

INFLUÊNCIA DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DO SOLO NO DESEMPENHO DE SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO PASSIVA GEOTÉRMICOS

**MANOEL JORDAN CAMPOS SANTOS¹; JEFERSON MEIRA²; WAGNER DE ALMEIDA LUCAS³; CAIO PEREIRA FERNANDES⁴; RUTH DA SILVA BRUM⁵
CLAUDIA FERNANDA ALMEIDA TEIXEIRA GANDRA⁶**

¹Universidade Federal de Pelotas – manoeljordan107@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – meiraengagricola@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – wagneralmeidalucas94@hotmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas – caiofernandes5086@gmail.com

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

⁶Universidade Federal de Pelotas – cfeixeir@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

O aumento da demanda por energia elétrica e a limitação dos recursos naturais exigem soluções sustentáveis para reduzir impactos ambientais (Bittencourt et al., 2007; Marcondes et al., 2010; Brugnara et al., 2019). Em países desenvolvidos, 20% a 40% do consumo de energia elétrica está associado à climatização residencial (Osterman et al., 2012; Soares et al., 2013), tendência que também deve crescer no Brasil, reforçando a busca por alternativas como a energia geotérmica.

Nesse contexto, os trocadores de calor solo-ar (TCSAs) surgem como tecnologia promissora. Eles utilizam dutos enterrados para promover a troca térmica entre ar e solo, fornecendo ar em temperatura mais amena e reduzindo a necessidade de ar-condicionado (Rodrigues, 2014). Estudos apontam seu potencial: Vaz et al. (2014) destacam que o solo pode atuar como reservatório térmico, garantindo aquecimento no inverno e resfriamento no verão; Brum (2013) evidenciou a influência da profundidade dos dutos até três metros; e Bisioniya (2015) ressaltou que dutos mais longos, estreitos, enterrados em maiores profundidades e com maior velocidade do ar favorecem o desempenho.

O tipo de solo é outro fator determinante. Rodrigues et al. (2017; 2018) mostraram que solos argilosos podem melhorar o desempenho térmico do TCSA em mais de 60% em relação aos arenosos, embora recomendem testes e simulações antes da instalação.

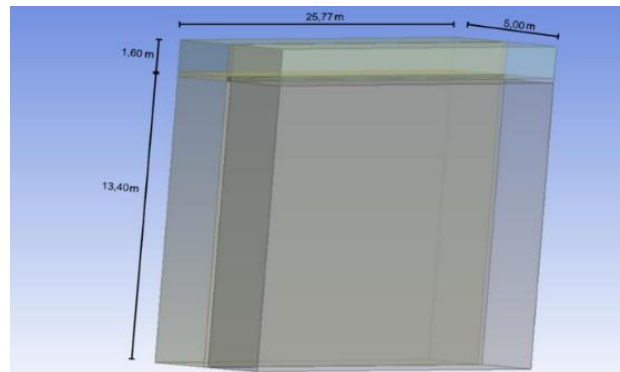
Diante disso, o presente trabalho avalia o desempenho térmico dos TCSAs em diferentes solos (areia, areia saturada, argila e argila saturada), por meio de simulações no Ansys Fluent, considerando as condições climáticas de Pelotas, RS. O objetivo é identificar as características do solo que oferecem melhor desempenho para climatização passiva, contribuindo para maior eficiência energética e redução do consumo elétrico em edificações, em consonância com as demandas de sustentabilidade no setor energético.

2. METODOLOGIA

Para analisar o desempenho térmico dos trocadores de calor solo-ar (TCSAs), foram realizadas simulações numéricas no software Ansys Fluent, considerando quatro tipos de textura de solo homogêneo: areia, areia saturada, argila e argila saturada. A geometria do modelo consistiu em um duto enterrado com 25,77 m de comprimento, 5 m de largura, 15 m de profundidade total, sendo o duto

instalado a 1,6 m de profundidade e com 0,110 m de diâmetro. A simulação foi conduzida com base no Método de Volume Finito (FVM), o qual garante a conservação das equações de massa, momento e energia em todo o domínio computacional. A Figura 1 apresenta a representação tridimensional da geometria adotada.

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



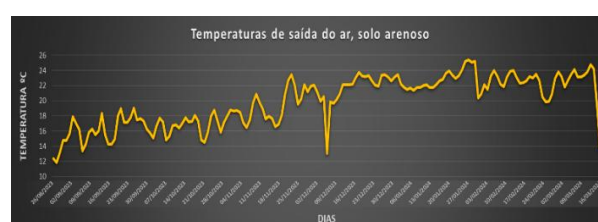
Fonte: Autores, 2025.

O processo de simulação envolveu a definição precisa das condições de contorno, a geração de uma malha otimizada e a execução das simulações para análise do desempenho térmico dos TCSAs. Os parâmetros físicos dos solos e do ar foram obtidos com base em Nóbrega (2019), considerando as condições da cidade de Pelotas, RS. Para a argila: massa específica de 1600 kg/m^3 , condutividade térmica de $0,25 \text{ W/(m}\cdot^\circ\text{C)}$ e calor específico de $890 \text{ J/(kg}\cdot^\circ\text{C)}$; para a argila saturada: 2000 kg/m^3 , $1,58 \text{ W/(m}\cdot^\circ\text{C)}$ e $1550 \text{ J/(kg}\cdot^\circ\text{C)}$; para a areia: 1600 kg/m^3 , $0,30 \text{ W/(m}\cdot^\circ\text{C)}$ e $800 \text{ J/(kg}\cdot^\circ\text{C)}$; e para a areia saturada: 2000 kg/m^3 , $2,20 \text{ W/(m}\cdot^\circ\text{C)}$ e $1480 \text{ J/(kg}\cdot^\circ\text{C)}$. As propriedades do ar utilizadas foram: densidade de $1,16 \text{ kg/m}^3$, capacidade térmica de $1010 \text{ J/(kg}\cdot^\circ\text{C)}$, condutividade térmica de $0,0242 \text{ W/(m}\cdot^\circ\text{C)}$ e viscosidade dinâmica de $1,7894 \times 10^{-5} \text{ kg/(m}\cdot\text{s)}$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da variação da temperatura na saída do TCSA para os diferentes tipos de textura de solo são apresentados nas figuras 2, 3, 4 e 5, correspondendo à areia, areia saturada, argila e argila saturada, respectivamente. Essas figuras demonstram as diferenças nas respostas térmicas dos diversos tipos de textura analisados, evidenciando variações significativas conforme o tipo de solo e suas condições de saturação.

