

## SIMULAÇÕES DE MATERIAIS ALTERNATIVOS PARA AUMENTO DA EFICIÊNCIA DE TROCADOR DE CALOR SOLO-AR (TCSA)

FELIPE AUGUSTO SILVA MARTINS<sup>1</sup>; LORENZO VALENTE<sup>2</sup>; IGOR DA CUNHA FURTADO<sup>3</sup>; DANIELA BUSKE<sup>4</sup>; REGIS SPEROTTO DE QUADROS<sup>5</sup>; GUILHERME JAHNECK WEYMAR<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – [feemartins66@gmail.com](mailto:feemartins66@gmail.com)

<sup>3</sup>Instituto Federal Sul-Rio Grandense - [igorjara@gmail.com](mailto:igorjara@gmail.com)

<sup>6</sup>Universidade Federal de Pelotas – [guilherme.jahnecke@ufpel.edu.br](mailto:guilherme.jahnecke@ufpel.edu.br)

### 1. INTRODUÇÃO

O aquecimento global e a crise energética são temas de suma importância para todo o mundo. Tais assuntos estão relacionados diretamente ao consumo de energia de edificações. De acordo com Qi et al. 2021, edifícios residenciais são responsáveis por cerca de 40% do consumo global total de energia, sendo assim seus principais sistemas causadores deste consumo assim como sistemas de aquecimento, ar condicionado e ventilação 60% do consumo total da energia de edifícios provem destes sistemas. Para a região de Pelotas-RS, o consumo de energia elétrica nos meses de verão aumenta consideravelmente devido ao grande número de aparelhos de ar condicionado que são usados para obter o conforto térmico em edificações e residências.

Diante desses cenários, as ciências e engenharias não poupam esforços para promover um ambiente mais verde. Assim, o objetivo deste trabalho analisar a utilização de um trocador de calor solo-ar (TCSA) como fonte alternativa para ajudar conforto térmico mais sustentável com baixo custo energético. Propõe-se também comparar e analisar a utilização de diferentes materiais no duto e diferentes espessuras. O dispositivo faz uso da inércia térmica da Terra para dissipar o calor que circula através do duto do trocador. Em dias quentes, o ar que circula no duto do TCSA é resfriado (cedendo calor para o solo). Nos dias frios o ar que circula no duto é aquecido (recebendo calor do solo). Para fazer a análise proposta, este trabalho utiliza o modelo desenvolvido por MINAI E SAFIKHANI (2021), pois este considera a troca de calor entre o solo, o duto e o ar, levando em consideração as propriedades físicas de cada um.

### 2. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho são apresentadas as seguintes etapas: o modelo matemático; solução proposta da literatura de MINAI E SAFIKHANI (2021); dados da literatura de um experimento de VAZ (2011) realizado com TCSA na cidade de Viamão, e por fim, uma comparação de materiais para o duto: aço, alumínio e o PVC.

#### 2.1. MODELO

A representação esquemática de um TCSA é baseada na Fig.1, na imagem as variáveis  $r_{po}$  e  $r_{pi}$  são os raios externo e interno do duto, e  $v_f$  é a velocidade de escoamento do fluido (ar).

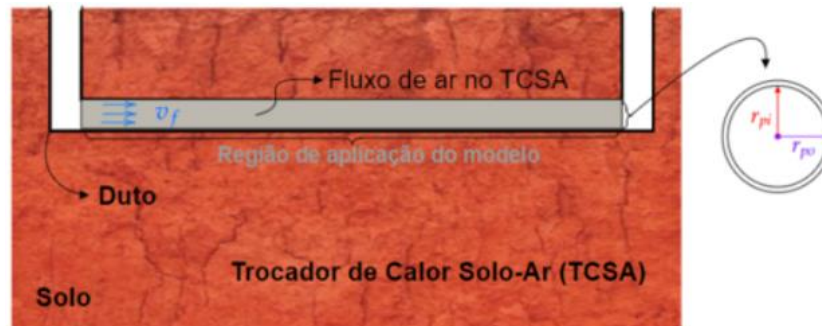


Figura 1. Representação esquemática de um TCSA

Fonte: Próprio auto.

