

OTIMIZAÇÃO DE IMAGENS TÉRMICAS DE BAIXO CUSTO PARA A DETECÇÃO DE STRESS EM PLANTAS



de materiais e mais recentemente na agricultura, para o diagnóstico precoce de alterações na temperatura das plantas que sejam indicativas de algum tipo de stress. Isto é possível pois detetam a radiação no espectro do infravermelho distante (**Figura 1**) e conseguem traduzir em imagens o que não conseguimos observar a olho, sem o auxílio de lentes ou de outros instrumentos óticos.

«A termografia (...), tem ganho espaço desde as áreas da saúde, desenvolvimento de materiais e mais recentemente na agricultura (...).»

Raquel Saraiva^{1,2,3}, Artur Saraiva^{1,2,3}

Gonçalo C. Rodrigues^{1,2}

Quirina Ferreira⁴, Margarida Oliveira^{2,3,5}

¹ Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa

² Linking Landscape, Environment, Agriculture and Food Research Center (LEAF), Associate Laboratory TERRA, Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa

³ UIIPS, Escola Superior Agrária, Instituto Politécnico de Santarém

⁴ NOVA Medical School, Faculdade de Ciências Médicas, Universidade Nova de Lisboa

⁵ Life Quality Research Centre (CIEQV)

comprovado pela boa correlação verificada entre este sensor e um sensor profissional habitualmente utilizado na monitorização de culturas agrícolas.

Palavras-chave: calibração de sensores; câmaras termográficas; condução estomática, tecnologias de monitorização; termografia.

INTRODUÇÃO

A agricultura de precisão está na ordem do dia. Todos os sensores e as novas camadas de informação que fornecem para a gestão das culturas aproximam-nos, quando bem utilizados, da melhor forma de gestão que a cultura agrícola pode ter. A experiência do produtor é fundamental e aliada a novas fontes de informação auxilia na precocidade de deteção de problemas e de resposta aos mesmos.

As plantas controlam a sua temperatura através de regulação estomática. Os estomas abrem quando a planta está a transpirar, reduzindo a sua temperatura. Em oposição, quando estão sob algum tipo de stress, fecham os estomas e a sua temperatura aumenta. A termografia por infravermelhos (IR, do inglês *Infrared*) é atualmente uma tecnologia bem estabelecida para o estudo das respostas estomáticas (Jones *et al.*, 2009). A termografia, ou a utilização de câmaras térmicas, tem ganho espaço desde as áreas da saúde, desenvolvimento

Existem diversas câmaras no mercado, sendo que as mais utilizadas para a agricultura são as que podem ser acopladas a drones. Os drones com capacidade de transportar estes sensores térmicos têm que ter uma capacidade de carga mais elevada e as câmaras apresentam um custo considerável. No entanto, constitui-se como um método expedito e não invasivo, que proporciona informação importante nas áreas de fisiologia vegetal, gestão de rega, avaliação do estado de maturação e previsão de rendimento de produção, podendo ainda detetar lesões em frutos ou danos causados por microrganismos (Jones *et al.*, 2009; Martins, 2020; Saraiva *et al.*, 2022).

As câmaras termográficas são úteis a diversas escalas, desde as plântulas até à totalidade do campo de cultivo (Costa *et al.*, 2013) e assim, várias câmaras de utilização manual estão também presentes no mercado a custos mais reduzidos. Os desafios da sua utilização passam pela otimização dos parâmetros dos sensores para os objetivos pretendidos, a variabilidade ambiental, tal como a intensidade da luz, a temperatura, etc, e ainda pela validação dos resultados (Costa *et al.*, 2013). Assim, este estudo foi realizado com o objetivo de otimizar os parâmetros operacionais de utilização da câmara *low*

RESUMO

As câmaras térmicas são úteis em diversas escalas, quer ao nível da planta, da parcela ou da exploração. Estas metodologias inovadoras, expeditas, fiáveis e económicas, são capazes de evidenciar problemas precocemente e podem contribuir para a correção de stress nas plantas e resiliência das culturas. Vários fatores ambientais e de configuração afetam a qualidade dos dados obtidos, influenciando o resultado e a validade da informação. Assim, este estudo foi realizado por forma a otimizar os parâmetros operacionais de utilização de uma câmara manual, *low cost*, *Flir One Pro* para a deteção de stress em plantas, à germinação e em condições reais de campo. Apesar de ser um sensor de baixo custo, foram obtidos resultados promissores nos ensaios realizados, o que é também



cost *Flir One Pro* para a detecção de stress em plantas, à germinação. Este sensor de baixo custo parece promissor pela elevada correlação de medições, obtida num estudo anterior, com a câmara *Micasense Altun* acoplada em drone (Saraiva *et al.*, 2022).

