

LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE PARÂMETROS DO SOLO EM PELOTAS, RS, PARA EFICIÊNCIA DE TROCADORES DE CALOR GEOTÉRMICOS

**JEFFERSON MEIRA¹; WAGNER DE ALMEIDA LUCAS²; MANOEL JORDAN
CAMPOS SANTOS³; CAIO PEREIRA FERNANDES⁴; RUTH DA SILVA BRUM⁵
CLAUDIA FERNANDA ALMEIDA TEIXEIRA GANDRA⁶**

¹*Universidade Federal de Pelotas – meiraengagricola@gmail.com*

²*Universidade Federal de Pelotas – wagneralmeidalucas94@hotmail.com*

³*Universidade Federal de Pelotas – manoeljordan107@gmail.com*

⁴*Universidade Federal de Pelotas – caiofernandes5086@gmail.com*

⁵*Universidade Federal de Pelotas – ruth.silva.brum@ufpel.edu.br*

⁶*Universidade Federal de Pelotas – cftexei@gmail.com*

1. INTRODUÇÃO

Grande parte da energia consumida mundialmente ainda é proveniente de combustíveis fósseis, como carvão, petróleo e gás natural (AGRAWAL et al., 2019a). Esses recursos, além de não renováveis, liberam elevados volumes de gases de efeito estufa durante a queima, intensificando o aquecimento global (MIHALAKAKOU et al., 2022).

O setor da construção civil é responsável por cerca de 40% do consumo global de energia e aproximadamente um terço das emissões totais de gases de efeito estufa (URGE-VORSATZ et al., 2017). A maior parte desse consumo está associada ao aquecimento e resfriamento de ambientes, o que torna os sistemas convencionais de climatização grandes contribuintes para impactos energéticos e ambientais negativos (Mihalakakou et al., 2022).

Nesse contexto, os trocadores de calor solo-ar (TCSAs) surgem como alternativa promissora. Esses sistemas aproveitam a energia térmica armazenada no solo, predominantemente proveniente da radiação solar (BRUM, 2019), para climatização passiva. Compostos por dutos enterrados que conectam o ambiente externo ao interno das edificações, os TCSAs utilizam a inércia térmica do solo para resfriar ou aquecer o ar, conforme a estação do ano (BRUM, 2013; ESTRADA, 2018).

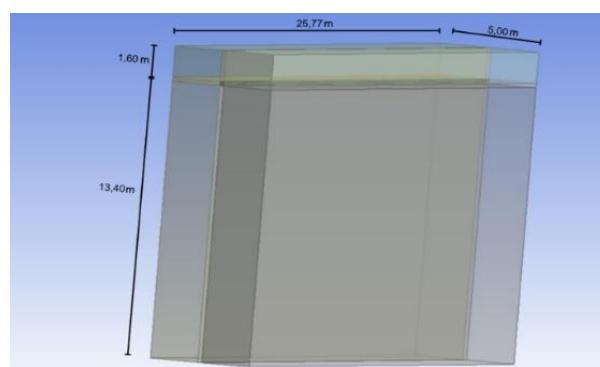
Pesquisas indicam que a profundidade de instalação influencia o desempenho térmico até aproximadamente três metros (BRUM, 2013) e que dutos mais longos, de menor diâmetro, instalados em maiores profundidades e operando com maior velocidade de fluxo de ar tendem a apresentar melhor eficiência (BISONIYA, 2015). O solo atua como fonte ou sumidouro de calor, apresentando ciclos diários e sazonais de armazenamento e liberação térmica (VAZ, 2011; BRUM, 2016; HERMES et al., 2020).

Considerando o elevado consumo energético e os impactos ambientais associados aos sistemas convencionais de climatização, este estudo tem como objetivo avaliar o desempenho de trocadores de calor solo-ar (TCSAs) na cidade de Pelotas (RS), por meio de simulações numéricas que consideram as condições climáticas e as propriedades térmicas do solo local. A análise busca verificar a viabilidade e o potencial dos TCSAs como uma solução sustentável para o resfriamento e aquecimento passivo de ambientes.

