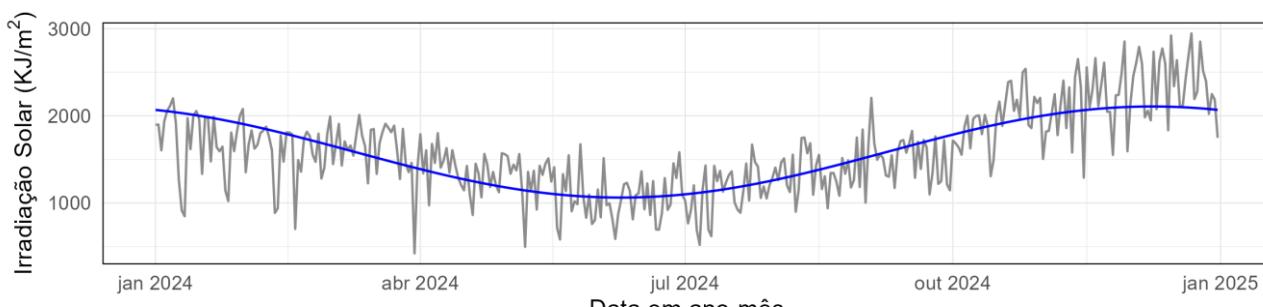
onde  $e(t)$  representa o erro ou simplesmente a diferença entre valores da Média diária,  $x(t)$  representa o modelo,  $t$  é o tempo em dias e  $f$  é uma constante.

Seus parâmetros podem encontrados pela minimização da Equação [3], que representa o somatório dos erros individuais elevados ao quadrado das amostras ao longo do tempo, considerando que a frequência  $f$  é conhecida:

$$s(a_0, a_1, b_1) = \sum_{t=0}^n [x(t) - a_0 - a_1 \cos(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t) - b_1 \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t)]^2 \quad (3)$$

Tal minimização foi utilizada para realizar uma estimativa dos dados elaborada em linguagem R.

Figura 3 – Modelo de Regressão Harmônica do gráfico da Irradiação Solar Diária Média.



Fonte: Elaborado pelo autor.

REALIZAÇÃO



Associação Brasileira de Educação em Engenharia



15 a 18 DE SETEMBRO DE 2025  
CAMPINAS - SP

ORGANIZAÇÃO



PUC  
CAMPINAS

A estimativa, representada por  $\hat{x}(t)$  representada na Figura 3 é dada pela Equação (4).

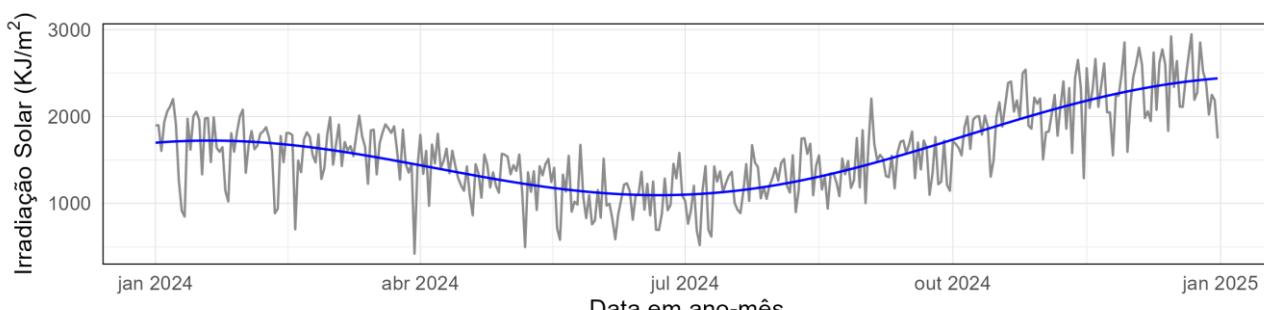
$$\hat{x}(t) = 1584 + 481 \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot t}{365,25}\right) - 203 \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot t}{365,25}\right) \quad (4)$$

É possível observar na Figura 3 que há uma estimativa alta para os primeiros meses e uma estimativa baixa para os últimos meses, o que sugere um comportamento linear, ou seja, uma tendência nos dados que não foi considerada. Assim, foi implementada uma regressão harmônica, Equação (5).

$$x(t) = a_0 + a_1 \cos(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t) + b_1 \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t) + \mu_0 + \mu_1 t + e(t) \quad (5)$$

onde  $\mu_0$  e  $\mu_1 t$  são termos da regressão harmônica.

