



I CONGRESSO PERNAMBUCANO DE RECURSOS HÍDRICOS

Água para o Desenvolvimento
Recife, 24, 25 e 26 de Março de 2026

USO DE TERMOGRAFIA POR INFRAVERMELHOS PARA A DETECÇÃO DE RESSURGÊNCIAS SOB DIFERENTES CONDIÇÕES HIDROLÓGICAS

Maria Luíza Nunes Angelo^{1,2}, Mirella Veras Maciel^{1,2}, Jandira Noémia Domingos¹, Soheil Zehsaz¹, João L. M. P. de Lima¹, M. Isabel P. de Lima¹, Abelardo Antônio de Assunção Montenegro², Ana Virgínia Marinho Silveira²

1 Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil, Rua Luís Reis Santos, Pólo II, - Universidade de Coimbra, 3030-788 Coimbra, Portugal; s.zehsaz@dec.uc.pt; plima@dec.uc.pt; iplima@uc.pt2

2 Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Tecnologia Rural, Rua Dom Manoel de Medeiros S/N, Recife, PE, 52171-900, Brasil; mluizanunes.ambiental@gmail.com; mirellaverasambiental@gmail.com; montenegro.ufupe@gmail.com; marinho_av@hotmail.com

Palavras-chave: Traçador Térmico; Monitorização Térmica de Fluxos Hídricos; Variações Hidrodinâmicas.

INTRODUÇÃO

As ressurgências ocorrem quando líquidos subterrâneos, como a água, emergem para a superfície devido a fatores geológicos, hidrológicos e topográficos. Esses fenômenos influenciam a qualidade da água e a dinâmica dos ecossistemas ao alterar processos de infiltração, escoamento e transporte de sedimentos e solutos (Zehsaz et al., 2025). Sua detecção é essencial para a gestão hídrica e a preservação ambiental, permitindo monitorar fluxos hídricos e prevenir contaminações. Métodos tradicionais, como o uso de corantes, substâncias químicas e radioativas e sondagens, podem ser invasivos e impactar o ecossistema.

Nesse contexto, a termografia infravermelha surge como uma alternativa eficaz e sustentável, identificando ressurgências por meio das variações térmicas na superfície (Zehsaz et al., 2022). A detecção remota por câmeras térmicas torna o monitoramento mais acessível e eficiente, independentemente das condições climáticas ou do período do dia (Abrantes et al., 2016). Assim, o principal objetivo deste estudo foi de analisar o uso da termografia por infravermelhos para a detecção de ressurgências sob diferentes condições hidrológicas. Especificamente, buscou-se avaliar a influência das variáveis hidrológicas na dispersão térmica e na velocidade do fluxo de escoamento.

METODOLOGIA

O experimento foi desenvolvido em ambiente controlado no Laboratório de Hidráulica, Recursos Hídricos e Meio Ambiente da Universidade de Coimbra, com metodologia baseada em estudos realizados por De Lima (2014). A estrutura laboratorial utilizada apresenta um canal de escoamento (1,25 x 0,3 m) com uma camada de solo fina (arenoso-argiloso) na superfície de aproximadamente 10 cm de profundidade, e inclinação de 6%. O sistema funcionou com três fontes de alimentação de água: uma mangueira ligada ao ponto de saída, responsável por fornecer água com variações térmicas da ressurgência; um tanque de nível constante, que assegura um fluxo contínuo de água no canal, garantindo o escoamento superficial; e um simulador de chuva, localizado a 0,82 metros de distância horizontal do centro do canal estudado.

