

MODELAGEM DO SISTEMA FOTOVOLTAICO DE ENERGIA

Eixo temático: Sustentabilidade

Fernando Jose Aguirre Ramos da Silva – Bacharelado em Ciência e Tecnologia do IFPA
Campus Ananindeua – aguirreferando.ifpa@gmail.com

Manoel Matheus Costa Santa Brígida – Bacharelado em Ciência e Tecnologia do IFPA
Campus Ananindeua – manoelbrigida.ifpa@gmail.com

Denis Carlos Lima Costa – Professor no Bacharelado em Ciência e Tecnologia do IFPA Campus
Ananindeua – denis.costa@ifpa.edu.br

Rodrigo Antônio Pereira Junior – Professor no Bacharelado em Ciência e Tecnologia do IFPA
Campus Ananindeua – rpereira.junior@ifpa.edu.br

Palavras-chave: Energia renovável, Regressão Múltipla, Sistema elétrico.

INTRODUÇÃO

A energia solar fotovoltaica se destaca no cenário mundial como uma fonte renovável essencial para a transição energética, sendo valorizada tanto por seu baixo impacto ambiental quanto pela capacidade de reduzir emissões de gases de efeito estufa (GEE) (IRENA, 2024; Lopes, 2023). O Brasil, com condições geográficas altamente favoráveis, beneficia-se de uma geração de eletricidade solar consistente e homogênea em diversas regiões, o que permite o desenvolvimento econômico, especialmente em áreas remotas. A tecnologia fotovoltaica funciona convertendo a luz solar diretamente em eletricidade por meio do efeito fotovoltaico, onde materiais semicondutores como o silício geram corrente elétrica ao serem expostos à luz.

Os sistemas fotovoltaicos no Brasil são divididos em três categorias principais: sistemas conectados à rede (on-grid), sistemas isolados (off-grid) e sistemas híbridos (Lopes, 2023). Cada tipo de sistema possui características e utilizações específicas que vão desde a dependência da rede elétrica ou o uso de baterias para armazenamento, atendendo a diferentes necessidades de geração e consumo de energia. Tal crescimento tem sido impulsionado também pelo apoio de regulamentações, decretos, portarias, resoluções e incentivos que promovem a geração distribuída e fortalecem o setor de energia renovável no país.

O propósito desse trabalho é mostrar as análises do consumo energético e a eficiência de sistemas solares em instituições de ensino, focando-se na utilização do Portal de Gerenciamento de Energia (PGEN) como ferramenta de monitoramento em

tempo real das redes elétricas dos Institutos Federais. Neste estudo, foram utilizados dados do sistema elétrico do campus Distrito Industrial do IFAM, abrangendo observações de consumo de energia de julho a outubro de 2024. A partir desses dados, modelos preditivos foram desenvolvidos usando a linguagem MATLAB de computação, aplicando técnicas de Regressão Linear e Não-Linear, para analisar o desempenho e a eficiência energética dos sistemas, conforme sugerem Costa et al (2021).

A análise demonstra que a geração de energia solar é altamente dependente de fatores ambientais, com a irradiação solar sendo o principal. Esta irradiação — a quantidade de energia solar que atinge uma área específica em determinado período — é influenciada pela localização geográfica, pelo clima e pela estação do ano. Regiões próximas ao Equador, como boa parte do território brasileiro, têm níveis elevados e estáveis de radiação solar, o que contribui para a maior eficiência dos sistemas fotovoltaicos, como discutido por Lopes (2023). A pesquisa evidencia a importância da energia solar como uma ferramenta para democratizar o acesso à eletricidade e promover uma matriz energética diversificada e sustentável no Brasil, alinhando-se às metas globais de redução de carbono e sustentabilidade, conforme IRENA (2024).

MATERIAIS E MÉTODOS

Portal de Gerenciamento de Energia

O PGEN é parte do projeto EnergIF, promovido pelo Procel (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) em parceria com o IFSC para a efficientização energética dos Institutos Federais, que inclui a instalação de placas fotovoltaicas para a geração de energia e a injeção de eventual excedente na rede das distribuidoras (Lopes, 2023).

Energia Fotovoltaica

O desempenho de sistemas fotovoltaicos é influenciado por diversos fatores, como irradiação solar, temperatura, orientação e inclinação dos módulos, além da qualidade dos componentes. A irradiação solar é o principal fator determinante da geração de energia, enquanto a temperatura afeta negativamente a eficiência das células. A orientação e a inclinação dos módulos devem ser otimizadas para maximizar a captação da radiação solar. Componentes de qualidade, como inversores, baterias e cabos, garantem a eficiência e a durabilidade do sistema.