Figura 4 – Modelo de Regressão Harmônica + Linear do gráfico da Irradiação Solar Diária Média.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A estimativa da Figura 4 é dada pela Equação (6).

$$\hat{x}(t) = 1212 + 484 \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot t}{365,25}\right) + 32,7 \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot t}{365,25}\right) + 2,03 \cdot t \quad (6)$$

A Equação (6) demonstrou uma maior adaptação aos dados que a Equação (4), fornecendo uma curva com maior teor de simetria topológica. Esta pode ser estendida ao longo do eixo do tempo, ou seja, ser representada graficamente para outros intervalos de tempo. Dessa maneira foi possível obter uma previsão dos valores de irradiação equivalentes ao ano de 2025, ao qual foi incluído um intervalo de predição de 95%.

REALIZAÇÃO



Associação Brasileira de Educação em Engenharia

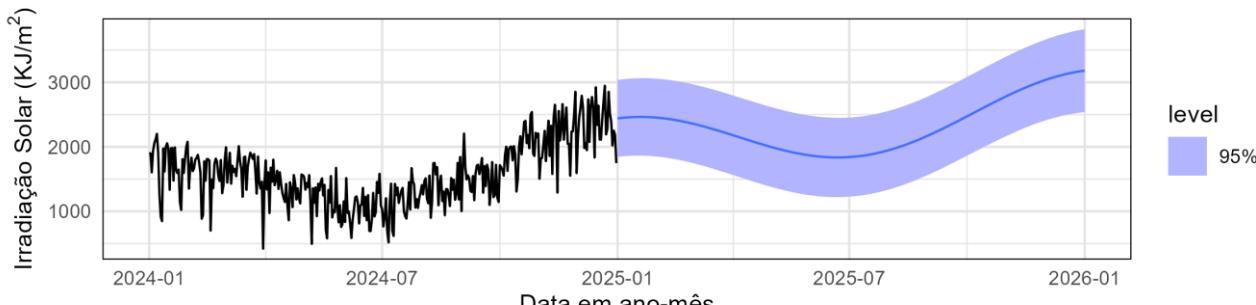
ORGANIZAÇÃO



PUC  
CAMPINAS

**15 a 18 DE SETEMBRO DE 2025**  
**CAMPINAS - SP**

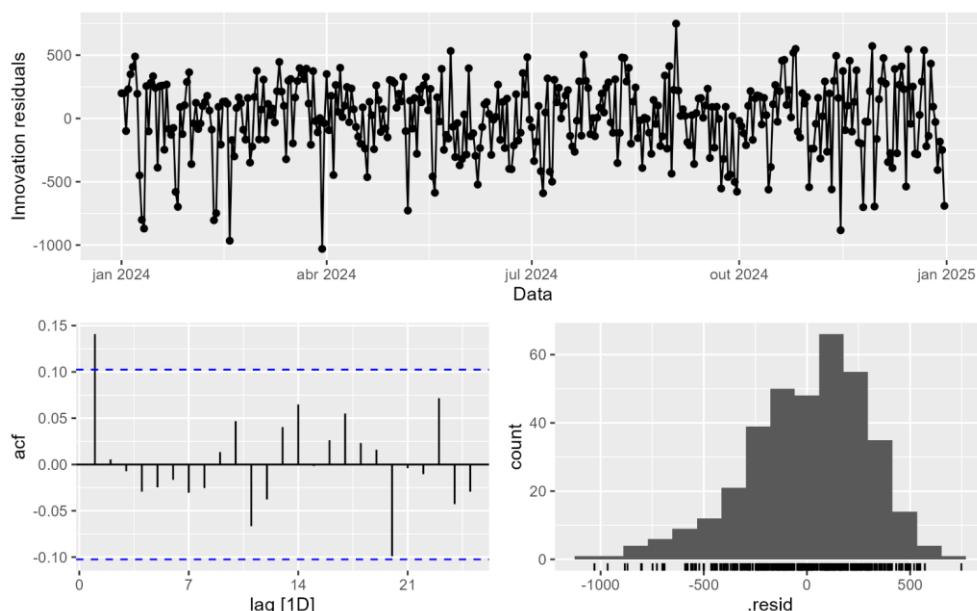
Figura 5 – Previsão para 2025 da Radiação Solar ao lado do gráfico da Irradiação Solar Diária Média.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Então, os resíduais da Equação (6) foram reproduzidos juntos da função de autocorrelação dos resíduos e um histograma do mesmo, como uma maneira simples de verificar a efetividade do modelo proposto em simplificar e representar os dados de Irradiação Diária Média.

