

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE DADOS DE SENSOR E REANÁLISE ERA-INTERIM PARA TEMPERATURA DO SOLO EM RIVERA

GEILSON DE A. SOARES¹; LETICIA B. D. SOARES¹; PAMELA G. B. PEREIRA³;
DOUGLAS DA S. LINDEMANN¹; HONÓRIO J. FERNANDO²; JAIRO V. DE A.
RAMALHO¹

¹Universidade Federal de Pelotas – geilson.soares@ufpel.edu.br,
leticiabarros1996@yahoo.com.br, douglas.lindemann@ufpel.edu.br, jairo.ramalho@ufpel.edu.br

²Universidade Federal Fluminense – honoriofernando@id.uff.br

³Universidad Tecnológica del Uruguay – pamela.barboza@utec.edu.uy

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho se insere na área de climatização sustentável, com foco em Trocadores de Calor Solo-Ar (TCSA), sistemas que utilizam a temperatura estável do solo para pré-tratar o ar de ventilação de edificações. O desempenho térmico desta tecnologia, objeto de estudos atuais (RAMALHO et al., 2022), permite reduzir significativamente o consumo de energia com climatização. O dimensionamento preciso desses sistemas, no entanto, depende fundamentalmente de dados locais sobre o perfil de temperatura do solo, que frequentemente não estão disponíveis.

A problematização deste estudo reside na validação de fontes de dados alternativas. De um lado, a reanálise ERA-Interim oferece dados globais e acessíveis; de outro, medições com sensores garantem alta precisão local. Portanto, é fundamental comparar as duas fontes para determinar se os dados de reanálise são adequados para estudos de viabilidade de TCSA. A análise se baseia em técnicas de ajuste de curva para modelar o comportamento periódico da temperatura do solo, uma abordagem consolidada na literatura (POWELL, 1981; SOARES et al., 2023).

O objetivo deste trabalho é, portanto, realizar uma análise comparativa entre os dados de temperatura do solo medidos por sensores instalados na Universidad Tecnológica del Uruguay (UTEC) e os dados da reanálise ERA-Interim. Com isso, busca-se avaliar a acurácia da reanálise e sua aplicabilidade em fases preliminares de projetos para a instalação de TCSA.

2. METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho foi estruturada em três etapas principais: (1) aquisição de dados de temperatura de duas fontes distintas (sensores locais e reanálise); (2) processamento e análise dos dados por meio de ajuste de curva; e (3) comparação quantitativa dos resultados.

Foram utilizados dois conjuntos de dados cobrindo um ciclo anual completo, de agosto de 2023 a julho de 2024. O primeiro conjunto consiste em dados observacionais coletados por sensores de temperatura instalados na Universidad Tecnológica del Uruguay (UTEC), em Rivera, Uruguai (latitude: -30,9329, longitude: -55,5483). As medições foram realizadas em múltiplas profundidades: 0 cm (superfície), 40 cm, 80 cm, 120 cm, 160 cm e 200 cm.

O segundo conjunto de dados foi extraído da reanálise ERA-Interim. Para garantir a comparabilidade, foram utilizados os dados de temperatura do ponto de grade mais próximo ao local dos sensores e para o mesmo período de um ano.

Para analisar a tendência sazonal e suavizar as flutuações de alta frequência, foi empregada a técnica de ajuste de curva em ambos os conjuntos de dados. Este método, fundamentado na Teoria da Aproximação (POWELL, 1981), permite modelar o comportamento dos dados por meio de uma função matemática. Como a variação anual da temperatura do solo segue um comportamento periódico e cíclico, optou-se por ajustar uma função senoidal a cada série temporal, conforme descrito pela seguinte equação:

$$T(t) = A \cdot \operatorname{sen}\left(\frac{2\pi}{P}t + B\right) + C$$

Onde: $T(t)$ é a temperatura calculada no tempo t ; A é a amplitude da variação de temperatura; P é o período do ciclo (8760 horas para um ano); B é a defasagem de fase, que representa o deslocamento temporal do ciclo; C é a temperatura média anual do solo.

A comparação final entre os dados observados pelos sensores e os dados da reanálise foi realizada de duas formas: (1) visualmente, pela sobreposição gráfica das séries temporais (apresentadas nas Figuras 2, 3 e 4 na seção de Resultados), e (2) quantitativamente, pelo cálculo de uma métrica estatística de erro.

Para quantificar a magnitude da diferença entre as duas fontes de dados, foi calculado o Erro Quadrático Médio (RMSE - Root Mean Square Error), uma das métricas mais comuns para avaliar a acurácia de modelos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação da metodologia permitiu a comparação direta entre os dados de temperatura observados pelo sensor local e os dados da reanálise ERA-Interim. A análise foca na concordância e nas divergências entre as duas fontes de dados em diferentes profundidades, evidenciando o desenvolvimento do estudo. A comparação das temperaturas na superfície, ilustrada na Figura 2, revela que ambos os conjuntos de dados seguem o mesmo padrão sazonal cíclico, com temperaturas mais baixas no inverno e mais altas no verão. No entanto, a principal diferença reside na amplitude da variação térmica. Os dados do sensor local apresentam picos de temperatura máxima significativamente mais elevados e vales de temperatura mínima mais baixos em comparação com a série ERA-Interim.

