

UTILIZAÇÃO DO MODELO ANALÍTICO DO TROCADOR DE CALOR SOLO-AR NO MUNICÍPIO DE PELOTAS/RS

EDUARDO DE SÁ BUENO NÓBREGA¹; RUTH DA SILVA BRUM²; JAIRO VALÕES DE ALENCAR RAMALHO³; RÉGIS SPEROTTO DE QUADROS⁴

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

²*Universidade Federal de Pelotas – ruthdasilvabrum@gmail.com*

³*Universidade Federal de Pelotas – jairo.ramalho@ufpel.edu.br*

⁴*Universidade Federal de Pelotas – regis.quadros@ufpel.edu.br*

1. INTRODUÇÃO

As constantes mudanças climáticas estão relacionadas com a ação humana sobre a natureza. SILVA; DE PAULA (2009) referem-se ao aquecimento global como um fenômeno climático de larga extensão, ou seja, um aumento da temperatura média superficial global.

Analizando a região sul do Brasil, em específico, a cidade de Pelotas, observa-se que nos dias quentes do verão a alta umidade, comumente presente, torna os dias sufocantes e inadequados para muitas atividades. Isso leva a população a aumentar a utilização de sistemas de ar condicionado tradicionais.

Tendo em vista estes fatores, o trabalho em questão contribui com um estudo de caso, avaliando a instalação de trocadores de calor solo-ar (TCSA) na cidade de Pelotas. Basicamente, os TCSA consistem na instalação de dutos enterrados a uma determinada profundidade, conectando o ar ambiente interno ao externo. Assim, a temperatura do ar é elevada no inverno e reduzida no verão, pois as temperaturas nas camadas superficiais da terra são defasadas em relação às temperaturas do ar ambiente.

Conforme segue, será apresentado um modelo analítico para TCSA, validado através dos dados experimentais obtidos por VAZ (2011) na cidade de Viamão, no Rio Grande do Sul. Desenvolver-se-á um algoritmo que será ajustado à realidade da cidade de Pelotas, será desenvolvido, considerando as características geológicas, geográficas e meteorológicas da região, com dados fornecidos por estações experimentais no ano de 2016.

2. METODOLOGIA

Para realizar a validação do modelo analítico proposto, foi necessário determinar a eficiência do TCSA através da Eq. (1) quanto da Eq. (2):

$$\epsilon = 1 - e^{-NUT}, \quad (1)$$

$$\epsilon = \frac{T_{ar}^s - T_{ar}^e}{T_{solo} - T_{ar}^e}, \quad (2)$$

onde T_{ar}^s e T_{ar}^e são, respectivamente, as temperaturas do ar na saída e na entrada do duto, enquanto, T_{solo} é a temperatura do solo, junto às paredes do duto. Com isso, obtém-se um modelo analítico para a temperatura do ar na saída do TCSA, isto é:

$$T_{ar}^s = T_{ar}^e + \epsilon (T_{solo} - T_{ar}^e). \quad (3)$$

e calcula-se ϵ pela fórmula dada na Eq. (1). Para isso, precisamos definir que:

$$NUT = \frac{hA_s}{mc_p^a}. \quad (4)$$

Aqui, h é o coeficiente de transferência de calor por convecção, A_s é a área superficial do duto, m e c_p^a são, respectivamente, a vazão e o calor específico do ar. Em um duto circular de diâmetro D , o coeficiente h é dado por:

$$h = \frac{Nuk_a}{D}, \quad (5)$$

onde k_a é a condutividade térmica do ar e Nu é o número de Nusselt. Este último, pode ser estimado como se vê em BISONIYA (2015)

Os resultados deste trabalho foram comparados com os dados experimentais da pesquisa de VAZ (2011) e os valores obtidos através do modelo numérico reduzido, introduzido por BRUM et al. (2012). A temperatura do solo (em °C), a uma profundidade de 1,6m, foi ajustada por mínimos quadrados e obteve-se a seguinte função temporal para seus valores a cada dia t do ano:

$$T_{\text{solo}}(t) = 20,49 + 3,03 \sin\left(\frac{2\pi}{365}t - 5,92\right). \quad (6)$$

De forma semelhante, a temperatura do ar na entrada do duto também foi ajustada e descrita pela função:

$$T_{\text{ar}}^e(t) = 20,49 + 5,66 \sin\left(\frac{2\pi}{365}t - 5,30\right). \quad (7)$$

