

NOVA GEOMETRIA PARA ESTRUTURA GALVANIZADA ACOPLADA A UM TROCADOR DE CALOR SOLO-AR

MIGUEL BRUM RAMALHO¹; JAIRO VALÕES DE ALENCAR RAMALHO²;
DANIELA BUSKE³

¹Universidade Federal de Pelotas – brummiguel1@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – jairo.ramalho@ufpel.edu.br

³Universidade Federal de Pelotas – daniela.buske@ufpel.edu.br

1. INTRODUÇÃO

O consumo energético em edifícios contribui para o aquecimento global, levando à busca por alternativas sustentáveis como os Trocadores de Calor Solo-Ar (TCSA). Essa tecnologia utiliza o solo como um reservatório térmico, permitindo que o ar circule por dutos enterrados para aquecer ou resfriar ambientes, reduzindo assim a necessidade de sistemas convencionais de climatização (RAMALHO et al, 2022).

Um estudo em escala real (WEI et al., 2021) demonstrou que um TCSA pode reduzir significativamente a demanda de energia para aquecimento e resfriamento. Diversos pesquisadores têm investigado modificações no arranjo físico dos TCSA para melhorar seu desempenho.

Considerando que estruturas galvanizadas apresentam maior condutividade térmica que o solo, este estudo propõe uma análise da geometria dessas estruturas. O objetivo é simular um sistema TCSA com um único duto, acoplado a uma estrutura galvanizada, e comparar seu potencial térmico e eficiência com um sistema convencional.

2. METODOLOGIA

A metodologia de simulação de um TCSA de duto único acoplado a uma estrutura galvanizada foi baseada em dados climáticos e geotécnicos de Viamão (VAZ et al., 2011). O duto tem 25,77 m de comprimento e 0,11 m de diâmetro, com velocidade de ar na entrada de 3,3 m/s. As propriedades termofísicas do ar, solo e material galvanizado, essenciais para a simulação, estão na Tabela 1.

Tabela 1: Propriedades Termofísicas

	ρ (kg/m ³)	c_p (J/kgK)	λ (W/mK)	μ (kg/ms)
Solo	1800	1780	2,1	-
Materiais galvanizados	7800	446	52	-
Ar	1,16	1010	0,0242	$1,789 \times 10^{-5}$

Fonte: Autoria própria

O desempenho do sistema é avaliado pelo potencial térmico do solo (Ps) e do TCSA (Pt), conforme as equações:

$$P_s = T_s - T_a, \quad (1)$$

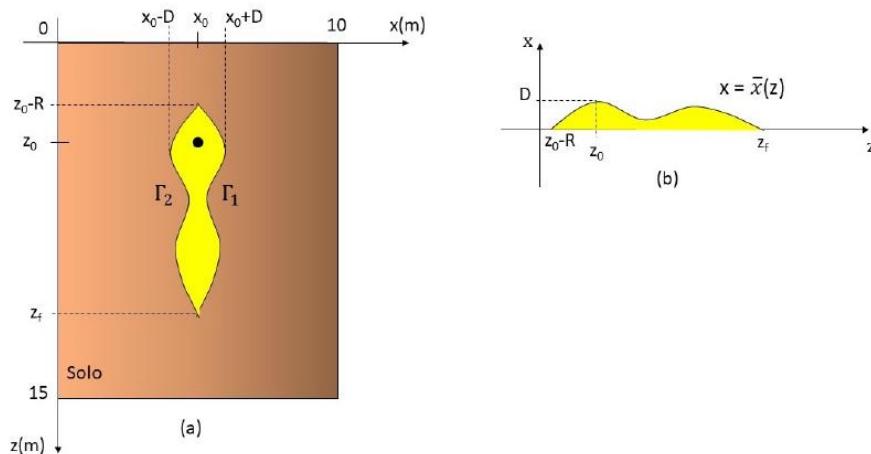
$$P_T = T_{sai} - T_a, \quad (2)$$

Onde T_s , T_a e T_{sai} são, respectivamente, as temperaturas do solo, do ar e na saída dos dutos. A eficiência anual (θ_a) é calculada pela relação entre o valor RMS de P_T e P_s ao longo de um ano, onde o valor RMS anual de uma função P é dado por:

$$P_{RMS} = \sqrt{\frac{\int_0^{365} P(t)^2 dt}{365}}. \quad (3)$$

Em estudos anteriores (RAMALHO et al, 2022), a forma circular de estruturas galvanizadas melhorou o potencial térmico do TCSA e sua eficiência, mas não o potencial do solo, o que motivou a busca por novas geometrias. Esta pesquisa analisou uma estrutura galvanizada cuja seção transversal é delimitada por duas curvas polinomiais de quarto grau (Γ_1 e Γ_2). A Figura 1(a) mostra a vista transversal do domínio computacional, com o solo em marrom e a região galvanizada em amarelo. O centro do duto está localizado nas coordenadas $x_0 = 5$ m e $z_0 = 1,6$ m. A Figura 1(b) ilustra metade da região galvanizada (em amarelo) delimitada por uma das curvas Γ .