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o estudo da otimização do uso da câmara térmica para a detecção de stress na germinação foi utilizada a câmara de imagem térmica *Flir One Pro* (Teledyne FLIR, Arlington, VA, EUA) (**Figura 2**), ligada a um *smartphone android* e acedida através da aplicação “*Flir one*”. As especificações da câmara são apresentadas na **Tabela 1** (Porras, 2015). Neste trabalho, são exploradas as potencialidades deste sensor para a detecção de stress em plantas, em condições controladas (à germinação) e no campo (condições reais), tendo-se analisado as diferentes definições permitidas pela câmara e pela aplicação.

TABELA 1. Características da câmara termográfica *Flir One Pro*.

Características	
Tamanho do pixel	12 μ m
Gama espectral	8 – 14 μ m
Gama de temperatura	-20 – 400 °C
Resolução	19 200 pixels (160 x 120)
Precisão	$\pm$ 3 °C

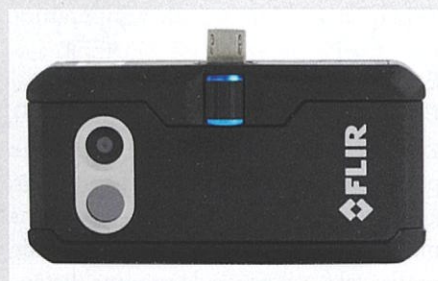


FIGURA 2. Câmara termográfica *Flir One Pro*.



FIGURA 3. Fotografia RGB.

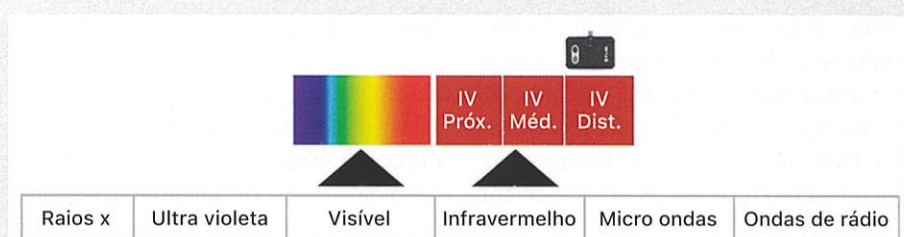


FIGURA 1. Espectro eletromagnético simplificado e banda de absorção da *Flir One Pro*.

TABELA 2. Ensaio de gamas de temperatura. ϵ = emissividade; h = altura da medição.

Cor	$\epsilon = 0,95$ Gama: -20–120 °C h = 14,5 cm	$\epsilon = 0,95$ Gama: 0–400 °C h = 14,5 cm
Ferro		
Cinzentos		
Arco-Íris		
Contraste		
Ártico		
Lava		
Roda		
Mais Frio		
Mais Quente		

TABELA 3. Ensaio da distância de medição. ϵ = emissividade; h = altura da medição.

Cor	$\epsilon = 0,95$ Gama: -20–120 °C h = 14,5 cm	$\epsilon = 0,95$ Gama: -20–120 °C h = 9 cm
Ferro		
Cinzentos		
Arco-Íris		
Contraste		
Ártico		
Lava		
Roda		
Mais Frio		
Mais Quente		



Como ensaios iniciais foram realizadas quatro modalidades: 1) Ensaio de gamas de temperatura; 2) Ensaio da distância de medição; 3) Ensaio de emissividades. Para todos os ensaios foram obtidas imagens em todas as opções de cor disponíveis; e 4) Ensaio em condições

reais – comparação com imagem térmica obtida por drone. As imagens foram obtidas no mesmo dia e com temperatura da sala de $24,2^{\circ}\text{C} \pm 1,0^{\circ}\text{C}$. A emissividade a utilizar deve ser semelhante à do material a estudar, sendo uma medida da eficiência com que o material erradia calor.

Assim os ensaios 1) e 2) foram realizados com emissividade mate (0,95), a mais adequada às plantas. Paralelamente realizou-se o ensaio 3) para despistar o efeito da emissividade escolhida. Para efeito de avaliação das imagens, inicialmente foi recolhida a imagem RGB do vaso a analisar (**Figura 3**).

O ensaio 4) teve como objetivo avaliar a utilidade desta tipologia de sensor portátil de baixo custo, em condições reais de campo, foi feita a comparação da temperatura obtida em duas videiras com diferentes níveis de stress hídrico. A temperatura média obtida para as duas videiras foi depois comparada com o resultado proveniente da monitorização por drone, com o sensor *Micasense Altum*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ensaio gamas de temperatura

Para a mesma emissividade ($\epsilon=0,95$) e para a mesma gama de temperatura, a opção de cor com melhor resultado é a “contraste”, sendo que a aquisição de imagens em mais do que uma opção de cor é vantajosa para a obtenção de informação adicional (**Tabela 2**).