2. METODOLOGIA

O desempenho térmico dos trocadores de calor solo-ar (TCSAs) foi avaliado por simulações numéricas no software Ansys Fluent, com base em dados climatológicos do INMET para Pelotas, RS, e parâmetros de solo definidos por Nóbrega (2019) para a região central da cidade. O modelo considerou um duto de 25,77 m de comprimento, 0,110 m de diâmetro, instalado a 1,6 m de profundidade, em um domínio de 5 m de largura e 15 m de profundidade total. As simulações, realizadas pelo Método de Volume Finito (FVM), analisaram a troca de calor entre o ar e o solo, comparando a temperatura de saída do duto com a temperatura externa. A geometria do modelo utilizado é ilustrada na figura 1.

Figura 1: Modelo 3D do domínio de simulação para a análise de transferência de calor no solo.



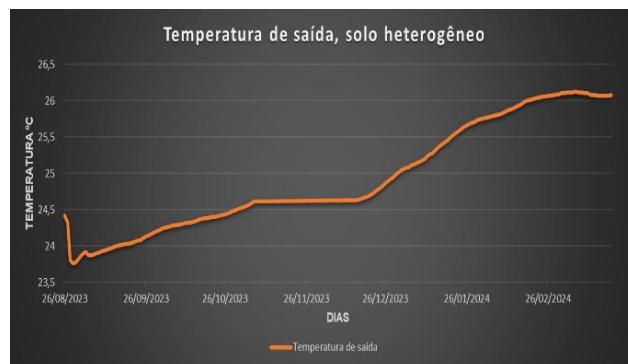
Fonte: Autores, 2025.

O solo simulado foi composto por 4,5 m de argila sobre 10,5 m de areia, conforme Nóbrega (2019) para o bairro Centro de Pelotas, integrando variáveis climáticas locais. Os parâmetros do ar adotados foram: densidade de $1,16 \text{ kg/m}^3$, calor específico de $1010 \text{ J/(kg}\cdot\text{°C)}$, condutividade térmica de $0,0242 \text{ W/(m}\cdot\text{°C)}$ e viscosidade de $1,7894 \times 10^{-5} \text{ kg/(m}\cdot\text{s)}$. Para o solo, consideraram-se: argila com densidade de 1600 kg/m^3 , condutividade térmica de $0,25 \text{ W/(m}\cdot\text{°C)}$ e calor específico de $890 \text{ J/(kg}\cdot\text{°C)}$; e areia com densidade de 1600 kg/m^3 , condutividade térmica de $0,30 \text{ W/(m}\cdot\text{°C)}$ e calor específico de $800 \text{ J/(kg}\cdot\text{°C)}$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da variação da temperatura na saída do TCSA para o solo heterogêneo são apresentados na Figura 2, demonstrando a resposta térmica do solo analisado.

Figura 2: Temperaturas de saída, solo heterogêneo.



Fonte: Autores, 2025.

Na Figura 3, são apresentados os dados das temperaturas diárias do ar, obtidos a partir das medições fornecidas pelo INMET para a cidade de Pelotas.

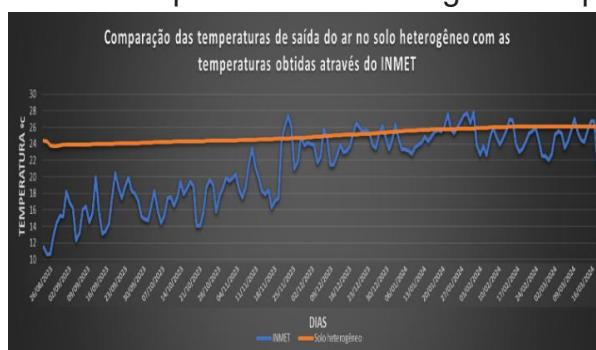
Figura 3. Variação Diária das Temperaturas do Ar em Pelotas, RS.



