

## **SÍNTESE DO DESEMPENHO DE TROCADORES DE CALOR SOLO-AR ACOPLADOS A UM BLOCO GALVANIZADO SOB DIFERENTES PROFUNDIDADES DE INSTALAÇÃO**

**ANA MARIA BERSCH DOMINGUES<sup>1</sup>; HONÓRIO JOAQUIM FERNANDO<sup>2</sup>;  
JAIRO VALÔES DE ALENCAR RAMALHO<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Universidade Federal de Pelotas – berschdomingues@hotmail.com*

<sup>2</sup>*Universidade Federal Fluminense – honoriofernando@id.uff.br*

<sup>3</sup>*Universidade Federal de Pelotas – jairo.ramalho@ufpel.edu.br*

### **1. INTRODUÇÃO**

Uma das principais questões tratadas na atualidade é referente ao meio ambiente e os impactos causados pelo ser humano no Planeta. O consumo desenfreado de energia elétrica, por exemplo, é um deles. Segundo MIMOUNI et al. (2014), a eletricidade gasta em sistemas de ar condicionado representa uma parte significativa do consumo diário de energia em países desenvolvidos e em desenvolvimento. A partir desta problemática, são criadas diversas alternativas, que têm por objetivo minimizar estes impactos. Uma delas se chama trocadores de calor solar (TCSA), que são sistemas projetados para utilizar a temperatura constante do solo subterrâneo para aquecer ou resfriar o ar de uma edificação. Um TCSA apresenta algumas características importantes: podem funcionar com ventiladores de baixa potência e podem ser acoplados a outros sistemas de ar condicionado, reduzindo ainda mais seu consumo de energia (LIU et al., 2021). A Figura 1 apresenta um esquema bidimensional do TCSA para dias quentes.

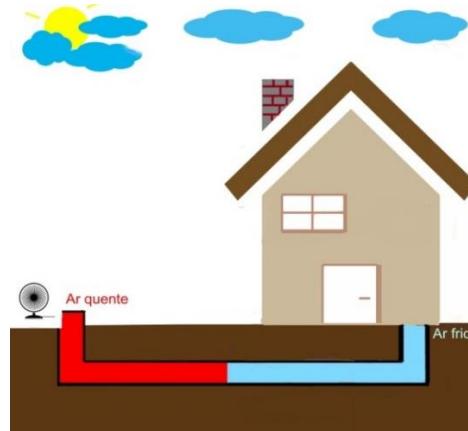


Figura 1: Esquema bidimensional de um TCSA para dias quentes.

Aqui, será apresentada a síntese de simulações de um TCSA acoplado a um bloco galvanizado de 3m<sup>2</sup> de área transversal. As mesmas foram realizadas de modo a concluir qual a melhor profundidade de instalação deste sistema. Vale destacar que este é um resumo de um trabalho maior que será apresentado no Congresso Brasileiro de Ciências Térmicas e Engenharia, o ENCIT<sup>1</sup> 2022.

### **2. METODOLOGIA**

<sup>1</sup> <https://eventos.abcm.org.br/encit2022/>

Este resumo apresenta simulações de TCSA a partir de dados climáticos da cidade de Viamão, Rio Grande do Sul. Além do sistema TCSA tradicional e inspirados pelo trabalho de HASSANZADEH et al. (2018), os autores utilizaram um bloco galvanizado ao redor do duto, a fim de aumentar a condutividade térmica da área em questão, garantindo um melhor aproveitamento do potencial térmico do solo. O trabalho apresenta uma síntese dos resultados obtidos para um bloco de 3m<sup>2</sup> de área transversal, avaliado sob diferentes profundidades. A Figura 2 apresenta uma vista da área transversal do domínio do problema, onde  $z_0$  é a profundidade do centro do duto,  $S_v$  e  $S_h$  representam, respectivamente, os tamanhos vertical e horizontal do bloco,  $T$  é a temperatura em (°C) e  $T_a$  é a temperatura do ar em (°C). Para a geometria do duto, foram utilizados os parâmetros descritos em VAZ (2011), em que o comprimento do duto assume o valor de 25,77 m e o diâmetro de 0,11 m.

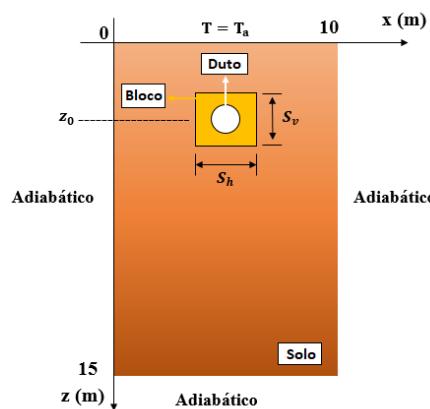


Figura 2: Vista da área transversal do domínio computacional.