A elaboração do modelo foi baseada nas seguintes referências: MINAI E SAFIKHANI (2021); BEJAN (2003); BRUM (2012) e NÓBREGA (2021). Empregando a lei de conservação de energia, para o ar no interior do trocador de calor:

$$\rho_f c_{pf} A \frac{\partial T_f}{\partial t} = -\dot{m} c_{pf} \frac{dT_f}{dx} - \frac{T_f(x) - T_{po}(x)}{R_p}, \quad (1)$$

onde o subíndice f refere-se ao fluido (ar),  $\rho$  é a densidade específica,  $c_{pf}$  é o calor específico,  $A$  é a área,  $\dot{m}$  a taxa relacionada a massa e  $T_f$  é a temperatura do fluido e  $T_{po}$  a temperatura no trocador (duto) e  $R_p$  resistividade condutiva ao calor. Para a transferência de calor no solo foi empregada a equação do calor (1D-transiente) em coordenadas cilíndricas.

#### 2.1.1. Solução pela transformada de Laplace

A solução proposta foi baseada no trabalho de MINAI E SAFIKHANI (2021), que aponta uma solução para a função de temperatura aplicada a transformada Laplace, tal qual:

$$\overline{\theta}_f(x^*, s) = \overline{\theta}_{in}(s) e^{-ms - c[1 - \chi(s)]x^*}, \quad (3)$$

Devido à complexidade em calcular a transformada inversa de Laplace na equação (3), foi utilizado o algoritmo de GAVER-STEHFEST (1970), um método numérico de inversão muito eficiente e conhecido na literatura.

#### 2.1.2. Verificação do Modelo

Para verificar o modelo foram efetuadas diversas simulações comparando seus resultados com dados experimentais obtidos no experimento de VAZ (2011) e como proposta de otimização, a alteração da construção do duto trocador, desde sua espessura, até seu material, originalmente o PVC. Essas simulações foram realizadas em linguagem Python, de programação em Python, os materiais escolhidos para teste foram o aço, PVC e o alumínio. Os dados experimentais de Vaz são referentes à instalação de um TCSA na cidade de Viamão, no estado do Rio Grande do Sul. As dimensões do duto utilizadas no experimento são 25,77 m comprimento, 0,11 m de diâmetro a 7 m abaixo da superfície.

O fluxo de massa de ar foi de 0,0364 kg/s, a temperatura do solo foi dita constante, o material do duto utilizado foi PVC e as propriedades termo-físicas do ar e do solo, bem como dos materiais utilizados nas simulações são apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1.**

Material	Massa Específica ( $kg/m^3$ )	Condutividade Térmica ( $W/mK$ )	Calor Específico ( $J/kgK$ )
Ar	1,16	0,0242	1010
Solo	1800	2,1	1780
PVC	1380	0,16	900
Aço	7833	54	465
Alumínio	2702	237	903

Tabela 1. Propriedades Físicas de Interesse.

Fonte: INCROPERA (2011).

Para quantificar a otimização, foram utilizadas as equações INCROPERA (2011) para a eficiência do trocador Eq. (4), sendo  $T_s$  a temperatura do fluido na saída do trocador,  $T_e$  a de entrada, e  $T_{solo}$  a temperatura do solo,  $T_{solo} = Cte$  respectivamente:

$$\beta = \frac{T_s - T_e}{T_{solo} - T_e}, \quad (4)$$

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Pecebe-se na comparação dos compração dos gráficos que o perfil do modelo apresentado comparado com os dados experimentais são bem próximos, e que a maior diferença entre os dois foi de aproximadamente 2°C.

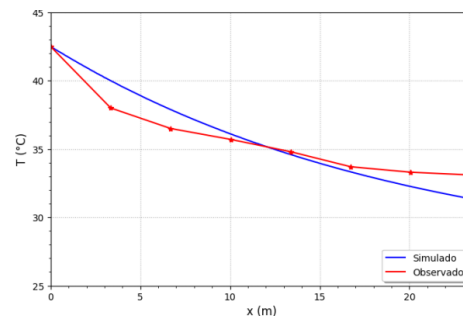


Figura 3. Gráficos gerados pelo algoritmo comparado com dados experimentais.

Fonte: Próprio autor.