Figura 6 – Resíduais (acima), função de autocorrelação dos resíduos (esquerda), histograma dos resíduos (direita).

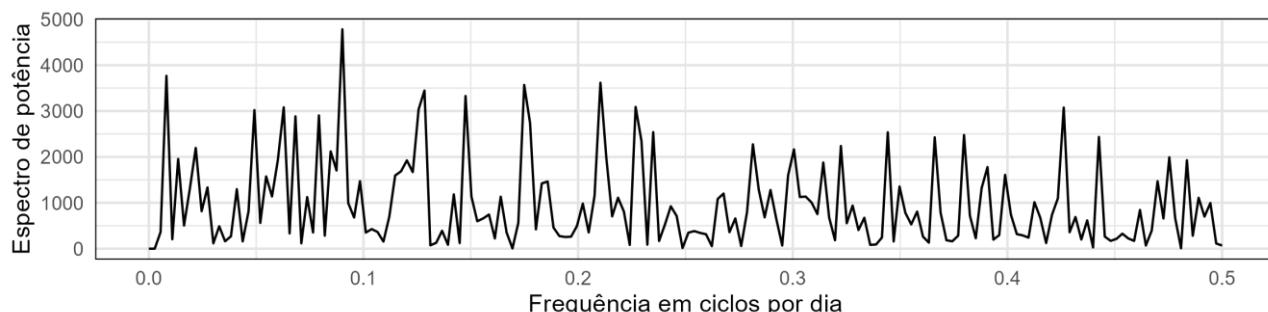


Fonte: Elaborado pelo autor.

A Transformada Rápida de Fourier mostra sua eficácia ao representar as frequências predominantes que compõem uma série de dados significativamente estacionários. Como a série da irradiação diária média possui uma frequência predominante muito menor que as possíveis demais frequências (um ciclo por ano), que é a frequência de um ano, esta opõe todas as demais do periodograma, impedindo a análise. Assim, foi escolhido aplicá-la no residual da Figura 6.

**15 a 18 DE SETEMBRO DE 2025**  
**CAMPINAS - SP**

Figura 7 – Periodograma dos resíduos do Modelo de Regressão Harmônica + Linear.



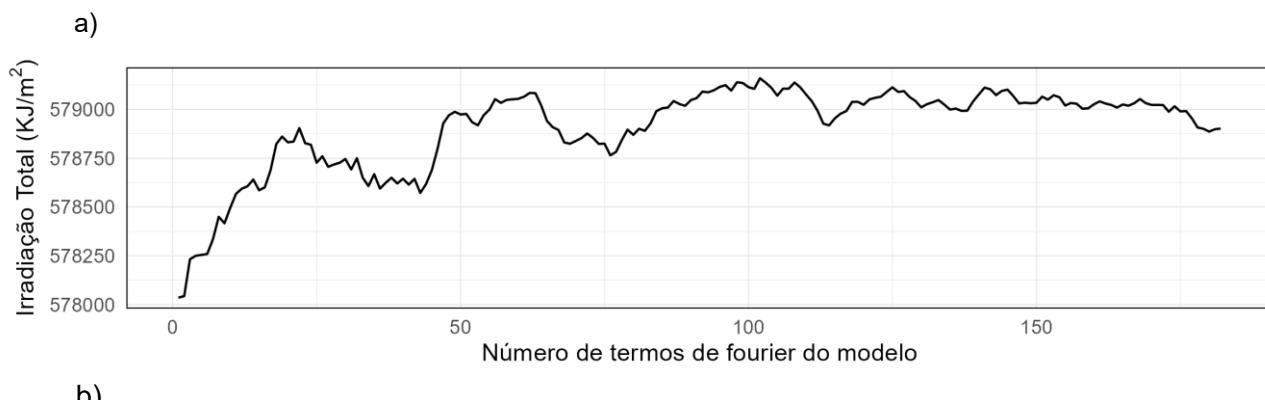
Fonte: Elaborado pelo autor.