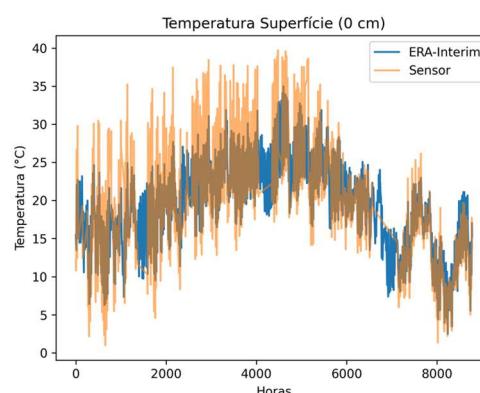


Figura 2: Temperaturas na superfície.

Esta discrepância é um resultado esperado e sugere que a reanálise, por representar uma média espacial sobre uma área de grade, suaviza os extremos térmicos. O sensor pontual, ao contrário, é diretamente influenciado por fatores

microclimáticos (como insolação direta e tipo de cobertura do solo), capturando a variabilidade real da interface solo-atmosfera. Para um projeto de Trocador de Calor Solo-Ar (TCSA), essa diferença é crucial, pois a eficiência das trocas térmicas nos dutos mais rasos pode ser subestimada ou superestimada se forem utilizados apenas dados de reanálise.

Ao analisar as temperaturas do solo em maiores profundidades, a concordância entre os dados melhora substancialmente. A Figura 3 (28-100 cm) e a Figura 4 (101-289 cm) mostram que as séries temporais dos sensores e do ERA-Interim se sobreponem de forma muito mais consistente do que na superfície. Embora os dados dos sensores ainda exibam uma variabilidade de alta frequência, a tendência sazonal principal é notavelmente similar à modelada pela reanálise.

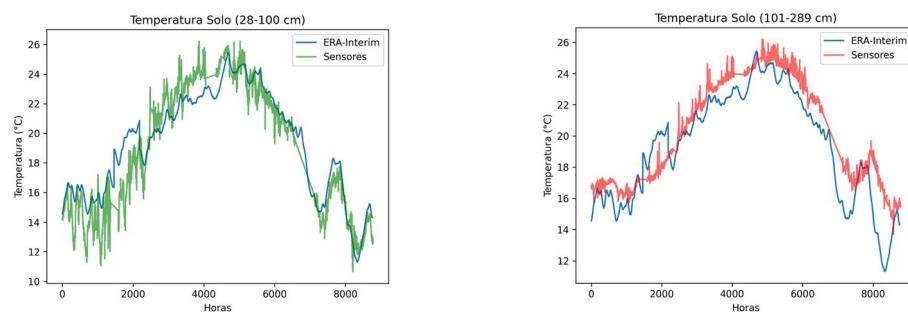


Figura 3 (Esquerda): Temperatura média no solo entre 28 e 100 cm.

Figura 4 (Direita): Temperatura média no solo entre 101 e 289 cm.

A discussão para este resultado se baseia no fato de que o solo atua como um isolante térmico, filtrando as variações diárias extremas sentidas na superfície. A temperatura em subsuperfície é um sinal mais estável e integrado, que reflete a onda de calor sazonal. A forte aderência nessas profundidades indica que o modelo ERA-Interim captura bem essa transferência de calor mais lenta e de larga escala. Do ponto de vista prático para um projeto de TCSA, isso significa que os dados de reanálise podem ser uma ferramenta confiável para estimar a temperatura do solo nas profundidades onde a maior parte dos dutos seria instalada, validando seu uso para estudos de viabilidade.

Para quantificar numericamente as observações visuais, foi calculado o Erro Quadrático Médio (RMSE) entre as séries de dados do sensor e da reanálise para cada profundidade. Os resultados, apresentados na Tabela 1, confirmam a análise qualitativa.

TABELA 1: Valores de RMSE calculados entre os dados do sensor e da reanálise.

PROFOUNDIDADE (CM)	RMSE (°C)
0	0,6529
28 – 100	1,4198
101 – 289	1,0068

Observa-se que o valor de RMSE é consideravelmente maior na superfície e diminui progressivamente com a profundidade. Este resultado reforça a conclusão de que a reanálise ERA-Interim tem maior acurácia em representar as temperaturas de subsuperfície do que as de superfície, fornecendo um parâmetro numérico para a confiabilidade dos dados em estudos de engenharia.

4. CONCLUSÕES

Este estudo concluiu que os dados de reanálise ERA-Interim são uma ferramenta viável, porém limitada, para o dimensionamento de Trocadores de Calor Solo-Ar. A principal contribuição deste trabalho foi quantificar a divergência entre os dados modelados e os medidos por sensores locais. Os resultados mostraram uma forte concordância na tendência sazonal em profundidades abaixo de 28 cm, validando o uso da reanálise para a análise térmica do volume de solo relevante para os dutos de um TCSA. Contudo, a análise também revelou que o modelo falha em capturar os extremos térmicos da superfície, uma limitação que exige o uso de sensores locais para análises microclimáticas detalhadas e projetos de alta precisão.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBOZA, P. G. **Implementación de un Sistema de Monitoreo IoT para Caracterizar el Perfil Térmico del Suelo.** 2024. Monografía de Grado, Universidad Tecnológica del Uruguay (UTEC), Rivera, Uruguay.
- POWELL, M. J. D. **Approximation theory and methods.** New York: Cambridge, 1981.
- RAMALHO, J. V. A., Fernando, H. J., Brum, R. S., 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. 1–11, 2022.
- SOARES, G. A., DOMINGUES, A. M. B., RAMALHO, J. V. A., FERNANDO, H. J., Um código em Python para ajuste de dados periódicos de temperatura do solo. In: **ENCONTRO REGIONAL DE MATEMÁTICA APLICADA E COMPUTACIONAL DO RIO GRANDE DO SUL**, Pelotas, 2023.