Na Figura 4, apresentado o perfil de temperatura ao longo do comprimento do duto, neste gráfico podemos comparar os perfis de temperatura para diferentes tipos de materiais (PVC, alumínio e aço), além disso, no gráfico a) considerou-se uma espessura de 5 mm para o duto, em b) 10 mm e c) 20 mm.

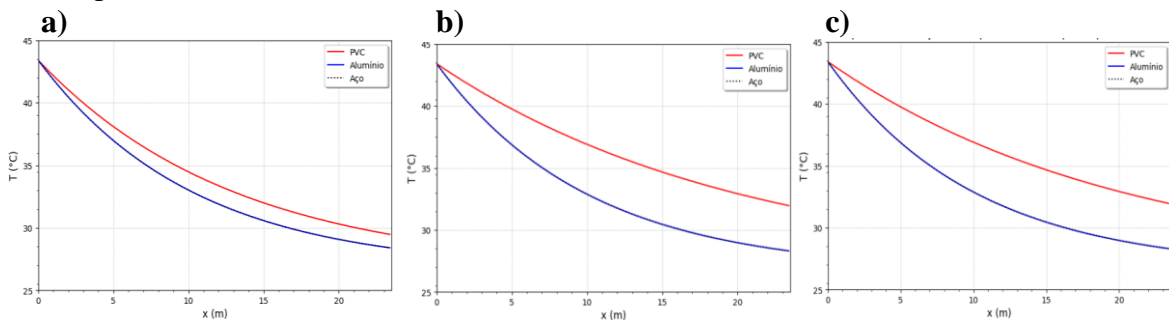


Figura 4. Gráficos dos perfis de temperatura

Fonte: Próprio autor.

Pelos perfis de temperatura, como o alumínio e o aço são bons condutores de calor comparados com o PVC, percebe-se que nos três tipos de espessuras eles trocam mais calor com o solo, diminuindo bastante a temperatura na saída do duto. Com relação a espessura nota-se que com uma espessura mais fina, no caso do PVC, facilita a troca do ar com o solo, ou seja, o duto não tem muita influência nesta troca. Para os materiais condutores não percebe-se grande influência.

Na Tabela 2 apresentam-se os resultados a eficiência para cada um dos perfis de temperatura do PVC e Alumínio, corroborando com o que foi concluído sobre os gráficos anteriores.

**Tabela 2.**

Material	Espessura	Eficiência
PVC	5	83,3%
	10	77,7%
	20	68,5%
Alumínio	5	89,8%
	10	90%
	20	90,31%

Tabela2. Resultados das Simulações.

#### 4. CONCLUSÃO

No presente estudo foi observado que em TCSA's os materiais condutores, especialmente o alumínio, se provam materiais bastante atraentes em termos de eficiência e, para este, logística, pois oferece um alto rendimento. Para materiais que são bons condutores de calor, percebe-se que uma espessura mais fina do duto influencia bastante no perfil de temperatura do ar ao longo do duto.

#### REFERÊNCIAS

- Bejan, A. e Kraus, A. (2003), **“Heat transfer handbook”**, 1º ed., John Wiley & Sons, New Jersey.
- Brum, R.S., Vaz, J., Rocha, L.A.O., Santos, E.D. e Isoldi, L.A. (2013), **A new computational modeling to predict the behavior of earth-air heat exchangers**. Energy and Buildings, vol 64, 395-402.
- Incropera, F.P. et al. (2011) **Fundamentos de transferência de calor e massa**. LTC.
- Minaei, A. e Safikhani, H. (2021), **A new transient analytical model for heat transfer of earth-to-air heat exchangers**. Journal of Building Engineering, vol 33, 1-11.
- Nóbrega, E.S.B. (2021), **“Abordagem analítica para análise térmica dos trocadores de calor solo-ar na cidade de Pelotas/RS”**, Dissertação de Mestrado, PPGMMat/UFPEl, Pelotas.
- Stehfest, H. (1970), **Numerical Inversion of Laplace Transforms Algorithm 368**. Communications of the ACM, vol 13, 47-49.
- Vaz, J. et al. (2011), **Experimental and numerical analysis of an earth–air heat exchanger**. Energy and Buildings, vol 43, 2476-2482.