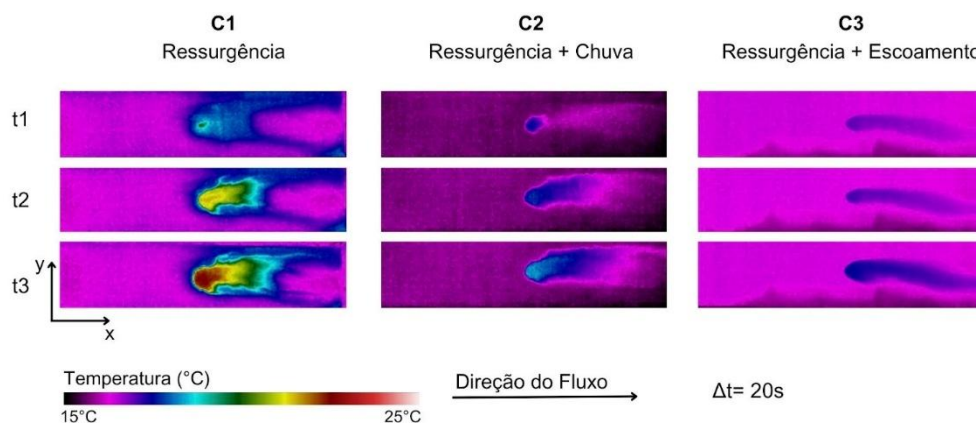
A monitorização do fluxo foi realizada por meio de uma câmera infravermelha (FLIR DUO Pro R), posicionada de forma fixa no mesmo local, acima da superfície estudada, permitindo a obtenção de imagens de toda a área do canal e análises conduzidas em tempo real com a mesma angulação. Os dados captados pela câmara foram processados com softwares especializados (Flir Tools e SketchAndCalc), possibilitando a análise do comportamento dos fluxos a partir do deslocamento do traçador térmico ao longo do canal e permitindo observar as diferentes variações de imagens devido à diferença de temperatura. Foram realizados experimentos que permitiram a análise de três cenários diferentes: Caudal de Ressurgência (C1), Caudal de Ressurgência e Chuva (C2) e Caudal de Ressurgência e Escoamento (C3).

Para a simulação da chuva, foi considerada uma intensidade (i) constante de 15,09 mm/h no canal e um caudal de escoamento também constante a montante (Q) de 0,0624 l/s. A ressurgência está situada a 6,25 m de distância a partir da montante. A câmara registou as variações térmicas associadas ao deslocamento do traçador, conforme ilustrado na Figura 1: Caudal de Ressurgência (C1), Caudal de Ressurgência e Chuva (C2) e Caudal de Ressurgência e Escoamento (C3).

RESULTADOS

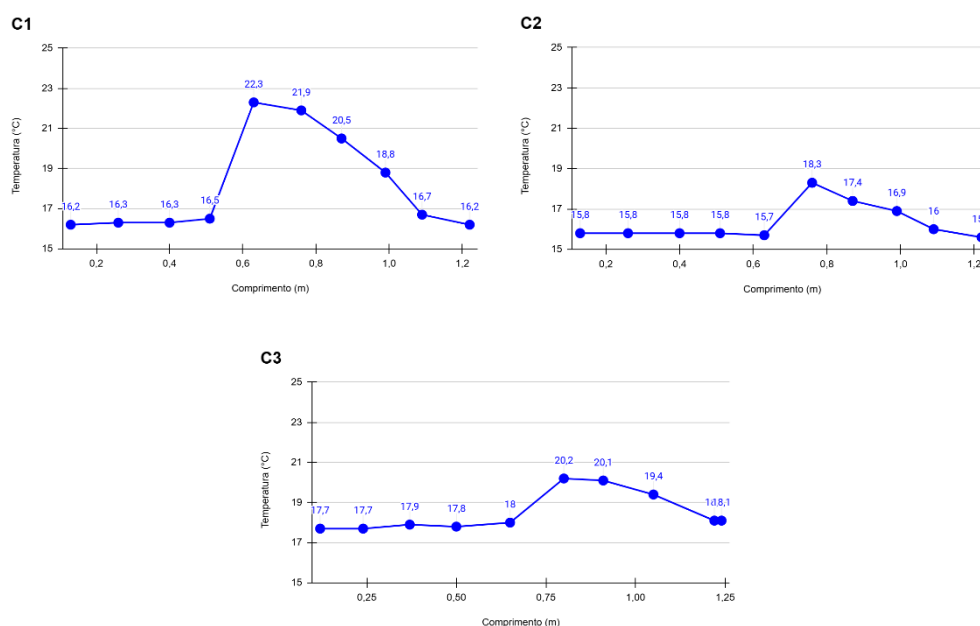
A Figura 1 mostra a pluma formada pelo traçador térmico em diferentes momentos ao longo do canal para compreender a ressurgência em cenários distintos ao decorrer do tempo ($t_1 = 20$ s, $t_2 = 30$ s e $t_3 = 40$ s). Observa-se que, no cenário com apenas o caudal de ressurgência, o traçador térmico é facilmente detectado, uma vez que não há influência de outras condições hidrológicas que poderiam reduzir a temperatura. Já no cenário com caudal de ressurgência e chuva a deteção do gradiente térmico ao longo do canal torna-se mais difícil, dado que ocorre de maneira similar no cenário de ressurgência e escoamento, indicando que diferentes condições hidrológicas de ressurgência junto a presença de chuva ou escoamento influenciam as estimativas da velocidade do fluxo no padrão de comportamento da pluma de escoamento resultante da junção desses fatores.

