



INSTITUTO POLITÉCNICO  
DE VIANA DO CASTELO

Fernando Tomé Portela

AVALIAÇÃO DO USO DA TERMOGRAFIA  
AÉREA PARA O CÁLCULO DO ÍNDICE DE  
STRESS HÍDRICO NA CULTURA DA *VITIS*  
*VINIFERA* L. CV. LOUREIRO

Mestrado em Engenharia Agronómica

Trabalho efetuado sob a orientação de  
Professor Doutor Cláudio Alexandre da Costa Araújo Paredes  
Professora Doutora Maria Isabel Valín Sanjiao

Novembro de 2021



As doutrinas expressas neste  
trabalho são da exclusiva  
responsabilidade do autor.



**Tese de Mestrado desenvolvida no âmbito do:**

Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER) através do Programa Operacional Regional Norte 2020, no âmbito do Projeto Tecnologia, Ambiente, Criatividade e Saúde, Norte-01-0145-FEDER-000043.



# ÍNDICE

RESUMO .....	v
ABSTRACT .....	vii
AGRADECIMENTOS .....	ix
LISTA DE FIGURAS .....	xi
LISTA DE QUADROS .....	xvii
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS .....	xix
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. Enquadramento .....	1
1.2. Objetivos .....	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. A viticultura portuguesa e as alterações climáticas.....	3
2.1.1 Importância da viticultura em Portugal.....	3
2.1.2. Viticultura de precisão .....	4
2.1.3. Adaptação da viticultura aos novos cenários de alteração climática.....	7
2.2. A rega da vinha e as necessidades hídricas .....	8
2.3. O uso da sensorização no apoio à estimação da disponibilidade hídrica no solo e na planta.....	12
2.4. Uso e aplicação da termografia .....	15
2.4.1. História da termografia.....	15
2.4.2. Conceitos da termografia infravermelha .....	16
2.4.3. Aplicações da termografia.....	21
2.5. Veículos aéreos não tripulados e o seu uso na agricultura.....	23
2.5.1. Tipologia dos veículos aéreos não tripulados.....	24
2.5.2. Aplicações dos VANT.....	25
2.5.3. Os VANT na agricultura .....	26
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	29

3.1. Enquadramento e delineamento experimental.....	29
3.1.1. Definição de unidades homogéneas .....	31
3.2. Caracterização do meio físico .....	32
3.2.1. Fisiografia.....	33
3.2.2. Caracterização edafo-climática .....	33
3.2.3. Caracterização do solo e aptidão da terra .....	34
3.3. Plataformas aéreas e sensores utilizados.....	35
3.4. Cálculo do <i>Crop Water Stress Index</i> (CWSI) e potencial hídrico de ramo ..	41
3.4.1. Processamento das imagens obtidas com sensor aéreo .....	43
3.4.2. Cálculo do potencial hídrico de ramo.....	47
3.5. Validação da informação.....	47
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS .....	49
4.1. Caracterização das unidades homogéneas.....	49
4.2. Caracterização do meio físico .....	50
4.2.1. Fisiografia.....	50
4.2.2. Caracterização edafo-climática .....	53
4.2.3. Caracterização do solo e aptidão de terra .....	54
4.3. Potencial hídrico de ramo e CWSI ( <i>Crop Water Stress Index</i> ).....	56
4.3.1. Teor de água no solo e potencial hídrico de ramo.....	56
4.3.2. Temperatura da canópia .....	59
4.3.3. CWSI - índice de stress da cultura .....	70
4.4. Validação de dados .....	88
4.4.1. CWSI aéreo VS Potencial hídrico de ramo ( $\Psi_{st}$ ).....	88
4.4.2. CWSI aéreo VS CWSI portátil .....	91
5. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES .....	95
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	99



## RESUMO

O CWSI (Crop Water Stress index) é um dos índices mais usados para a análise do stress hídrico das culturas, tendo por base a termografia portátil. No entanto a metodologia atual torna-se inviável para o cálculo em larga escala, atendendo não só ao custo em tempo de trabalho, mas também ao facto de ser um processo invasivo que caso seja alongado no tempo, poderá colocar em causa aspetos produtivos. O presente trabalho teve como objetivos: i) estimar a capacidade do uso de um VANT (Veículo aéreo não tripulado) no cálculo e espacialização do CWSI ii) comparar os valores de CWSI obtidos através de câmara termográfica aérea e câmara térmica portátil e iii) relacionar o potencial hídrico de ramo com o CWSI obtido de forma aérea, para avaliar o seu uso.

O trabalho foi desenvolvido durante o ciclo fenológico de 2021 numa parcela de vinha, em Ponte de Lima da casta Loureiro. Foram recolhidos dados de temperatura a partir de câmara térmica aérea e portátil. Na parcela implementaram-se três estratégias de rega: i) sem rega, ii) rega deficitária e iii) rega total, realizando-se uma monitorização do potencial hídrico de ramo, do teor de água no solo e da evapotranspiração da cultura.

A monitorização do CWSI portátil foi realizada diretamente na canópia, através das temperaturas de referência ( $T_{dry}$ ,  $T_{wet}$  e  $T_c$ ). O cálculo do CWSI aéreo foi realizado através de três modelos: i) o CWSI estatístico, onde o  $T_{dry}$  e  $T_{wet}$  foram estimados pela média de 1% dos valores extremos de temperatura; ii) o CWSI normal, medindo diretamente as temperaturas de referência  $T_{dry}$  e  $T_{wet}$ ; iii) o CWSI temperatura do ar, onde foram registadas as temperatura do ar ( $T_{ar}$ ) + 7°C no  $T_{dry}$ , e a média dos 33% valores mais baixos no  $T_{wet}$ , onde nestes três modelos o valor do  $T_c$  correspondia ao valor da temperatura em cada pixel da imagem térmica aérea. Os resultados obtidos, mostraram que é possível estimar o CWSI (índice de stress da cultura), a partir do cálculo das temperaturas da canópia, sendo de igual forma possível espacializar o CWSI quando obtido a partir de termografia aérea. Dos três modelos avaliados, verificou-se que o CWSI estatístico ( $R^2=0,75$ ), relativamente aos restantes modelos, tem potencial acrescido para avaliar o stress hídrico da cultura quando comparado com o potencial hídrico do ramo. O CWSI estatístico aéreo, pode estimar o CWSI comparativamente ao obtido com sensor portátil ( $R^2=0,68$ ).

**Palavras-chave:** Viticultura de Precisão, Veículo aéreo não tripulado, imagens térmicas, CWSI portátil e CWSI aéreo.

Novembro de 2021



## **ABSTRACT**

The CWSI (Crop Water Stress Index) is one of the most widely used indices for the analysis of crop water stress, based on portable thermography. However, the current methodology becomes unfeasible for large-scale calculation, given not only the cost in working time, but also the fact that it is an invasive process that, if extended in time, could jeopardize productive aspects. The present work had as objectives: i) to estimate the capacity of the use of a UAV (Unmanned Aerial Vehicle) in the calculation and spatialization of the CWSI ii) to compare the values of CWSI obtained through aerial thermographic camera and portable thermal camera and iii) to relate the hydric potential of branch with the CWSI obtained aerially, to evaluate its use.

The work was developed during the phenological cycle of 2021 in a vineyard plot in Ponte de Lima of the Loureiro variety. Temperature data were collected from aerial and portable thermal camera. Three irrigation strategies were implemented in the plot: i) no irrigation, ii) deficit irrigation and iii) total irrigation, monitoring branch water potential, soil water content and crop evapotranspiration.

Portable CWSI monitoring was carried out directly in the canopy, through the reference temperatures ( $T_{dry}$ ,  $T_{wet}$  and  $T_c$ ). The calculation of the airborne CWSI was performed through three models: (i) the statistical CWSI, where  $T_{dry}$  and  $T_{wet}$  were estimated by the average of 1% of the extreme temperature values; (ii) the normal CWSI, directly measuring the reference temperatures  $T_{dry}$  and  $T_{wet}$ ; (iii) the air temperature CWSI, where the air temperature ( $T_{ar}$ ) + 7°C were recorded in  $T_{dry}$ , and the average of the 33% lowest values in  $T_{wet}$ , where in these three models the value of  $T_c$  corresponded to the value of the temperature in each pixel of the aerial thermal image.

The results obtained, showed that it is possible to estimate the CWSI (crop stress index), from the calculation of the canopy temperatures, being equally possible to spatialize the CWSI when obtained from aerial thermography. Of the three models evaluated, it was found that the statistical CWSI ( $R^2=0,75$ ), relative to the other models, has increased potential to assess crop water stress when compared to the branch water potential. The aerial statistical CWSI, can estimate the CWSI comparatively to the one obtained with handheld sensor ( $R^2=0,68$ ).

**Keywords:** Precision viticulture, Unmanned aerial vehicle, thermal imagery, handheld CWSI and airborne CWSI.

November 2021



## **AGRADECIMENTOS**

A elaboração do presente trabalho não teria sido possível sem a colaboração e apoio de diversas pessoas. Perante isto gostaria de expressar a minha gratidão e apreço, por essas pessoas, que de forma direta e indireta me ajudaram no meu percurso académico.

Em primeiro gostaria de agradecer aos meus pais pelo grande esforço que fizeram para me proporcionar as condições necessárias para que conseguisse realizar este passo a realização do mestrado, á minha irmã pelo apoio e incentivo na realização do mestrado.

Ao orientador Professor Doutor Cláudio Alexandre da Costa Araújo Paredes, pela disponibilidade, e apoio que demonstrou ao longo da realização da dissertação, e acima de tudo pela confiança que demonstrou.

Á coorientadora Professora Doutora Maria Isabel Valín Sanjiao pela confiança, reconhecimento e disponibilidade que demonstrou ao longo dos anos desde o CTESP até ao mestrado.

Á Professora Susana Mendes pela confiança que demonstrou ao longo dos trabalhos de campo.

Agradeço à Escola Superior Agrária de Ponte de Lima do Instituto Politécnico de Viana do Castelo, e aos docentes que lecionam o curso de mestrado, pelas competências e conhecimentos que me transmitiram durante este percurso académico, que culminaram na elaboração desta dissertação.

Á Margarida Gonçalves pelo incentivo, ajuda e apoio durante todo o meu percurso académico.

Os amigos que estiveram presentes durante o presente mestrado, no qual pretendo realçar Cristiano Brás, Bruno Carvalho, Cláudia Correia, Luís Carlos, Alexandre Monteiro, Rui Silva e Carlos Marques. Á equipa de campo Nancy Sousa e ao Simão Silva pelo apoio dado durante todo o processo da captura de dados.

A todos o meu muito obrigado.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 2.1-</b> Preparação da folha da videira para as técnicas de termografia: <b>A-</b> Folha com Vaselina. <b>B-</b> Folha com água.....	15
<b>Figura 2.2-</b> Gráfico demonstrativo dos diferentes comprimentos de onda com o realce para o infravermelho (Adaptado de Messina, 2020). .....	17
<b>Figura 2.3-</b> Desenho demonstrativo dos fatores que estão presentes na captação de imagens térmicas de solo (adaptado de Vidal e Pitarma, 2019). .....	20
<b>Figura 3.1-</b> Localização da área do estudo (google mapas, ano da imagem 2021).....	29
<b>Figura 3.2-</b> Localização das estratégias de rega: Rega Total (RT, cor verde); Rega Deficitária (RD, cor azul) e Sem Rega (SR, cor vermelha) e dos tubos de acesso para as leituras do teor de água no solo ( $T_n$ ). .....	30
<b>Figura 3.3-</b> Localização de cada um dos blocos: <b>A-</b> Localização das catorze videiras por estratégia (RT, RD, SR). <b>B-</b> Localização dos tubos por estratégia. ....	31
<b>Figura 3.4-</b> Drone DJI Matrice 210. ....	37
<b>Figura 3.5-</b> Câmera térmica aérea Zenmuse XT2. ....	38
<b>Figura 3.6-</b> Câmera térmica de solo Flir® E75. ....	39
<b>Figura 3.7-</b> Câmera de pressão: <b>A-</b> Câmera de pressão PMS Model 600. <b>B-</b> Botija de Nitrogênio e equipamento necessário.....	39
<b>Figura 3.8-</b> <b>A-</b> Recetor SP60 incorporado no bastão de 2m de altura e MobileMapper50; <b>B-</b> Smartphone MobileMapper50.....	40
<b>Figura 3.9-</b> Software de processamento das imagens térmicas portáteis captados no solo. <b>A-</b> O local da medição da temperatura para os diferentes $T_c$ , $T_{wet}$ e $T_{dry}$ ; <b>B-</b> os valores do máximo, mínimo e a média das zonas descritas anteriormente.....	41
<b>Figura 3.10-</b> Rota do VANT ao longo da parcela representada na cor preta. Fonte Plano de voo no crystalsky (monitor de visualização). .....	44
<b>Figura 3.11-</b> Esquema da construção da ortoimagem. ....	45
<b>Figura 3.12-</b> Processo da Segmentação das imagens RGB, com a obtenção dos polígonos; <b>A-</b> resultado da segmentação com os polígonos ao longo da parcela; <b>B-</b> processo de remoção da entre linha; <b>C-</b> Polígonos relativos a canópia.....	45

<b>Figura 3.13-</b> Esquema do processamento das imagens aéreas até as três vertentes do CWSI. .....	46
<b>Figura 4.1-</b> As áreas homogêneas tendo por base a cartas de solos, estando representadas as estratégias ao longo da mesma; o retângulo a vermelho a sem rega; o retângulo azul a rega deficitária; e o retângulo verde a rega total. ....	50
<b>Figura 4.2-</b> Curvas de nível da parcela tendo por base um levantamento feito por VANT; o retângulo a vermelho a sem rega; o retângulo azul a rega deficitária; e o retângulo verde a rega total. ....	51
<b>Figura 4.3- A-</b> Mapa da exposição consoante as curvas de nível; <b>B-</b> mapa do risco consoante o seu declive. ....	53
<b>Figura 4.4-</b> Gráfico da variação da temperatura durante os levantamentos. ....	54
<b>Figura 4.5-</b> Mapas dos principais fatores analisados; <b>A-</b> Espessura efetiva do solo; <b>B-</b> Quantidade de água utilizável; <b>C-</b> Subunidades do solo; e <b>D-</b> Fertilidade do solo. ....	55
<b>Figura 4.6-</b> Quadro do teor de água no solo nas diferentes estratégias; <b>SR-</b> Sem Rega; <b>RD-</b> Rega Deficitária e a <b>RT-</b> Rega Total. ....	57
<b>Figura 4.7-</b> Valor da temperatura ao longo da canópia da estratégia de rega completa DOY 182 (01/07). ....	59
<b>Figura 4.8-</b> Variação da temperatura (°C) do DOY 182 (01/07) ao longo da área de estudo segundo os locais das estratégias: <b>RD-</b> rega deficitária; <b>SR-</b> Sem rega e a <b>RT-</b> Rega total. ....	60
<b>Figura 4.9-</b> Histograma da temperatura (°C) do DOY 182 (01/07) agrupado por quartis, com a média a tracejado segundo a estratégia: <b>RD-</b> rega deficitária; <b>SR-</b> Sem rega e a <b>RT-</b> Rega total. ....	61
<b>Figura 4.10-</b> Variação da temperatura do DOY 190 (09/07) ao longo da área de estudo segundo os locais das estratégias: <b>RD-</b> rega deficitária; <b>SR-</b> Sem rega e a <b>RT-</b> Rega total. ....	62
<b>Figura 4.11-</b> Histograma da temperatura (°C) do DOY 190 (09/07) agrupado por quartis, com a média a tracejado segundo a estratégia: <b>RD-</b> rega deficitária; <b>SR-</b> Sem rega e a <b>RT-</b> Rega total. ....	63
<b>Figura 4.12-</b> Variação da temperatura do DOY 194 (13/07) ao longo da área de estudo segundo os locais das estratégias. <b>RD-</b> rega deficitária; <b>SR-</b> Sem rega e a <b>RT-</b> Rega total. ....	64



<b>Figura 4.13-</b> Histograma da temperatura (°C) do DOY 194 (13/07) agrupado por quartis, com a média a tracejado segundo a estratégia: <b>RD-</b> rega deficitária; <b>SR-</b> Sem rega e a <b>RT-</b> Rega total. ....	65
<b>Figura 4.14-</b> Variação da temperatura do DOY 210 (29/07) ao longo da área de estudo segundo os locais das estratégias. <b>RD-</b> rega deficitária; <b>SR-</b> Sem rega e a <b>RT-</b> Rega total. ....	66
<b>Figura 4.15-</b> Histograma da temperatura (°C) do DOY 210 (29/07) agrupado por quartis, com a média a tracejado segundo a estratégia: <b>RD-</b> rega deficitária; <b>SR-</b> Sem rega e a <b>RT-</b> Rega total. ....	67
<b>Figura 4.16-</b> Variação da temperatura do DOY 224 (12/08) ao longo da área de estudo segundo os locais das estratégias. <b>RD-</b> rega deficitária; <b>SR-</b> Sem rega e a <b>RT-</b> Rega total. ....	68
<b>Figura 4.17-</b> Histograma da temperatura (°C) do DOY 210 (29/07) agrupado por quartis, com a média a tracejado segundo a estratégia: <b>RD-</b> rega deficitária; <b>SR-</b> Sem rega e a <b>RT-</b> Rega total. ....	69
<b>Figura 4.18-</b> O CWSI aéreo do DOY 182 (01/07), consoante o método estatístico, normal e da Temperatura do ar. Estando agrupados segundo as estratégias; <b>RD-</b> Rega deficitária; <b>SR-</b> Sem Rega e a <b>RT-</b> Rega Total. ....	73
<b>Figura 4.19-</b> Histograma das três vertentes do CWSI relativos ao DOY 182 (01/07), agrupado por quartis, com a media a tracejado segundo a estratégia: <b>RD-</b> rega deficitária; <b>SR-</b> Sem rega e a <b>RT-</b> Rega total. ....	74
<b>Figura 4.20-</b> O CWSI aéreo do DOY 190 (09/07), consoante o método estatístico, normal e da Temperatura do ar. Estando agrupados segundo as estratégias de <b>RD-</b> rega deficitária; <b>SR-</b> Sem Rega e a <b>RT-</b> Rega Total. ....	76
<b>Figura 4.21-</b> Histograma das três vertentes do CWSI relativos ao DOY 190 (09/07), agrupado por quartis, com a média a tracejado segundo a estratégia: <b>RD-</b> rega deficitária; <b>SR-</b> Sem rega e a <b>RT-</b> Rega total. ....	77
<b>Figura 4.22-</b> O CWSI aéreo do 194 (13/07), consoante o método estatístico, normal e da Temperatura do ar. Estando agrupados segundo as estratégias de <b>RD-</b> rega deficitária; <b>SR-</b> Sem Rega e a <b>RT-</b> Rega Total. ....	79
<b>Figura 4.23-</b> Histograma das três vertentes do CWSI relativos ao DOY 194 (13/07), agrupado por quartis, com a média a tracejado segundo a estratégia: <b>RD-</b> rega deficitária; <b>SR-</b> Sem rega e a <b>RT-</b> Rega total. ....	80

<b>Figura 4.24-</b> O CWSI aéreo do 210 (29/07), consoante o método estatístico, normal e da Temperatura do ar. Estando agrupados segundo as estratégias de <b>RD-</b> Rega deficitária; <b>SR-</b> Sem Rega e a <b>RT-</b> Rega Total.....	82
<b>Figura 4.25-</b> Histograma das três vertentes do CWSI relativos ao DOY 210 (29/07), agrupado por quartis, com a média a tracejado segundo a estratégia: <b>RD-</b> Rega deficitária; <b>SR-</b> Sem rega e a <b>RT-</b> Rega total. ....	83
<b>Figura 4.26-</b> O CWSI aéreo do 224 (12/08), consoante o método estatístico, normal e da Temperatura do ar. Estando agrupados segundo as estratégias de <b>RD-</b> Rega deficitária; <b>SR-</b> Sem Rega e a <b>RT-</b> Rega Total.....	85
<b>Figura 4.27-</b> Histograma das três vertentes do CWSI relativos ao DOY 224 (12/08), agrupado por quartis, com a média a tracejado segundo a estratégia: <b>RD-</b> Rega deficitária; <b>SR-</b> Sem rega e a <b>RT-</b> Rega total. ....	87
<b>Figura 4.28-</b> Análise linear da média do CWSI estatístico com o potencial hídrico de ramo ( $\Psi_{st}$ ); <b>TOTAL-</b> corresponde aos valores dos cinco dias pelas estratégias todas; <b>RD-</b> os valores dos cinco dias da estratégia rega deficitária; <b>SR-</b> os valores dos cinco dias da estratégia sem rega; e o <b>RT-</b> os valores dos cinco dias da estratégia rega total.....	88
<b>Figura 4.29-</b> Análise linear da média do CWSI normal com o potencial hídrico de ramo ( $\Psi_{st}$ ); <b>TOTAL-</b> corresponde aos valores dos cinco dias pelas estratégias todas; <b>RD-</b> os valores dos cinco dias da estratégia rega deficitária; <b>SR-</b> os valores dos cinco dias da estratégia sem rega; e o <b>RT-</b> os valores dos cinco dias da estratégia rega total.....	89
<b>Figura 4.30-</b> Análise linear da média do CWSI temperatura do ar com o potencial hídrico de ramo ( $\Psi_{st}$ ); <b>TOTAL-</b> corresponde aos valores dos cinco dias pelas estratégias todas; <b>RD-</b> os valores dos cinco dias da estratégia rega deficitária; <b>SR-</b> os valores dos cinco dias da estratégia sem rega; e <b>RT-</b> os valores dos cinco dias da estratégia rega total. ....	90
<b>Figura 4.31-</b> Análise linear da média do CWSI do portátil com o potencial hídrico de ramo ( $\Psi_{st}$ ); <b>TOTAL-</b> corresponde aos valores dos cinco dias pelas estratégias todas; <b>RD-</b> os valores dos cinco dias da estratégia rega deficitária; <b>SR-</b> os valores dos cinco dias da estratégia sem rega; e a <b>RT-</b> os valores dos cinco dias da estratégia rega total.....	91
<b>Figura 4.32-</b> Análise linear da média do CWSI estatístico com o CWSI do portátil; <b>TOTAL-</b> corresponde aos valores dos cinco dias pelas estratégias todas; <b>RD-</b> os valores dos cinco dias	

da estratégia rega deficitária; **SR**- os valores dos cinco dias da estratégia sem rega; e a **RT**- os valores dos cinco dias da estratégia rega total. .... 92

**Figura 4.33**- Análise linear da média do CWSI normal com o CWSI do portátil; **TOTAL**- corresponde aos valores dos cinco dias pelas estratégias todas; **RD**- os valores dos cinco dias da estratégia rega deficitária; **SR**- os valores dos cinco dias da estratégia sem rega; e **RT**- os valores dos cinco dias da estratégia rega total. .... 93

**Figura 4.34**- Análise linear da média do CWSI temperatura do ar com o CWSI do portátil; **TOTAL**- corresponde aos valores dos cinco dias pelas estratégias todas; **RD**- os valores dos cinco dias da estratégia rega deficitária; **SR**- os valores dos cinco dias da estratégia sem rega; e **RT**- os valores dos cinco dias da estratégia rega total..... 94



## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 2.1-</b> Graus de stress hídrico segundo o potencial foliar/ramo segundo Magalhães, 2015. ....	14
<b>Quadro 2.2-</b> Quadro demonstrativo da utilização da termografia na agricultura no ramo vegetal.....	22
<b>Quadro 3.1-</b> Unidades base para a classificação de unidades homogêneas. ....	32
<b>Quadro 3.2-</b> Quadro com a informação base dos elementos presentes na parcela. ....	32
<b>Quadro 3.3-</b> Caracterização segundo as zonas climáticas homogêneas quanto à temperatura e precipitação.....	33
<b>Quadro 3.4-</b> Caracterização do solo da parcela de estudo segundo os fatores que têm influência no estudo.....	34
<b>Quadro 3.5-</b> Designação dos solos dominantes segundo as suas abreviaturas. ....	34
<b>Quadro 3.6-</b> Designação dos graus da espessura efetiva e capacidade de enraizamento.....	35
<b>Quadro 3.7-</b> Designação dos graus da fertilidade do solo.....	35
<b>Quadro 3.8-</b> Designação dos graus do CAU (coeficiente de água disponível).....	35
<b>Quadro 4.1-</b> As áreas das zonas homogêneas em m <sup>2</sup> e em percentagem %. ....	49
<b>Quadro 4.2-</b> Áreas em m <sup>2</sup> e percentagem relativas às cotas, consoante as 4 categorias. ....	51
<b>Quadro 4.3-</b> Representação da área em m <sup>2</sup> e percentagem da exposição solar da parcela. .	52
<b>Quadro 4.4-</b> A área em m <sup>2</sup> e percentagem das quatro categorias de erosão presentes na parcela.....	52
<b>Quadro 4.5-</b> Caracterização do clima segundo a temperatura, altimetria e precipitação. ....	53
<b>Quadro 4.6-</b> As áreas relativas à caracterização do solo e aptidão de terra. ....	56
<b>Quadro 4.7-</b> Valores do potencial hídrico de ramo por ponto de amostragem da estratégia. ....	58
<b>Quadro 4.8-</b> Valores da temperatura para o cálculo dos CWSI. ....	70
<b>Quadro 4.9-</b> Valores da média do CWSI portátil relativos aos cinco dias de captura. ....	71

<b>Quadro 4.10-</b> Resumo dos valores do CWSI aéreo segundo o método e estratégias de rega do DOY 182. ....	72
<b>Quadro 4.11-</b> Resumo dos valores do CWSI aéreo segundo o método e estratégias de rega do DOY 190. ....	75
<b>Quadro 4.12-</b> Resumo dos valores do CWSI aéreo segundo o método e estratégias de rega do DOY 190. ....	78
<b>Quadro 4.13-</b> Resumo dos valores do CWSI aéreo segundo o método e estratégias de rega do DOY 210. ....	81
<b>Quadro 4.14-</b> Resumo dos valores do CWSI aéreo segundo o método e estratégias de rega do DOY 224. ....	84
<b>Quadro 4.15-</b> Valores do $R^2$ da correlação linear, dos fatores em análise. ....	94

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS**

a.c. - Antes de Cristo

CWSI - Crop Water Stress Index

DEM - Digital Elevation Model

DOY - Day of Year (dia do ano)

ET<sub>o</sub> - Evapotranspiração de Referência

ET<sub>c</sub> - Evapotranspiração Cultural

FAO - Food and Agriculture Organization

h - Horas

s - Segundos

IG - Stomatal Conductance Index

JPG - Joint Photographic Experts Group

JPG-r - Joint Photographic Experts Group- Radiometric

Km - Quilómetros

l - Litros

m - Metros

m<sup>2</sup> - Metros Quadrados

cm - Centímetros

NASA - National Aeronautics and Space Administration

NDVI - Normalized Difference Vegetation Index

NIR - Near Infrared

ph - Potencial Hidrogniónico

RC - Rega Completa

RD - Rega Deficitária

RDI - Regulated deficit irrigation

RE - Red Edge

RGB - Red, Green e Blue

SR - Sem rega

T<sub>c</sub> - Temperatura da Canópia

T<sub>dry</sub> - Temperatura da Folha Seca

T<sub>wet</sub> - Temperatura da Folha Molhada

VANT - Veículos Aéreos Não Tripulados

VRTs – Variable Rate Technologys

W - Watts

Ψ<sub>b</sub> - Potencial Hídrico de Base

Ψ<sub>stem</sub> - Potencial Hídrico de Ramo

Ψ<sub>f</sub> - Potencial Hídrico Foliar

Φ - Fluxo Radiante

°C - Graus Celsius

ε - Emissividade

$W_{Tot}$  -Energia Total

$E_{Avo}$  - Energia Emitida Pelo Alvo

$E_{Ref}$  - Energia Refletida Pelo Alvo

$E_{Atm}$  - Energia na Atmosfera

T<sub>atm</sub> - Temperatura Atmosférica

Σ - Média

T<sub>Alv</sub> – Temperatura do Alvo

T<sub>refl</sub> – Temperatura Refletida

T<sub>obj</sub> – Temperatura do Alvo



# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Enquadramento

As alterações climáticas e por consequência a escassez de água que é prevista por estudos nacionais e internacionais, requerem uma maior necessidade na gestão e uso da irrigação de precisão, de forma controlada e eficiente. A monitorização da mesma, é uma necessidade na agricultura atual, no sentido de dotar a planta unicamente das suas necessidades, favorecendo o seu uso e diminuindo o consumo energético em prol de um menor impacto sobre o meio ambiente, atendendo de igual forma, ao facto de este ser um recurso cada vez mais escasso em formas potáveis, seja na sua utilização para o consumo humano, ou para a agricultura ou pecuária (IPCC, 2021)

Na disponibilidade de água para fins agrícolas, existem métodos de gestão/monitorização, sendo estes destrutivos e não destrutivos, em função das necessidades do produtor, do seu conhecimento técnico e da sua disponibilidade para o uso de tecnologia de precisão. Assim sendo, é imperativo que o uso deste recurso seja cada vez mais eficiente, de forma a prevenir a sua escassez, com aplicações controladas. Prevenindo os danos nas culturas e por consequência os danos económicos ao produtor (Fraga *et al.*, 2016).