Para evidenciar o efeito da implementação de novos termos da Série de Fourier em modelos de regressão harmônica com regressão linear, foi calculado as integrais definidas no intervalo de 2024 para algumas quantidades de termos, que nesse caso se trata de calcular a área sob a curva e que fisicamente representa uma estimativa para a Irradiação Solar Total sobre uma área para a totalidade de um ano. Essas integrais foram comparadas com as integrais das respectivas previsões para o ano de 2025. A utilização da Série de Fourier facilita esse cálculo, visto que o período fundamental para cada seno e cosseno dos modelos é um submúltiplo do comprimento do intervalo, portanto as integrais dos senos e cossenos são anuladas e os valores de Irradiação Total para 2024 e 2025 são determinadas simplesmente pela integral do termo linear. A Equação (7) e Equação (8) determinam o valor das integrais para os anos de 2024 e 2025, respectivamente.

$$\int_0^{365,25} \hat{x}(t) dt = (a_0 + \mu_0) \cdot 365,25 + \mu_1 \frac{365,25^2}{2} \quad (7)$$

$$\int_{365,25}^{730,5} \hat{x}(t) dt = (a_0 + \mu_0) \cdot 365,25 + \mu_1 \frac{730,5^2 - 365,25^2}{2} \quad (8)$$

Figura 8 – Irradiação Solar Total conforme aumento no número de termos de Fourier do modelo para a) 2024 e b) 2025.



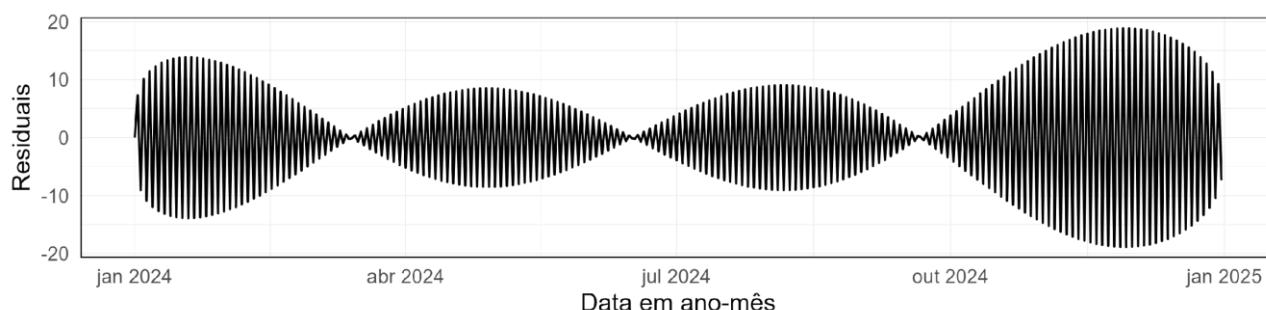
**15 a 18 DE SETEMBRO DE 2025**  
**CAMPINAS - SP**


Fonte: Elaborado pelo autor.

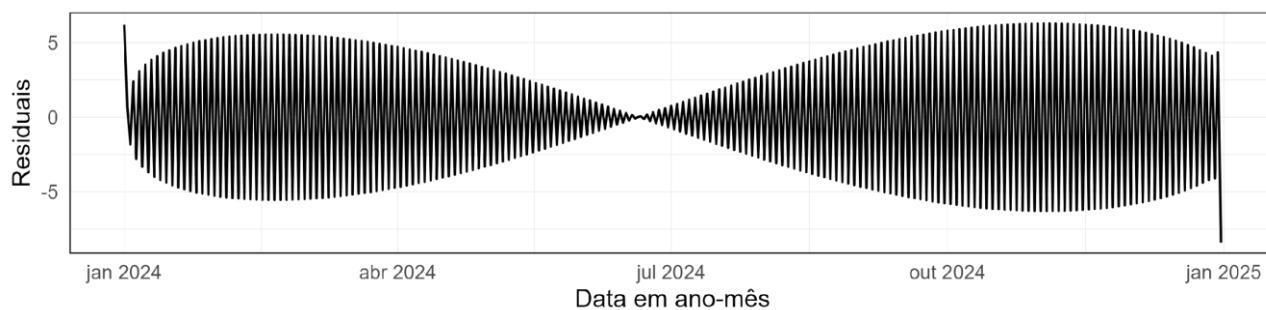
Para complementar o estudo da Série de Fourier, foi feito um sobreajuste pela implementação de uma quantidade de termos da Série próximos ao limite de termos possíveis. O limite se trata da parte inteira do quociente da divisão do período de 365,25 dias por 2, o que implica na quantidade máxima de 364 termos, entre senos e cossenos, equivalentes a 182 termos da Série de Fourier. Mais especificamente, foram criados modelos com 180, 181 e 182 termos de Fourier sem regressão linear, e um último com 182 termos mais regressão linear. Os resíduos dos modelos foram representados na Figura 8.