Figura 1 – Movimento do Traçador térmico no Fluxo de Escoamento ao longo do canal em diferentes cenários



A partir dessas imagens, foram geradas representações gráficas da evolução da temperatura ao longo do tempo nos diferentes cenários analisados, das seguintes análises: Caudal de Ressurgência (C1), Caudal de Ressurgência e Chuva (C2) e Caudal de Ressurgência e Escoamento (C3), conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Variação da temperatura do fluxo de escoamento de escala cromática que varia de 15° a 25°C ao longo do comprimento do canal(m) em dez pontos traçados em uma uma reta durante o trajeto percorrido.



Com base na Figura 2, observa-se que há variação da temperatura ao longo do canal nos diferentes cenários. Em todos eles, ao aproximar-se da região central do canal, onde ocorre a ressurgência, pode notar-se um aumento da temperatura. No cenário C1, a temperatura atingiu o valor máximo mais elevado, por outro lado, nos restantes cenários, como no caso de C2, a temperatura máxima foi mais baixa. Estes resultados indicam que as condições hidrológicas influenciam a estimativa da velocidade dos fluxos rasos. A precisão desta estimativa é maior em cenários estáveis, sem variações bruscas nas condições hidrológicas, uma vez que essas variações afetam diretamente a distribuição térmica do fluxo.

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos neste experimento, a utilização de traçadores térmicos para a deteção de ressurgências através da termografia infravermelha em diferentes condições hidrológicas demonstrou ser uma técnica viável e eficaz. Esta abordagem permite uma análise detalhada do comportamento das ressurgências através das variações térmicas, possibilitando a identificação de padrões de fluxo e da sua interação com o meio envolvente. Além disso, a metodologia apresentou boa precisão na captação das diferenças de temperatura, aliada a uma viabilidade operacional que facilita a sua aplicação em estudos ambientais e na monitorização hidrológica.

AGRADECIMENTOS

Os Autores gostariam de agradecer a Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra e a Universidade Federal Rural de Pernambuco pelo apoio recebido. J. N. Domingos agradece ao Instituto Nacional de Gestão de Bolsas de Estudo (INAGBE) de Angola e a Universidade do Namibe.

REFERÊNCIAS

- Abrantes, J. R.C.B., De Lima J. L. M. P., Prats, S. A., Keizer, J. J., (2016). Field Assessment of Soil Water Repellency Using Infrared Thermography.
- De Lima J. L. M. P., Abrantes J. R.C.B., Jr. V. P. S., & Montenegro, A. A.A., (2014). Prediction of skin surface soil permeability by infrared thermography: A soil flume experiment. Quantitative InfraRed Thermography Journal, v. 11, n. 2, p. 161-169, 2014.
- Zehsaz S., de Lima, J. L. M. P., de Lima, M. I. P., Isidoro J. M. G. P., & Martins, R., (2022). *Estimating Sheet Flow Velocities Using Quinine as a Fluorescent Tracer: Bare, Mulched, Vegetated and Paved Surfaces*. Agronomy 2022, 12, 2687. <https://doi.org/10.3390/agronomy12112687>.
- Zehsaz, S., de Lima, J. L. M. P., de Lima, M. I. P., Almeida, T. A. B., de Lima, R. L. P., & Montenegro, A. A.A., (2025). *Comparing Above and Underwater Visibility of Fluorescent Quinine-Based Liquid and Solid Tracers to Estimate Suspended Sediment Concentrations Under Low Luminosity Conditions*. Sensing and Imaging (2025) 26:10 <https://doi.org/10.1007/s11220-024-00529-7>.