Figura 2: Temperaturas de saída, textura arenosa.



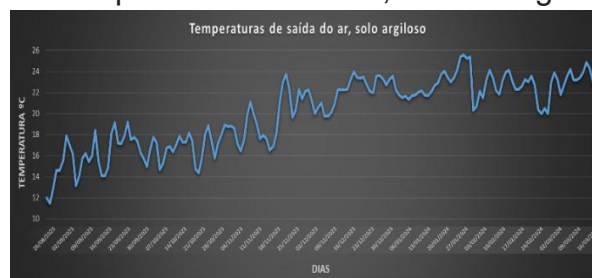
Fonte: Autores, 2025.

Figura 3. Temperaturas de saída, textura arenosa saturada.



Fonte: Autores, 2025.

Figura 4. Temperaturas de saída, textura argilosa.



Fonte: Autores, 2025.

Figura 5. Temperaturas de saída, textura argilosa saturada.



Fonte: Autores, 2025.

As simulações no Ansys Fluent, realizadas ao longo de 171 dias, evidenciaram diferenças térmicas entre os tipos de solo. A argila apresentou a maior amplitude, variando de 14°C a 26°C, enquanto a argila saturada manteve maior estabilidade (20°C a 24°C). Areia e areia saturada também se mantiveram nesse intervalo, com mínimas diferenças, atribuídas à menor retenção de calor em comparação à argila. Todas as amostras mostraram aumento gradual de temperatura, possivelmente devido a variações sazonais e acúmulo térmico no solo. Esses resultados corroboram Rodrigues et al. (2018), que destacam o papel do tipo de solo no desempenho térmico dos TCSAs, com melhor desempenho em solos argilosos, especialmente quando saturados.

4. CONCLUSÕES

A simulação do desempenho térmico dos trocadores de calor solo-ar (TCSAs) em diferentes texturas de solos de Pelotas, RS, confirmou a viabilidade da tecnologia. Solos argilosos saturados apresentaram melhor estabilidade térmica (20 a 24 °C), enquanto solos arenosos tiveram desempenho inferior, mas ainda

aceitável. Os resultados destacam a importância das propriedades geotérmicas do solo na eficiência dos TCSAs e indicam que sua aplicação na região é promissora para climatização passiva e redução do consumo energético e das emissões de gases de efeito estufa.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BISONIYA, T. S. Design of earth-air heat exchanger system. *Geothermal Energy*, v. 3, n. 18, p. 1-10, 2015.

BRUGNERA, R. R. et al. Escritórios de planta livre: o impacto de diferentes soluções de fachada na eficiência energética. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 19, n. 3, p. 295-315, jul./set. 2019.

BRUM, R. S. *Modelagem computacional de trocadores de calor solo-ar*. 2013. 113 f. Dissertação (Mestrado em Modelagem Computacional) – Instituto de Matemática, Estatística e Física, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2013.

MARCONDES, M. P. et al. Conforto e desempenho térmico nas edificações do novo centro de pesquisas da Petrobras no Rio de Janeiro. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 10, n. 1, p. 7-29, jan./mar. 2010.

NOBREGA, S. B. N.; BRUM, R. S.; RAMALHO, J. V. A.; QUADROS, R. S. A first study on Earth-Air Heat Exchanger in Pelotas. *Revista Mundi*, v. 5, p. 1-15, 2019.
OSTERMAN, E.; TYAGI, V. V.; BUTALA, V.; RAHIM, N. A.; STRITIH, U. Review of PCM based cooling technologies for buildings. *Energy and Buildings*, v. 49, p. 37-49, 2012.

RODRIGUES, M. K. *Modelagem computacional aplicada à melhoria do desempenho térmico do trocador de calor solo-ar através do método Constructal Design*. 2014. 151 f. Dissertação (Mestrado em Modelagem Computacional) – Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2014.

RODRIGUES, M. K. et al. Estudo do potencial térmico de trocador de calor solo-ar em dois tipos de solos no município de Rio Grande (RS). *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v. 6, n. 3, p. 489-506, 2017.

RODRIGUES, M. K. et al. Thermal performance simulations of Earth-Air Heat Exchangers for different soils of a coastal city using in-situ data. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, v. 30, p. 224-229, 2018.

SOARES, N.; COSTA, J. J.; GASPAR, A. R.; SANTOS, P. Review of passive PCM latent heat thermal energy storage systems towards buildings energy efficiency. *Energy and Buildings*, v. 59, p. 82-103, 2013.

VAZ, J.; SATTTLER, M. A.; BRUM, R. S.; DOS SANTOS, E. D.; ISOLDI, L. A. An experimental study on the use of Earth-Air Heat Exchangers (EAHE). *Energy and Buildings*, v. 72, p. 122-131, 2014.