Figura 8 – Resíduos para Regressão harmônica de a)  
 180, b) 181, c) 182 Termos de Fourier e d) modelo com  
 182 Termos de Fourier + Regressão Linear.

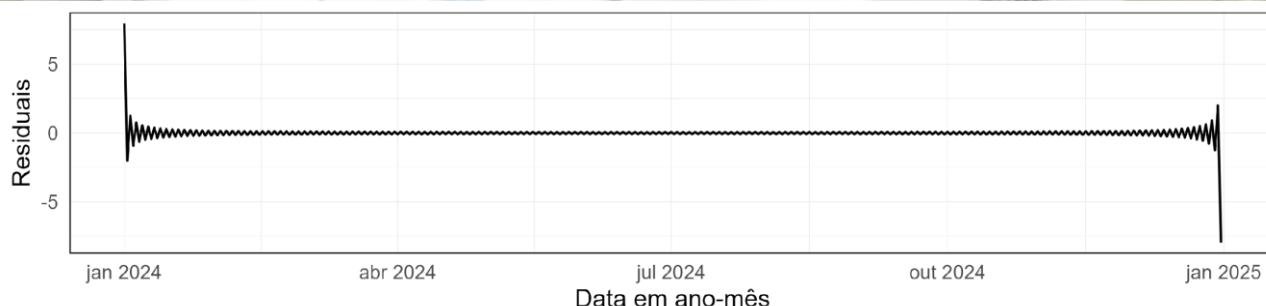
a)



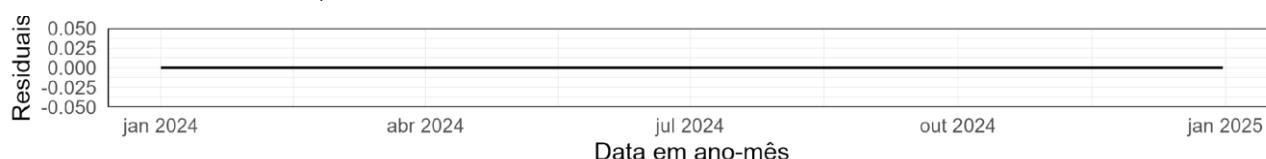
b)



c)

**15 a 18 DE SETEMBRO DE 2025**  
**CAMPINAS - SP**


d)



Fonte: Elaborado pelo autor.

## 4 DISCUSSÕES

A partir da Figura 3 foi possível deduzir que a Equação (4) não é uma estimativa adequada, visto que a estimativa difere consideravelmente dos dados para os valores no início e no fim do ano. A Equação (6) foi analisada pelos dados obtidos na Figura 6, pela qual é possível observar que os resíduos apresentam um comportamento similar a uma série de ruídos, sem comportamentos oscilatórios. O histograma mostra uma distribuição residual semelhante a uma distribuição normal. Além disso, a função de autocorrelação dos resíduos está quase por completo limitada pelas linhas tracejadas. Isso é um indicativo que tais resíduos não estão correlacionados diretamente, ou seja, possuem semelhanças a uma série de ruídos. Porém, a grande quantidade de variáveis que podem causar a variação nos dados obtidos serviu como justificativa para investigar os resíduos mais profundamente, como tentativa de evidenciar comportamentos oscilatórios que podem ser implementados no modelo. O periodograma produzido não apresentou nenhum pico significativamente maior que os outros, muito menos um padrão que pudesse indicar algum comportamento oscilatório relevante, o que serviu como mais uma evidência de que o modelo da equação (6) foi adequado para representar o comportamento da Irradiação Solar.