Figura 1: Vista transversal (sem escala) do domínio computacional



Fonte: Autoria própria

Para permitir uma comparação justa com os trabalhos anteriores, a área da nova estrutura foi mantida igual, ocupando uma proporção de 0,1% em relação ao domínio computacional. O raio R define o vértice superior da nova geometria ($x_0, z_0 - R$), permitindo que a estrutura se aprofunde mais no solo, onde o potencial térmico é maior. As curvas que delimitam a área da estrutura são definidas por Γ_1 : $x(z) = x_0 + x(z)$ e Γ_2 : $x(z) = x_0 - x(z)$, com $x(z)$ sendo uma função polinomial de quarto grau, as constantes são determinadas de modo que a área da nova estrutura seja igual 0,1% da área do domínio.

As simulações do sistema TCSA foram realizadas usando o modelo analítico GAEA (BENKERT; HEIDT; SCHÖLER, 1997). Esse modelo permite simulações mais rápidas, fornecendo a temperatura ao longo do duto e estimando os

coeficientes de transferência de calor entre o ar, as paredes do duto e o solo circundante. Para as simulações do modelo GAEA, a temperatura do solo não influenciada pelo TCSA foi resolvida numericamente de forma bidimensional. As temperaturas no solo e no bloco são estimadas pela equação de conservação de calor, que modela o problema em duas dimensões.

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 para a discretização temporal (ÖZISIK, 1993). Após testes de independência de malha, foi considerado suficiente o uso de mais de 2.000 nós e 3.000 elementos triangulares, com um intervalo de tempo de 1800s (meia hora). As malhas foram geradas no software Gmsh e as simulações executadas em um código próprio do MATLAB.

3. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Assim como no trabalho (RAMALHO et al, 2022), as eficiências térmicas anuais obtidas foram próximas a 95%, devido à melhoria nas trocas térmicas proporcionadas pelo material galvanizado. No entanto, o uso de uma estrutura galvanizada em forma de disco circular não melhora o potencial térmico do solo, que se mantém em 2,58 °C, o mesmo de um TCSA convencional. O aumento no potencial térmico do TCSA, de 1,90 °C para 2,46 °C, deve-se à alta condutividade do material galvanizado, que aumenta a eficiência do sistema.

A Tabela 2 apresenta os melhores resultados das simulações considerando a estrutura delimitada por curvas polinomiais. Pode-se ver que é possível obter os valores de $P_s = 2,82$ °C e $P_T = 2,66$ °C, o que representa uma melhoria de 9% em relação à forma circular.

Embora essas variações pareçam numericamente pequenas, isso ocorre porque se está trabalhando com valores RMS anuais. É importante observar que no contexto dessa pesquisa, o valor RMS anual máximo do potencial térmico do solo é de 4,28 °C. Portanto, as variações obtidas são relevantes e servem para indicar novas direções para a pesquisa da geometria da região galvanizada.

Tabela 2: Valores dos Potenciais do Solo e do TCSA com a variação em z_f

z_f (m)	P_s (°C)	P_{TCSA} (°C)
2,41	2,78	2,64
2,51	2,80	2,65
2,61	2,81	2,67
2,71	2,82	2,67
2,81	2,81	2,66

Fonte: Autoria própria

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BENKERT, S; HEIDT, F. D.; SCHÖLER, D. **Calculation tool for earth heat exchangers GAEA**. Proceedings Building Simulation, Fifth International. IBPSA Conference 2. 1997.

ÖZISIK, M. N. **Heat Conduction**. New York: John Wiley & Sons, 1993.

RAMALHO, J. V. A.; FERNANDO, H.J.; 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. 102838, 2022.

VAZ, J.; SATTLER, M. A.; SANTOS, E. D.; ISOLDI, L. A. **Experimental and numerical analysis of an earth-air heat exchanger**. Journal Energy & Buildings, v. 43, pp. 2476–2482, 2011.

WEI, H.; YANG, J.; DU, J.; GUO, X. **Field experiments on the effects of an earth-to-air heat exchanger on the indoor thermal environment in summer and winter for a typical hot-summer and cold-winter region**. Renewable Energy, v. 167, pp. 530–541, 2021.