As simulações do sistema TCSA usaram um modelo descrito na literatura (DOMINGUES, 2022). Este é chamado de GAEA, e se trata de um modelo analítico que permite simulações mais rápidas, fornecendo a temperatura ao longo do duto, estimando coeficientes de transferência de calor para o fluxo de calor entre o ar, as paredes do duto e o solo ao redor. Com o modelo GAEA, é possível dividir o duto em vários segmentos de tamanho  $\Delta x$ . Desse modo, pode-se obter as temperaturas do solo nas paredes do tubo da seguinte forma:

$$T_{c,w}^k = \frac{U^* T_s + T_{a,i}^k}{U^* + 1}. \quad (1)$$

Aqui,  $T_s$  é a temperatura do solo,  $T_{a,i}^k$  é a temperatura do ar na entrada do segmento  $k$  e  $U^*$  é a relação de condutância da transferência de calor do ar para o duto e do duto para o solo. Já a temperatura na saída de cada segmento é dada por:

$$T_{a,o}^k = T_{a,i}^k \frac{\Delta x U_L (T_{c,w}^k - T_{a,i}^k)}{\dot{m} c_{p,a}}, \quad (2)$$

onde  $\dot{m}$ ,  $c_{p,a}$  e  $U_L$  são, respectivamente, o fluxo de massa, o calor específico do ar e o coeficiente geral de transferência de calor (por comprimento do duto) entre a corrente de ar e as paredes do duto.

Para as simulações do modelo GAEA, é necessário conhecer a temperatura do solo não influenciada pelas características do trocador. Desse modo, esta foi resolvida numericamente, de forma bidimensional. As temperaturas no solo e no bloco são estimadas resolvendo a equação de conservação de calor, que modela o problema em duas dimensões:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda_s}{\rho c_p} \nabla^2 T \quad \text{em} \quad \Omega \times (0, \tau_0], \quad (3)$$

onde  $\rho$  é a densidade do solo e  $c_p$  é o calor específico do solo. Além disso,  $x$  e  $z$  representam as coordenadas espaciais em ( $m$ ) e  $t$  o tempo em ( $s$ ). O domínio espacial,  $\Omega$ , em ( $m$ ) é  $(0,10) \times (0,15)$ . O período de tempo das simulações  $\tau_0$  cobre um ano e dois meses, mas os dois primeiros meses são descartados, para evitar influências numéricas da condição inicial. Como condições de contorno, tem-se que a temperatura na entrada do duto é igual a temperatura do ar, além disso, tem-se um solo adiabático em  $x = 0\text{ m}$ ,  $x = 10\text{ m}$  e  $z = 15\text{ m}$ . A condição inicial utilizada é dada pela equação que segue:

$$T = T_0(z) = 20,49 - 5,66 \operatorname{sen}(5,30 + 0,39z)e^{-0,39z} \text{ em } t = 0\text{ s} \quad (4)$$

As equações foram resolvidas numericamente usando o método dos elementos finitos de Galerkin para a discretização espacial, e o método das diferenças finitas implícitas de Euler de primeira ordem para a discretização do tempo – ver referências em DOMINGUES (2022). Como as equações são resolvidas através de elementos finitos, a condição de continuidade de fluxo entre o solo e o material galvanizado é absorvida na formulação variacional do problema. Realizaram-se testes de independência da malha, em que foi adotado um intervalo de tempo de  $\Delta t = 1800\text{ s}$  (meia hora) para a discretização temporal. A partir dos resultados encontrados, foi considerado suficiente adotar uma malha com 2.017 nós e 3.935 triângulos. Para mais detalhes sobre a metodologia adotada, os testes de malhas e a validação do modelo do TCSA, sugere-se a leitura de DOMINGUES (2022). Os dados climáticos utilizados e a temperatura do ar foram retirados da literatura de VAZ (2011) e as propriedades do bloco galvanizado podem ser encontradas em HASSANZADEH et al. (2018).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O bloco galvanizado auxilia no aumento da condutividade térmica da área ao redor do duto. Esta informação pode ser visualizada através da Figura 3, a qual apresenta simulações do TCSA para a profundidade de  $1,6\text{ m}$  em dois casos: (a) sem a presença de um bloco galvanizado; (b) com um bloco de  $3\text{ m}^2$  de área transversal.