Assim sendo existem diversos métodos para monitorizar a água no solo, como: método gravimétrico que quantifica-se diretamente no solo; o método neutrónico através de impulsos eletrónicos; e o tensiómetro que mede o teor de água no solo através da variação da pressão, entre outros (Prichard, 2014). Existem também métodos de monitorização na planta como a câmara de pressão que iguala a pressão das folhas quantificando-a numa escala de stress. E recentemente o uso da termografia como um método de monitorização do stress hídrico (Valín *et al.*, 2019).

A termografia é utilizada na agricultura moderna, com especial destaque para a pecuária, no diagnóstico de doenças (Lees A. *et al.*, 2019), mas também na monitorização do estado hídrico das culturas, como a vinha, através da quantificação dos pontos de temperatura máximos e mínimos, e conjuntamente com a temperatura média da canópia, calculando-se índices de stress hídrico, como o CWSI (Crop Water Stress index) o IG (Stomatal conductance index) entre outros. Desta forma, os métodos quantificam numa escala superior a 0, o stress das culturas (García-Tejeroa *et al.*, 2016 e Valín *et al.*, 2019).

Porém este método termográfico apenas tem a capacidade de analisar localmente e em amostra o índice de stress, não sendo viável a sua análise em grande escala. Desta forma surgiu a necessidade de ajustar este método para a finalidade de uso em grandes áreas, ganhando-se tempo na recolha de dados, pois os métodos atuais como a câmara de pressão, câmeras térmicas portáteis entre outros, são métodos dispendiosos em tempo na recolha de informação, dificultando o seu uso a grandes escalas, não permitindo a espacialização dos índices. Todavia através da evolução dos VANT (Veículos aéreos não tripulados) abriu-se uma porta para a investigação de modelos e métodos que possam permitir a espacialização dos índices de stress (Moller *et al.*, 2007; Park *et al.*, 2017 e Bian *et al.*, 2019).

Isto é, através dos mais diversos tipos de VANT, que foram evoluindo ao longo dos anos, proporcionaram-se capacidades para acoplar as mais diversas tipologias de câmeras, desde multiespectrais, hiperespectrais, térmicas, radar entre outras (Watts *et al.*, 2012).

Estes sensores ao longo do tempo, têm vindo a proporcionar os mais distintos tipos de informação sobre as culturas agrícolas, ajudando na obtenção de dados, e por consequência, a um melhor conhecimento do funcionamento do meio agrícola em pequena escala, pois este tipo de equipamentos fornecem resoluções espaciais muito elevadas (Xie e Yang, 2020).

Por todas estas razões as câmeras térmicas acopladas a VANT poderão proporcionar dados sobre a disponibilidade hídrica das culturas, impulsionando a viticultura de precisão e desta forma ajudando à utilização eficiente de água na agricultura.

## **1.2. Objetivos**

O presente trabalho tem como objetivo principal, avaliar a viabilidade do uso de imagens térmicas aéreas, para a determinação do estado hídrico da videira e consequentemente o cálculo das necessidades de rega na casta Loureiro na Região dos Vinhos Verdes, bem como:

- Desenvolvimento de uma metodologia de campo, para a obtenção de imagens térmicas, com sensor portátil e sensor aéreo.
- Cálculo do índice de stress (CWSI – *Crop Water Stress Index*), como indicador das necessidades hídricas da casta Loureiro em diferentes estratégias de rega, através de três metodologias diferentes.
- Representação espacial do CWSI.
- Validação do CWSI obtido a partir do sensor aéreo e os sensores de proximidade (CWSI portátil e o potencial hídrico de ramo).

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

O presente capítulo tem como objetivo abordar os temas que possuem relevância para o caso de estudo, no qual se destaca a evolução da viticultura, realçando a viticultura portuguesa e os desafios que esta enfrenta relativamente às alterações climáticas. O segundo tópico passa pelas necessidades que a vinha possui em termos hídricos em todas as suas vertentes, o terceiro ponto passa pela monitorização da água tanto no solo como na planta, com uma especial ênfase para a termografia. E por último, a história e a utilização de veículos aéreos não tripulados com destaque para a agricultura.

### **2.1. A viticultura portuguesa e as alterações climáticas**

#### **2.1.1 Importância da viticultura em Portugal**

Os sistemas vitivinícolas estão envolvidos numa grande especificidade tecnológica, que vêm evoluindo ao longo dos anos, quer a nível mundial, quer a nível nacional. No entanto, existem alguns registos de que os Tartessos (o povo mais antigo descoberto até ao momento na península ibérica) já comercializavam vinho na península ibérica por volta do século X a.c. Os primeiros impulsionadores da viticultura na península ibérica foram os romanos, introduzindo novas práticas na produção, nomeadamente nas operações culturais como a poda e novas técnicas na fermentação (Bonfante, 2018).

Desde a idade média e ao longo dos tempos, o vinho sempre teve uma grande importância social e económica, sendo usado muitas vezes como forma de pagamento de serviços prestados. Nesse período, o vinho era o produto mais exportado em Portugal, devido à expansão da área de produção por parte das mais diversas ordens religiosas dessa época (Magalhães, 2015).

Já na idade contemporânea a viticultura também possuía um papel fundamental, pois o vinho tinha uma grande importância em termos comerciais, por essa importância foi criada a região demarcada do vinho do Porto, sendo este um marco histórico da viticultura portuguesa e mundial pois esta foi uma das primeiras regiões deste tipo (Maria *et al.*, 2018).

Nos finais do século XIX a viticultura portuguesa teve um dos piores períodos da sua história, a filoxera (inseto) que dizimou vinhas por todo o país reduzindo assim o número de vinhas a nível nacional, transformando a paisagem vitícola portuguesa em áreas abundantes de mortórios (Magalhães, 2015).

No ano de 1908 foi feita a primeira delimitação da região dos vinhos verdes, porém foi no ano de 1929 que a região teve a sua delimitação final. Sendo delimitada a norte pelo rio Lima, a oeste o oceano Atlântico, a sul pelo rio Douro e a este as montanhas do Gerês, Marão e Cabreira. A região é constituída por nove sub-regiões: Amarante, Ave, Baião, Cávado, Lima, Monção e Melgaço, Paiva e Sousa, sendo regulamentada pela Portaria nº28/2001 de 16 de janeiro e Portaria nº 291/2009 de 23 de março (IVV, 2020a).

Segundo o Instituto da Vinha e do Vinho (IVV, 2020b) a viticultura portuguesa possui uma área de 173 430 hectares para vinificação e 2 239 hectares de uva de mesa, com uma produção 6, 267 milhões de hectolitros de vinho e 17 847 toneladas de uva de mesa em 2020. A região dos vinhos verdes representa uma área de 24 240,29 hectares o que corresponde a 12,6% da área nacional de vinha com uma produção de 848 311 hectolitros de vinho.

A viticultura tem evoluído ao longo dos anos, desde as formas de produção, condução, poda, equipamentos e alfaias, formas de controle de pragas e doenças, entre outros. Até que se alcançou a denominada viticultura de precisão, no qual analisa a parcela no espaço e no tempo com o principal objetivo de otimizar a parcela e obter mais rentabilidade da mesma, reduzindo assim o impacto ambiental (Magalhães, 2015).

### **2.1.2. Viticultura de precisão**

A viticultura moderna evoluiu de uma viticultura onde se considerava que a parcela era toda igual, para uma viticultura onde se analisa a parcela com a variabilidade ao longo do espaço e do tempo e com as suas especificidades, no qual se denomina viticultura de precisão (ISPA, 2018).

Assim sendo, para se implementar a viticultura de precisão é necessário obter inúmeros dados da parcela, como mapas de micronutrientes, macronutrientes, ph, condutividade, matéria orgânica (Chuvieco, 2010). Esta análise pode ser feita com a implementação de pontos de amostragem do solo georreferenciados com o intuito de obter os dados de solo interpolando os dados e obtendo os mapas (Molin, *et al.*, 2015). No qual se pode corrigir as carências de nutrientes, o ph entre outras propriedades ao longo da parcela com mais exatidão através da Tecnologia de taxa Variável (VRT) (Yang C. e Lee, 2013). A mesma tecnologia permite a recolha em tempo real da produtividade, fornecendo os mapas de produtividade. Podendo ainda através da mesma tecnologia aplicar fitofármacos localizados em focos. No entanto, a recolha dos dados ao longo do tempo permitem-nos obter mais informação específica e fazer uma zonagem da parcela (Molin, *et al.*, 2015).

Estas tecnologias trazem uma mais-valia para todos os intervenientes, no entanto a ciência está sempre em movimento e passou de uma viticultura de zonas homogêneas para uma viticultura onde o estudo se foca na complexidade da planta e os fatores que a rodeiam num curto espaço, tais como:

- Compreender o funcionamento da planta analisando a disponibilidade hídrica do solo e na planta, através de pontos-chaves da temperatura, para o cálculo do CWSI e do IG no solo (García-Tejeroa *et al.*, 2016). Através de sondas capacitivas e na planta através das câmeras de pressão (Valín *et al.*, 2019).
- A análise de clorofila, flavonoides, antocianinas entre outros fatores através de equipamento denominado de Multiplex, mas também a monitorização de fatores ambientais utilizando estações climáticas (Agati, *et al.*, 2013). Estes dados tratados, correlacionados entre si, mostram indícios das interações internas e externas das videiras.
- A análise das trocas gasosas, da condutividade estomática e a fluorescência basal na folha, utilização do equipamento denominado *Li-Cor*. Sendo estes os principais índices fornecidos pelo equipamento (Chaves M. *et al.*, 2010).

Também é possível obter dados de uma parcela através de uma perspetiva aérea, através dos satélites, capturando as imagens em diferentes bandas espectrais. Esta tecnologia já existe há mais de 40 anos, embora numa fase inicial as imagens apresentem uma resolução de pixel muito grande aproximadamente 100m ou superior, e ao longo dos anos tem vindo a reduzir o seu tamanho 50m, 20m, 15m, 10m e 5m, continuando a evolução. No entanto este tipo de tecnologia possui algumas limitações devido a orbitarem a terra e não conseguirem fornecer imagens ao longo do tempo, mas sim em períodos de tempo (Chuvieco, 2010). Devido a este motivo foram desenvolvidas mini aeronaves com câmeras de diferentes tipos espectrais que permitem capturar dados com maior resolução da parcela entre os 5 m e um 1m de tamanho de pixel (em alguns casos menores), facilitando a recolha dos dados. No decorrer desta evolução surgirão os VANT (Veículos Aéreos Não Tripulados) com os mais diversos tipos de câmeras e sensores que dão informação sobre a parcela, tendo uma diferença comparando com o anterior, possuem uma resolução de centímetros (Araújo, 2018), permitindo analisar a parcela mais pormenorizadamente.

Estas novas ferramentas tecnológicas permitem analisar os mais diversos fatores como índices, como por exemplo o NDVI que analisa o vigor vegetativo da parcela (Vélez, *et al.*,

2021); as imagens térmicas para o cálculo dos índices de stress hídrico (CWSI e do IG), no qual se elabora mapa destes dois fatores, tendo por base dois tipos métodos: i) o que elabora por zonas (Bian, 2019) e ii) o que interpola os dados através de pontos de amostragem (Matese, 2018). Através dos sensores multiespectrais podem fornecer inúmeros dados como clorofila entre outros (Xie e Yang, 2020).

Por último tem surgido uma união entre a viticultura e a robótica denominada de *agrobots* ou *farmbots*, que utilizam tecnologias do campo da robótica para fins agrícolas. Esta tecnologia ainda está numa fase embrionária, mas já existem inúmeros projetos nesta área, tais como a monitorização da vinha com sensores não invasivos, multiespectrais, térmicos entre outros. Mas também no auxílio de práticas agrícolas como robôs que executam podas, controlam as infestantes, fazem pulverizações localizadas, também tratores autônomos. Fornecendo ao agricultor/investigador dados mais precisos sobre a parcela e também auxilia nas operações fundamentais da agricultura e em especial na vinha (Matese and Di Gennaro, 2015).

Em forma de resumo a viticultura moderna tem com principais intervenientes:

- A georreferenciação que nos possibilita relacionar a informação espacial com a sua localização, mas também auxilia na tomada de decisão e aplicação dos fatores de produção, pela capacidade e precisão que fornece aos equipamentos (Chuvieco, 2010).
  - A sensorização remota que podem ser adquiridas através de satélites, aeronaves, VANT (Veículos Aéreos Não Tripulados) que nos fornecem dados sobre o local de estudo através das mais diversas câmeras e para os mais diversos fins (Matese and Di Gennaro, 2015).
  - A sensorização de proximidade que analisa a planta como um microambiente onde todos fatores têm alguma influência no comportamento da planta, destacando a monitorização da planta tanto nas interações como meio ambiente e solo circundante e o seu rendimento (Valín *et al.*, 2019).
  - Os VRTs na aplicação dos fatores de produção.
- i) Tecnologia dos *agrobots*, que começam a proporcionar ainda mais precisão (Matese A, and Di Gennaro SF., 2015).

### **2.1.3. Adaptação da viticultura aos novos cenários de alteração climática.**

A viticultura no decorrer das inovações que surgirão ao longo dos anos veio-se também a deparar com um dos grandes problemas que a humanidade está e irá enfrentar durante os próximos anos, as alterações climáticas, que segundo alguns autores foram aceleradas pela atividade humana com a libertação de gases de efeitos de estufa, e por consequência o aumento do dióxido de carbono aumentando as temperaturas médias (Bocheńska, 2021 e IPCC, 2021). As alterações climáticas irão gerar diversas e profundas alterações nos climas e microclimas agrícolas. Segundo a análise de diversos autores, as alterações climáticas irão ter alguns impactos tanto nas plantas, como no solo e no ambiente que as circunda, destacando-se as seguintes:

- A diminuição da precipitação e por consequência a disponibilidade de água no solo e na atmosfera. (Walthall, *et al.*, 2013).
- A redução do período de ocorrência de geadas, devido ao aumento da temperatura.
- A erosão do solo da vinha devido à ocorrência de fenómenos extremos, nomeadamente a elevada precipitação num curto espaço de tempo. No qual o solo não tem capacidade de reter água, e esta provoca uma erosão superficial tendo por consequência o arrastamento de terra (Fraga, *et al.*, 2016).
- No campo da sanidade das plantas devido a esta variação brusca de temperatura e humidade, torna-se mais propícia ao aparecimento e maior incidências de pragas e doenças, mas também ao surgimento de novas doenças e pragas provenientes de climas mais quentes (Walthall, *et al.*, 2013).
- Na fisiologia das plantas, a alteração em termos de duração dos estados fenológicos das plantas. Que se exprime em períodos de crescimento vegetativos maiores, com maturação do fruto mais precoces e por consequência o uma colheita precoce (Walthall, *et al.*, 2013).
- Na qualidade da produção também irá sofrer impactos, como escaldão dos bagos, a maturação sofrer paragens ou sub-maturação, secagem dos bagos devido a períodos de secas prolongadas, a diminuição da acidez e aumento do teor alcoólico da uva (Fraga, *et al.*, 2016).

Perante estas alterações às quais a vinha está sujeita no presente e no futuro próximo é de extrema importância proceder à implementação de medidas de monitorização, de adaptação

e de mitigação das alterações climáticas na agricultura, com especial ênfase na área da viticultura (Walthall, *et al.*, 2013 e IPCC, 2021):

- Assim sendo é de extrema importância analisar a parcela e o ambiente que a circunda com o objetivo de definir o seu *terroir*, devido à sua grande variação em termos edafo-climáticos (Cardoso *et al.*, 2019).
- Na vertente da proteção dos solos com a implementação de enrelvamento das entre linhas na vinha com o intuito de prevenir a erosão do mesmo através de temperaturas altas, precipitação repentina e por consequência o arrastamento de terras e também no campo do melhoramento do solo (Ávila-Dávila *et al.*, 2019).
- A monitorização das variáveis climáticas da parcela permite estimar a evapotranspiração cultural, contribuindo para o uso eficiente da água (Fraga *et al.*, 2014).
- Na disponibilidade hídrica com a implementação de medidas de monitorização da água na planta e no solo com o intuito de rentabilizar a sua aplicação, evitando ao máximo as suas perdas (Valín *et al.*, 2019).

## **2.2. A rega da vinha e as necessidades hídricas**

O conforto hídrico é um fator essencial para o funcionamento biológico das culturas, pois a carência deste fator (água) condiciona todo o processo metabólico das plantas, nomeadamente a fotossíntese, o crescimento da canópia, o crescimento radicular, o crescimento dos bagos, as trocas de nutrientes e as trocas gasosas entre o exterior da planta e o interior (Acevedo-Opazo *et al.*, 2008a.). A água é um fator de regulação da planta, em termos de crescimento vegetativo, produtivo e de qualidade do fruto e no aparecimento de doenças, devido ao estado da planta, se esta estiver mais debilitada proporciona o aparecimento de doenças e em estados muito graves a sua morte (Jones, 2013, Prichard, *et al.*, 2004 e Williams e Heymann, 2017). Perante esta relevância, surge uma definição que tem e terá um papel de destaque na monitorização e aplicação da água em todas as culturas, a determinação do stress hídrico. O stress hídrico tem diversos impactos consoante o estado fenológico em que se encontra a cultura (Magalhães, 2015).

Se ocorrer stress entre o abrolhamento até à indução das primeiras flores, provocará um crescimento irregular dos gomos, e por consequência uns lançamentos menores dos pâmpanos, e um vigamento reduzido de cachos, que por consequência levará a uma indução floral menor (Myburgh, 2011). Porém se esta estiver em excesso poderá levar a um



crescimento vegetativo desregulado. No caso de o stress se verificar próximo da floração pode significar um atraso da mesma e por consequência atrasar os estados fenológicos seguintes.

No período que compreende a floração até ao vingamento dos frutos, poderá levar à morte das flores e dos bagos, sendo que em casos muito graves pode levar mesmo ao desavinho (Magalhães, 2015).

Se ocorrer durante o crescimento dos bagos, que compreende entre os estados fenológicos do vigamento e o pintor pode levar a danos irreversíveis nos bagos, não se desenvolvendo. No entanto se durante este período o teor de água no solo estiver em excesso pode levar a rachaduras nos bagos (Myburgh, 2011; Williams e Heymann, 2017).

No pintor a ocorrência de stress, se for numa fase de pré-pintor, leva ao aparecimento de bagos com compostos fenólicos e antocianinas (Gamero *et al.*, 2014), se esta ocorrer numa fase posterior ao pintor leva à ocorrência em grandes quantidades de proantocianidinas e antocianinas (Carbonneau *et al.*, 2002), podendo ser importantes para a elaboração de vinhos com certas características.

Por outro lado, se o stress ocorrer no período de maturação já não causa grandes perdas em termos alcoólicos da uva, porém há perdas de rendimento dos bagos se não se encontrar em conforto hídrico (Myburgh, 2011). No mesmo segmento se a vinha estiver num período de maior conforto hídrico leva a uma maior diluição dos açúcares pelo bago e por consequência um menor teor alcoólico e por consequência uma maior acidificação (Magalhães, 2015).

Assim sendo é necessário a aplicação eficiente da água, calculando de forma precisa as necessidades hídricas da videira através da estimacão da evapotranspiracão. Este método estima a evaporaçã e transpiracão, que corresponde à relacão entre a água que evapora através do solo e a que transpirou através da área foliar. A sua proporcionalidade varia ao longo do ciclo, querendo dizer que no início pelo facto de não haver área foliar a evaporaçã é de 100%, porém quando a vinha atinge o máximo desenvolvimento vegetativo esta relacão inverte-se e passa a transpiracão a dominar com 90% e a evaporaçã 10% (Allen, *et al.*, 1998; Rodrigues e Braga, 2021).

O balanço hídrico na vinha possui dois fatores importantes para a sua gestã, os quais passam pela evapotranspiracão que a planta realiza através dos estomas das folhas e a da quantidade de água absorvida pelas raízes. Porém nem todas as castas têm a mesma necessidade hídrica,

isto quer dizer que quanto mais vigorosa for a casta mais necessidades hídricas possui, e quanto menos vigor tiver menor é a necessidade de água (Magalhães, 20015).

Para o cálculo desta variante é preciso ter em conta alguns fatores meteorológicos, como a velocidade do vento, a média de temperatura e de humidade relativa, a pressão atmosférica, a radiação líquida, a densidade de calor, a pressão de vapor saturado, o défice de pressão de vapor de saturação, declive da curva de pressão de vapor constante psicrométrica. Para o cálculo da evapotranspiração cultural é utilizado o método de Penman-Monteith descrito no manual FAO56 (Allen, et al., 1998), que tem por base um balanço energético entre a atmosfera, a superfície do solo e a cultura. Este cálculo é feito através da equação 1:

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_e - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)} \quad (1)$$

Sendo que:

**ET<sub>o</sub>** - Evapotranspiração de referência (mm dia-1)

**e<sub>e</sub>** - Pressão de vapor de saturação (kPa)

**e<sub>a</sub>** - Pressão de vapor atual (kPa)

**R<sub>n</sub>** - Radiação líquida na superfície da cultura (MJ m<sup>-2</sup> dia-1)

**e<sub>e</sub> - e<sub>a</sub>** - Défice de pressão de vapor de saturação (kPa)

**G** - Densidade do fluxo de calor do solo (MJ m<sup>-2</sup> dia-1)

**Δ** - Declive da curva de pressão de vapor (kPa °C<sup>-1</sup>)

**T** - Temperatura média diária do ar a 2 metros de altura (°C)

**γ** - Constante psicrométrica (kPa °C<sup>-1</sup>)

**u<sub>2</sub>** - Velocidade do vento a 2 metros de altura (m s<sup>-1</sup>)

Desta forma a programação da rega pode ser efetuada através da estimativa da evapotranspiração da cultura e validando as dotações aplicadas mediante a monitorização do teor de água no solo e potencial hídrico da planta para a tomada de decisão (Fandiño, et al., 2012). A evapotranspiração cultural (ET<sub>c</sub>) considera, para além das variáveis citadas utilizadas no cálculo da ET<sub>o</sub>, as fases culturais da cultura através do coeficiente cultural (K<sub>c</sub>, adimensional):

$$ET_c = ET_o \times K_c$$

Desta forma pode-se considerar que quanto maior for a evapotranspiração, maior é a perda de água da cultura por evapotranspiração, verificando-se que nesse dia as variáveis ambientais, a temperatura, radiação registam valores elevados e a humidade relativa valores baixos. Por outro lado quanto menor, for a evapotranspiração menor a perda de água, associando-se a um dia com pouca radiação, temperaturas baixas e por norma humidade alta (Moyer *et al.*, 2013).

No seguimento da determinação das necessidades de rega e o uso eficiente da água, surgiram algumas técnicas no uso eficiente da água destacando a rega deficitária controlada (RDI- Regulated Deficit Irrigation). Esta técnica tem como princípio a aplicação da rega de forma estratégica, em momentos chave do desenvolvimento da vinha e em quantidades específicas, tendo sempre por princípio a ETo (Santos *et al.*, 2007). A estratégia estima a quantidade da água perdida por transpiração e evaporação, e a partir desses valores aplica quantidades de água que variam desde 50% até 75% do ETo. Este método tem sido utilizado e replicado nas suas duas vertentes ao longo dos anos e tem demonstrado que o stress controlado proporciona as videiras condições para o desenvolvimento de uvas com uma qualidade superior nomeadamente na cor, no aroma, e nos compostos fenólicos entre outras características (Goodwin, 2002 ; Acevedo-Opazo *et al.*, 2010b.).

Para além da técnica referida anteriormente, existe o *Partial Rootzone Drying* (parcial secagem das zonas radiculares), que se baseia na utilização de 50% do sistema radicular da videira e a outra metade não recebe água, ficando seca (Medrano *et al.*, 2015). Assim proporciona-se, teoricamente, um estímulo a videira em duas vertentes (Antolín *et al.*, 2006):

- i. A zona radicular hidratada da planta através da rega a 50%, possibilita o normal funcionamento metabólico;
- ii. A zona radicular desidratada estimula a síntese química, reduzindo a atividade estomática.

Esta técnica proporciona à uva um menor teor de água devido a uma redução da rega, uma maior concentração de sólidos solúveis pelo mesmo fator e uma maior concentração de compostos fenólicos nas películas das uvas (Koundouras *et al.*, 2006).

No caso destas duas técnicas não serem aplicados devidamente, podem apresentar riscos para a vinha, podendo provocar um número elevado de escaldões nas folhas e frutos, provocando perdas económicas avultadas, pela redução em grandes quantidades e qualidade das uvas (Egipto *et al.*, 2016).

### **2.3. O uso da sensorização no apoio à estimação da disponibilidade hídrica no solo e na planta**

A monitorização do estado hídrica da videira passou a ser uma importante fonte de informação para a gestão da videira, tal como já foi referido anteriormente as alterações climáticas têm e vão ter um impacto a nível nacional e mundial, não só em termos de mudanças climáticas, mas também na escassez de água. Por isso o uso controlado e eficiente da água é essencial para evitar períodos de seca extrema. Desta forma existem diversos métodos e tecnologias utilizados para a monitorização da disponibilidade hídrica do solo e da planta (Cunha, 2008).

#### **A) Método gravimétrico**

O presente método permite quantificar o teor de humidade no solo através de um método direto, dado que recolhe porções do solo ao longo das profundidades, determinando assim a percentagem de humidade, relacionando o peso de água na amostra com o peso do solo seco (Oliveira, 2003).