A implementação dos demais termos da Série de Fourier teve um efeito significativo nos valores da Irradiação Total para a previsão de Irradiação de 2025, como mostra a Figura 8 b), onde os valores de Radiação Total diferem em até 300000 Kj/m<sup>2</sup>. O mesmo não acontece para a estimativa de 2024, cujo valores variam por cerca de 1000 Kj/m<sup>2</sup>, o que gradualmente torna o modelo inadequado, conforme o aumento no número de termos.

Na Figura 8, o sobreajuste do modelo de Regressão Harmônica mostra resíduos mínimos, porém não nulos, que podem ser explicados como consequência direta da utilização da Série de Fourier pelo Fenômeno de Gibbs, de grande importância no estudo das Séries de Fourier. A utilização de um termo de Regressão Linear no modelo com 182 termos de Fourier da Figura 8 c) foi capaz de mitigar os efeitos desse fenômeno.

**15 a 18 DE SETEMBRO DE 2025**  
**CAMPINAS - SP**

## 5 Considerações FINAIS

Os métodos utilizados desde a coleta de dados à previsão da Irradiação Solar foram de grande praticidade, o que torna viável a utilização de tais métodos para análise em quaisquer cidades desde que dados numéricos a respeito da Irradiação Solar sejam acessíveis, proporcionando um método útil para uma estimativa simples da Irradiação Solar que pode ser praticada por estudantes de Engenharia Elétrica estudando sobre Séries de Fourier e conteúdos relacionados.

Também foi possível mostrar aplicações da Série de Fourier cujo emprego em dados de Irradiação proporcionou resultados visualmente interessantes para serem analisados pelos alunos, e a realização do método mostrou-se capaz de promover situações as quais foram resolvidas a partir de conhecimentos relacionados ao curso de Engenharia Elétrica, o que trouxe uma conexão entre diversas áreas do saber, aproximando o ensino de engenharia à sustentabilidade, que possui valor indispensável para a formação de um engenheiro.

Além disso, o modelo representado na Figura 4 conseguiu representar os dados de Irradiação Solar de maneira satisfatória o suficiente para que fosse justificado a utilização de um único termo da Série de Fourier como termos de uma regressão harmônica, tal como é evidenciado na Figura 6 pelos resíduais, onde os erros estão bem distribuídos ao longo do tempo, e também pelo histograma, que se assemelha a uma distribuição normal, e pela função de autocorrelação. Consequentemente, produziu uma previsão que se mostrou adequada com os dados coletados e levou a uma estimativa em concordância com o conjunto de dados original. Mais adiante, a inclusão da Transformada Rápida de Fourier no processo da modelagem e os resultados ligados ao sobreajuste proporcionou uma maior contextualização da Série de Fourier em situações além do estudo de sinais elétricos, o que corrobora para a utilização do método para o ensino a estudantes de Engenharia Elétrica. Sendo assim, a utilização da modelagem da radiação solar como ferramenta didática no ensino da Série de Fourier, a partir dos métodos e modelagem utilizados, se mostrou como uma utilização satisfatória em termos de interdisciplinaridade dos conceitos, característica de grande valor no aprendizado, o que proporcionou um método com potencial no aprimoramento do estudo da Irradiação Solar e da didática no ensino de Engenharia Elétrica.

## AGRADECIMENTOS

Sinceros agradecimentos vão aos professores Rodrigo Lustosa Peronico e Alberto Heleno Rocha da Silva, ao Instituto Federal de Alagoas Campus Palmeira dos Índios e ao Instituto Nacional de Meteorologia.

## REFERÊNCIAS

- ARVIZU, D. et al. **IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation (SRREN)**. p. 333-354, 2011.
- BALADRÓN, C. et al. **Improving teaching in engineering education: adjunct enterprise professors programme**. Journal of Intelligent Manufacturing. n. 24, p. 495-499, 2013.
- BERTONE, A. M. A.; BASSANEZI, R. C.; JAFELICE, R. S. da M. **Modelagem Matemática**. Uberlândia, MG: UFU, 2014.
- BLOOMFIELD, P. **Fourier Analysis of Time Series**. New York: John Wiley & Sons, Inc. 2000.
- BURATTINI, M. P. T de C. **Energia: Uma Abordagem Multidisciplinar**. São Paulo: Foco. 2008.

COOLEY, J. W.; TUKEY, J. W. **An algorithm for the machine computation of complex Fourier series.** 1965. p. 297-301.