Medidas como limpeza regular e sistemas de refrigeração podem mitigar os efeitos de alta temperatura e do sombreamento, otimizando o desempenho do sistema e geração de energia, consequentemente (Lopes, 2023).

Modelagem Matemática

Para avaliar o desempenho do sistema, dados foram coletados no Campus Distrito Industrial do IFAM. Observações diárias de consumo e geração de energia foram registradas de julho a outubro de 2024. A planilha foi ordenada com as colunas A, B e C e D, seguindo a ordem de julho a outubro, respectivamente. A análise dos dados foi realizada no software MATLAB, utilizando o Método de Regressão Múltipla Não-Linear. Foram geradas três modelos:

$$z = p_1x^2 + p_2x + p_3 \quad (1)$$

Sendo: $p_1 = 0.0005$; $p_2 = 0.9330$ e $p_3 = 12.7167$.

$$y = p_1x^3 + p_2x^2 + p_3x + p_4 \quad (2)$$

Sendo: $p_1 = 0.00001$; $p_2 = 0.00220$; $p_3 = -0.10000$ e $p_4 = 36.8704$.

$$z = p_{00} + p_{10}x + p_{01}y + p_{20}x^2 + p_{11}xy + p_{02}y^2 + p_{30}x^3 + p_{21}x^2y + p_{12}xy^2 \quad (3)$$

Sendo: $p_{00} = 18.4972$; $p_{10} = 0.9190$; $p_{01} = -0.2642$; $p_{20} = 0.0006$; $p_{11} = 0.0027$; $p_{02} = 0.0009$; $p_{30} = -0.00001$; $p_{21} = 0.00001$ e $p_{12} = -0.00001$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As representações gráficas das Equações (1), (2) e (3) estão disponibilizadas nas Figuras 1, 2 e 3, respectivamente. Os resultados se baseiam a partir do resultado de R^2 , um coeficiente de determinação que indica a proporção da variância dos dados considerando a capacidade de responder aos dados em um intervalo entre 0 e 1, sendo 1 que o modelo explica 100% da variância dos dados (ajuste perfeito) e 0 que o modelo não explica nenhuma variância dos dados (nenhum ajuste). Os modelos obtidos apresentaram excelentes valores de R^2 , refletindo uma alta precisão e acurácia na descrição dos dados:

Equação (1): No modelo Polinomial de 2ª ordem, a geração de energia z em função de x , o valor de R^2 foi de 0,9904, sugerindo uma acurácia de 99,04%. Esse resultado confirma que o modelo é altamente preciso e capaz de explicar quase toda a variação nos dados de geração de energia. O vetor x representa a energia gerada no mês de julho/2024, enquanto que o vetor y é a energia gerada no mês de agosto/2024.

Figura 1: Modelo Polinomial de 2º ordem.

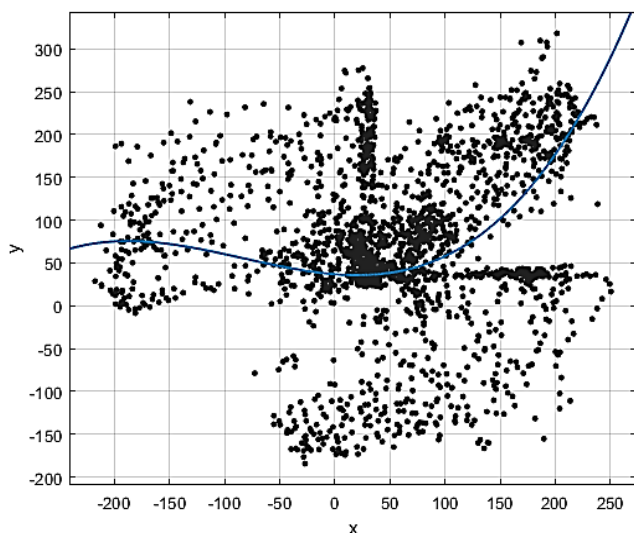
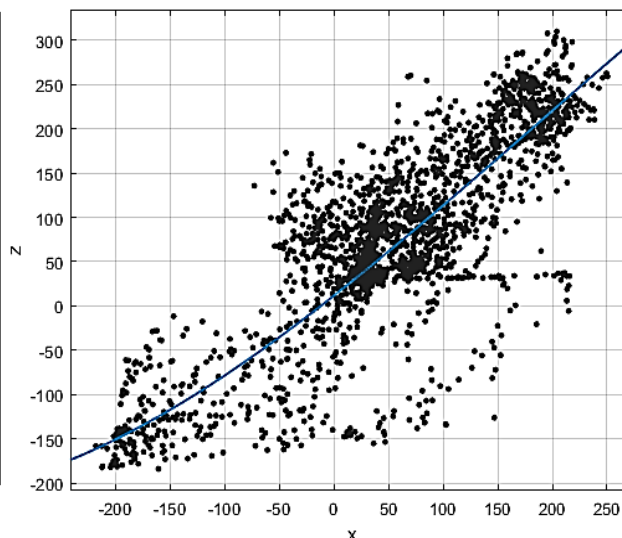


Figura 2: Modelo Polinomial de 3º ordem.