Sendo que este método recolhe diversas amostras de solo ao longo da parcela de forma aleatória ou esquematizada, e como já referido a diferentes profundidades. Estas amostras são recolhidas e catalogadas no local, posteriormente são levadas para o laboratório onde serão pesadas e colocadas numa estufa a 104 °C cerca de 48 horas. Retiradas do forno, as amostras são novamente pesadas, a diferença entre as duas pesagens é água, permitindo calcular a quantidade de água no solo (Van Leeuwen *et al.*, 2001). Trata-se de um método preciso na determinação da humidade do solo, este método também é utilizado para a calibração de outros métodos e técnicas de medida. Não obstante este é um método muito dispendioso em termos de materiais e tempo de execução, em comparação com os outros métodos, porém é mais preciso que os restantes (Oliveira, 2003).

#### **B) Método neutrónico**

O método neutrónico é considerado um método indireto e tem por base a medição do hidrogénio presente no solo, enviando e recebendo os impulsos eletromagnéticos a diferentes profundidades. Através da diferença entre o que envia e recebe, consegue quantificar a humidade no solo, devido ao facto de haver uma relação entre a perda dos neutrões com a quantidade de água no solo. Para realizar esta medição o equipamento tem uma fonte emissora de alta frequência e um recetor incorporado num bastão (Oliveira, 2003).

### **C) Método bloco de porcelana (tensiômetro)**

No presente método a medição do teor de água no solo passa pela variação da pressão do manómetro, onde é colocado o equipamento no solo, no qual a extremidade possui uma cavidade de porcelana porosa. Este equipamento está constituído por um tubo com água e uma extremidade porosa (porcelana) através da qual se produz o intercambio tanto para fora como para dentro, criando uma depressão registada no manómetro, quanto maior for o valor registado maior será a falta de água no solo, contudo se o solo tiver água em grandes quantidades o processo é inverso, o solo acumula mais água e por consequência a pressão registada no manómetro será menor.

O tensiômetro mede de forma indireta a humidade no solo indicando se o solo consegue ou não absorver mais água até atingir a capacidade de campo, sendo um equipamento importante no auxílio da tomada de decisão para a execução da rega. Embora não seja o mais preciso, devido a medir só em uma profundidade pois caso seja preciso monitorizar a diferentes profundidades é necessário colocar mais equipamentos (Prichard, 2014).

### **D) Método fdr (Frequency Domain Reflectometry)**

O método FDR utiliza sensores capacitivos para a monitorização da água no solo a diferentes profundidades, sendo um dos métodos mais utilizados.

O método baseia-se na medição da velocidade das ondas eletromagnéticas, que são enviadas e recebidas pelo mesmo equipamento. Para efetuar esta medição tem de se ter em conta as características eletromagnéticas do solo, a dielétrica, que consiste na capacidade de propagação das ondas eletromagnéticas no solo, sendo que a menos água no solo mais rápido as ondas serão refletidas pelos elementos do solo, e quanto mais água tiver mais lenta é o retorno das ondas (Van Leeuwen *et al.*, 2001).

### **E) Potencial hídrico (câmara de pressão)**

O potencial hídrico é utilizado como indicador do estado hídrico da planta, nomeadamente em culturas permanentes, (vinha e olival) (Williams e Araújo, 2002). Esta técnica monitoriza a parte aérea da planta (folhas) e não o solo tal como os anteriores. Isto porque existe uma relação direta entre a quantidade de água no solo e o potencial hídrico na planta (Prichard *et al.*, 2004). Sendo que a câmara de pressão regista diferentes potenciais dependendo da metodologia adotada para o cálculo, tais como:

- Potencial hídrico de base ( $\Psi_b$ ) é medido quando a planta está em repouso de preferência antes do nascer do sol e iniciar-se a atividade fotossintética (Intrigliolo e Castel, 2010);
- Potencial hídrico de ramo ( $\Psi_{st}$ ) que pode ser medido tanto de noite como de dia, embora seja mais utilizado de dia no período do meio-dia solar (Buesa, *et al.*, 2020);
- Potencial hídrico foliar ( $\Psi_f$ ) que é utilizado ao meio-dia solar embora também possa ser usado durante todo o dia para ver a variação do mesmo (Acevedo-Opazo *et al.*, 2010b).

No potencial hídrico de ramo as folhas são isoladas de qualquer atividade através de um saco de alumínio que impede a folha de fazer qualquer atividade metabólica com o exterior, simulando a noite, de seguida a folha é retirada da planta, e é colocada no interior da câmara de pressão, com o pecíolo da folha de fora, a mesma exerce pressão até que a folha liberte uma gota de seiva, pois esta iguala a pressão do xilema. No qual nos dá o valor da pressão que a seiva se encontra, e quanto maior for a pressão, maior é o défice hídrico e vice-versa (Magalhães, 2015 e ). No quadro 2.1 apresentam-se os resultados do grau de stress.

**Quadro 2.1-** Graus de stress hídrico segundo o potencial foliar/ramo segundo Magalhães, 2015.

0 MPa até -0,3 MPa	Ausência de stress
-0,3 MPa até -0,5 MPa	Stress baixo
-0,6 MPa até -0,9 MPa	Stress elevado
Abaixo de -0,9 MPa	Stress Severo

#### **F) Termografia infravermelha**

O presente método foi desenvolvido por (Idso, 1982) e modificado por (García-Tejeroa *et al.*, 2016), que faz uma análise da variação da temperatura dos pontos extremos, analisa as folhas com os estomas fechados e abertos ao meio-dia solar. Em primeiro lugar é preciso fechar os estomas de uma folha exposta à luz solar através da colocação da vaselina dos dois lados durante um período mínimo de 30 minutos. No qual este processo simula uma folha em stress, impedindo qualquer troca com o exterior, no qual a temperatura aumenta significativamente. O segundo passo passa por colocação de água cerca de 30 segundos antes

da captura da imagem pois este passo faz com que os estomas se abram e haja trocas entre o interior e exterior da planta, simulando uma folha em conforto hídrico e com stress quase nenhum, baixando a sua temperatura. Como demonstra a (Figura 2.1). O terceiro passo é a aplicação da fórmula do CWSI.



**Figura 2.1-** Preparação da folha da videira para as técnicas de termografia: **A-** Folha com Vaselina. **B-** Folha com água.

## 2.4. Uso e aplicação da termografia

A termografia infravermelha é considerada uma técnica de deteção e registo da radiação infravermelha, que todos os objetos, seres vivos e superfícies emitem, no qual através de uma fotografia ou vídeo pode ser registada a radiação. Sendo que a termografia no seu sentido literário queria dizer imagem térmica (Mobley, 2002). Atualmente a termografia é utilizada nos mais diversos fins e possui um vasto número de dispositivos que captam essa radiação.

### 2.4.1. História da termografia

No ano de 1800 descobriram-se os raios infravermelhos como instrumento de avaliação, por William Herschel, sendo que este foi um grande passo para a descoberta da termografia (Meola, 2012).

A primeira imagem térmica registada remonta ao ano de 1840, foi realizada por John Herschel no qual foi utilizado o método de evaporografia. Este método consistia na colocação de um prisma o qual refletia a luz solar para um papel fino preto, que estava envolvido por uma solução de álcool misturado com uma substância colorida, no qual os

diferentes tipos de ondas que passavam pelo papel provocavam diferentes tipos de evaporação da substância, dando assim tonalidades diferentes ao papel. É considerada a primeira imagem infravermelha registada, no entanto um pouco rudimentar. Ao longo dos anos seguintes foi testada a mesma técnica com substâncias diferentes (Holst, 2000).

Embora tenha havido algumas melhorias, o equipamento que teve um maior destaque foi o bolômetro, este equipamento utiliza uma técnica que se denomina de ponte de *wheatstone*. De uma forma simplificada, consiste numa substância que absorve a radiação ligando-se a um reservatório de temperatura fixa, no qual faz variar a sua temperatura, tendo sempre por base a sua radiação (Meola, 2012).

Posteriormente surgiram melhorias a este e outros equipamentos, porém foi no ano de 1900 para a frente que começaram a ser registadas patentes de equipamentos térmicos, tanto no campo militar como civil, onde o seu maior ponto de expansão foi durante a primeira guerra mundial. Sendo que este tipo de equipamento era utilizado para a deteção de aviões a uma distância que poderia superar 1500m, e pessoas a pelo menos 300m de distância (Holst, 2000).

O passo que revolucionou a captação de imagens térmicas como atualmente foi a invenção do fotodetector, pelo Case, sendo que este equipamento trabalha com a captação de fotões da radiação através de eletrões, tornando assim esta técnica mais rápida e precisa que a anterior (Holst, 2000).

Por último estes equipamentos sofreram inúmeras alterações até à atualidade destacando-se entre eles:

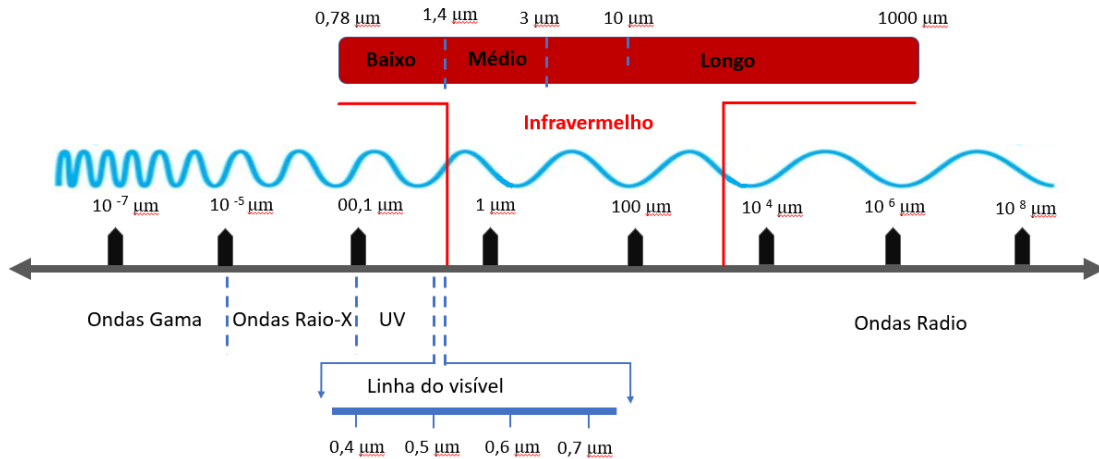
- Os arrefecidos a nitrogénio líquido;
- Os arrefecidos por cianeto;
- Os arrefecidos por eletricidade;
- E os não arrefecidos como Microbolômetro VOx (sendo este último o que se utiliza atualmente).

#### **2.4.2. Conceitos da termografia infravermelha**

Como referido anteriormente a termografia infravermelha foi descoberta por William Herschel, que estava a estudar qual dos comprimentos de onda era responsável pelo aquecimento dos corpos. Durante esta mesma experiência concluiu que a temperatura aumentava quanto mais se aproximava do vermelho, no entanto fora para além dessa que a



temperatura era maior (Holst, 2000). Na altura os raios foram chamados de raios de calor, sendo que ao longo dos anos passaram a se denominar de raios infravermelhos. Estes mesmos fazem parte do espectro eletromagnético, que possui 4 bandas principais: infravermelho próximo (0,75-3  $\mu\text{m}$ ), o infravermelho médio (3-6  $\mu\text{m}$ ), afastado do infravermelho (6-15  $\mu\text{m}$ ) e o infravermelho extremo (15-1000  $\mu\text{m}$ ), como demonstra a (Figura 2.2).



**Figura 2.2-** Gráfico demonstrativo dos diferentes comprimentos de onda com o realce para o infravermelho (Adaptado de Messina, 2020).

Todos os corpos contêm calor cinético (denominado calor real por alguns autores), tendo uns mais do que outros. Porém só se considera que um corpo emite radiação quando tem uma temperatura superior a  $0^\circ$  Kelvin. As partículas movem-se aleatoriamente pelo corpo do alvo até colidirem entre si, e por consequência libertam-se podendo ser assim quantificadas. Desta forma este movimento é denominado de fluxo radiante ( $\Phi$ ), que é geralmente quantificado em Watts (W).

Como existe uma relação entre a energia que o alvo possui e a que é irradiada, esta pode ser quantificada por um radiómetro nos mais diversos comprimentos de onda. Porém, para podermos quantificar a temperatura irradiada pelo alvo é preciso ter a noção que esta é ligeiramente inferior à real. Devido a esse facto tem que se considerar a emissividade do alvo, que varia consoante a sua capacidade de irradiar energia (Messina, 2020). Existem muitas formas de detetar e quantificar a energia irradiada.

### **Lei de Plank (Radiação *Blackbody* ou corpo negro)**

Segundo a teoria do *blackbody*, um corpo negro ideal absorve toda a energia eletromagnética que nele incide em qualquer comprimento de onda, porém também emite radiação a uma frequência máxima independentemente da temperatura (Charles, 2021). Segundo Plank a frequência de emissão da radiação infravermelha possui uma relação com a temperatura, sendo este um ponto de partida para a detecção da temperatura dos alvos. Desta forma pode-se dizer que um corpo negro real é um emissor absoluto do comprimento de onda infravermelho que pode ser convertido em temperatura absoluta através da equação 3.

$$I(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} * \frac{1}{(e^{\frac{hc}{\lambda KT}} - 1)} \quad (3)$$

Sendo que  $I(\lambda, T)$  demonstra a energia que o alvo irradia por superfície, ângulo e unidade de comprimento da temperatura em Kelvin, o  $h$  representa a constante de Plank,  $K$  é a constante de Boltzmann e por último o  $c$  representa a velocidade que tem no vácuo (Timothy, 2018).

#### **Lei de deslocamento de Wein e radiação eletromagnética**

A lei de Wein descreve através de curvas espectrais que existe uma relação entre a radiação de um corpo negro e a temperatura absoluta do mesmo, pois segundo Wein, o ponto mais alto desta reta representa a temperatura real do alvo, que também é quando o alvo emite o máximo de radiação infravermelha que pode ser quantificada segundo a equação 4.

$$\lambda_{Max} = \frac{b}{T} \quad (4)$$

No qual  $T$  representa o tempo de emissão de radiação e representa a constante que Wein determinou,  $2,8977721 \times 10^{-3}$  Km. Assim as câmeras térmicas têm de ser produzidas de forma a detetarem o ponto máximo de emissão de infravermelhos e através desse ponto poder quantificar a temperatura absoluta do alvo (Andrés e Cristóbal, 2010).

#### **Lei de Stefan-Boltzmann e radiação infravermelha**

A terceira lei que se tem de ter em conta para a captura de imagens térmicas é a Lei de Stefan-Boltzmann, a qual calcula a saída de radiação espectral por área de superfície de um corpo negro, relacionando-se com a 4 lei da temperatura absoluta ( $T$ ) (Mark, 2007), no qual este se relaciona com a seguinte equação 5.

$$M_b = A \sigma T^4 \quad (5)$$

Sendo que  $\sigma$  representa a constante de Stefan-Boltzmann ( $5.66697 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ ), o  $A$  representa a área de superfície do alvo  $\text{m}^2$ , o  $T$  representa a temperatura do alvo. No caso de pretendemos analisar  $A$  de um ser vivo consoante a sua superfície exposta tem de se ter em conta a emissividade do mesmo ( $\varepsilon$ ) e na temperatura temos de contabilizar também a do meio ambiente (Montambaux, 2018).

### **Lei da radiação de Kirchoff**

A lei que as câmeras térmicas atuais utilizam para determinar a temperatura de um objeto baseia-se na radiação infravermelha que é quantificada através da medição da radiação converte posteriormente em temperatura. Porém nem toda a energia que é captada pela objetiva da máquina é irradiada pelo objeto pretendido. Tendo outros fatores, como a atmosfera e outros objetos, que causam ruído e que têm de ser removidos da equação. Para quantificar esta energia por uma câmara térmica ( $W_{Tot}$ ) é preciso quantificar a emissão do alvo ( $E_{Alv}$ ), a emissão em torno do objeto e a refletida pelo objeto ( $E_{Ref}$ ) e por último a emissão pela atmosfera ( $E_{Atm}$ ), como demonstra a equação 6.

$$W_{Tot} = E_{Alv} + E_{Ref} + E_{Atm} \quad (6)$$

A emissão do objeto que se pretende analisar é a primeira que se analisa, pois nem toda a radiação emitida pelo mesmo chega à câmara, devido à envolvência da atmosfera, uma vez que esta absorve uma parte da radiação, no qual tem de contabilizar a transmissão da atmosfera ( $T_{atm}$ ) (Lillesand e Kiefer, 1999). Desta forma a emissão do objeto é calculada através da equação 7.

$$E_{alv} = E_{alv} * T_{atm} * \Sigma * (T_{Alv})^4 \quad (7)$$

O segundo a ser calculado passa por emissividade refletida pelo objeto ( $E_{refl}$ ) que é a que está em torno do objeto, sendo esta superior a zero. Esta mesma pode ser calculada através da emissividade do alvo ( $E_{Alv}$ ), tendo sempre em consideração a atmosfera ( $T_{atm}$ ). Desta forma a emissão em torno do objeto é calculada através da equação 8.

$$E_{refl} = P_{alv} * T_{atm} * \Sigma * (T_{refl})^4 = (1-E_{alv}) * T_{atm} * \Sigma * (T_{refl})^4 \quad (8)$$

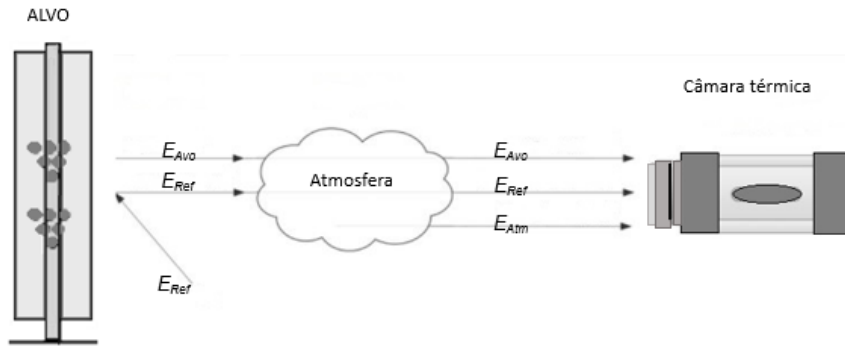
O terceiro e último fator que se tem de ter em conta é a emissão da radiação pela atmosfera ( $E_{atm}$ ) no qual temos de ter em atenção a temperatura da mesma ( $T_{atm}$ ). Desta forma a emissão da atmosfera é calculada através da equação 9.

$$(9)$$

$$E_{atm} = E_{atm} * \Sigma * (T_{atm})^4 = (1 - T_{atm}) * \Sigma * (T_{atm})^4$$

Com a resolução das fórmulas descritas anteriormente a emissão do alvo ( $E_{Alv}$ ), a emissão em torno do objeto e refletida pelo objeto ( $E_{Ref}$ ) e por último a emissão na atmosfera ( $E_{Atm}$ ) chega-se à energia emitida pelo objeto ( $W_{tot}$ ) (Vidal e Pitarma, 2019). Que pode ser expressa na sua forma final pela equação 10 (Figura 2.3).

$$W_{tot} = E_{alv} * T_{atm} * \Sigma * (T_{alv})^4 + (1 - E_{obj}) * T_{atm} * \Sigma * (T_{refl})^4 + (1 - T_{atm}) * \Sigma * (T_{atm})^4 \quad (10)$$



**Figura 2.3-** Desenho demonstrativo dos fatores que estão presentes na captação de imagens térmicas de solo (adaptado de Vidal e Pitarma, 2019).

Depois de se obter ( $W_{tot}$ ), pretendesse saber qual é a temperatura do objeto ( $T_{alv}$ ), no qual temos de saber a emissividade do objeto ( $E_{obj}$ ), a temperatura da atmosfera ( $T_{atm}$ ), e como já referida anteriormente a energia infravermelha emitida pelo objeto ( $W_{tot}$ ) (Lillesand e Kiefer, 1999). Que pode ser expressa pela equação 11.

$$T_{obj} = \frac{\sqrt[4]{(W_{tot} - (1 - E_{alv}) * T_{atm} * \Sigma * (T_{refl})^4 - (1 - T_{atm}) * \Sigma * (T_{atm})^4)}}{(T_{alv} * T_{atm} * \Sigma)} \quad (11)$$

Para a resolução destas equações deve ser fornecida a temperatura atmosférica ( $T_{atm}$ ), a temperatura refletida ( $T_{refl}$ ), a emissividade do objeto ( $E_{alv}$ ) e em algumas câmeras térmicas para além destes fatores ainda é necessário fornecer a humidade relativa ( $H_{rel}$ ) e a distância do objeto à câmara (Vidal D, Pitarma, 2019).

Todos os objetos possuem emissividade ( $E_{alv}$ ), que consiste na capacidade que esse objeto possui para emitir radiação tendo sempre por base um corpo negro absoluto. Desta forma a emissividade é classificada de 0 a 1, sendo que quanto mais perto do 1 mais capacidade de emissão tem esse objeto e mais perto de um corpo negro está, e quanto mais perto do 0 menos

capacidade de emitir. No caso de seres vivos/tecidos é utilizada a gama entre o 0,95 e 0,98 (Tattersall, 2016).

A distância do objeto em relação a câmera de captação das imagens é um fator a ter em conta, pois os gases presentes na atmosfera como o ozono, dióxido de carbono e vapor de água e poeiras, tem influência, pois estes fatores têm uma capacidade de absorver alguma da radiação emitida pelo alvo, sendo que quanto maior for a distância, maior é a perda de radiação. Como já referido a humidade interfere na precisão da imagem térmica, e com isto é necessário a sua medição e fornecimento ao equipamento de medição.

Todos os objetos são irradiados por outros objetos que o circundam, e desta forma este fator tem de ser considerado na captação das imagens térmicas, pois uma parte da radiação captada pela câmera térmica provém da refeletância.

Por último o vento também influencia, pois este tem a capacidade de arrefecer a atmosfera e por consequência altera a humidade presente no local, influenciando todo o processo (Tattersall, 2016).

### **2.4.3. Aplicações da termografia**

A termografia infravermelha tem um extenso número de utilidades, devido às características referidas, desde a medicina em todas as suas valências (Lahiri *et al.*, 2012; Shevelev, 1998 e Diakides *et al.*, 2012), como no desporto (Hidebrandt *et al.*, 2010 e Quesada, 2017), na construção civil para a deteção de deformações e inspeções de edifícios (Dall'O', 2013; Feroz, 2021; Mercuri *et al.*, 2014 e Lwhmann *et al.*, 2013), no campo militar e na astronomia para analisar os diversos constituintes do espaço (Maldague, 1993).

Pode também ser utilizado na monitorização do meio ambiente, destacando-se a monitorização de árvores em contexto urbano e rural (Pintarma *et al.*, 2019) com o objetivo de detetar a decomposição da árvore, a presença de zonas ocas na mesma e tecidos da árvore danificadas (Alisson *et al.*, 2020). A deteção de incêndios através de câmeras térmicas infravermelhas fixas ou acopladas aos mais diversos tipos de aeronaves, tem sido uma forma eficaz no auxílio ao combate aos incêndios florestais, pois se forem detetados no seu estado inicial facilita o seu combate (Maldague, 1993 e Puluido *et al.*, 2018). Na monitorização das falésias com o intuito de determinar o risco que estas representam em termos de deslize de terras (Melis *et al.*, 2020). Também pode ser utilizada na deteção de água no solo através de

câmeras térmicas fixas montadas no terreno onde está regista a temperatura em diferentes períodos (Antonucci, 2011).

A termografia também tem um papel de destaque na agricultura nestes últimos anos, devido às suas inúmeras utilidades, tanto no campo da monitorização das plantas como na vertente da monitorização do estado de saúde do efetivo animal. No campo da monitorização vegetal existem inúmeras utilidades por parte desta tecnologia onde se destaca a monitorização do estado hídrico das culturas (Ros *et al.*, 2020), controlo de viabilidade das sementes (Liu *et al.*, 2020) entre outros, porém para ter uma melhor perspetiva do uso que esta tecnologia pode proporcionar no ramo vegetal o (quadro 2.2) demonstra os mais diversos trabalhos feitos aos longo dos anos sobre este tema.

**Quadro 2.2-** Quadro demonstrativo da utilização da termografia na agricultura no ramo vegetal.

Ano	Título	Cultura	Autor	Observações
2013	Mid-Infrared Lifetime Imaging for Viability Evaluation of Lettuce Seeds Based on Time-Dependent Thermal Decay Characterization	Alface	Kim G. <i>et al.</i>	Medição da viabilidade de sementes de alface
2014	Infra-Red Thermography as a High-Throughput Tool for Field Phenotyping		Prashar A., <i>et al.</i>	Revisão bibliográfica
2016	Forward-Looking Infrared Cameras for Micrometeorological Applications within Vineyards	Vinha	Katurji M., <i>et al.</i>	Aplicação de metodologias numa vinha
2017	Remote Sensing for Irrigation of Horticultural Crops	Horticultura	Alvino A., <i>et al.</i>	Monitorização de solo para tomada decisão na rega
2017	A Classification Method for Seed Viability Assessment with Infrared Thermography	Ervilha	Men S., <i>et al.</i>	Metodologia na avaliação de sementes
2018	Can UAV-Based Infrared Thermography Be Used to Study Plant-Parasite Interactions between Mistletoe and Eucalypt Trees?	Eucalipto	Maes W., <i>et al.</i>	Identificação de arvores infetadas e respetiva variação térmica
2019	Comparison and Combination of Thermal, Fluorescence, and Hyperspectral Imaging for Monitoring Fusarium Head Blight of Wheat on Spikelet Scale	Trigo	Mahlein A., <i>et al.</i>	Deteção do fusarium
2019	IR Thermography from UAVs to Monitor Thermal Anomalies in the Envelopes of Traditional Wine Cellars: Field Test	Enologia	Sanz J., <i>et al.</i>	Monitorização de anomalias em adegas tradicionais
2019	New Insights in Potato Leaf Freezing by Infrared Thermography	Batata	Steger M., <i>et al.</i>	Estudo do processo de congelamento das folhas

2019	Infrared Thermography to Estimate Vine Water Status: Optimizing Canopy Measurements and Thermal Indices for the Varieties Merlot and Moscato in Northern Italy	Vinha	Belfiore N., <i>et al.</i>	Estimativa do estado hídrico da vinha
2019	Non-Invasive Tools to Detect Smoke Contamination in Grapevine Canopies, Berries and Wine: A Remote Sensing and Machine Learning Modeling Approach	Vinha	Fuentes S., <i>et al.</i>	Avaliação dos padrões de queimaduras pelo efeito do fumo
2019	Early Detection of Zymoseptoria tritici in Winter Wheat by Infrared Thermography	Trigo	Wang Y., <i>et al.</i>	Deteção num estado precoce da Zymoseptoria tritici
2020	Feasibility of Low-Cost Thermal Imaging for Monitoring Water Stress in Young and Mature Sweet Cherry Trees	Cereja	Ros P., <i>et al.</i>	Monitorização do estado da água
2020	Influence of Water Stress Levels on the Yield and Lycopene Content of Tomato	Tomate	Takács S., <i>et al.</i>	Monitorização do estado hídrico para posteriormente se comparado com licopeno do tomate
2020	Performance Assessment of Thermal Infrared Cameras of Different Resolutions to Estimate Tree Water Status from Two Cherry Cultivars: An Alternative to Midday Stem Water Potential and Stomatal Conductance	Cerejeira	Benavides M., <i>et al.</i>	Monitorização do estado hídrico
2020	A Non-Invasive Analysis of Seed Vigor by Infrared Thermography	Trigo e Ulmus pumila L	Liu L., <i>et al.</i>	Monitorização do vigor das sementes
2020	Applying Infrared Thermography to Soil Surface Temperature Monitoring: Case Study of a High-Resolution 48 h Survey in a Vineyard (Anadia, Portugal)	Vinha	Frodella W., <i>et al.</i>	Monitorização da temperatura de solo
2020	Development of an Open-Source Thermal Image Processing Software for Improving Irrigation Management in Potato Crops ( <i>Solanum tuberosum</i> L.)	Batata	Palin G., <i>et al.</i>	Melhoramento de sistema de irrigação
2021	Evaluation of Responsivity to Drought Stress Using Infrared Thermography and Chlorophyll Fluorescence in Potted Clones of <i>Cryptomeria japonica</i>	Camélia Japónica	Takashima Y. <i>et al.</i>	Avaliação as alterações causadas pela seca

## 2.5. Veículos aéreos não tripulados e o seu uso na agricultura

Os veículos aéreos não tripulados (VANT), ou drone como é denominado em todo o mundo, sendo que esta designação provém dos Estados Unidos. A sua história nem sempre tem uma ligação ao uso civil, segundo (Haluani, 2014) os VANT surgiram da necessidade que os militares tiveram em não arriscarem a sua vida, e também para serem mais precisos nas suas manobras. O primeiro registo de veículos aéreos não tripulados remota ao ano 1849 na cidade de Veneza que fora bombardeada com balões de ar quente sem qualquer tripulante,

sendo esta considerada o primeiro vôo de veículos aéreos não tripulados, embora tenha havido algumas tentativas anteriormente (Packer e Reeves, 2013). Porém fora na Segunda Guerra Mundial que a produção em grande escala de VANT, fabricado pelas indústrias Reginald Denny, foi encomendado pelo exército americano para o treino da sua artilharia antiaérea (Chamayou, 2015). Existem ainda algumas referências por parte de (González Jorge *et al.*, 2017) na Guerra do Vietnam com a missão de reconhecimento do local. A posterior o estado de Israel utilizou VANT para fins militares em sintonia com aviões tripulados em ataques combinados.

