

## ANÁLISE DE MODELOS PARA REPRESENTAÇÃO DAS VARIAÇÕES DE TEMPERATURA DIÁRIAS DO AR NA SUPERFÍCIE EM RIVERA, URUGUAI

GEILSON DE A. SOARES<sup>1</sup>; LETICIA B. D. SOARES<sup>1</sup>; PAMELA G. B. PEREIRA<sup>3</sup>;  
JAIRO V. DE A. RAMALHO<sup>1</sup>; HONÓRIO J. FERNANDO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – [geilson.soares@ufpel.edu.br](mailto:geilson.soares@ufpel.edu.br), [jairo.ramalho@ufpel.edu.br](mailto:jairo.ramalho@ufpel.edu.br), [leticiaabarro1996@yahoo.com.br](mailto:leticiaabarro1996@yahoo.com.br)

<sup>2</sup>Universidade Federal Fluminense – [honoriofernando@id.uff.br](mailto:honoriofernando@id.uff.br)

<sup>3</sup>Universidad Tecnológica del Uruguay – [pamela.barboza@utec.edu.uy](mailto:pamela.barboza@utec.edu.uy)

### 1. INTRODUÇÃO

A utilização de Trocadores de Calor Solo-Ar (TCSA) tem se destacado como uma estratégia eficiente para reduzir o consumo energético em sistemas de ar-condicionado. Esses sistemas são compostos por ventiladores de baixa potência e dutos subterrâneos, permitindo a troca de calor entre o ar ambiente e o solo circundante. Isso faz com que o ar seja resfriado ou aquecido, resultando em uma temperatura mais equilibrada e promovendo conforto térmico, conforme discutido em (RAMALHO et al. 2022).

O princípio de funcionamento dos TCSA está na capacidade do solo de atuar como um reservatório térmico natural. Durante o verão, quando as temperaturas externas são elevadas, o solo absorve o excesso de calor do ar que circula pelos dutos subterrâneos, resfriando-o antes de ser liberado no ambiente interno. No inverno, ocorre o processo inverso: o solo, geralmente com uma temperatura superior à do ar externo, aquece o ar que passa pelos dutos.

Para avaliar o desempenho dos TCSA em uma determinada região, é comum realizar a análise de dados meteorológicos locais e aplicar modelos matemáticos que representem as variações de temperatura do ar e do solo ao longo do ano. O presente estudo analisa os ajustes desses dados utilizando funções polinomiais e trigonométricas na cidade de Rivera, Uruguai. Essa região, com um clima temperado e estações bem definidas, apresenta variações anuais de temperatura que seguem um padrão periódico.

Os algoritmos empregados para realizar esses ajustes trigonométricos baseiam-se nos estudos de (SOARES et al. 2023) e (BRUM et al. 2015). Nessas pesquisas, os autores aplicaram uma função contínua da forma  $f(t) = A \sin(2\pi t/T + B) + C$ , onde  $t$  representa o tempo em horas, e  $A$ ,  $B$  e  $C$  são constantes reais, com  $T$  correspondendo a um período de 24 horas.

O objetivo principal deste estudo é apresentar os resultados das análises obtidas a partir dos ajustes polinomiais de grau 3 e 4, e ajustes trigonométricos da temperatura do ar e da superfície do solo. Com isso, busca-se avaliar qual modelo apresenta melhor desempenho no ajuste dos dados, além de estimar o potencial térmico da região. Esses resultados auxiliarão na avaliação do dimensionamento e na possível instalação de TCSA no local, contribuindo para a popularização dessa tecnologia, que ainda é pouco utilizada na região.

### 2. METODOLOGIA

O ajuste de curva é uma área da Teoria da Aproximação que investiga como funções ou dados discretos podem ser representados por funções mais simples,

como polinômios, funções trigonométricas ou racionais. Conforme descrito por (POWELL, 1981), o objetivo desse campo é desenvolver métodos eficientes para aproximar funções complexas ou conjuntos de dados discretos por funções mais simples, facilitando sua manipulação, ao mesmo tempo que se preservam as características essenciais da função original, dentro de um limite de erro aceitável.

Os dados de temperatura diária analisados neste trabalho foram coletados na área da Universidad Tecnológica em Rivera, Uruguai, localizada em -30,9329 de latitude e -55,5483 de longitude, como pode-se verificar na Figura 1.



Figura 1: Local da medição.

Fonte: (BARBOZA, 2024).

Por meio da instalação de um sensor no local, as temperaturas do ar na superfície foram registradas, analisadas e ajustadas desde julho de 2023 até o presente momento. Constatou-se que a temperatura diminui ao longo da madrugada, aumenta até um ponto específico durante o dia e, em seguida, volta a cair nas horas posteriores. Esse padrão cíclico indica que a variação diária da temperatura segue um comportamento periódico, como pode ser observado na Figura 2.

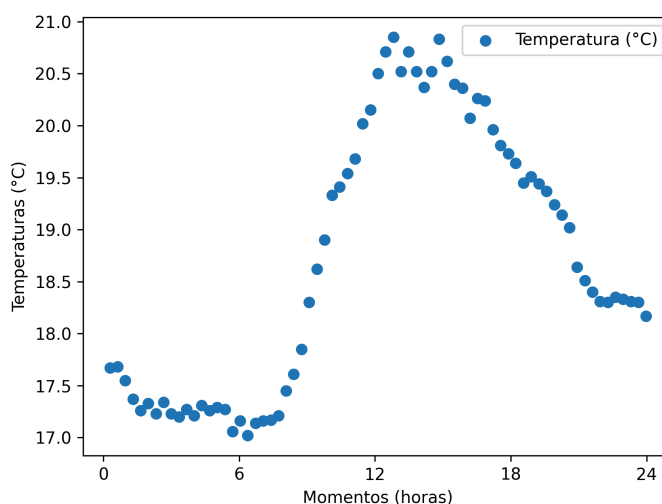


Figura 2: Temperaturas do ar na superfície (04/12/2023).