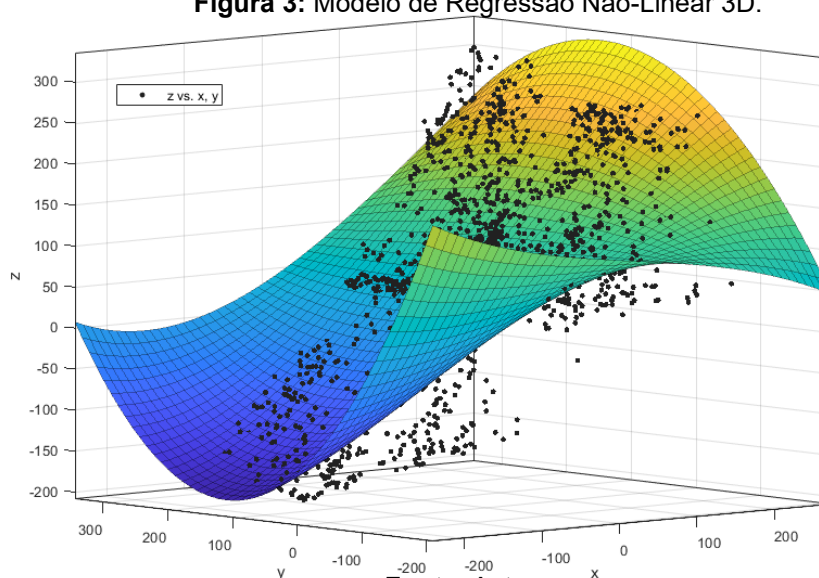


Fonte: Autores.

Equação (2): Para o modelo polinomial de 3ª ordem que descreve a variável de consumo y em função de x , obteve-se um valor de 0,9833. Valor que evidencia uma acurácia de 98,33%, indicando que o modelo é confiável para representar o comportamento do consumo ao longo do tempo. O vetor x representa a energia gerada no mês de julho/2024, enquanto que o vetor z é a energia gerada no mês de setembro/2024.

Equação (3): O modelo 3D de regressão não-linear alcançou 98,92% de representatividade. Esse alto coeficiente indica tanto uma acurácia quanto uma precisão elevada, confirmando que o modelo representa bem a relação entre as variáveis de consumo e geração de energia.

Figura 3: Modelo de Regressão Não-Linear 3D.



Fonte: Autores.

CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou estruturas matemática capazes de explicar o comportamento da energia fotovoltaica. Para isso foi utilizado a plataforma PGEN referente aos dados do IFAM Campus Industrial.

As potências elétricas, geradas a partir das células fotovoltaicas, foram comparadas, tendo como base o *dataset* do mês de julho. Para isso, foi aplicado o Método de Regressão Múltipla Não-Linear, determinando o melhor ajuste de curvas, para os meses de agosto e setembro. As simulações computacionais foram realizadas em MATLAB. Os resultados obtidos garantem uma precisão e acurácia acima de 98%.

AGRADECIMENTOS

Aos Docentes do Bacharelado em Ciência e Tecnologia do IFPA Campus Ananindeua pelas orientações. Aos membros do grupo de pesquisa Gradiente de Modelagem Matemática e Simulação Computacional – GM²SC, pelo apoio científico.

REFERÊNCIAS

COSTA, Denis C. L., COSTA, Heictor A. de O., Silva, Hugo C. M. da, & Silva, Silvio T. T. da. Matemática Computacional Aplicada à Ciência e Tecnologia. Belém, PA, SINEPEM-IFPA. 2021.

LOPES, José S. B. Energia Fotovoltaica: volume 3 [recurso eletrônico]. Florianópolis: ENBPar/IFSC. Projeto EnergIF, vol. 3. ISBN 978-65-981191-3-3. 2023.

MATHWORKS. Curve Fitting Toolbox. Disponível em: <https://www.mathworks.com/help/curvefit/>. 2024.

IRENA. Energy Profile Brazil: South America Renewable Energy Statistical Profile. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/South%20America/Brazil_South%20America_RE_SP.pdf. 2024.

IRENA. Development banks and energy planning: Attracting private investment for the energy transition; the Brazilian case, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. ISBN 978-92-9260-622-0. 2024.