Tendo em consideração os avanços referidos anteriormente, os VANT tiveram um maior avanço no século XXI, principalmente através dos militares, pois como referido anteriormente esta tecnologia teve como origem a área militar e posteriormente a área Civil (Gonzalez Jorge *et al.*, 2017). Em termos civis as suas aplicações tiveram como principal impulsionador a NASA, com um projeto ERAST que teve como principal objetivo a análise das condições ambientais, sendo este uma das maiores impulsionadoras dos VANT como conhecemos atualmente.

Os principais fatores que fizeram com que estes equipamentos estivessem disponíveis para qualquer civil, é pelo facto de que a tecnologia que os constitui ficasse progressivamente mais barata. O hardware feito de materiais mais baratos e resistentes e software mais desenvolvidos, práticos e com um leque de opções mais variado. Também devido a sua facilidade de acoplar diversos tipos de equipamentos, desde câmeras, sensores, depósitos de água entre outras (Gonzalez Jorge *et al.*, 2017).

### **2.5.1. Tipologia dos veículos aéreos não tripulados**

A tipologia de aeronaves é um tema que não está devidamente estipulado, sendo que alguns autores os categorizam pelo seu tamanho, outros pelo tipo de asas ou hélices, outros pela sua autonomia. As caracterizações que atualmente são mais utilizadas têm como origem nomes militares (Watts *et al.*, 2012):

- Micro veículo aéreo não tripulado (MAV-UAV- Micro Air Vehicles) - tendo a característica de ser pequenos, facilmente transportados, a altura máxima de voo passa pelos 300m de altura e possuem uma autonomia de 5 a 30 minutos de voo.
- Decolagem e Pouso Vertical (VTOL- Vertical Take-Off & Landing) - tendo a característica de poder decolar e pousar verticalmente, uma autonomia inferior a uma



hora, podendo voar a diferentes altitudes consoante o objetivo e poder acoplar sensores, câmeras entre outras coisas.

- Baixa Altitude, Baixa Resistência (LASE - Low Altitude, Short-Endurance) - aeronave pequena com um peso entre os 2-5 kg, largura inferior a 3 m, autonomia entre 1 e 2 horas, não necessita de pista de lançamento e opera a uma altura máxima de voo 1 500m.
- Baixa Altitude, Resistência baixa (LASE Close- Low Altitude, Short-Endurance Close) - possuindo as mesmas características que o anterior, só que necessita de uma pista para decolar.
- Baixa Altitude, Longa Resistência (LALE - Low Altitude, Long Endurance) - tem a capacidade de voar a longas distâncias, possuem uma autonomia de 2 a 3 horas de voo, e voam a uma altura máxima de 2 000m.
- Altitude Média, Longa Resistência (MALE - Medium Altitude, Long Endurance) - voar a longas distâncias, possuem uma autonomia de 2 a 3 horas de voo, e voam a uma altura máxima de 9 000 m.
- Alta Altitude, Longa Resistência HALE (High Altitude, Long Endurance) - Estas aeronaves têm a capacidade de voar a uma altitude de 20 000 m, e um alcance de vários km e uma autonomia de mais de 30 horas (Watts *et al.*, 2012).

### **2.5.2. Aplicações dos VANT**

Em termos da sua aplicação este tipo de equipamentos possui um grande leque de possibilidades de uso, como na proteção civil, com a finalidade de monitorizar espaços florestais na ótica de deteção de incêndios, no auxílio dos bombeiros em fogos urbanos e florestais, sem pôr em risco a vida dos mesmos, deteção de pessoas em incêndios, busca e salvamento, de pessoas que se perderam na floresta ou identificação de incendiários entre outros, na monitorização de populações florestais e comunidades animais (Weidinger, Schlauderer e Overhage, 2018).

Os VANT estão a crescer no mercado das entregas de mercadorias maioritariamente compras online, devido à sua rapidez e facilidade de entrega, um dos bons exemplos de empresas que fazem este tipo de entregas é a Amazon, sendo que o autor refere que este tipo de entregas será uma realidade do nosso quotidiano (Welch, 2015), relativamente ao tema das entregas por VANT podem ser mais rentáveis e ecológicas nas entregas até 20 quilograma em distâncias médias a curtas (Goodchild e Toy, 2017). Dentro do mercado dos

transportes, este tipo de equipamentos estão a começar a ter um papel muito importante na área dos transportes no setor da saúde, principalmente entre hospitais, no qual tornam as entregas mais rápidas e eficazes, um bom exemplo é o recente estudo feito por uma equipa de investigadores do Hospital Johns Hopkins, onde estes demonstram que era possível fazer transporte de sangue, plaquetas, órgãos, tendo sempre uma arca de refrigeradora acoplada (Amukele *et al.*, 2017), para além ainda há um estudo que refere que as vacinas podem ser entregues nos hospitais (Haidari *et al.*, 2016).

Outras das áreas que este tipo de equipamentos está a ser usado, e está a ter um papel fundamental é na área da segurança, com isto quer dizer que para além da área militar referida anteriormente, este tipo de equipamentos estão a ser utilizados pela polícia tanto nacional como a polícia de outros países, um bom exemplo destas utilidades que tem os VANT, passa pela monitorização de tráfego automóvel, com o intuito de detetar os infratores e fazer o controlo do mesmo, para preservar a segurança dos condutores e peões (Afolabi *et al.*, 2013). Outra das utilidades que a polícia está a dar a este tipo de equipamento é no auxílio de acidentes de aviação, pois este método é mais rápido, barato e não necessita de tantos agentes que podem ser libertados para outras ocorrências, estes equipamentos captam fotografias e vídeos aéreos, para os agentes documentarem ao pormenor o acidente (Sousa *et al.*, 2016). Como referido anteriormente os VANT também são usados pela polícia na busca e salvamento de pessoas perdidas ou raptadas, e no auxílio ao combate do tráfico (Custers, 2016). Por fim, os VANT também podem ser usados como forma de lazer, no qual se evidenciam as capturas de fotos aéreas de pessoas, monumentos, eventos desportivos, casamentos, festas, até mesmo da vida selvagem. Por último este tipo de equipamentos pode ser utilizado para projetar imagens no céu, casas, monumentos entre outros, e ainda projetar jogos temáticos no solo (Scheible *et al.*, 2017).

### **2.5.3. Os VANT na agricultura**

O uso dos VANT na agricultura passa essencialmente pela agricultura de precisão, com a principal finalidade de obtenção de dados aéreos das parcelas para posteriormente processar e ter um maior panorama do mesmo, e puder facilitar a tomada de decisão, no entanto também já é possível fazer aplicações de produtos fitossanitários localizado nos mais diversos tipos de cultura ao ar livre (Grammatikos *et al.*, 2020).

Os VANT são cada vez mais usados na agricultura de precisão como suporte para os mais diversos tipos de equipamentos, destacando as câmeras térmicas, multiespectrais, RGB (Xie e Yang, 2020).

Um dos objetivos do uso deste tipo de equipamentos passa pela elaboração de índices de vegetação NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) com objetivo de monitorizar o estado de saúde e desenvolvimento das culturas com câmera multiespectral, no qual este sensor quantifica a quantidade de luz que as plantas absorvem e refletem nos mais variados comprimentos de onda, porém este índice pode ser facilmente adaptado e modificado, mas no caso do NDVI base é utilizado principalmente as bandas ótica e infravermelho de proximidade. Uma das utilidades que este índice tem para o agricultor passa pela monitorização da fertilidade das parcelas, o estado de saúde e para uma melhor tomada de decisão (Paredes *et al.*, 2017).

A técnica que tem maior potencial de crescimento é a monitorização do estado hídrico das culturas. Esta técnica passa pela passagem de um VANT sobre a parcela onde uma câmera térmica capta a temperatura da mesma, no qual cada pixel da mesma possui uma temperatura. No qual no pós-processamento se calcula os índices de stress hídrico das culturas, destacando-se o CWSI e o Ig. O CWSI podendo dar a informação ao agricultor uma escala de 0 e 1, no qual esta tem um valor central de 0,5 e abaixo deste valor a planta está em stress hídrico baixo e acima desta escala está em stress hídrico, porém este índice não é normalizado e pode ultrapassar o 1, dando ao agricultor dados sobre as necessidades de rega, identificando os setores de rega que necessitem de maior ou menor tempo de rega contribuindo assim para gestão da água eficiente através da rega de precisão (Walthall *et al.*, 2013).

A aquisição de imagem através do VANT também é uma das vertentes no uso destes equipamentos, no qual através de um vôo se captam várias imagens de uma determinada parcela ou área para posteriormente ser processada e obter-se uma ortoimagem da parcela com uma melhor resolução, para poder-se fazer uma fotointerpretação da ocupação do solo (Xie e Yang, 2020).

Uma das estimativas que eram feitas através de imagens de satélites é o teor de clorofila, das diferentes culturas, e que estão a ser adaptadas também para os VANT. No qual esta técnica passa pela captura de bandas RE (Red Edge) e NIR (Near Infrared) através de um sensor multiespectral. No qual estas bandas são processadas através de fórmulas, dando a

quantidade de clorofila, tendo-se assim uma noção do estado da vegetação (Uto *et al.*, 2013). Para além da estimativa referida anteriormente ainda é possível fazer uma estimativa do azoto nas folhas. Através de um voo de VANT, com uma câmara multiespectral acoplada, realiza-se um varrimento do local de estudo e posteriormente são recolhidas amostras de folhas de plantas, neste caso da planta do trigo, posteriormente analisadas em laboratório e correlacionando o valor que o VANT captou e a dada em laboratório (Zheng *et al.*, 2016).

Uma das utilizações dos VANT é a deteção de doenças, estando ainda este tipo de monitorização das culturas num estado embrionário pois há pouca informação sobre o mesmo, mas segundo Potrino *et al.*, 2018 os VANT permitem realizar um mapa na base de um algoritmo, no qual se o sensor detetar alguma praga dá-lhe um código, o inseto está doente atribui outro, se a planta é saudável dá outro código, se a planta tem indícios de doença dá outro código, se há ausência de doença a planta dá-lhe outro código, a cada pixel do mapa, e com este método numa só passagem o agricultor pode saber onde deve aplicar ou não aplicar fitofármacos, reduzindo os custos o impacto que tem no ambiente.

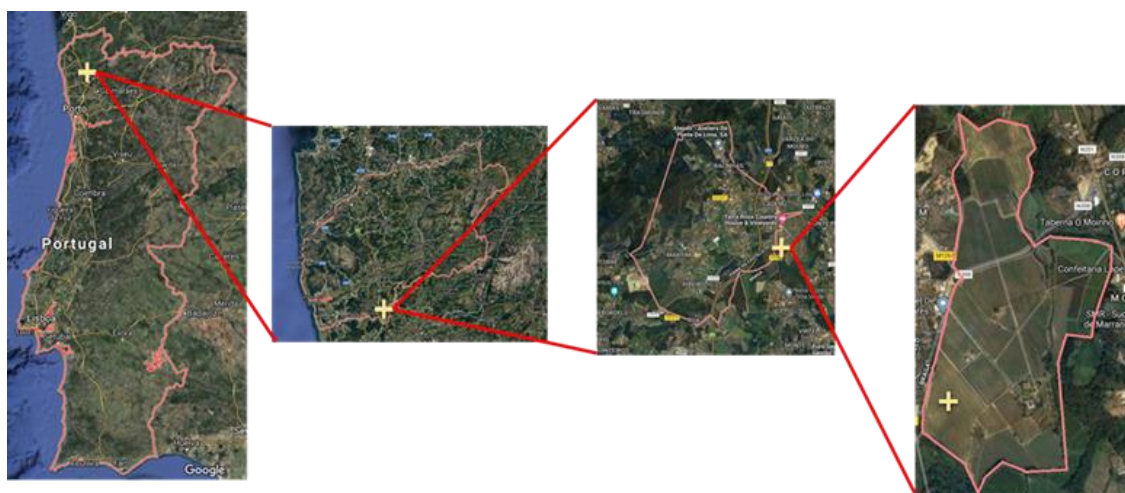
Por último uma das aplicações mais controversas passa pela aplicação de produtos fitofármacos nas mais diversas culturas em todo o mundo, mas, porém, a Lei nº26/2013 proíbe a sua utilização de VANT na aplicação de fitofármacos pois entram na categoria de aeronaves. Em Portugal só é possível fazer este tipo de aplicações na cultura do trigo, porém com uma autorização especial por parte do ministério da agricultura segundo a lei referida anteriormente. Sendo que esta técnica passa por acoplar um ou dois depósitos a uma aeronave a onde possuem uma calda dentro do mesmo e através de uma barra de pulverização esta pode ser feita telecomandada por um operado ou pode ser aplicado através de um algoritmo, que este depende do que se está a aplicar como demonstra (Dai *et al.*, 2017 e Faiçal *et al.*, 2017).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

No presente capítulo irá abordar-se-á a caracterização da parcela do ensaio, metodologias implementadas e uma descrição dos materiais de recolha de dados utilizados, bem como a validação dos dados.

#### 3.1. Enquadramento e delineamento experimental

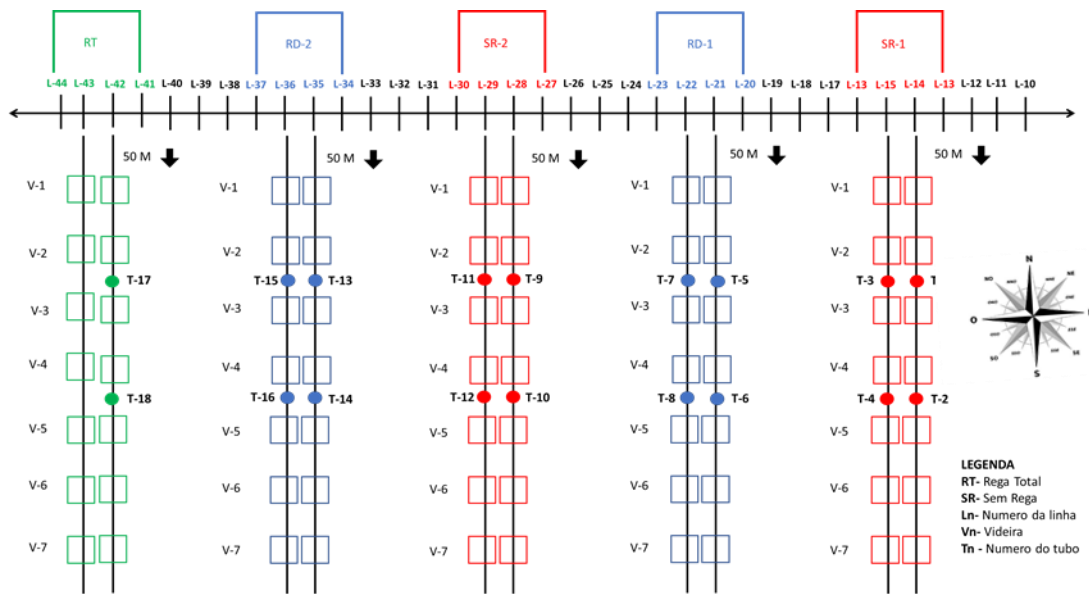
O presente trabalho foi realizado numa parcela *Vitis vinífera* CV. Loureiro na região demarcada dos vinhos verdes sub-região do Cávado, tendo cerca de 58 hectares, localizada na união de freguesias de Calvelo e Arcozelo, concelho de Ponte de Lima, distrito de Viana do Castelo, norte de Portugal (41°40'32.2"N 8°32'05.9"W), a uma altitude de 175 metros (Figura 3.1).



**Figura 3.1-** Localização da área do estudo (google mapas, ano da imagem 2021).

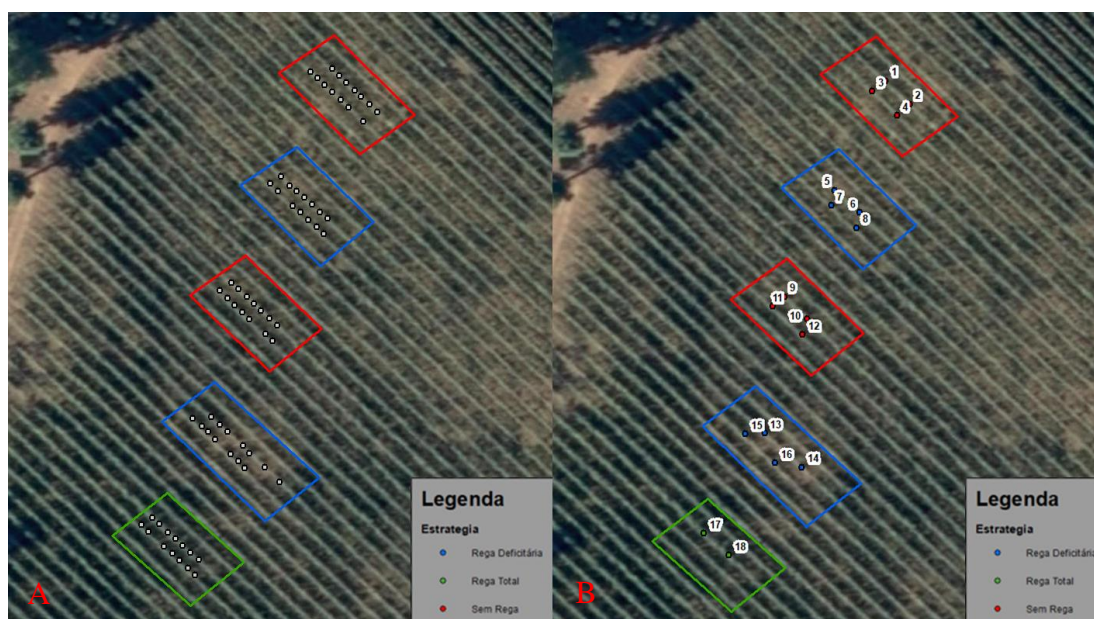
A parcela de estudo ocupa uma área de 5,64 hectares, tendo a propriedade um total de 58 hectares. O porta-enxertos é o 1103p, sendo plantada no ano de 2001, com orientação Norte-Sul, com um compasso de 2x3 metros, com um total de 1666 plantas por hectare, sendo o seu sistema de condução em cordão simples ascendente. A parcela tem um sistema de rega gota a gota, com gotejadores autocompensantes que debitam 4 L. h<sup>-1</sup>, separados um metro entre si. As suas necessidades de rega foram estimadas semanalmente, através dos valores da evapotranspiração cultural (ET<sub>c</sub>), utilizando o método de Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998). Os dados meteorológicos diários foram registados a partir de uma estação agrometeorológica instalada no local do ensaio fornecendo dados das variáveis de temperatura, humidade relativa, velocidade do vento e precipitação em tempo real.

O delineamento experimental, foi constituída por cinco blocos, com distintas estratégias de rega: Rega Total (RT, 100% ETc) com 243 m<sup>2</sup>, Rega Deficitária (RD 50% do ETc) com 577 m<sup>2</sup> e Sem Rega (SR) com 504 m<sup>2</sup>, com disposição Este-Oeste seguindo a ordem, SR linhas 13 a 16 da parcela, RD linhas 20 a 23 da parcela, SR linhas 27 a 30 da parcela, RD linha 34 a 37 da parcela e por último RT linha 41 a 44 da parcela com 28 plantas cada zona, sendo que cada uma possui duas linhas centrais com 7 plantas cada, onde foi realizado o estudo e duas linhas laterais que servem de bordadura às estratégias de rega (Figura 3.2 e 3.3).



**Figura 3.2-** Localização das estratégias de rega: Rega Total (RT, cor verde); Rega Deficitária (RD, cor azul) e Sem Rega (SR, cor vermelha) e dos tubos de acesso para as leituras do teor de água no solo (Tn).

Cada um dos blocos dista 50 metros do início da linha, estas duas linhas de estudo possuem 7 videiras cada uma, sendo que entre a 2<sup>a</sup> e a 3<sup>a</sup> videira foi colocado um tubo de medição do teor de água no solo, bem como entre a 5<sup>a</sup> e a 6<sup>a</sup>. Os tubos de medição do teor de água no solo 1, 2, 3, 4, 9, 10, 11 e 12 encontram-se localizados na área afeta à estratégia sem rega (SR), os 5, 6, 7, 8, 13, 14, 15 e 16 da estratégia rega deficitária (ETc 50%) e por último os 17 e 18 da estratégia de rega total (ETc 100%) (Figuras 3.3).



**Figura 3.3-** Localização de cada um dos blocos: **A-** Localização das catorze videiras por estratégia (RT, RD, SR). **B-** Localização dos tubos por estratégia.

### 3.1.1. Definição de unidades homogêneas

As unidades homogêneas são áreas ou zonas que possuem, um conjunto de características/variáveis edafoclimáticas semelhantes ou muito próximas entre si ou até em alguns casos idênticas. Estas áreas, pelas características de proximidade que possuem entre si, permitem a delimitação de zonas com a finalidade de facilitar a interpretação da área objeto de estudo. Num processo de agregação de informação, torna-se possível a criação de uma zonagem, através de processos de comparação entre variáveis ambientais facilitando a leitura, interpretação, análise e decisão agronómica. Estes processos, podem ser realizados de forma manual, quando temos em análise poucas variáveis, ou através de modelação multicritério e/ou multiobjectivo, quando temos em análise um conjunto largo de variáveis, que de forma manual torna-se impossível devido à diversidade de combinações entre elas (Agroconsultores e Geometral, 1995). Na área de trabalho, procedeu-se à delimitação dessas zonas homogêneas, com o apoio da informação cartográfica existente na carta de solos e aptidão da terra do entre Douro e Minho à escala 1:100 000. Estas unidades homogêneas possuem na sua origem, três variáveis: i) clima; ii) litologia, iii) orografia e iv) ocupação de solo (Quadro 3.1).

**Quadro 3.1-** Unidades base para a classificação de unidades homogêneas.

<b>Clima</b>	
Q	Terras Temperadas e Quentes
<b>Litologia</b>	
x	Xistos
<b>Forma de relevo e característica topográficas</b>	
s	Superfícies com relevo ondulado a suavemente ondulado, com declives inferiores a 15%.

Fonte: (Agroconsultores e Geometral, 1995)

**3.2. Caracterização do meio físico**

O presente capítulo pretende descrever os materiais e metodologias que estiveram na base para o desenvolvimento das unidades homogêneas associadas à parcela. Deste modo esta caracterização teve como base a carta de Solos e Aptidão do entre Douro e Minho remetente ao ano de 1995, para a caracterização do solo, as suas aptidões e caracterização climática (Quadro 3.2). Para além desta informação, também foram agregados dados relativos à estação meteorológica instalada na proximidade do ensaio. Por último a altimétrica foi obtida através de restituição fotogramétrica com base em mosaico obtido a partir de imagens aéreas provenientes de um VANT.

**Quadro 3.2-** Quadro com a informação base dos elementos presentes na parcela.

<b>Temas</b>	<b>Informação de Base</b>	<b>Fonte da Informação</b>	<b>Escala Base</b>	<b>Formato Digital</b>
Solos dominantes, aptidão, coeficiente de risco de erosão, litologia, relevo e clima .	Carta de Solos	DRAEDM	1:100000	DGN
Limites administrativos	Carta Administrativa Oficial de Portugal	IPCC	-	Shapefile
Imagem de VANT	Ortoimagem	-	-	TIFF/ JPG-r
Altimetria	Carta Militar	IgeoE	1:25000	Shapefile
Cartas de insolação, geadas, precipitação, humidade relativa e temperatura.	Atlas do Ambiente	IA	1:100000 0	Shapefile



### 3.2.1. Fisiografia

A caracterização altimétrica teve como base a produção de uma imagem aérea RGB proveniente de um VANT. Com esta imagem e a partir de técnicas fotogramétricas e processamento estereoscópico com o software METASHAPE, foi possível realizar uma restituição aerofotogramétrica extraindo uma nuvem de pontos para modelação 3D da altura dos objetos, com o intuito de produzir curvas de nível. Com estes elementos geográficos representativos da altitude da parcela, foi possível extrair um modelo digital de elevação (com dimensão de pixel de 7 cm) e informação derivada, como os declives e a exposição solar, igualmente com a mesma resolução espacial. A produção das curvas de nível, obedeceu a uma equidistância natural de 50 cm entre linhas. E tendo por base estas mesmas gerou-se um modelo digital de terreno (MDT), uma carta com a exposição solar da parcela e uma carta de declives.

### 3.2.2. Caracterização edafo-climática

Segundo a carta de solos e aptidão do entre douro e Minho, o clima é caracterizado tendo como ponto de partida os seguintes parâmetros: a temperatura e humidade na sua vertente máxima, mínima e média; a evapotranspiração potencial; o isolamento; número de horas de geada o seu primeiro dia e o seu último dia sendo estes valores de referência e nebulosidade. Porém os fatores que temos de ter em conta para a elaboração deste trabalho passam pela temperatura, humidade e precipitação (Quadro 3.3).

**Quadro 3.3-** Caracterização segundo as zonas climáticas homogêneas quanto à temperatura e precipitação.

TEMPERATURA	ALTIMETRIA (m)	PRECIPITAÇÃO (mm)
<b>Q- Temperado Quente</b>	300 - 400	Q <sub>5</sub> - 1000 < R ≤ 1200 Q <sub>6</sub> - R ≤ 1000
<b>QA- Temperado Quente Atlântico</b>	250 - 400	Qa <sub>1</sub> - R > 2400 Qa <sub>2</sub> - 2000 < R ≤ 2400 Qa <sub>3</sub> - 1600 < R ≤ 2000 Qa <sub>4</sub> - 1200 < R ≤ 1600 Qa <sub>5</sub> - 1000 < R ≤ 1200
<b>QI- Temperado Quente Litoral</b>	< 250	QI <sub>1</sub> - R > 2400 QI <sub>2</sub> - 2000 < R ≤ 2400 QI <sub>3</sub> - 1600 < R ≤ 2000 QI <sub>4</sub> - 1200 < R ≤ 1600 QI <sub>5</sub> - 1000 < R ≤ 1200

Fonte: (Agroconsultores e Geometral, 1995)

### 3.2.3. Caracterização do solo e aptidão da terra

A caracterização do solo da parcela em causa teve por base a carta de solo e aptidão do entre Douro e Minho, no qual tiveram como principais editores as empresas Agroconsultores e Geometral, tendo sido contratada pela Direção Regional da Agricultura do Entre Douro e Minho (DRAEDM) que remete ao ano de 1995.