Aplicando-se os dados da Eq. (2), Eq. (6) e Eq. (7) na Eq. (3), obteve-se a função analítica abaixo que descreve a temperatura na saída do TCSA, para qualquer dia t do ano:

$$T_{\text{ar}}^s(t) = 20,49 + 0,23 \sin\left(\frac{2\pi}{365}t - 5,30\right) + 2,91 \sin\left(\frac{2\pi}{365}t - 5,92\right). \quad (8)$$

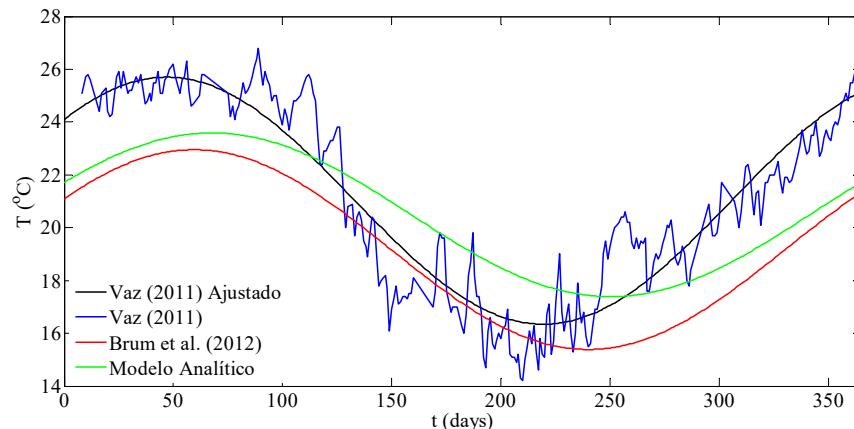


Figura 1 – Gráfico comparativo entre os resultados de VAZ (2011), BRUM et al. (2012) e os resultados obtidos através do modelo analítico.

As seguintes funções temporais:

$$T_V(t) = 21,02 - 4,68 \sin\left(\frac{2\pi}{365}t - 2,43\right), \quad (9)$$

$$T_B(t) = 19,17 + 3,78 \sin\left(\frac{2\pi}{365}t + 0,53\right), \quad (10)$$

com t em dias, representam a temperatura (em °C) para os resultados de VAZ (2011) e BRUM et al. (2012), respectivamente. Pela Figura 1, é possível notar que os resultados analíticos, numéricos e experimentais ajustados possuem curvas próximas, sendo assim estima-se os valores dos erros entre os modelos:

$$\sqrt{\frac{\int_0^{365} (T_V(t) - T_B(t))^2 dt}{365}} = 2,37^\circ\text{C}, \quad (11)$$

$$\sqrt{\frac{\int_0^{365} (T_V(t) - T_{ar}^s(t))^2 dt}{365}} = 1,94^\circ\text{C}. \quad (12)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a validação do método analítico, para analisar o uso de TCSA no município de Pelotas, foi utilizado como base uma porção de solo localizada na região da BR 116, chamado Trevo do Contorno. A empresa FUNDACON - Fundações e Construções, localizada no município de Pelotas, forneceu dados de uma sondagem *SPT* (*Standard Penetration Test*) deste local, realizada no ano de 2016. Com isto, verifica-se que até 4,30 metros de profundidade, o solo do Trevo do Contorno é do tipo argilo-arenoso vermelho.

Além disso, através do boletim agroclimatológico fornecido pela Estação Agroclimatológica de Pelotas (BAP, 2019), foram obtidos os dados da temperatura do ar na mesma cidade. Utilizando a metodologia apresentada em BRUM et al. (2015), esses dados foram ajustados por mínimos quadrados, sendo descritos pela função:

$$T_{ar}^e(t) = 17,90 - 6,34 \operatorname{sen}\left(\frac{2\pi}{365}t - 1,85\right), \quad (13)$$

para cada dia t do ano de 2016 (mesmo ano da realização do teste SPT).

Com isso, utilizando a metodologia proposta por OZGENER et al. (2013), a temperatura do solo, para um dia t e uma profundidade z , pode ser estimada pela função:

$$T_{solo}(t, z) = 17,90 - 6,34 \operatorname{sen}\left(\frac{2\pi}{366}t - 1,85 - \gamma z\right) e^{-\gamma z}, \quad (14)$$

onde $\gamma = \sqrt{\frac{\pi}{366 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot \alpha_{solo}}}$ e $\alpha_{solo} = \frac{k}{\rho C_p}$ é a difusividade térmica do solo.