Fonte: Autores, 2025.

Na Figura 4, é apresentada uma comparação entre as temperaturas diárias de saída do ar, obtidas a partir das simulações realizadas no Ansys Fluent, e as temperaturas do ar registradas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), no período de 26/08/2023 a 21/03/2024. Esta comparação tem como objetivo avaliar a eficiência dos trocadores de calor solo-ar (TCSAs) ao longo do período estudado.

Figura 4. Comparação das Temperaturas de Saída das Simulações no Ansys Fluent com as Temperaturas do Ar Registradas pelo INMET.



Fonte: Autores, 2025.

As simulações numéricas realizadas no Ansys Fluent revelaram que os trocadores de calor solo-ar (TCSAs) promovem variações significativas entre a temperatura de saída do ar e a temperatura ambiente externa em Pelotas, conforme dados do INMET.

Os TCSAs mostraram-se eficazes na estabilização da temperatura do ar, efeito atribuído à inércia térmica do solo. Fatores como profundidade de instalação e propriedades térmicas do solo influenciaram diretamente o desempenho do sistema, indicando seu potencial para a redução do consumo energético em edificações.

A literatura reforça esses achados: Brum (2013) destacou a influência da profundidade até três metros no desempenho térmico, enquanto Bisoniya (2015) evidenciou que dutos mais longos e com maior velocidade de fluxo de ar otimizam

a eficiência. Assim, os resultados sustentam a viabilidade dos TCSAs como solução sustentável para climatização em diferentes contextos ambientais.

4. CONCLUSÕES

Os resultados das simulações indicam que a instalação de trocadores de calor solo-ar (TCSAs) é tecnicamente viável para o tipo de solo e as condições climáticas de Pelotas (RS). A tecnologia demonstrou capacidade de estabilizar a temperatura do ar de saída por meio da inércia térmica do solo, contribuindo para a eficiência energética das edificações. Dessa forma, os TCSAs configuram-se como uma alternativa sustentável e eficaz para climatização passiva, com potencial para reduzir significativamente o consumo energético.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRAWAL, K. K. et al. The state of art on the applications, technology integration, and latest research trends of earth-air-heat exchanger system. *Geothermics*, v.82, p.34-50, 2019a.
- BISONIYA, T. S. Design of earth-air heat exchanger system. *Geoothermal Energy*, v.3, n.18, p.1-10, 2015.
- BRUM, R. et al. Design evaluation of earth-air heat exchangers with multiple ducts. *Renewable Energy*, v.135, p.1371-1385, 2019.
- BRUM, R. S. *Modelagem computacional de trocadores de calor solo-ar*. 2013. Dissertação (Mestrado em Modelagem Computacional) – Instituto de Matemática, Estatística e Física, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2013.
- ESTRADA, E. et al. The impact of latent heat exchanges on the design of earth air heat exchangers. *Applied Thermal Engineering*, v.129, p.306-317, 2018.
- HERMES, V. F. et al. Further realistic annual simulations of earth-air heat exchangers installations in a coastal city. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, v.37, 100603, 2020.
- MIHALAKAKOU, G. et al. Applications of earth-to-air heat exchangers: a holistic review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.155, p.1-24, 2022.
- NOBREGA, S. B. N. et al. A first study on Earth-Air Heat Exchanger in Pelotas. *Revista Mundi*, v.5, p.1-15, 2019.
- URGE-VORSATZ, D. et al. Building sector energy efficiency and emissões reduction: a review of the current state and directions for future research. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.77, p.526-539, 2017.
- VAZ, J. *Estudo experimental e numérico sobre o uso do solo como reservatório de energia para o aquecimento e resfriamento de ambientes edificados*. 2013. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.