A carta caracteriza o levantamento de solos e por consequência a avaliação das aptidões que a terra demonstra tanto para a agricultura, florestal e silvo pastorício entre outras.

Perante a análise da presente carta, optou-se pelos seguintes fatores: solos dominantes, litologia, espessura efetiva, condições de enraizamento, fertilidade, e CAU-coeficiente de água disponível, para uma melhor perceção da parcela em estudo (Quadro 3.4).

**Quadro 3.4-** Caracterização do solo da parcela de estudo segundo os fatores que têm influência no estudo.

Solo dominantes	Litologia	Espessura efetiva	Condições de enraizamento	Fertilidade	CAU-coeficiente de água disponível
LPd.x	xistos	3 (2;4)	3	3	50
ATcd.x1	xistos	2 (3)	2	1	105

Fonte: (Agroconsultores e Geometral, 1995)

O solo dominante presente na parcela tem uma base litológica, uma única classe, a rocha sedimentar do Xisto, sendo que todos os solos presentes derivam dessa mesma rocha sedimentar, no qual podemos analisar (Quadro 3.5).

**Quadro 3.5-** Designação dos solos dominantes segundo as suas abreviaturas.

Unidades Pedológicas Dominantes	Designação
ATcd.x	Antrossolos Cumúlicos Dístricos em xistos e rochas afins
LPd.x	Leptossolos Dístricos em xistos e rochas afins

Fonte: (Agroconsultores e Geometral, 1995)

Para uma melhor análise do solo passa pela profundidade que o solo apresenta, que não é homogéneo no seu todo, sendo que estas têm uma influência na capacidade de enraizamento da cultura, como demonstra o (Quadro 3.6).

**Quadro 3.6-** Designação dos graus da espessura efetiva e capacidade de enraizamento.

<b>Grau</b>	<b>Designação</b>
2	Espessura entre 50 e 100 cm
3	Espessura entre 30 e 50 cm
4	Espessura igual ou inferior a 30 cm

Fonte: (Agroconsultores e Geometral, 1995)

A fertilidade de um solo tem um grande impacto na determinação das zonas homogêneas, porém na zona de estudo existem duas zonas distintas: as de alta fertilidade e as de baixa fertilidade (Quadro 3.7).

**Quadro 3.7-** Designação dos graus da fertilidade do solo.

<b>Grau de Fertilidade</b>	<b>Designação</b>
1	Solos com uma elevada fertilidade
3	Solos com fertilidade baixa ou muito baixa

Fonte: (Agroconsultores e Geometral, 1995)

Por último, o fator de maior relevância para o presente estudo é a disponibilidade de água no solo, sendo que nem toda a água está disponível para a planta, pois este fator, deve-se ter em consideração o coeficiente de água disponível no solo (Quadro 3.8).

**Quadro 3.8-** Designação dos graus do CAU (coeficiente de água disponível).

<b>CAU (coeficiente de água disponível)</b>	<b>Designação</b>
Alta a média	130 a 65 mm
Média a baixa	65 a 40 mm

Fonte: (Agroconsultores e Geometral, 1995)

### **3.3. Plataformas aéreas e sensores utilizados**

Para a elaboração do trabalho, foi utilizado um VANT da DJI, modelo Matrice 210, acoplado com uma câmera térmica aérea da marca FLIR, modelo Zenmuse XT2, bem como uma câmera térmica portátil da marca FLIR, modelo E75. Estes três equipamentos foram utilizados ao mesmo tempo para obter imagens térmicas, através do qual os dois primeiros obtiveram imagens aéreas e o terceiro obteve imagens a partir do solo.

De igual forma, foi utilizada uma câmara de pressão PMS Model 600, para a monitorização do potencial hídrico de ramo. Posteriormente foram georreferenciadas as videiras e os tubos de medição do teor de água no solo, através do equipamento MobileMapper® 50, com uma correção em tempo real com o equipamento recetor submétrico GNSS SP60.

Todos os equipamentos referidos foram utilizados em simultâneo nas mesmas datas e por um período máximo de 1,5 horas entre o início e o fim das leituras.

#### **i) Drone DJI Matrice 210**

O veículo aéreo não tripulado DJI Matrice 210 (Figura 3.4), utilizado neste estudo foi desenvolvido pela empresa DJI, sendo este constituído por um esqueleto formado por carbono o que o torna muito leve, sendo as suas dimensões em trabalho de 887x390x290 mm e dobrada para dentro para armazenamento de 716x220x236.

No que diz respeito às hélices, este possui quatro (Quadricóptero), duas pás em posições opostas ligeiramente inclinadas, sendo este o modelo 1760. Possui um motor DJI 3515, no qual é alimentado por duas baterias TB55, que pesam 885g cada uma.

Pode acoplar tanto em cima como por baixo diferentes tipos de câmeras, tais como Zenmuse X4S, Zenmuse X5S, Zenmuse Z30, Zenmuse XT, Zenmuse XT2, SLANTRANGE 3PX e Sentera AGX710.

Possui uma decolagem e pouso vertical a uma velocidade máxima de 3m/s, dispõe também de uma autonomia de voo de 30 minutos, e uma deslocação máxima de 5m/s até uma altura máxima de 3000 m, suportando temperaturas de -20° até 45°.

Por último tem um software conectado a uma aplicação DJI GO 4 APP, que pode ser instalada em qualquer telemóvel ou utilizar o *crystalsky* (monitor de visualização) para a captação de imagens e para pilotar o VANT, possuindo ainda um sistema de deteção de obstáculos num raio de 360° (DJI, 2021).



**Figura 3.4-** Drone DJI Matrice 210.

## **ii) Câmera térmica aérea Zenmuse XT2**

A câmera aérea utilizada foi uma Zenmuse XT2 (Figura 3.5), sendo esta fabricada pela empresa Flir® Systems e DJI, possuindo uma lente de 25mm, com as dimensões de 123,7×112,6×127,1 mm. Esta encontra-se equipada com um Microbolômetro VOx, que não possui um sistema de arrefecimento (DJI, 2021 e FLIR, 2021).

A sensibilidade é de 17  $\mu\text{m}$ , sendo a imagem captada com uma frequência de 30Hz, com uma resolução de 336×256 pixels, e uma variação espectral entre 7,5 e 13,5  $\mu\text{m}$ , podendo a sua variação térmica em termos de precisão ter uma amplitude de -40° a 550°C.

As imagens térmicas são produzidas em outputs com formatos em JPEG, TIFF, R-JPEG. Esta mesma está equipada com uma câmera RGB, com a lente prime lens Focus em 8 mm FOV 57.12°× 42.44°, tendo uma resolução de 4K Ultra HD: 3840×2160 29.97p e um sensor de Pixels eficazes CMOS de 1/1,7": 12 M.

Por último um suporte de encaixe fácil no VANT, com a capacidade de rodar a câmera 360° (DJI, 2021 e FLIR, 2021).



**Figura 3.5-** Câmera térmica aérea Zenmuse XT2.

### iii) Sensor térmico portátil Flir® E75

A câmera portátil de uso no solo (Flir® E75) (Figura 3.6), contém uma lente de 42°, estando a mesma equipada com um microbolómetro que não possui um sistema de arrefecimento, a sua sensibilidade de 17  $\mu\text{m}$ , com uma resolução de lente de 42°x32°, sendo que a sua imagem é captada com uma frequência de 30Hz, tendo esta uma resolução de 320x240 pixéis, com uma variação espectral entre 7,5 e 14  $\mu\text{m}$  e a sua gama térmica em termos de precisão variar entre os -20 °C a 1000 °C (Flir, 2017).

Tendo ainda a capacidade de retirar uma imagem RGB (imagem em cor real), uma imagem de infravermelhos, imagem MSX, fazer gravações nos formatos referidos anteriormente, capacidade de medição da câmera até ao local da captura através de um laser.

Compreende uma característica importante para este estudo que passa pela capacidade de possuir três escalas térmicas na qual a primeira varia entre -20 °C a 120 °C, a segunda escala de 0 °C a 650 °C e por último a terceira que varia entre 300 °C a 1000 °C (Flir, 2017).





**Figura 3.6-** Câmera térmica de solo Flir® E75.

**iv) Câmera de pressão PMS Model 600**

A câmera de pressão utilizada para a medição do potencial hídrico de ramo, foi PMS Model 600 (Figura 3.7-A), fabricada pela empresa PMS Instrument Company. As suas dimensões são 33 cm de largura por 28 cm de comprimento por 24 cm de altura e um peso de 6 kg. Apresenta uma câmera de pressão em alumínio anodizado e um sistema de medição (bar-PSI), com um sistema de selagem de ¼ de polegada, para impedir que o gás se liberte. Para este funcionar é necessário injetar gás nitrogênio (Figura 3.7-B).



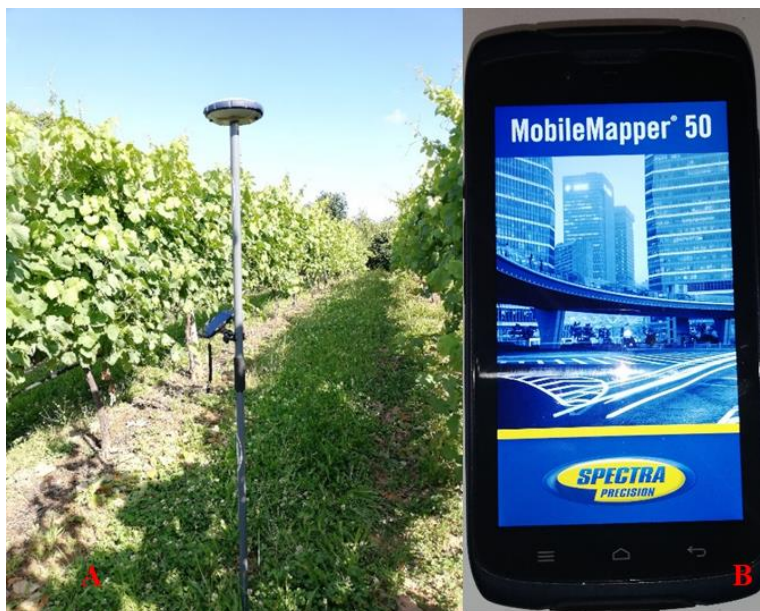
**Figura 3.7-** Câmera de pressão: **A-** Câmera de pressão PMS Model 600. **B-** Botija de Nitrogênio e equipamento necessário.

**v) MobileMapper® 50 e recetor GNSS SP60**

O MobileMapper® 50 (Figura 3.8-B) é um equipamento de recolha de dados georreferenciados e sua integração em SIG, que opera em sistema android 6.0 abrangendo as mesmas funcionalidades que um smartphone. Exerce com um processador Quad Core de 1.2GHz, memória de 16GB e display de 13,4 cm, recebendo dados de quatro constelações de satélites: o GPS, Galileo, Beidou e GLONASS (Spectra Precision, 2017).

Possui ainda uma aplicação de fácil utilização onde é possível registar e caracterizar todos os pontos, linhas ou polígonos. As suas dimensões 164 x 82 x 14,6 cm e com peso de 310 g. No processo de aquisição de leituras, este admite um erro posicional inferior a 150 cm em tempo real e em pós processamento um erro inferior a 80 cm. Para processamento em tempo real, o MobileMapper® 50 (Figura 3.8-A) necessita de uma conexão via Bluetooth a um recetor SP60, que por norma é incorporado num bastão de 2m de altura.

O recetor tem um diâmetro de 21 cm por 7 cm de espessura e um peso de 930 g. Este equipamento tem uma precisão muito alta, no qual verticais o erro inferior a 50 cm e horizontal de 25 cm, porém se trabalhar em RTK o erro é inferior a 5 cm (Spectra Precision, 2017).

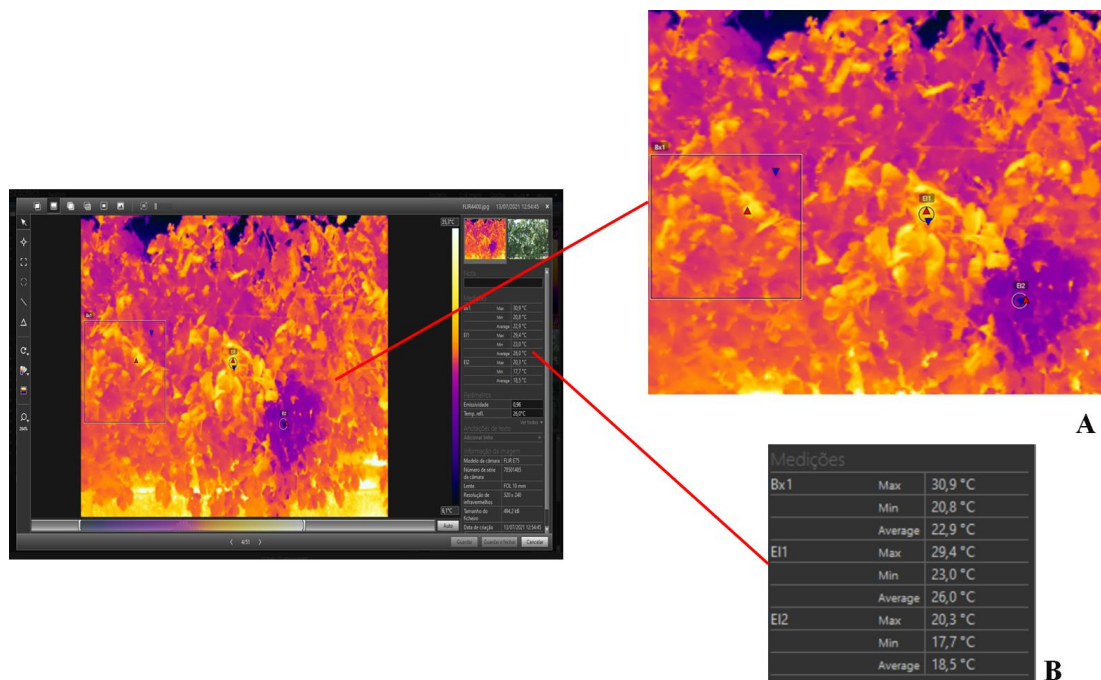


**Figura 3.8-** A- Recetor SP60 incorporado no bastão de 2m de altura e MobileMapper50; B- Smartphone MobileMapper50.



### 3.4. Cálculo do *Crop Water Stress Index* (CWSI) e potencial hídrico de ramo

O tratamento das imagens térmicas captadas com a câmera portátil foi realizado através do software Flir® Tools, sendo este específico para esta tipologia de imagens. Com base neste software, foi calculada a média da temperatura em três zonas, a média da temperatura da canóia (Tc), a média da temperatura da folha com vaselina (Twet) e a média da temperatura da folha pulverizada com água (Tdry). Através destes valores foi possível realizar o cálculo do índice de stress hídrico da planta (CWSI portátil) (Figura 3.9).



**Figura 3.9-** Software de processamento das imagens térmicas portáteis captados no solo. **A-** O local da medição da temperatura para os diferentes Tc, Twet e Tdry; **B-** os valores do máximo, mínimo e a média das zonas descritas anteriormente.

O cálculo de CWSI portátil manual, utilizado neste trabalho, foi o proposto por Idso (1982) modificado por Garcia-Tejero *et al.*, (2016) (Equação 12):

$$CWSI = \frac{(Tc - Twet)}{(Tdry - Twet)} \quad (12)$$

Sendo que, Tc corresponde à temperatura da canóia, que no caso das imagens captadas no solo, foram obtidas pela média de uma área da canóia. Já as imagens aéreas foram obtidas através da temperatura de cada pixel inerente à zona/local onde foram obtidas as imagens no solo. O Twet representa a folha com os estomas abertos e o Tdry representa a folha com os

estomas fechados, sendo que nestes três fatores da equação o valor remete às temperaturas refletidas captadas pelas câmeras térmicas (García-Tejero *et al.*, 2016).

Para o desenvolvimento do presente trabalho, tornou-se necessário realizar o cálculo do CWSI, em duas fases distintas:

1ª Fase: cálculo do CWSI, através do sensor térmico portátil, nas 22 videiras dentro das amostras identificadas (através da metodologia descrita anteriormente de Garcia-Tejero *et al.*, 2016).

2ª Fase: Por outro lado, e a partir dos valores determinados em campo, produziu-se o mesmo índice (CWSI), a partir do sensor térmico aéreo, variando no local da amostra a temperatura da canópia com leitura aérea, sendo estes os seguintes métodos:

- Cálculo do método estatístico do CWSI que tem como base a mesma fórmula descrita anteriormente, porém as variáveis são obtidas de forma diferente. O  $T_{wet}$  e  $T_{dry}$  são obtidos tendo por base um histograma da temperatura da canópia, considerando que 99% corresponde à normalidade da temperatura e o 1% restante representa os extremos. Desta forma, calcula-se a média de 0,5% da temperatura máxima de  $T_{dry}$ , e a média de 0,5% da temperatura mínima que corresponde a  $T_{wet}$ . O  $T_c$  neste método corresponde à temperatura de cada pixel (Bian *et al.*, 2019).
- Para o cálculo do método normal do CWSI, é necessário obter as temperaturas  $T_{wet}$  e  $T_{dry}$ . Para este efeito executou-se a proposta de metodologia descrita por García-Tejero *et al.*, 2016. Para a obtenção do  $T_{dry}$ , foi aplicada vaselina nos dois lados da folha, aproximadamente 30 minutos antes da leitura, provocando o fecho dos estomas impedindo a evapotranspiração e consequentemente stress hídrico na folha. Nesta situação a folha tende a aumentar a temperatura.

Para o  $T_{wet}$  o procedimento passa pela pulverização de água numa folha próxima da anterior, aproximadamente 15 a 20 segundos antes da recolha da imagem térmica, estimulando a evapotranspiração máxima da folha, originando a diminuição da temperatura. O  $T_c$  é o valor médio da temperatura representado em cada pixel da canópia (Garcia-Tejero *et al.*, 2016).

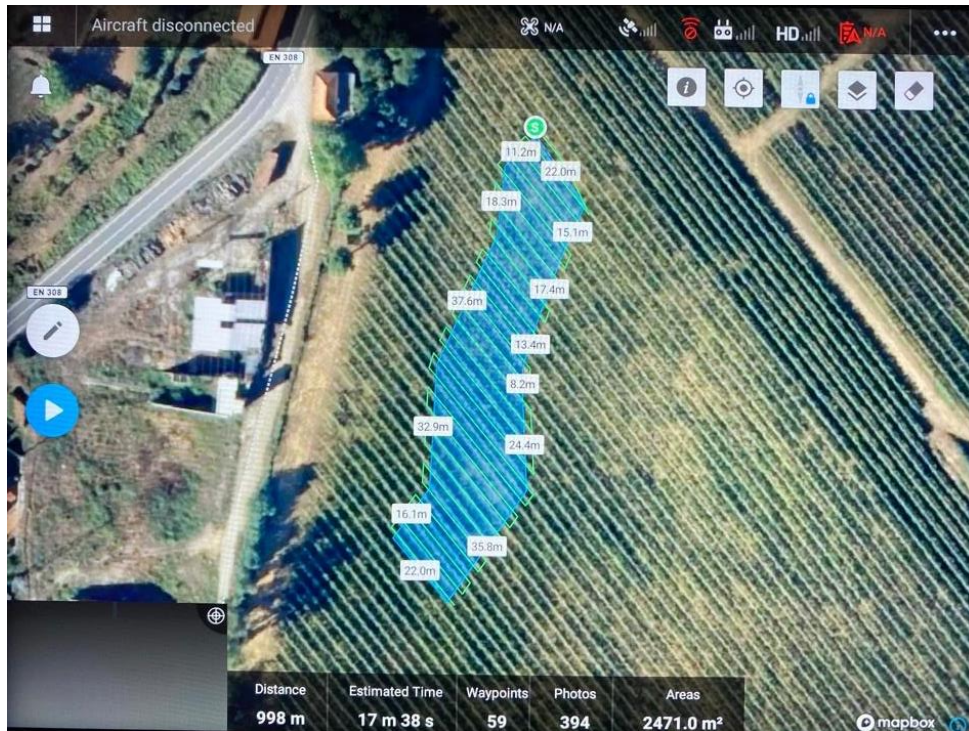
- Cálculo do CWSI pelo método da temperatura do ar, que tem como base a mesma fórmula descrita anteriormente, diferindo no modelo de obtenção das temperaturas. O  $T_c$  é o valor de cada pixel da temperatura da canópia, o  $T_{wet}$  (que equivale a folha com água) é obtido a partir da média de 33% da temperatura mínima, o  $T_{dry}$  é obtido a partir

da temperatura do ar aquando do registo de dados (através de um psicómetro), acrescido de 7° C (Möller *et al.*, 2007).

#### **3.4.1. Processamento das imagens obtidas com sensor aéreo**

O processamento das imagens térmicas aéreas, passaram pelas seguintes etapas ao longo da sua elaboração, sendo estas:

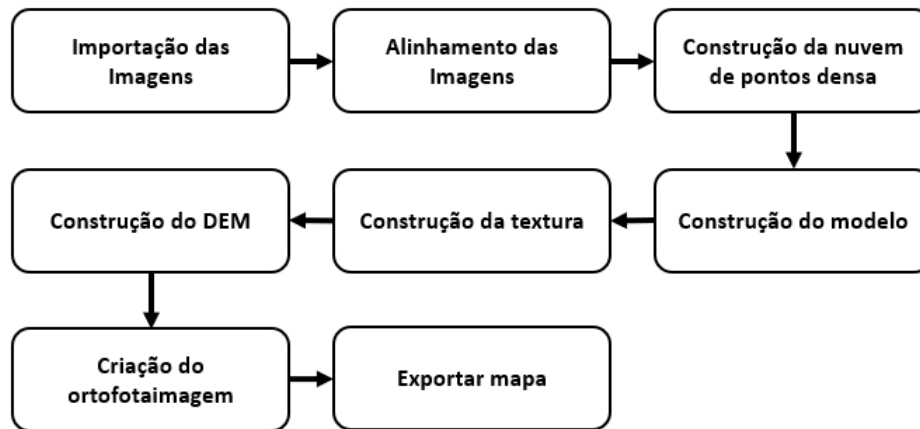
- a) A monitorização do local foi feita com o drone DJI Matrice 210 com a câmara térmica Zenmuse XT2 FLIR. Realizou-se um voo de 15 em 15 dias, com início no mês de junho e fim no mês de agosto, totalizando cinco datas de recolha de dados. A altura de voo estipulada para o trabalho foi de 60 m acima do nível do solo, sendo o voo realizado ao meio-dia solar, com uma rota previamente programada com o objetivo de obter uma sobreposição de 90% entre as linhas de voo (sobreposição lateral e longitudinal). Esta sobreposição teve como objetivo uma maior precisão na obtenção do mosaico térmico, sendo os fotogramas capturados com um intervalo temporal de 2 s (Figura 3.10). A imagem possui uma resolução espacial de 7 cm.
- b) De seguida foi necessário a produção de uma ortofotoimagem térmica e RGB da área de trabalho, que se processou em 8 fases principais (Figura 3.11). Este processo foi realizado através do programa informático AGISOFT METASHAPE de uma forma sequencial:
  - i) Importar as imagens em formato JPG e JPG-R, devidamente georreferenciada, facilitando a orto montagem;
  - ii) Alinhar as fotos; sendo realizada uma fototriangulação através das coordenadas das fotos. Para isso tomaram-se como apoio um conjunto de pontos de controlo (16 no total) para apoio no processo de georreferenciação (Figura 3.10).



**Figura 3.10-** Rota do VANT ao longo da parcela representada na cor preta. Fonte Plano de voo no crystalsky (monitor de visualização).

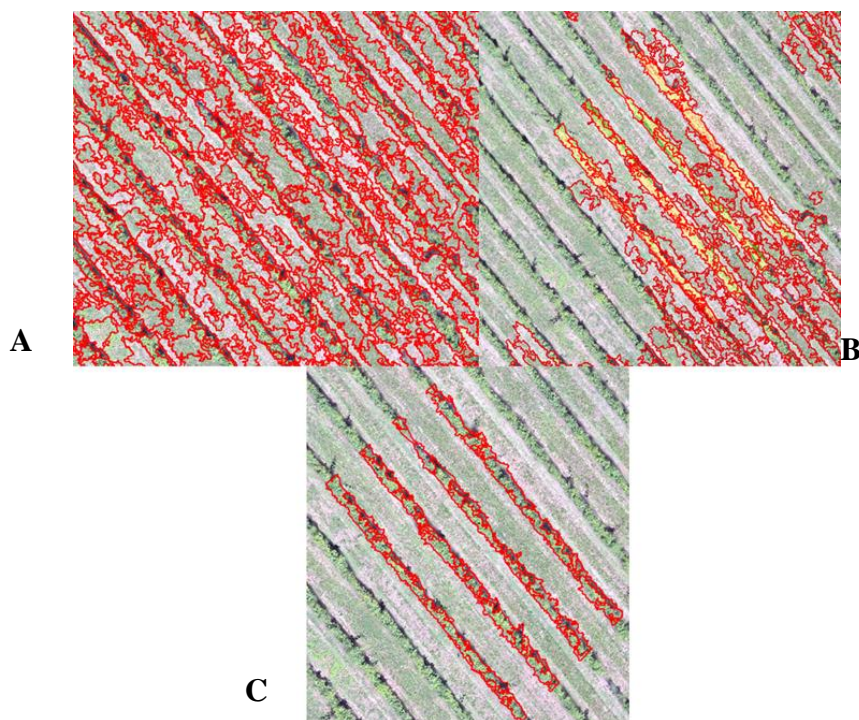
- iii) Construção da nuvem densa de pontos, no qual através de restituição fotogramétrica, torna-se possível obter um conjunto extenso de pontos sobre a imagem, com informação referente à sua latitude, longitude e altitude, sendo a base imprescindível para a posterior construção da ortoimagem,
- iv) Construção do modelo digital de terreno em formato 3 dimensões, através da nuvem densa de pontos;
- v) Criação da textura da imagem, permitindo fornecer uma melhoria em termos visuais;
- vi) Por último a produção da ortoimagem, através da ortorretificação do mosaico fotogramétrico anteriormente produzido;

O processo de montagem das imagens térmicas e RGB está descrito de uma forma simplificada em formato esquema (Figura 3.11).



**Figura 3.11-** Esquema da construção da ortoimagem.

- c. O último passo passa pela segmentação da imagem RGB que foi realizada a partir do software IDRISI. O objetivo da segmentação, foi diferenciar e isolar as áreas de vinha da entrelinha, local ocupado apenas por vegetação herbácea. Neste procedimento e para a delimitação dos polígonos de segmentação, considerou-se a existência de similaridade de cerca 40% entre os pixels, analisada através da variância entre os mesmos (Figura 3.12).