Fonte: O próprio autor.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas análises realizadas, buscou-se determinar a melhor função de aproximação por mínimos quadrados que descrevesse os dados das temperaturas diárias. Com base nas temperaturas registradas em um dia escolhido aleatoriamente dentro do período analisado nesse estudo (04/12/2024), apresentadas na Figura 2, foram aplicados ajustes polinomiais de grau 3 e 4, bem como um ajuste trigonométrico, representados respectivamente pelas notações  $p_3$ ,  $p_4$  e  $p_t$ .

Para o dia 04 de dezembro de 2023, obtiveram-se as seguintes funções de ajuste:

$$p_t(t) = 19,2062 + 3,3061 \operatorname{sen}\left(\frac{\pi}{12}t - 2,1481\right);$$

$$p_3(t) = 15,4385 + 0,1328t + 0,0659t^2 - 0,0030t^3;$$

$$p_4(t) = 17,1699 - 1,3374t + 0,3435t^2 - 0,0211t^3 + 0,0004t^4.$$

A Figura 3, ilustra os comportamentos das funções de ajustes.

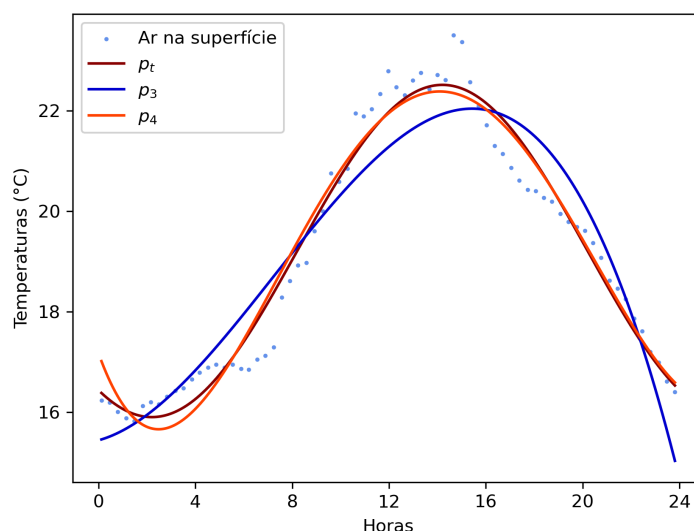


Figura 3: Comparativo das funções de ajustes (04/12/2023).

Fonte: O próprio autor.

As análises das performances das funções, se dá através dos cálculos dos coeficientes de correlação de Pearson e o erro quadrático. No qual, para o dia 4 de dezembro de 2023, foram obtidos os seguintes resultados:

TABELA 1: ANÁLISE DAS FUNÇÕES DE AJUSTES.

-	$p_t$	$p_3$	$p_4$
Correlação de Pearson	0,9818	0,9438	0,9765

Erro Quadrático	14,53	43,99	18,67
-----------------	-------	-------	-------

#### 4. CONCLUSÕES

A análise das temperaturas do ar na superfície do solo em Rivera, Uruguai, utilizando diferentes modelos matemáticos, demonstrou a superioridade das funções trigonométricas na representação das variações diárias de temperatura. Essas funções apresentaram coeficientes de correlação de Pearson mais elevados e menores erros quadráticos em comparação com os modelos polinomiais de grau 3 e 4. Tal resultado reforça a adequação das funções trigonométricas para descrever fenômenos periódicos, como as oscilações diárias e sazonais de temperatura.

No entanto, foi constatado que, em dias atípicos, os modelos polinomiais de grau 3 e 4 mostraram maior precisão em determinados contextos, indicando que a escolha do modelo deve ser feita de maneira criteriosa, considerando as características específicas dos dados analisados.

Adicionalmente, é importante destacar a necessidade de continuar explorando e aprimorando essas técnicas, uma vez que a pesquisa em energias renováveis e a busca por soluções sustentáveis são essenciais para enfrentar os desafios ambientais atuais. Dessa forma, este estudo não só contribui para o avanço do conhecimento acadêmico, mas também fornece contribuições práticas com potencial para aplicação em projetos futuros voltados à energia geotérmica e ao aumento da eficiência energética.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOZA, P. G. **Implementación de un Sistema de Monitoreo IoT para Caracterizar el Perfil Térmico del Suelo**. 2024. Monografia de Grado, Universidad Tecnológica del Uruguay (UTEC), Rivera, Uruguay.

BRUM, R. S., Ramalho, J. V. A., Rocha, L. A. O., Isoldi, L. A., Santos, E. D., A Matlab code to fit periodic data. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**, v.7, p. 16–25, 2015.

POWELL, M. J. D. **Approximation theory and methods**. New York: Cambridge, 1981.

RAMALHO, J. V. A., Fernando, H. J., Brum, R. S., Domingues, A. M. B., Pastor, N. R. N., Olivera, M. R. B. Accessing the thermal performance of Earth-air heat exchangers surrounded by galvanized structures. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v.54, p. 1–11, 2022.

SOARES, G. A., DOMINGUES, A. M. B., RAMALHO, J. V. A., FERNANDO, H. J., Um código em Python para ajuste de dados periódicos de temperatura do solo. In: **ENCONTRO REGIONAL DE MATEMÁTICA APLICADA E COMPUTACIONAL DO RIO GRANDE DO SUL**, Pelotas, 2023.