INMET. **Dados Históricos Anuais.** Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>> Acesso em: 16 Abril. 2025.

DOMINGOS, S. F.; MONTEIRO, L. G.; BOAVENTURA, W. C. **Estado da arte para previsão da radiação solar.** *Anais Congresso Brasileiro De Energia Solar - CBENS*, 2020.

HELM. **Fourier Series.** Helping Engineers Learn Mathematics Workbooks. 2008. Disponível em: <<https://www.lboro.ac.uk/departments/mlsc/student-resources/helm-workbooks/>> Acesso em: 16 Abril. 2025.

HONSBERG, C. B.; BOWDEN S. G., 2019. **Photovoltaics Education Website.** Disponível em: <[www.pveducation.org](http://www.pveducation.org)> Acesso em: 16 Abril. 2025.

HYNDMAN, R.J.; ATHANASOPOULOS, G. **Forecasting: principles and practice.** 3rd edition. Disponível em: <[OTexts.com/fpp3](http://OTexts.com/fpp3)> Acesso em: 16 Abril. 2025.

MEC. Conselho Nacional de Educação/Câmara de Educação Superior. **Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia.** Publicado no D.O.U. de 23/4/2019, Seção 1, Pág. 109.

MOREIRA, E. A. **Análise dos impactos de diferentes modelagens da microgeração fotovoltaica nos estudos de planejamento de sistemas de energia elétrica de baixa tensão. 2018.** Dissertação de Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2018.

PAVANELO, E.; GERMANO, S. E.; FREITAS-LEMES, P. L. **A interdisciplinaridade em cursos de engenharia.** Rev. Docência Ens. Sup., Belo Horizonte, v. 7, n. 2, p. 130-148, jul./dez. 2017.

PIGNATON, E. G. **Avaliação de desempenho de usina de minigeração distribuída da UFES a partir de modelo matemático.** 2022. Tese (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2022.

PORTO, E. do P. **Estudo do efeito dos elementos meteorológicos na eficiência da geração de energia elétrica em células fotovoltaicas.** Dissertação de Mestrado. Santa Catarina: IFSC. 2024.

SCHUSTER, A. 1906. **On the periodicities of sunspots.** 1906. p. 69-100.

SOARES, R. A. **Estimação de geração de energia para sistemas fotovoltaicos conectados à rede: aprimoramentos e análises.** Dissertação de Mestrado. Paraíba: UFCG. 2024.

REALIZAÇÃO



Associação Brasileira de Educação em Engenharia



2025

15 a 18 DE SETEMBRO DE 2025  
CAMPINAS - SP

SOUZA, P. C. Educação científica nos cursos profissionais: um estudo no IFBA – Campus de Brumado. Trabalho de Conclusão de Curso. Salvador: UNEB. 2024.

TOLSTOV, G. P. **Fourier Series**. 1976.

VIAN, A.; TAHAN, C. M. V.; AGUILAR, G. J. R.; GOUVEA, M. R.; GEMIGNANI, M. M. F. **Energia Solar: Fundamentos Tecnologia e Aplicações**. São Paulo: Blucher. 2021.

## UTILIZATION OF SOLAR IRRADIATION MODELING AS A DIDATIC TOOL FOR FOURIER SERIES TEACHING IN THE ELECTRICAL ENGINEERING COURSE

**Abstract:** This paper presents the development of a mathematical model to predict Solar Irradiation as an application of the Fourier Series. This prediction is an important tool to analyze the feasibility and estimate the energy production by Photovoltaic Systems. In this context, the mathematical model was developed to be easy to apply as an introductory tool in the study of Solar Energy for Electrical Engineering students. The modeled data come from INMET and were developed in R language, where the Series was used as a basis to perform the Harmonic Regression of a set of Irradiation data analyzed by the daily average of the samples. The modeling for 2024 and the forecast for 2025 were analyzed by comparing them to models with more Fourier terms by calculating the integrals in their respective intervals. Finally, the behavior of the model without Linear Regression was also analyzed when overfitting its Fourier terms..

**Keywords:** Mathematical Modeling, Solar Irradiation, Fourier series.

ORGANIZAÇÃO



PUC  
CAMPINAS

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA

REALIZAÇÃO



Associação Brasileira de Educação em Engenharia

ORGANIZAÇÃO



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA