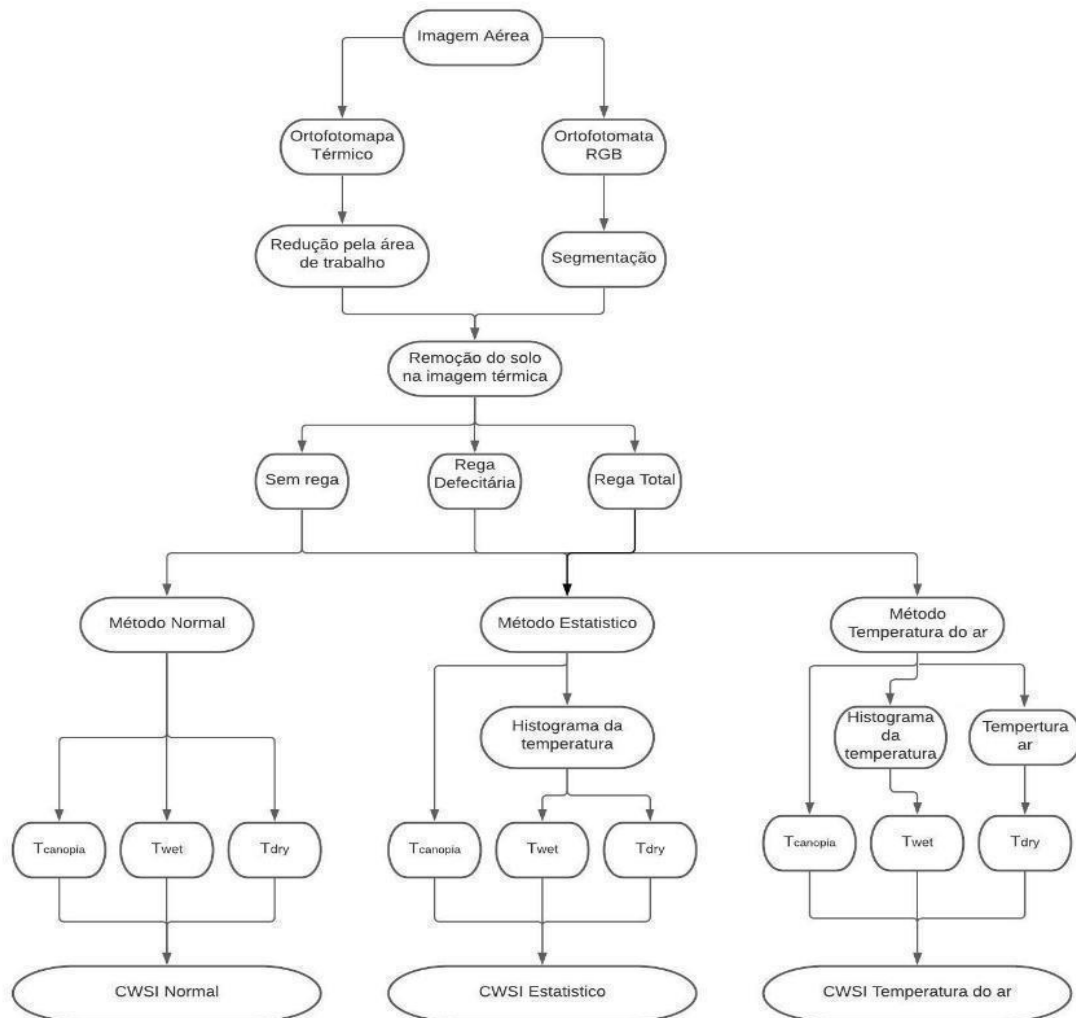


**Figura 3.12-** Processo da Segmentação das imagens RGB, com a obtenção dos polígonos; **A-** resultado da segmentação com os polígonos ao longo da parcela; **B-** processo de remoção da entre linha; **C-** Polígonos relativos a canópia.



O processamento das imagens térmicas e RGB para a obtenção de índices de stress hídrico das culturas resume-se em quatro passos principais (Figura 3.13):

1. Montagens dos ortofotomapas térmico e RGB;
2. Segmentação dos ortos RGB;
3. Remoção das áreas exteriores às estratégias de rega e remoção do solo das estratégias;
4. O cálculo dos CWSI sobre as imagens térmicas.



**Figura 3.13-** Esquema do processamento das imagens aéreas até as três vertentes do CWSI.

### 3.4.2. Cálculo do potencial hídrico de ramo

O potencial hídrico de ramo ( $\Psi_{st}$ ) foi obtido a partir de uma câmara de pressão (PMS Model 600) ao meio-dia solar através do método desenvolvido por Scholander, (1965). Numa primeira fase deste método, escolhe-se uma folha adulta sem qualquer tipo de lesões ou doenças, coloca-se num saco de alumínio selada com o objetivo de neutralizar qualquer interação da mesma com o exterior simulando a noite. A folha é deixada neste estado durante 1 hora, sendo cortada pela haste através de um único corte (uma superfície limpa), seguidamente é retirada do saco de alumínio e colocada no interior da câmara de pressão sem qualquer tipo de dano, e com o pecíolo no exterior. A câmara é selada, e começa a aumentar a pressão de uma forma lenta através de um doseador de gás inerte (azoto engarrafado). Desta forma, a pressão é exercida até que o pecíolo liberte uma gota, querendo dizer que a pressão que está dentro da câmara corresponde à que está na folha. Este fator é detetado através de uma lupa apontada para o pecíolo. No momento em que a gota é visível encerra-se a entrada de azoto e regista-se o valor da pressão em bares negativos.

### 3.5. Validação da informação

A validação dos dados foi realizada avaliando as relações entre as variáveis, através de uma análise de regressão linear ( $R^2$ ) (equação 13): i) entre as distintas médias do CWSI (estatístico, norma, temperatura do ar e portátil); ii) entre potencial hídrico de ramo, e as médias do CWSI estatístico, normal, temperatura do ar) e o CWSI portátil.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{eu} - \bar{x})(y_{eu} - \bar{y})}{\sqrt{\left[ \sum_{i=1}^n (x_{eu} - \bar{x})^2 \right] \left[ \sum_{i=1}^n (y_{eu} - \bar{y})^2 \right]}} \quad (13)$$

Os valores do potencial hídrico do ramo foram obtidos com base em quatro locais de validação, distribuídos no interior de cada polígono relativo a cada estratégia de rega (Figuras 3.2 e 3.3). Os coeficientes de correlação obtidos positivos ou negativos, no qual  $R^2$ : i) 0-0,3 correlação muito fraca; ii) 0,3-0,5 correlação fraca; iii) 0,5-0,7 correlação moderada, iv) 0,7-0,9 forte e 0,9-1 muito forte (Swinscow, 1997), foram utilizados para avaliar qual ou quais os índices de stress calculados, que estimam de forma mais próxima, às zonas com menor ou maior stress hídrico.





## 4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

No presente capítulo será apresentada a caracterização da parcela de trabalho em termos das unidades homogêneas e das variáveis edafo-climáticas, para entendimento e enquadramento dos fatores presentes e a forma como estes podem influenciar os dados obtidos. Numa segunda fase, a abordagem irá ser direcionada para o potencial hídrico de ramo e o CWSI obtidos na parcela ao longo da recolha de dados. Por último, analisaremos a correlação dos distintos métodos de cálculo do CWSI com o potencial de ramo, bem como dos CWSI entre si, conjuntamente com a análise aos coeficientes de determinação obtidos.

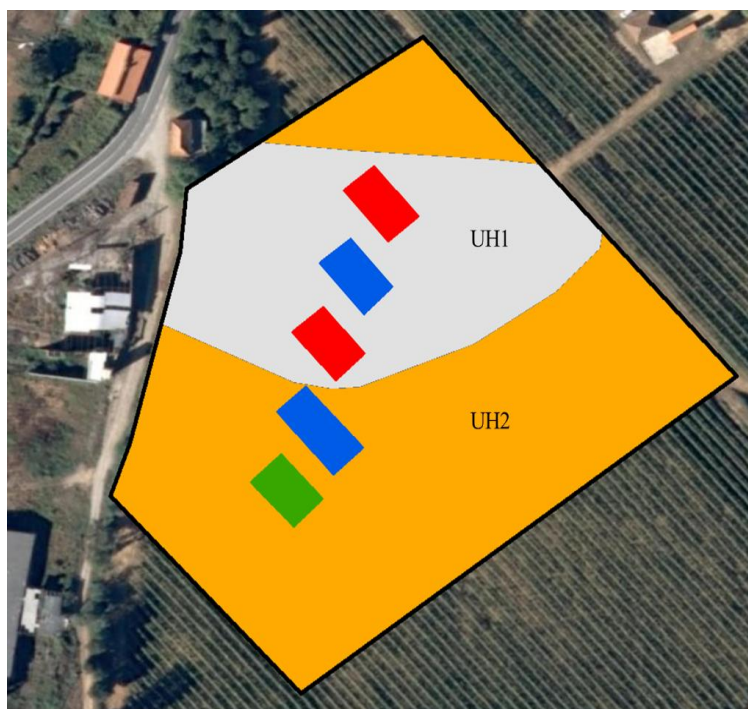
### 4.1. Caracterização das unidades homogêneas

A parcela de estudo, segundo a análise da carta de solo e de aptidão da terra do entre Douro e Minho, possui duas unidades homogêneas distintas. A Qxs2 (UH1), representa a maior extensão da área de trabalho (15 316 m<sup>2</sup>) e em menor escala a Qxs12 (UH2) com (8 157 m<sup>2</sup>) (Quadro 4.1).

**Quadro 4.1-** As áreas das zonas homogêneas em m<sup>2</sup> e em percentagem %.

Unidades Homogêneas	Área (m <sup>2</sup> )	Área%
UH1	15 316	65,25
UH2	8 158	34,75

Desta forma, verifica-se que na área de trabalho predominam os xistos, sendo a orografia suavemente ondulada. As unidades homogêneas descritas, têm como base para a sua definição, o clima, a litologia, e a orografia (Figura 4.1).



**Figura 4.1-** As áreas homogêneas tendo por base a cartas de solos, estando representadas as estratégias ao longo da mesma; o retângulo a vermelho a sem rega; o retângulo azul a rega deficitária; e o retângulo verde a rega total.

## 4.2. Caracterização do meio físico

Com este capítulo pretende-se fazer a caracterização da parcela em estudo, tendo por base a carta de solos e aptidão do Entre Douro e Minho, as curvas de nível e o levantamento feito através do VANT. Porém já como referido anteriormente a zona de estudo apresenta 2 zonas distintas entre si, descrevendo-se os fatores que têm influência no estudo da mesma.

### 4.2.1. Fisiografia

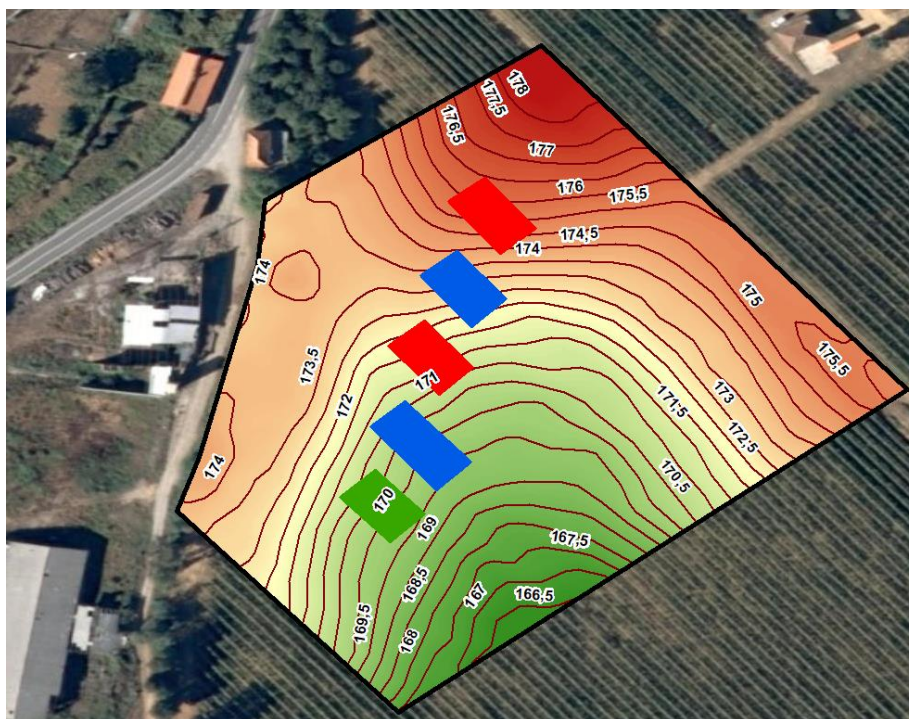
Através das curvas de nível obtidas com base no levantamento feito pelo VANT, a área de estudo varia em termos altimétricos entre os 166 m e os 178 m. As altitudes foram classificadas segundo três categorias, entre os 166 m e os 170 m que representa 5 118 m<sup>2</sup> o que equivale a 21, 80 %, o segundo grupo altimétrico está entre os 170 m e os 175 m o que representa 13 993 m<sup>2</sup> o que equivale a 59,61 %, e por último a terceira categoria, a que varia entre os 175 e os 178 o que representa 4 363 m<sup>2</sup> o que representa 18,59 % da parcela de estudo (Quadro 4.2).

**Quadro 4.2-** Áreas em m<sup>2</sup> e percentagem relativas às cotas, consoante as 4 categorias.

Altitude	Área (m <sup>2</sup> )	Área (%)
166 - 170	5 118	21,80
170 - 175	13 993	59,61
175 - 178	4 363	18,59

Assim sendo a estratégia de rega RT encontra-se entre 169 e os 170,5 m, a primeira zona da rega deficitária (RD) encontra-se entre 169 m a 170,5 m, e a segunda zona da rega deficitária entre 172,5 m e os 173,5m, e por último a sem rega (SR), a primeira zona encontra-se a uma altitude que varia entre os 171 e os 172,5 m e a última zona encontram-se entre os 174,5 m e os 176 m (Figura 4.2).

Desta forma, verifica-se uma amplitude altimétrica baixa que na sua globalidade varia entre os 169 e os 176 m, ou seja, uma amplitude de 7 metros, o que poderá demonstrar que a altitude não será um fator diferenciador na análise de dados.



**Figura 4.2-** Curvas de nível da parcela tendo por base um levantamento feito por VANT; o retângulo a vermelho a sem rega; o retângulo azul a rega deficitária; e o retângulo verde a rega total.

Ao analisar a parcela de estudo segundo a sua exposição constata-se que a área plana, corresponde a 4 957 m<sup>2</sup> representado 21,12 %, não possui qualquer área orientada a norte. A Nordeste possui 211 m<sup>2</sup> que representa 0,90 %, com orientação a este, possui 386 m<sup>2</sup> o que representa 1,64 %. A sudeste com 4 256 m<sup>2</sup> representando 18,13 %, com a orientação a sul, cerca de 5 313 m<sup>2</sup> representando 22,63 %, a oeste, a área de estudo possui 1 266 m<sup>2</sup> o que equivale a 5,39 %, e por último a orientação noroeste, com 142 m<sup>2</sup> o que representa 0,60%. Assim sendo a parcela possui uma orientação maioritariamente Sudoeste, Sul e Sudeste (Quadros 4.3) e (Figura 4.3).

Foi também analisado o risco de erosão atendendo unicamente à variável do declive da área de estudo, no qual foi agrupado em quatro categorias segundo a carta de solos, entre 0 - 3 % com uma área 2 113 m<sup>2</sup> que representa 9 %, entre 3 - 6 % com 4 730 m<sup>2</sup> que representa 20,15%, já a que varia 6 - 13 % representa 15 651 m<sup>2</sup> o que representa 66,67% da área de estudo e por último a superior a 13 % com uma área de 980 m<sup>2</sup> que representa 4,17%. (Quadros 4.4) e (Figura 4.3).

**Quadro 4.3-** Representação da área em m<sup>2</sup> e percentagem da exposição solar da parcela.

Orientação	Área (m <sup>2</sup> )	Área (%)
Plano	4957	21,12
Norte	0	0,00
Nordeste	211	0,90
Este	386	1,64
Sudeste	4256	18,13
Sul	5313	22,63
Sudoeste	6943	29,58
Oeste	1266	5,39
Noroeste	142	0,60

**Quadro 4.4-** A área em m<sup>2</sup> e percentagem das quatro categorias de erosão presentes na parcela.

Declive	Área (m <sup>2</sup> )	Área (%)
0 - 3 %	2113	9,00
3 - 6 %	4730	20,15
6 - 13 %	15651	66,67
> 13 %	980	4,17



**Figura 4.3-** A- Mapa da exposição consoante as curvas de nível; B- mapa do risco consoante o seu declive.

#### 4.2.2. Caracterização edafo-climática

Tendo por base a classificação climática presente na carta de solos, a parcela encontra-se enquadrada na unidade homogénea designada por Terra Temperada Quente Litoral [QI]. Assim sendo a precipitação total anual no ano de 2020, foi de 755 mm, a qual se enquadra na classe “*precipitação total inferior aos 1200 mm/ano*”, estando inserida na unidade fisiográfica QI<sub>5</sub> (Quadro 4.5).

Ao analisar os dados climáticos obtidas da estação meteorológica instalada na parcela, obtivemos valores de temperatura anuais, relativo ano de 2020, onde foi possível observar um mínimo de -0,4 °C e um máximo de 36,4 °C, e a humidade relativa variou entre os 28% e os 100%.

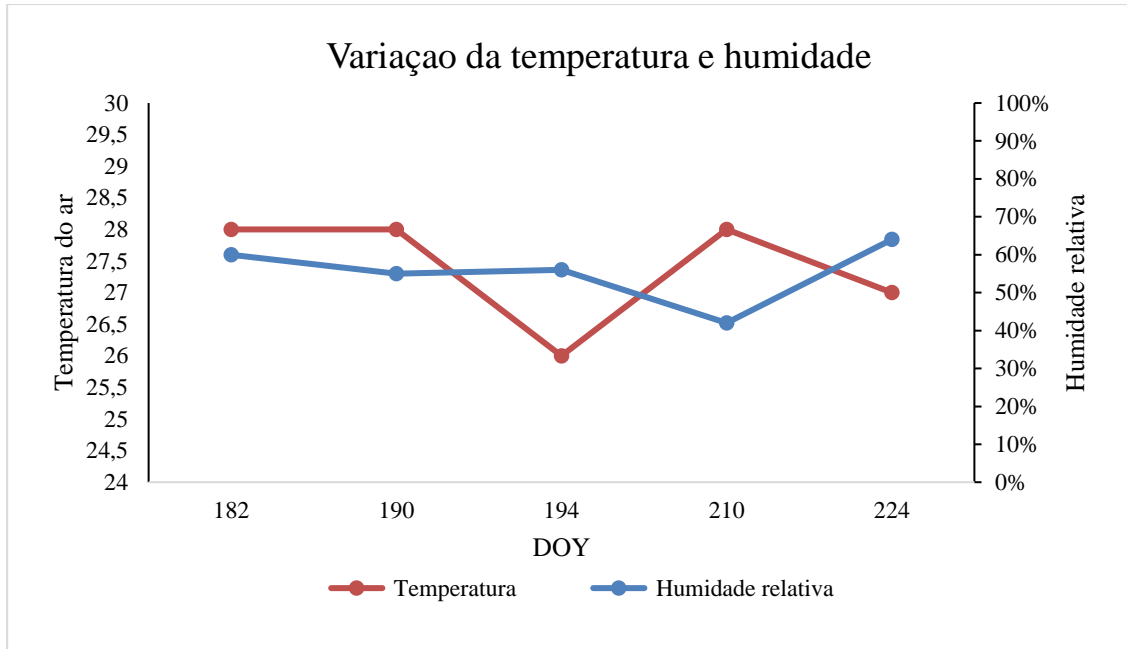
**Quadro 4.5-** Caracterização do clima segundo a temperatura, altimetria e precipitação.

TEMPERATURA	ALTIMETRIA (m)	PRECIPITAÇÃO (mm)
QI- Temperado Quente Litoral	< 250	QI <sub>1</sub> - R > 2400
		QI <sub>2</sub> - 2000 < R ≤ 2400
		QI <sub>3</sub> - 1600 < R ≤ 2000
		QI <sub>4</sub> - 1200 < R ≤ 1600
		QI <sub>5</sub> - 1000 < R ≤ 1200

(Agroconsultores e Geometral, 1995)

No período de recolha de dados em campo, foi registado a temperatura e a humidade relativa no local. Verificando-se que a temperatura variou entre 26 °C e 28 °C e a humidade relativa entre 42 % e 64 %. Sendo que no DOY 182 a temperatura registou 28 °C e a humidade

relativa 60 %, no seguinte DOY 190 a temperatura foi de 28 °C e a humidade relativa de 55%, no DOY 194 a temperatura registada for de 26 °C e a humidade relativa de 56 %, no DOY 210 a temperatura de 28 °C e a humidade relativa de 42 %, e em último o DOY 224 a temperatura de 27 °C e a humidade relativa de 64 % (Figura 4.4).

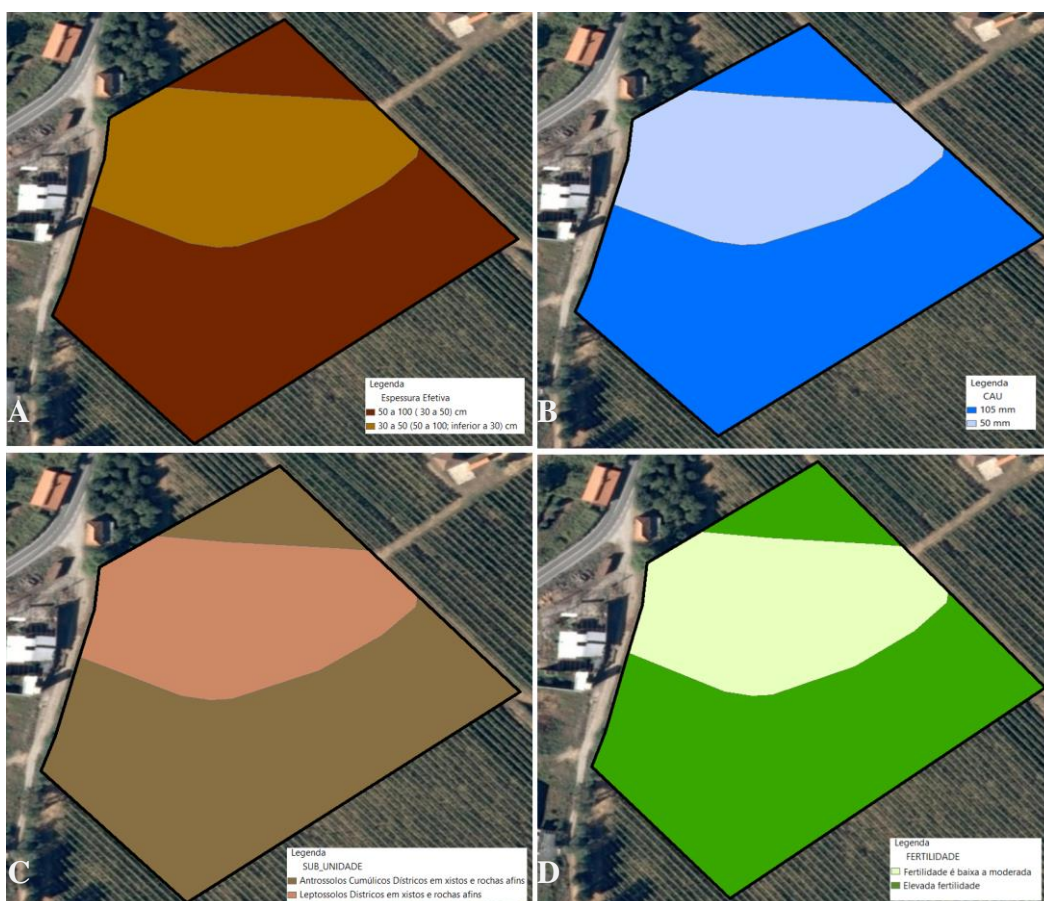


**Figura 4.4-** Gráfico da variação da temperatura durante os levantamentos.

### 4.2.3. Caracterização do solo e aptidão de terra

A parcela de estudo está caracterizada na Carta de Solos e Aptidão da Terra do EDM como área de aptidão agrícola e florestal. A litologia é na sua globalidade à base de xisto, com duas unidades pedológicas dominantes: i) Antrossolos Cumúlicos Dístricos em xistos e rochas afins; ii) Leptossolos Dístricos em xistos e rochas afins. Em termos de formas de relevo, esta apresenta-se como suavemente ondulada, com profundidades que variam entre os 30 cm e 100 cm (devido às mobilizações de terra para a implantação da vinha). A sua disponibilidade hídrica pode variar entre 50 mm aos 105 mm (Figura 4.5).





**Figura 4.5-** Mapas dos principais fatores analisados; **A-** Espessura efetiva do solo; **B-** Quantidade de água utilizável; **C-** Subunidades do solo; e **D-** Fertilidade do solo.

A zona UH1 (Figura 4.1) com uma área de 8 158 m<sup>2</sup> que representa 34,75% da área de estudo, é caracterizada por possuir uma litologia á base de xisto, com uma unidade pedológica baseada em Leptossolos dísticos em xistos e rochas afins (LPd.x), a espessura efetiva o solo apresenta profundidades maioritariamente entre os 30 e 100 cm, já a sua fertilidade é baixa a moderada, e a capacidade de disponibilizar água é de 50 mm, o que qualitativamente é baixa.

A zona UH2 (Figura 4.1) com uma área de 15 316 m<sup>2</sup> (65,25% da área de estudo), é caracterizada por possuir uma litologia à base de xisto, com unidades pedológicas de Antrossolos Cumúlicos Dístricos em xistos e rochas afins (ATcd.x), em termos de espessura efetiva o solo apresenta profundidades maioritariamente entre os 50 a 100 cm, a sua fertilidade é elevada, e possui uma capacidade de disponibilizar água de 105 mm que qualitativamente se pode classificar de média a alta. Sendo estas duas unidades homogéneas classificadas em termo de relevo como suavemente onduladas (Figura 4.5) e (Quadro 4.6).