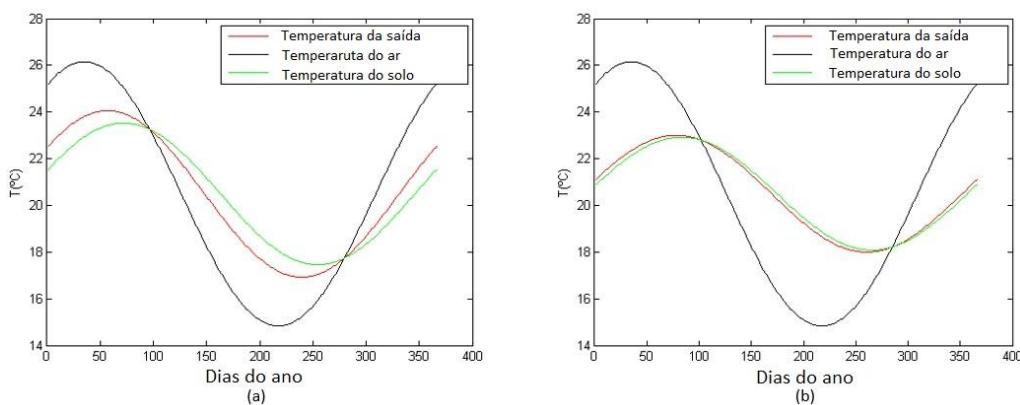


Figura 3: Simulações do TCSA para a profundidade de  $1,6\text{ m}$ .

É possível notar que a eficiência do sistema aumenta significativamente com o acoplamento do bloco. Enquanto que em (a) esta é de, apenas, 73%, em (b) alcança os 95%. Além disso, os potenciais térmicos também aumentam. Para uma profundidade de  $1,6\text{ m}$ , sem o bloco, o potencial do solo é de  $2,59^\circ\text{C}$  e do TCSA é de  $1,9^\circ\text{C}$ . Por outro lado, os potenciais de solo e TCSA usando o bloco são  $3,09^\circ\text{C}$

e  $2,95^{\circ}\text{C}$ , respectivamente. A partir de tais resultados, resolveu-se avaliar qual a melhor profundidade de instalação do sistema. As simulações consideraram cinco profundidades diferentes. Para todos os casos, manteve-se uma área de bloco de  $3 \text{ m}^2$ . A Tabela 1 apresenta estes dados.

**Tabela 1: Potenciais térmicos do solo e do TCSA variando a profundidade de instalação.**

	1,6 m	2 m	2,5 m	3 m	3,5 m
Potencial térmico do solo ( $^{\circ}\text{C}$ )	3,09	3,38	3,65	3,85	4
Potencial térmico do TCSA ( $^{\circ}\text{C}$ )	2,95	3,22	3,47	3,66	3,8

Com os resultados, destaca-se que os potenciais térmicos aumentam à medida que a profundidade aumenta, chegando a  $4^{\circ}\text{C}$  de potencial térmico do solo e  $3,8^{\circ}\text{C}$  de potencial do TCSA para a profundidade de  $3,5 \text{ m}$ . Além disso, a eficiência anual do sistema se manteve constante, em torno de 95%, em todas as simulações.

#### **4. CONCLUSÕES**

Um sistema TCSA é uma alternativa sustentável que auxilia no aquecimento e resfriamento de ambientes, demandando baixo consumo de energia elétrica. Nesta síntese, foram apresentadas simulações de um TCSA com base nas características de uma cidade do sul do Brasil. Além do sistema tradicional, utilizou-se um bloco galvanizado ao redor do duto, com o objetivo de aumentar o potencial térmico da área ao redor do duto. Testes foram realizados de modo a encontrar a profundidade de instalação que apresente maiores potenciais térmicos de solo e TCSA. Com isso, é possível destacar que a profundidade interfere significativamente no processo, obtendo os melhores resultados para uma profundidade de  $3,5 \text{ m}$ . Além disso, o acoplamento do bloco aumenta a eficiência anual do sistema, que chega a um valor próximo a 95%.

#### **5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- DOMINGUES, A.M.B. Avaliações da eficiência e potenciais térmicos de trocadores de calor solo-ar com dutos envoltos por um bloco galvanizado.** 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Matemática) – Instituto de Física e Matemática , Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2022.
- HASSANZADEH, R, DARVISHYADEGARI, M, ARMAN, S. A new idea for improving the horizontal straight ground source heat exchangers performance. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, 25, p. 138–145, 2018.
- LIU, Z, XIE, M, ZHOU, Y, HE, Y, ZHANG, L, ZHANG, G, CHEN, D. A state-of-the-art review on shallow geothermal ventilation systems with thermal performance enhancement system classifications, advanced technologies and applications. **Energy and Built Environment**, 2021.
- MIMOUNI, T, DUPRAY, F, LALOUI, L. Estimating the geothermal potential of heat-exchanger anchours on a cut-and-cover tunnel. **Elsevier - Geothermics**, 51, 380-7, 2014.
- VAZ, J. **Estudo experimental e numérico sobre o uso do solo como reservatório de energia para o aquecimento e resfriamento de ambientes edificados.** Brasil. 2011. 237 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2011.