A utilização da gama de temperatura $-20 - 120^{\circ}\text{C}$ é, como esperado, mais adequada para as medições realizadas do que a gama: $0 - 400^{\circ}\text{C}$. Nesta última perde-se precisão, não sendo tão perceptíveis as pequenas diferenças de temperatura.

Ensaio de distância ao solo

Para a mesma emissividade ($\epsilon=0,95$), gama de temperatura ($-20 - 120^{\circ}\text{C}$) e para todas as opções de cor disponíveis, a menor distância ao solo resulta numa maior definição da imagem obtida, sendo preferível a utilização da mínima distância possível. A opção de cor “contraste” revela-se novamente como a mais promissora pelo maior destaque dado às plantas em germinação (**Tabela 3**).

Ensaio de emissividades

Apesar de a $\epsilon=0,95$ ser a mais adequada e a recomendada por *default*, por ser a mais parecida com a superfície das plantas, no ensaio 3) foram testados todos os modos de emissividade possíveis com o equipamento utilizado: $\epsilon=0,95$; $\epsilon=0,80$; $\epsilon=0,60$; e $\epsilon=0,30$ (**Tabela 4**). Os resultados para a mesma gama de temperatura

TABELA 4. Ensaio de emissividades. ϵ = emissividade; h = altura da medição.

Cor	$\epsilon = 0,95$ (mate) Gama: $-20 - 120^{\circ}\text{C}$ h = 14,5 cm	$\epsilon = 0,80$ (semi-mate) Gama: $-20 - 120^{\circ}\text{C}$ h = 14,5 cm	$\epsilon = 0,60$ (semi-brilhante) Gama: $-20 - 120^{\circ}\text{C}$ h = 14,5 cm	$\epsilon = 0,30$ (brilhante) Gama: $-20 - 120^{\circ}\text{C}$ h = 14,5 cm
Ferro				
Cinzentos				
Arco-Íris				
Contraste				
Ártico				
Lava				
Roda				
Mais Frio				
Mais Quente				

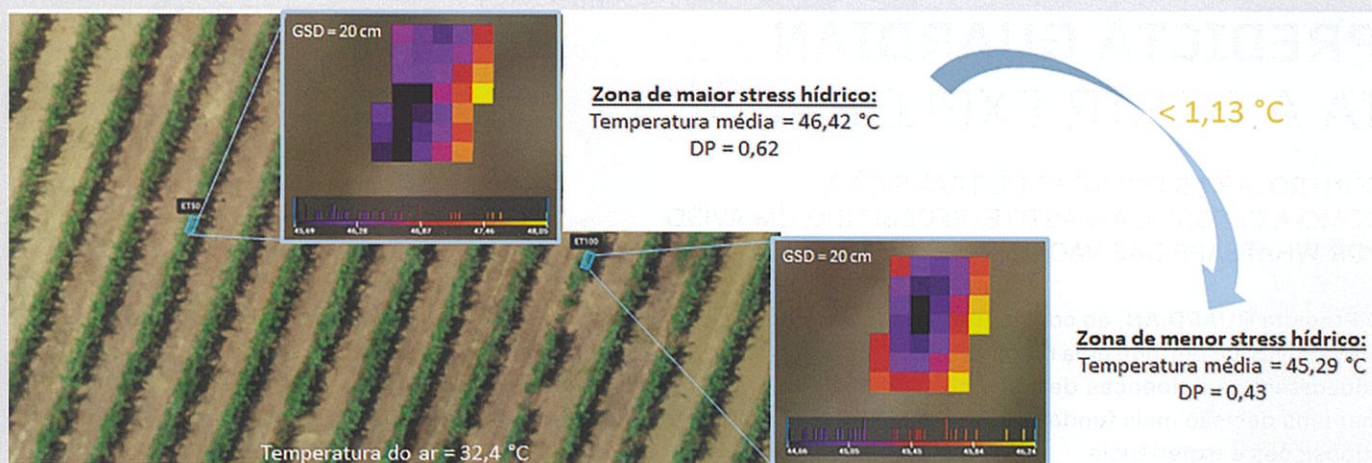


FIGURA 4. Resultados da monitorização da temperatura por drone com o uso do sensor *Micasense Altum*.

(-20–120 °C), confirmam que esta é a melhor opção apesar de a opção semi-mate também apresentar bons resultados na opção de cor “contraste”. Fazendo a análise por opção de cor verifica-se a perda da capacidade de deteção das plantas com a diminuição da emissividade utilizada. Observa-se, assim, maior deteção para $\epsilon=0,95$ e menor para $\epsilon=0,30$ para todas as opções de cor disponíveis.