**Quadro 4.6-** As áreas relativas à caracterização do solo e aptidão de terra.

UH1- Unidade homogênea 1; UH2- Unidade homogênea 2

Unidade Homogênea				Unidade Homogênea			
		Área (m <sup>2</sup> )	Área %			Área (m <sup>2</sup> )	Área %
<b>Litologia</b>				<b>Fertilidade</b>			
UH1/ UH2	Xisto	23 475	100	UH2	1	15 316	65,25
				UH1	3	8 158	34,75
				1- Solos com fertilidade elevada; 2 - Solos com fertilidade baixa ou muito baixa			
<b>Unidades pedológicas</b>				<b>Espessura Efetiva</b>			
UH2	1 ATcd.x	15 316	65,25	UH2	2 (3)	15 316	65,25
UH1	1 LPd.x	8 158	34,75	UH1	3 (2:4)	8 158	34,75
1 ATcd.x - Antrossolos Cumúlicos Dístricos em xistos e rochas afins; 1 LPd.x - Leptossolos Dístricos em xistos e rochas afins				2- Espessura entre 50 e 100 cm; 3- Espessura entre 30 e 50 cm; 4- Espessura igual ou inferior a 30 cm			

### 4.3. Potencial hídrico de ramo e CWSI (*Crop Water Stress Index*)

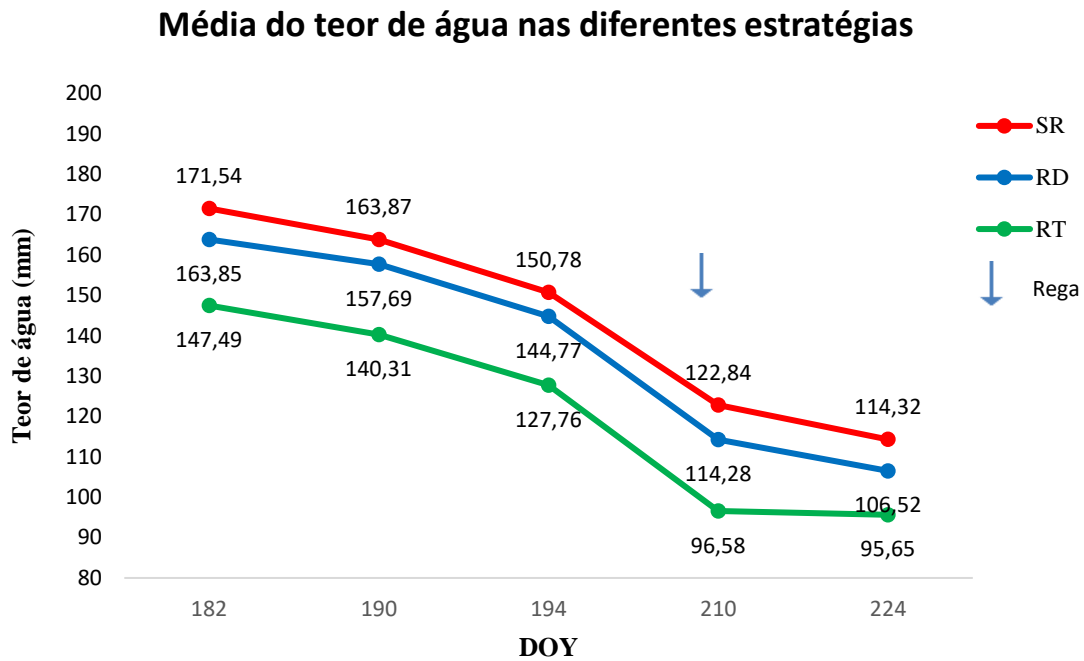
O presente subcapítulo divide-se em três principais conjuntos de resultados, o potencial hídrico de ramo (Quadro 4.7), as temperaturas obtidas pelo sensor térmico aéreo, o CWSI aéreo com os seus três modelos de cálculo(Quadro 4.10 a 4.27), bem como o CWSI obtido no solo a partir do sensor portátil (Quadro 4.9), sendo a análise realizada a partir das estratégias de rega.

#### 4.3.1. Teor de água no solo e potencial hídrico de ramo

Assim sendo para uma análise mais detalhada relativamente à disponibilidade hídrica no solo, (através de uma sonda Diviner), obteve-se o teor de água no solo para as distintas estratégias de rega.

As leituras do teor de água no solo (mm), permitiram verificar que no DOY 182 (01/07) (primeiro dia de recolha de dados), partimos de uma quantidade de 163,80 mm em RD, 171,54 mm em SR e 147,49 em RT. Ao longo do trabalho, verificou-se uma descida similar nas estratégias de rega e continua ao longo do período de análise, até obtermos 106,52 mm em RD, 114,32 mm em SR e 95,65 mm em RT. (Figura 4.6).





**Figura 4.6-** Quadro do teor de água no solo nas diferentes estratégias; **SR-** Sem Rega; **RD-** Rega Deficitária e a **RT-** Rega Total.

Desta forma, mediu-se o potencial hídrico de ramo (MPa) e calculou-se a média segundo as estratégias de rega, diferenciando-as por data. Da análise observa-se que no DOY 182 (01/07) a estratégia RD possui um potencial hídrico de -0,54, a SR de -0,50 e a RT de -0,55, sendo a variação entre as estratégias de rega muito baixa. No DOY 190 (09/07), verificou-se uma ligeira variação no entanto pouco significativa, RD de -0,50; SR de -0,48 e RT de -0,58. Em relação à leitura anterior, verificou-se uma variação moderada quando comparada com o DOY 194 (13/07), apresentando na estratégia RD um valor de -0,64, na SR de -0,61 e a RT de -0,58, não existindo da mesma forma grande variação entre as estratégias. A leitura seguinte, referente ao DOY 210 (29/07), apresentou na estratégia RD um valor de -0,69, na SR de -0,55 e na RT de -0,48, onde é possível verificar uma variação entre a estratégia RD e a RT, justificando-se possivelmente pela rega realizada nesse dia. Por último uma ligeira variação para o DOY 224 (12/08) na estratégia RD com -0,64, a SR com -0,64 e a RT com -0,69 (Quadro 4.7).

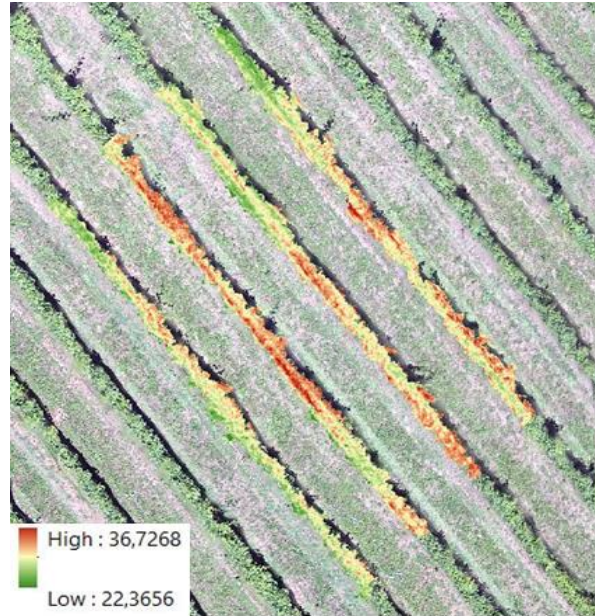
**Quadro 4.7-** Valores do potencial hídrico de ramo por ponto de amostragem da estratégia.

DOY	ESTRATÉGIA	MÉDIA POTENCIAL HÍDRICO DE RAMO ( $\Psi_{st}$ ) MPa
182 (01/julho)	RD	-0,54
	SR	-0,50
	RT	-0,55
190 (09/julho)	RD	-0,50
	SR	-0,48
	RT	-0,58
194 (13/julho)	RD	-0,64
	SR	-0,61
	RT	-0,53
210 (29/julho)	RD	-0,69
	SR	-0,55
	RT	-0,48
224 (12/agosto)	RD	-0,64
	SR	-0,64
	RT	-0,69

**SR-** Sem Rega; **RD-** Rega Deficitária e a **RT-** Rega Total;

### 4.3.2. Temperatura da canóbia

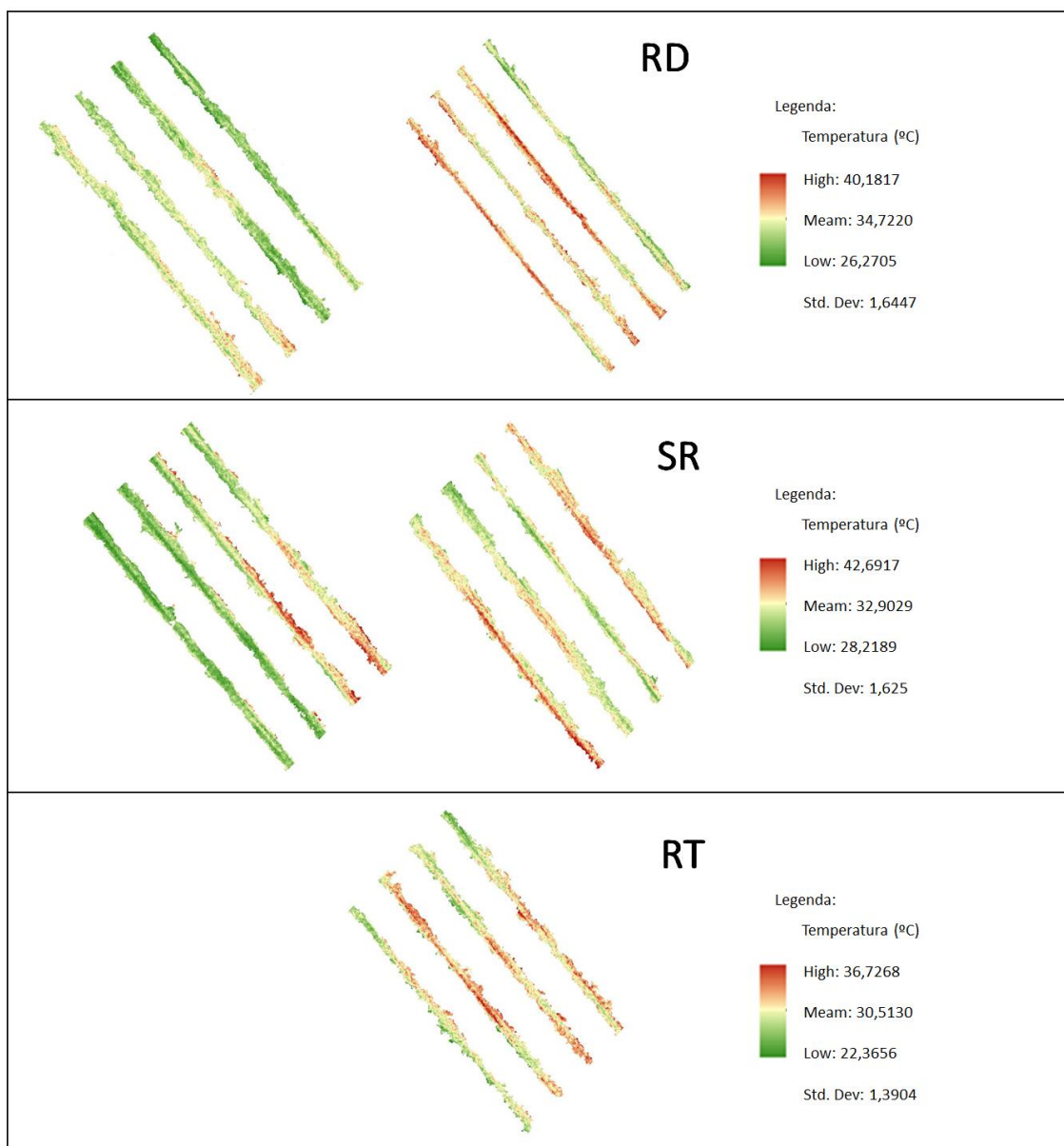
Na observação da temperatura da canóbia, verifica-se uma dispersão dos valores ao longo da área de estudo (Figura 4.7).



**Figura 4.7-** Valor da temperatura ao longo da canóbia da estratégia de rega completa DOY 182 (01/07).

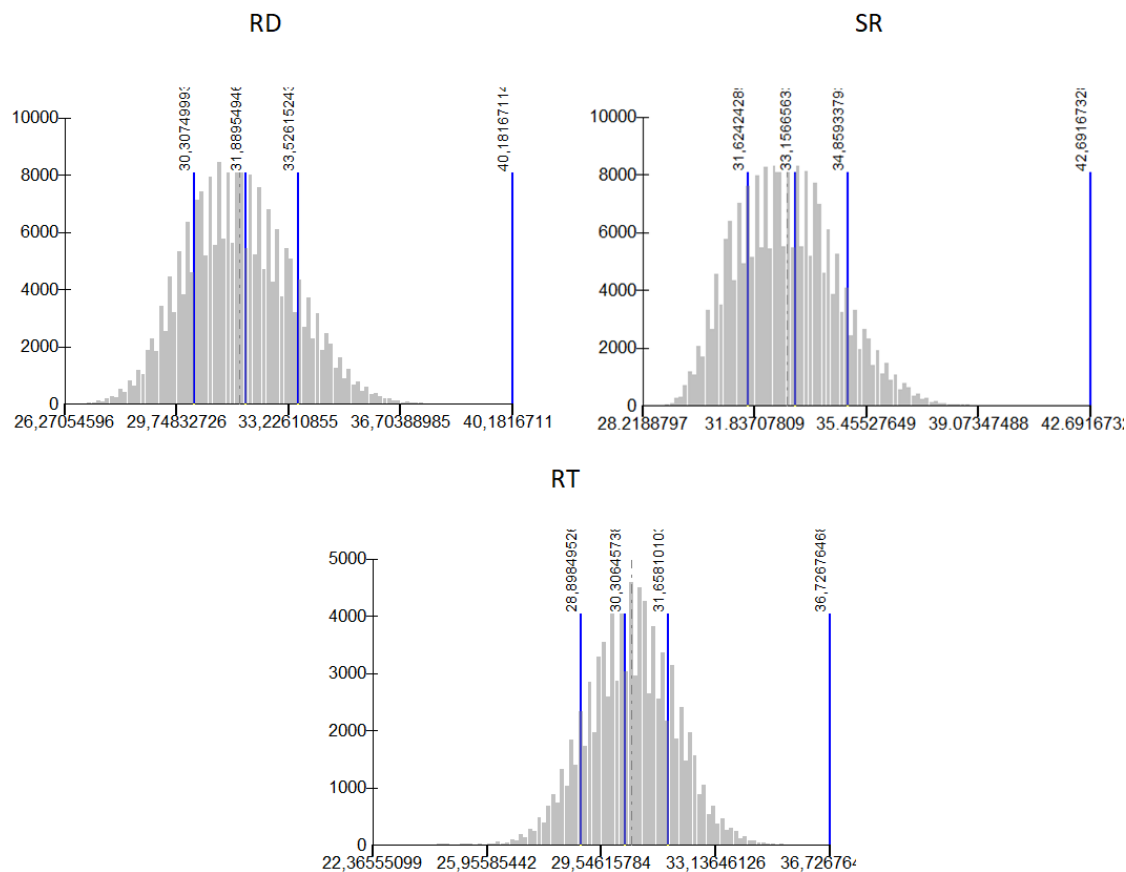
#### i) DOY 182 (01 de julho de 2021)

Em detalhe e observando os distintos dias e as diferentes estratégias, verificou-se que as temperaturas capturadas pela câmera térmica aérea relativas à canóbia variaram entre os 22,37 °C e os 42,69 °C. A estratégia RD apresentou uma variação global de 13,91 °C (26,27 °C a 40,18 °C) com uma média de 34,72 °C e um desvio padrão de 1,64 °C, enquanto que a SR, foi a que apresentou uma maior variação global 14,47 °C (28,22 °C a 42,69 °C) com uma média de 32,90 °C e um desvio padrão de 1,63 °C, tendo a RT uma variação de 14,35 °C (de 22,37 °C a 36,72 °C) com uma média de 30,51 °C e um desvio padrão de 1,39 °C (Figura 4.8).



**Figura 4.8-** Variação da temperatura (°C) do DOY 182 (01/07) ao longo da área de estudo segundo os locais das estratégias: **RD**- rega deficitária; **SR**- Sem rega e a **RT**- Rega total.

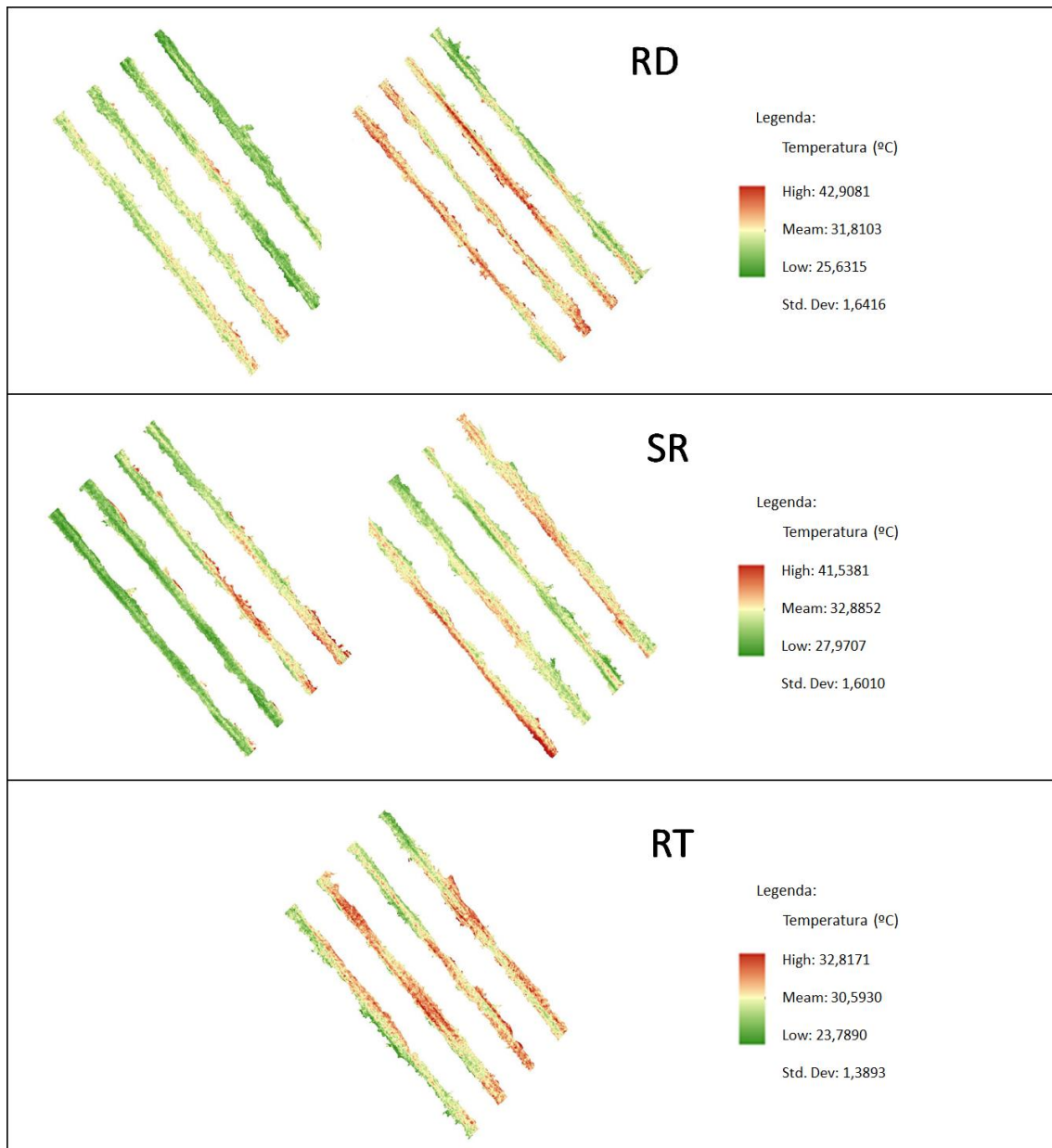
Se verificarmos as incidências, a estratégia RD assume valores de temperatura, entre os 30 °C e os 34 °C e a SR assume valores de temperatura, entre os 31 °C e os 34 °C , enquanto que o RT a incidência é mais baixa entre os 28,50 °C e os 32 °C. A estratégia que apresenta valores mais elevados corresponde à SR e os mais baixos correspondem à estratégia RT, traduzindo que as estratégias com maior disponibilidade de água no solo (RT), originaram um maior conforto térmico das plantas, relativamente à estratégia SR, com diferenças na temperatura da canópi de cerca de 2,5.° C, na temperatura mínima é de 2.° C na máxima (Figura 4.9).



**Figura 4.9-** Histograma da temperatura (°C) do DOY 182 (01/07) agrupado por quartis, com a média a tracejado segundo a estratégia: **RD-** rega deficitária; **SR-** Sem rega e a **RT-** Rega total.

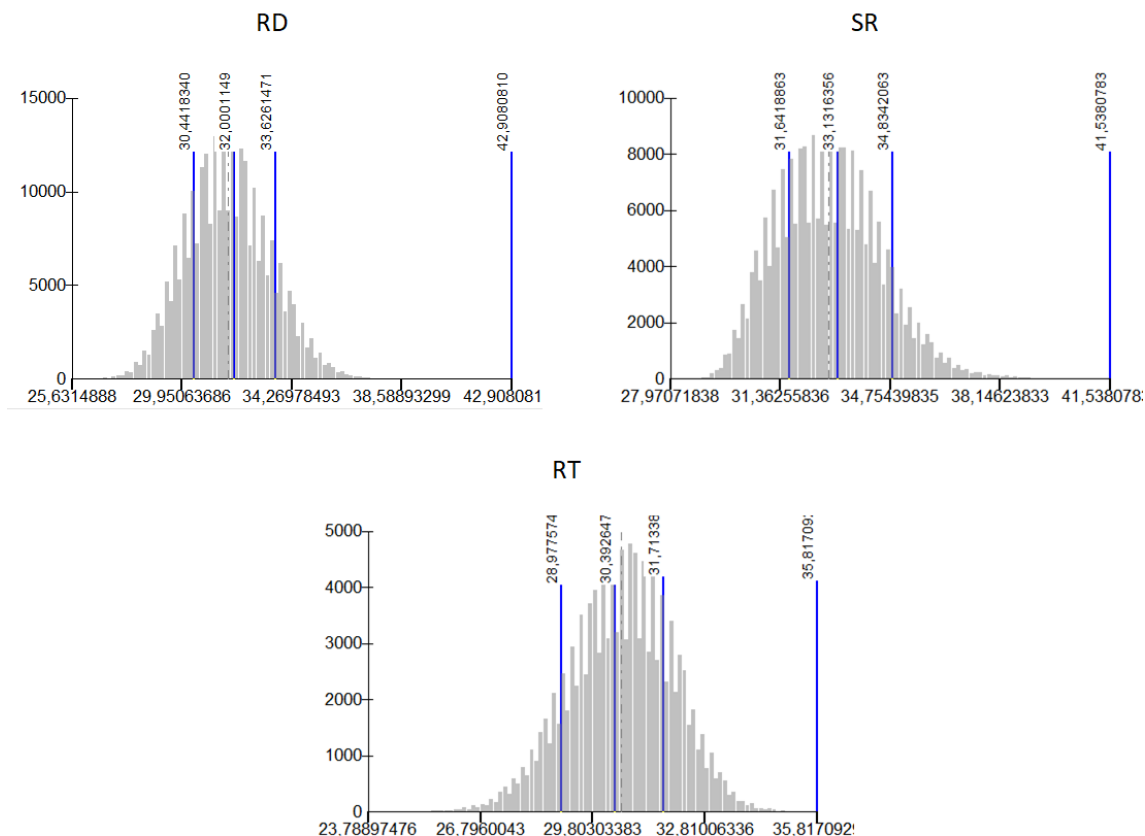
## ii) DOY 190 (09 de julho de 2021)

As temperaturas capturadas pela câmera térmica aérea relativas à canópia variaram entre os 23,79 °C e os 42,91 °C. A estratégia RD apresentou uma variação global 17,28 °C (25,63 °C a 42,91 °C) com uma média de 31,81 °C e um desvio padrão de 1,64 °C, enquanto que a SR apresentou uma variação global de 13,56 °C (27,97 °C a 41,53 °C) com uma média de 32,89 °C e um desvio padrão de 1,60 °C, tendo a RT uma variação de 9,02 °C (23,79 °C a 32,81 °C) com uma média de 30,59 °C e um desvio padrão de 1,39 °C (Figura 4.10). Traduzindo que as estratégias com maior disponibilidade de água no solo (RT), originaram um maior conforto térmico das plantas, relativamente à estratégia SR e RD, porém está a RD pode originar a uma grande variação de temperaturas na canófia (Figura 4.10).



**Figura 4.10-** Variação da temperatura do DOY 190 (09/07) ao longo da área de estudo segundo os locais das estratégias: **RD-** rega deficitária; **SR-** Sem rega e a **RT-** Rega total.

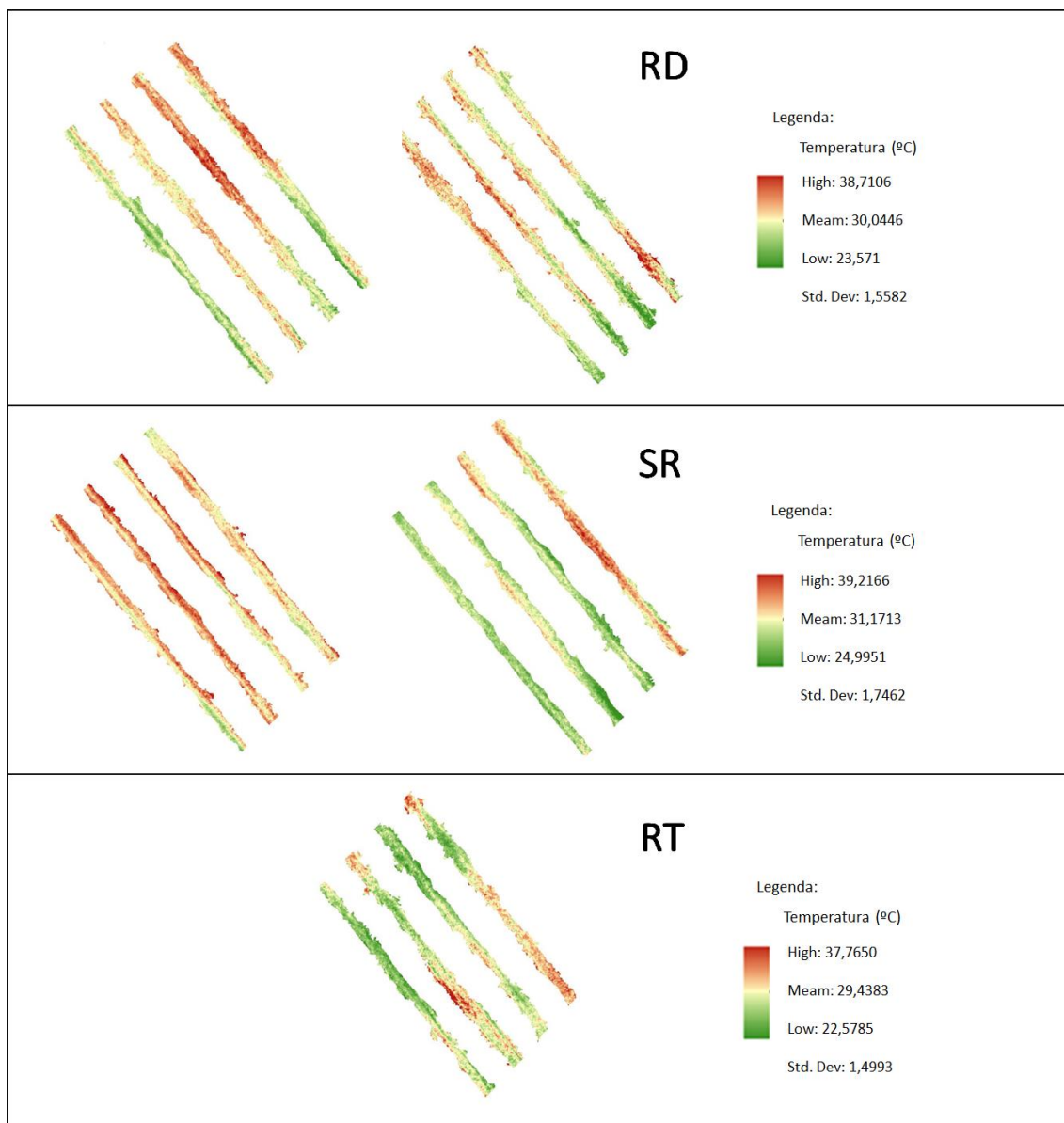
Se verificarmos as incidências, a RD apresenta uma incidência entre os 30 °C e os 34 °C, a enquanto que a SR apresenta uma incidência maior entre os 32 °C e os 35 °C, já a RT apresenta uma incidência mais baixa entre os 29 °C e os 32 °C. A estratégia que apresenta os valores mais elevados corresponde à SR e o mais baixo corresponde a estratégia RT (Figura 4.11).