Visto que dispomos de funções analíticas para descrever a temperatura do ar e do solo, podemos utilizar o modelo analítico para estimar as temperaturas de saída de um TCSA na cidade de Pelotas, conforme a figura abaixo:

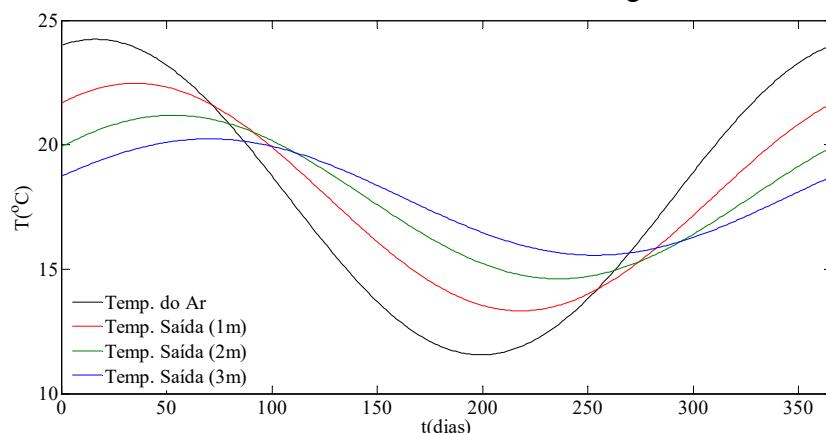


Figura 2 - Temperatura do ar e estimativa da temperatura de saída do TCSA com o duto enterrado em 3 profundidades.

4. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados detalhados neste trabalho, é claro a importância de sistemas de TCSA na região de Pelotas/RS. Nota-se que os potenciais de resfriamento, no verão, e de aquecimento, no inverno, aumentam com a profundidade em que está instalado o duto. No caso de dutos enterrados a 3 metros, o potencial do trocador de calor é de cerca de 6°C.

Cabe ressaltar que é a primeira vez que este modelo está sendo implementado para esta região. Porém, este possui algumas limitações, como por exemplo, não pode modelar geometrias complexas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

EMBRAPA, UFPEL, INMET. **BAP**. Boletim Agroclimatológico de Pelotas. Acessado em 18 de agosto de 2019. Online. Disponível em: <http://agromet.cpact.embrapa.br/estacao/boletim.php>.

BISONIYA, T. S. Design of Earth-air heat exchanger system. **Geothermal Energy**, 3(18), 1-10, 2015.

BRUM, R. S.; RAMALHO, J. V. A.; ROCHA, L. A. O.; ISOLDI, L. A.; SANTOS, E. D. A Matlab code to fit periodic data. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**, 7(2), 16-25, 2015.

BRUM, R.S; RAMALHO, J. V. A.; RODRIGUES, M. K.; ROCHA, L. A. O.; ISOLDI, L. A.; SANTOS, E. D. Design evaluation of earth-air heat exchangers with multiple ducts. **Renewable Energy**, 135, 1371-1385, 2019.

BRUM, R. S.; ROCHA, L. A. O.; VAZ, J.; DOS SANTOS, E.D.; ISOLDI, L.A. Development of simplified numerical model for evaluation of the influence of soil-air heat exchanger installation depth over its thermal potential. **International Journal of Advanced Renewable Energy Research**, 1, 505-514, 2012.

OZGENER, O.; OZGENER, L; TESTER, J. W. A practical approach to predict soil temperature variations for geothermal (ground) heat exchangers applications. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, 62, 473–480, 2013.

SILVA, R. W. C.; de PAULA, B. L. Causa do aquecimento global: antropogênica versus natural. **Terra e didática**, 5(1), 42-49, 2009.

SILVA, J.B.; LLOPART, M.P.; BOIASKI, N. Temperatura máxima do ar em Pelotas, RS. Tabelas de probabilidades em escalas de tempo pentadal. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 20(2), 267-276, 2005.

VAZ, J. **Estudo experimental e numérico sobre o uso do solo como reservatório de energia para o aquecimento e resfriamento de ambientes edificados**. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).