Ensaio em condições reais – comparação com imagem térmica obtida por drone

Para efeitos de comparação entre sensores, foi realizada a medição da temperatura média de duas videiras com diferentes níveis de stress hídrico. A medição da temperatura foi feita através de drone, tendo-se posteriormente comparado os valores médios obtidos com os provenientes da *Flir One Pro*. Na **Figura 4** são apresentados os valores médios de temperatura obtidos para as duas videiras, verificando-se uma diferença de temperatura de 1,13 °C, estando a maior temperatura associada à planta com menor transpiração/menor stress hídrico. A temperatura média obtida por drone, resultante da projeção horizontal da planta, foi depois comparada com a temperatura média obtida pelo sensor portátil, resultante da projeção vertical da planta. Os resultados obtidos demonstram a existência de uma boa correlação entre a temperatura obtida pelos dois sensores/projeções da planta, embora se verifique uma temperatura média inferior em 5,6 °C, nas projeções verticais obtidas (**Figura 5**), o que seria de esperar dada a existência de zonas en-

sombradas nesta projeção relativamente às imagens obtidas por drone.

CONCLUSÕES

Para as condições operacionais estudadas a opção de cor “contraste” revelou ser a opção de cor mais adequada, obtendo os melhores resultados nos três ensaios realizados em condições controladas, sendo a mais promissora na deteção de alterações nas plantas à germinação. No entanto, caso seja possível, a obtenção de imagens em diferentes gamas de cor pode revelar informação adicional relevante. Devido às características do sensor de baixo custo, a determinação do stress só foi possível após a diferenciação da primeira folha. A menor distância ao alvo é preferível, sempre que possível, dada a reduzida resolução destes sensores. No quarto ensaio, em condições reais, foi possível obter uma boa correlação entre este sensor e um sensor habitualmente utilizado na monitorização de culturas por drone, demonstrando a relevância e utilidade destes novos sensores portáteis de baixo custo. As leituras de superfícies de referência “húmida” e “seca”, como sugerido por Pradawet *et al.* (2023), obtidas ao mesmo tempo que as imagens térmicas, são um dos próximos passos para a otimização deste sensor.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia no âmbito da bolsa de doutoramento 2020.06559. BD de Raquel Saraiva, projeto PTDC/CTM-REF/2679/2020, UIDB/04462/2020, no âmbito do projeto Nanofert e no âmbito do projeto LEAF-Linking Landscape, Environment, Agriculture and Food Research Unit, UIDB/04129/2020.

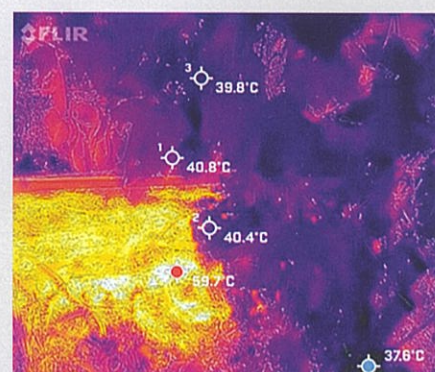


FIGURA 5. Exemplo da projeção vertical da videira com o uso do sensor *Flir One Pro*.

BIBLIOGRAFIA

- Costa, M.; Grant, O.; Chaves, M. (2013). Thermography to explore plant-environment interactions. *Journal of experimental botany*, 64. 10.1093/jxb/ert029.
- Jones, H.; Serraj, R.; Loveys, B.; Xiong, L.; Wheaton, A.; Price, A. (2009). Thermal infrared imaging of crop canopies for remote diagnosis and quantification of plant responses to water stress in the field. *Functional Plant Biology*, 36, 10.1071/FP09123.
- Martins, J. (2020). Sistema de análise de stress hídrico para aplicação em vinha suportado por dones, Dissertação de mestrado, Disctetado Universitário de Lisboa.
- Porras, M. (2015). FLIR Thermal Imaging Cameras Reveal the Secrets of Coexisting Insects, Departments of Entomology and Ecology at Penn State University.
- Pradawet, C.; Khongdee, N.; Pansak, W.; Spreer, W.; Hilger, T.; Cadisch, G. (2023). Thermal imaging for assessment of maize water stress and yield prediction under drought conditions. *Journal of agronomy and crop sciences*, doi.org/10.1111/jac.12582.
- Saraiva, A.; Saraiva, R.; Oliveira, M. (2022). O uso de imagens térmicas na previsão do stress hídrico na vinha. IV CNESA, Escola Superior Agrária de Santarém.