**Figura 4.11-** Histograma da temperatura (°C) do DOY 190 (09/07) agrupado por quartis, com a média a tracejado segundo a estratégia: **RD-** rega deficitária; **SR-** Sem rega e a **RT-** Rega total.

### iii) DOY 194 (13 de julho de 2021)

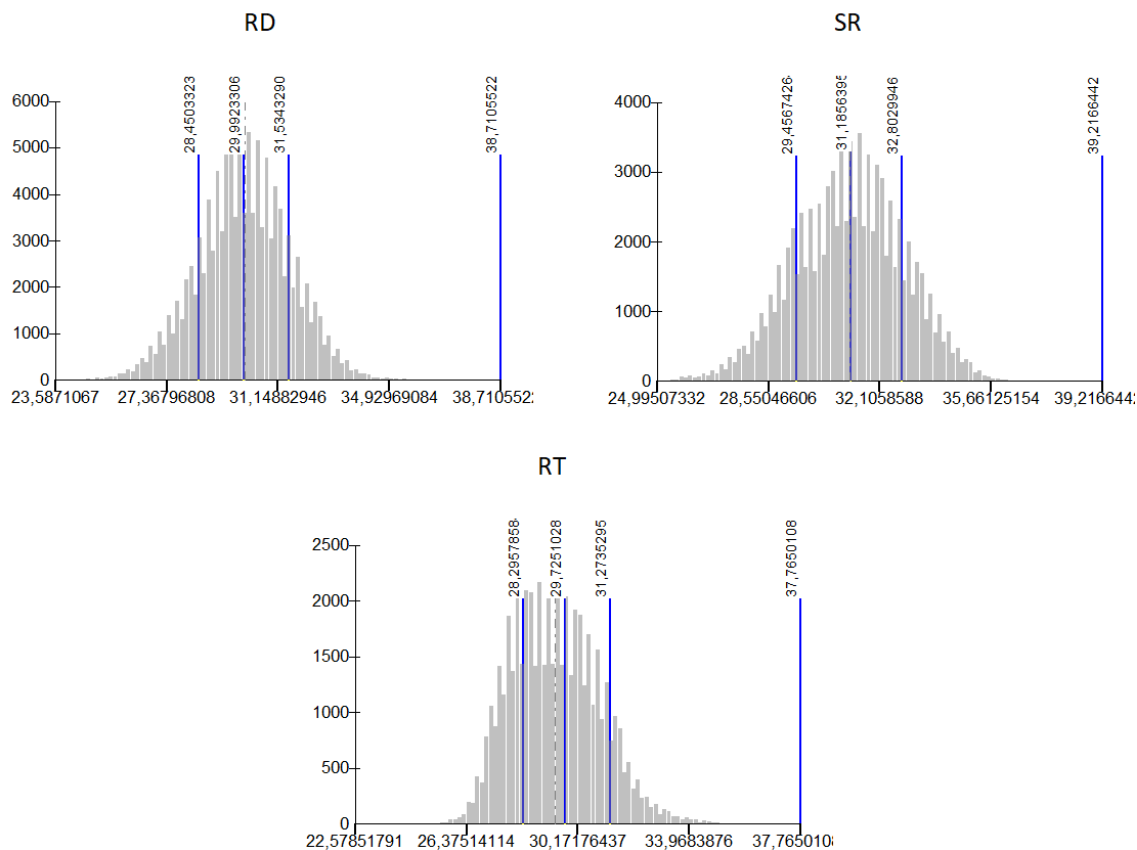
As temperaturas capturadas pela câmera térmica aérea relativas a canópi variaram entre os 22,58 °C e os 39,22 °C. A estratégia RD apresentou uma variação global de 15,14 °C (23,57 °C a 38,71 °C) com uma média de 30,04 °C e um desvio padrão de 1,56 °C, enquanto que a SR, foi a que apresentou uma menor variação global de 14,23 °C (de 24,99 °C a 39,22 °C) com uma média de 31,17 °C e um desvio padrão de 1,75 °C, tendo a RT uma variação de 15,18 °C (de 22,58 °C a 37,76 °C) com uma média de 29,44 °C e um desvio padrão de 1,50 °C (Figura 4.12).



**Figura 4.12-** Variação da temperatura do DOY 194 (13/07) ao longo da área de estudo segundo os locais das estratégias. **RD-** rega deficitária; **SR-** Sem rega e a **RT-** Rega total.

Se verificarmos as incidências, a RD com uma incidência entre os 29 °C e os 32 °C, enquanto que a SR apresenta uma incidência entre os 29 °C e os 33 °C, a RT apresenta uma incidência mais baixa entre os 28 °C e os 31 °C. A estratégia que apresenta os valores mais elevados corresponde à SR e o mais baixo corresponde a estratégia RT (Figura 4.13).

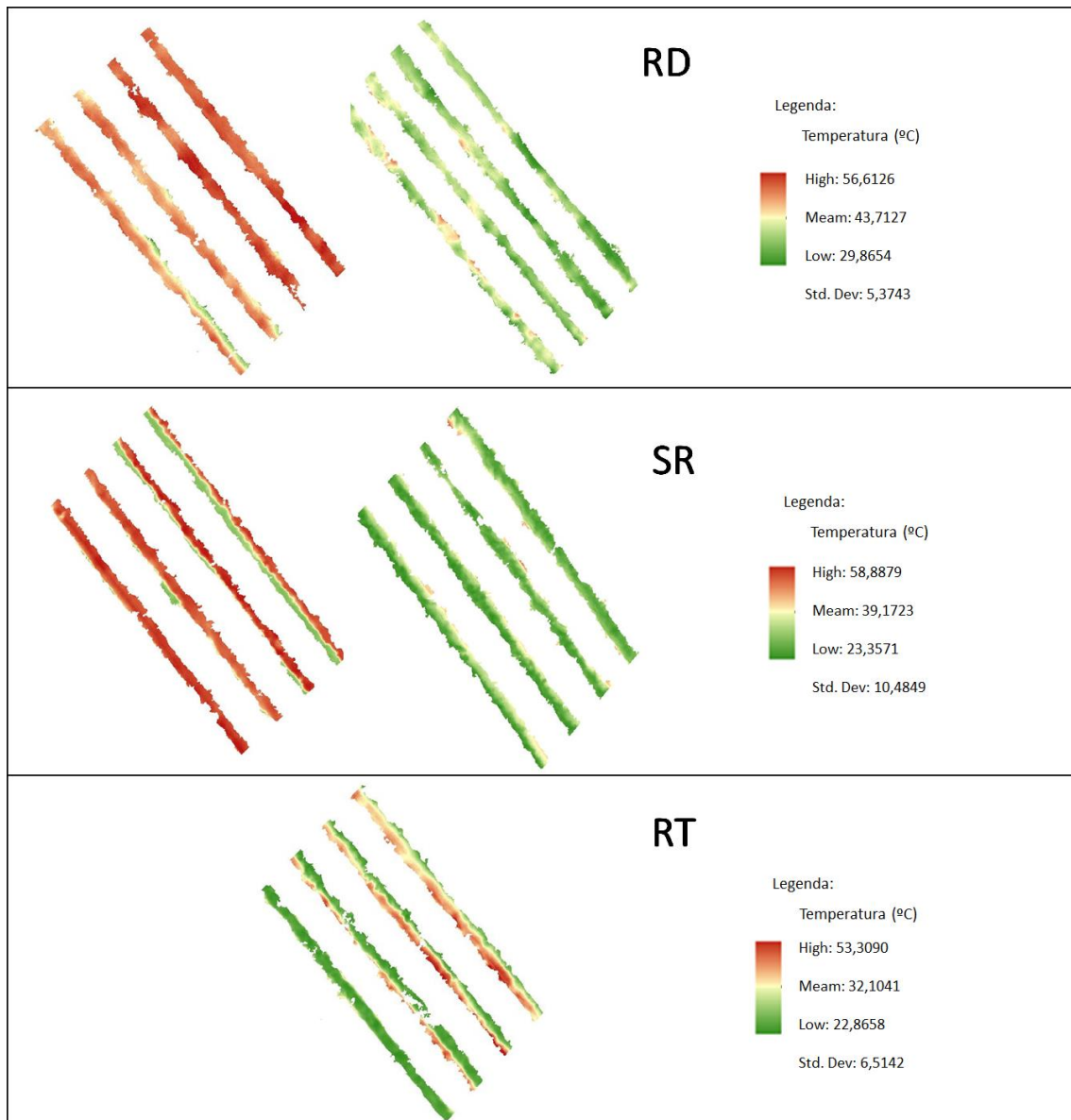




**Figura 4.13-** Histograma da temperatura (°C) do DOY 194 (13/07) agrupado por quartis, com a média a tracejado segundo a estratégia: **RD-** rega deficitária; **SR-** Sem rega e a **RT-** Rega total.

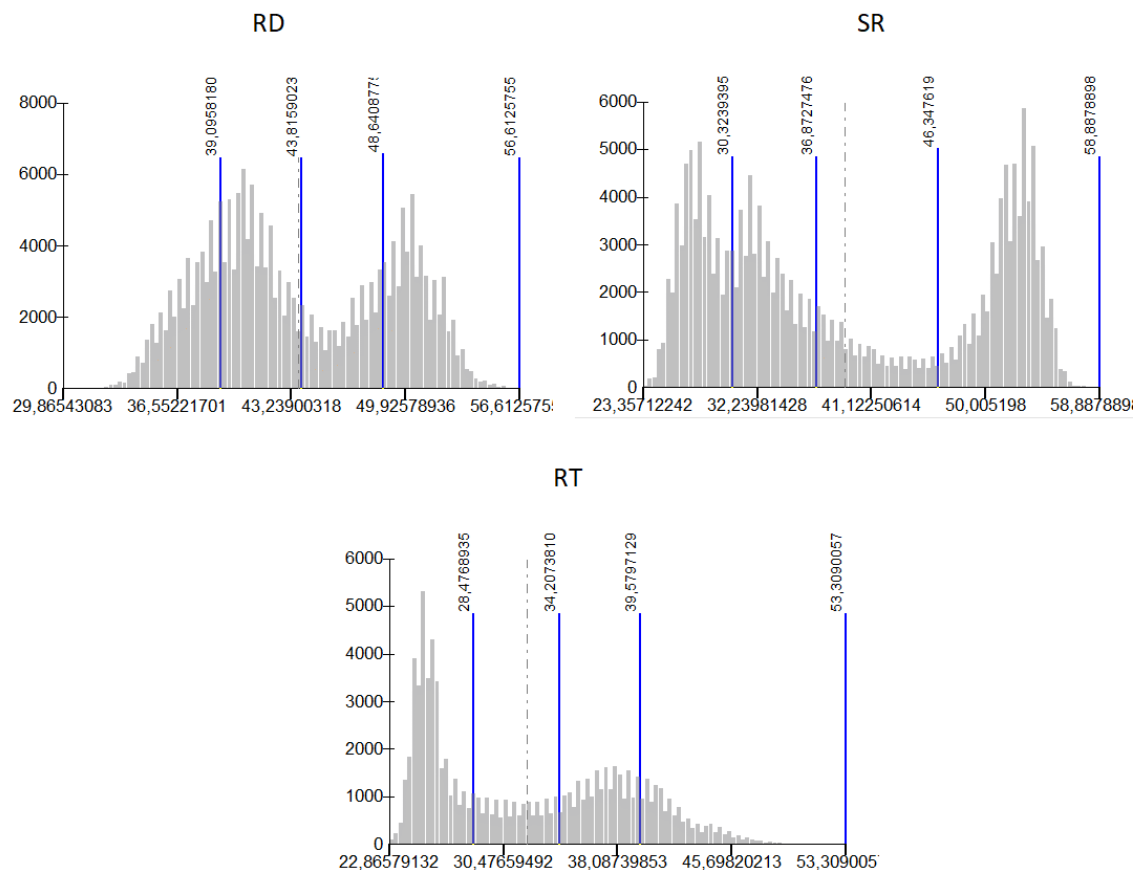
#### iv) DOY 210 (29 de julho de 2021)

As temperaturas capturadas pela câmara térmica aérea relativas a canópi variaram entre os 22,36 °C e os 58,89 °C. A estratégia RD apresentou uma variação global de 26,74 °C (29,87 °C a 56,61 °C) com uma média de 43,71 °C e um desvio padrão de 5,37 °C, enquanto que a SR, foi a que apresentou uma maior variação global de 35,53 °C (22,36 °C a 58,89 °C) com uma média de 39,17 °C e um desvio padrão de 10,48 °C, tendo a RT uma variação de 30,45 °C (de 22,86 °C a 53,31 °C) com uma média de 32,10 °C e um desvio padrão de 6,45 °C. Denota-se que o valor da variação da temperatura tem vindo a aumentar ao longo dos dias de captura. Realça-se que durante esta captura de dados foi feita uma rega, no qual se nota pela variação da temperatura das estratégias e de zonas de amostragem (Figura 4.14).



**Figura 4.14-** Variação da temperatura do DOY 210 (29/07) ao longo da área de estudo segundo os locais das estratégias. **RD-** rega deficitária; **SR-** Sem rega e a **RT-** Rega total.

Se verificarmos as incidências, a RD com uma incidência entre os 38 °C e os 49 °C, a SR apresenta uma incidência maior entre os 26 °C e o 36 °C e 53 °C a 55 °C; enquanto que a RT a incidência é mais baixa entre os 25 °C e os 35,50 °C. A estratégia que apresenta os valores mais elevados corresponde à SR e o mais baixo corresponde a estratégia RT (Figura 4.15). Verifica-se que existe uma grande variação da temperatura ao longo das estratégias.



**Figura 4.15-** Histograma da temperatura (°C) do DOY 210 (29/07) agrupado por quartis, com a média a tracejado segundo a estratégia: **RD-** rega deficitária; **SR-** Sem rega e a **RT-** Rega total.

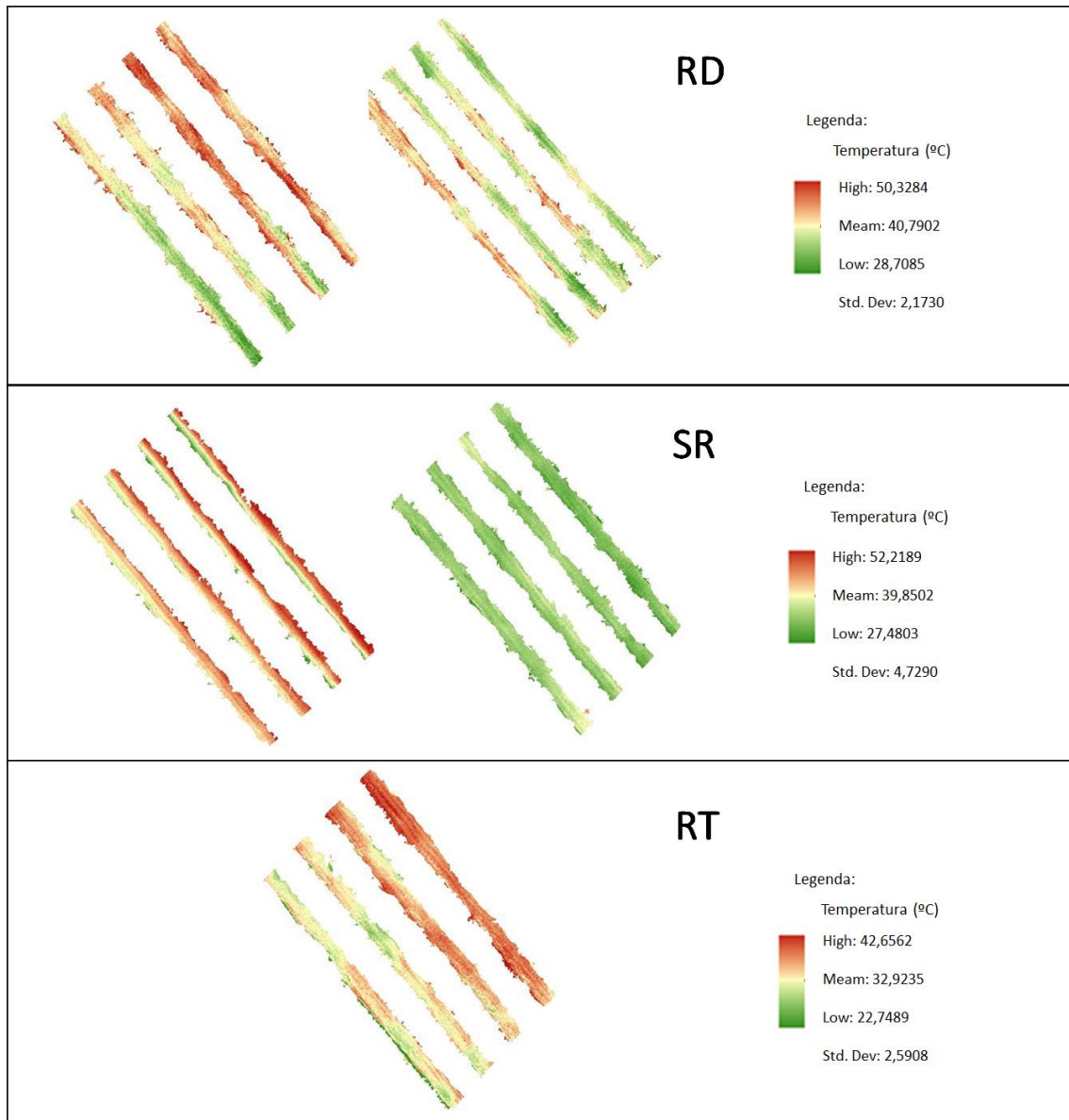
#### v) DOY 224 (12 de agosto de 2021)

As temperaturas capturadas pela câmera térmica aérea relativas a canópi variaram entre os 22,75 °C e os 52,22 °C. A estratégia RD apresentou uma variação global de 21,62 °C (de 28,71 °C a 50,33 °C) com uma média de 40,79 °C e um desvio padrão de 2,17 °C, enquanto que a SR, foi a que apresentou uma maior variação global de 24,74 °C (de 27,48 °C a 52,22 °C) com uma média de 39,85 °C e um desvio padrão de 4,73 °C, tendo a RT uma variação de 19,91 °C (de 22,75 °C a 42,66 °C) com uma média de 32,92 °C e um desvio padrão de 2,59 °C. Após a rega verifica-se que as estratégias com maior disponibilidade de água no solo (RT), originaram um maior conforto térmico das plantas, relativamente à estratégia SR (Figura 4.16).

Em resumo, os dados apresentam um desvio padrão baixo na ordem dos 2 °C a 3 °C na estratégia RD e RT respetivamente aumentando para 4, 7 °C em SR. De igual forma, verificou-se uma variabilidade de temperaturas ao longo das subáreas amostrais superior a

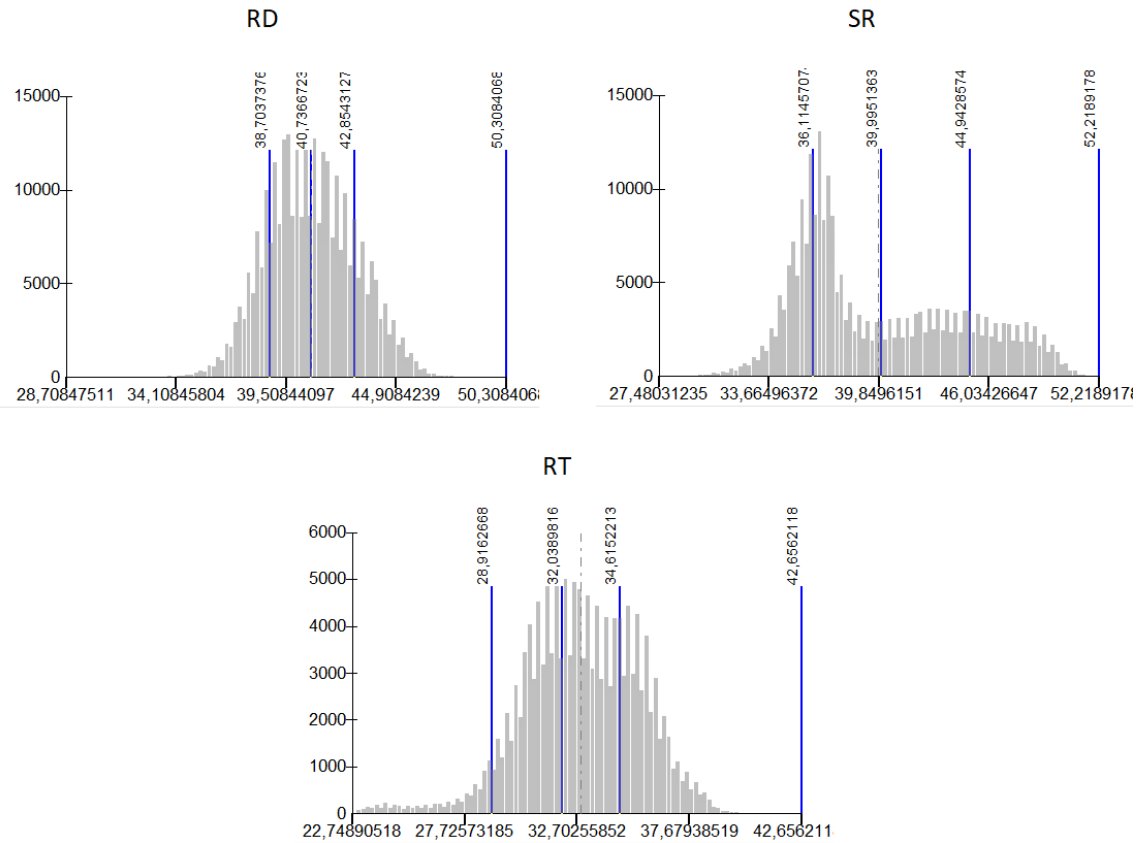
20 °C sendo mais incidente nas subáreas a poente, o que por si só poderá não justificar essas diferenças.

De igual forma, verificou-se que a estratégia de rega RT, apresenta uma média de temperaturas mais baixa (7 ° C para SR e 8° C para RD), o que pode ser justificada pela maior disponibilidade de água afeta a esta estratégia, que como se pode verificar tem sido o sentido da análise das estratégias de rega.



**Figura 4.16-** Variação da temperatura do DOY 224 (12/08) ao longo da área de estudo segundo os locais das estratégias. **RD-** rega deficitária; **SR-** Sem rega e a **RT-** Rega total.

Se verificarmos as incidências, a RD com uma incidência entre os 39 °C e o 43 °C, a SR apresenta uma incidência maior entre os 36 °C e o 45 °C, enquanto que o RT a incidência é mais baixa entre os 30 °C e os 35 °C. A estratégia que apresenta os valores mais elevados corresponde à SR e o mais baixo corresponde a estratégia RT (Figura 4.17).



**Figura 4.17-** Histograma da temperatura (°C) do DOY 210 (29/07) agrupado por quartis, com a média a tracejado segundo a estratégia: **RD-** rega deficitária; **SR-** Sem rega e a **RT-** Rega total.

### 4.3.3. CWSI - índice de stress da cultura

O terceiro fator analisado foi o CWSI (Índice de stress da cultura) em cada uma das estratégias de rega adotadas. O CWSI calculado, tal como abordado na metodologia, foi obtido a partir de modelos distintos; i) normal, ii) estatístico, iii) temperatura do ar e iv) portátil. Para o cálculo de cada um dos CWSI, foram obtidas as temperaturas  $T_{wet}$  e o  $T_{dry}$ , variando a mesma em função do método adotado (Quadro 4.8). O CWSI normal, apresenta os valores de  $T_{wet}$  mais baixos que os restantes, denotando-se um aumento das temperaturas ao longo do tempo, o que pode ser justificado pelo facto de não existir neste modelo (CWSI normal), nenhuma alteração do contraste ou equalização da imagem térmica obtida. Por outro lado, o CWSI estatístico, é o modelo que apresenta o  $T_{dry}$  mais elevado, justificando-se pela equalização da imagem térmica com o cálculo do valor médio de uma percentagem de 0,5% dos valores mais elevados, como também pelo alongar da época estival, onde se justifica um acumular de temperatura ao longo dos dias (Quadro 4.8).

**Quadro 4.8-** Valores da temperatura para o cálculo dos CWSI.

DOY	Estratégia	CWSI - normal		CWSI - estatístico		CWSI - temperatura ar		CWSI-portátil	
		$T_{wet}$	$T_{dry}$	$T_{wet}$	$T_{dry}$	$T_{wet}$	$T_{dry}$	$T_{wet}$	$T_{dry}$
182 (01/julho)	SR	<b>17,00</b>	33,00	29,40	38,22	31,11	35,00	17,00	33,00
	RD	<b>16,90</b>	33,00	27,61	36,70	29,92	35,00	16,90	33,00
	RT	<b>17,00</b>	32,00	25,47	34,52	28,98	35,00	17,00	32,00
190 (09/julho)	SR	<b>18,00</b>	33,50	29,40	38,37	31,12	35,00	18,00	33,50
	RD	<b>18,20</b>	33,20	27,63	37,01	29,99	35,00	18,20	33,20
	RT	<b>18,10</b>	23,50	26,08	34,35	29,03	35,00	18,10	23,50
194 (13/julho)	SR	24,00	32,95	26,09	35,99	29,21	33,00	24,00	32,95
	RD	23,30	31,05	25,50	34,75	28,33	33,00	23,30	31,05
	RT	23,00	31,10	26,01	34,43	27,82	33,00	23,00	31,10
210 (29/julho)	SR	23,11	44,15	24,38	<b>56,37</b>	28,29	35,00	23,11	44,15
	RD	27,61	44,50	33,19	<b>54,72</b>	27,87	35,00	27,61	44,50
	RT	21,70	43,60	23,40	<b>48,48</b>	25,20	35,00	21,70	43,60
224 (12/agosto)	SR	29,40	38,22	30,51	<b>50,78</b>	31,22	34,00	29,40	38,22
	RD	27,61	36,70	34,42	<b>46,73</b>	28,39	34,00	27,61	36,70
	RT	25,47	34,52	23,62	39,36	30,06	34,00	25,47	34,52

**SR-** Sem Rega; **RD-** Rega Deficitária; **RT-** Rega Total;  **$T_{wet}$ -** Temperatura da folha molhada e a  **$T_{dry}$ -** Temperatura da folha seca.

Do cálculo do CWSI portátil, segundo as estratégias de rega e data (Quadro 4.9), observa-se que no DOY 182 (01/07) na estratégia RD com valor de 0,43, SR de 0,60 e RT de 0,62, identifica-se uma variação já representativa entre o RD e o SR. Estes valores sofrem uma ligeira variação no DOY 190 (09/07), onde observa-se um RD de 0,51, SR de 0,59 e RT de 0,65. Em relação com a leitura anterior uma variação moderada para o DOY 194 (13/07) na estratégia RD com 0,65, a SR com 0,62 e a RT com 0,50. Para o dia seguinte uma variação ligeira para o DOY 210 (29/07) na estratégia RD com 0,74, a SR com 0,63 e a RT com 0,47. E por último uma ligeira variação para o DOY 224 (12/08) na estratégia RD com 0,65, a SR com 0,64 e a RT com 0,68 (Quadro 4.9). Em resumo, salienta-se que o SR em basicamente todos os DOYs apresenta um CWSI superior ao RD ou ao RT, o que se poderá justificar pelo facto das plantas nestas estratégias estarem na maior parte das leituras em menor conforto térmico do que nas restantes estratégias.

**Quadro 4.9-** Valores da média do CWSI portátil relativos aos cinco dias de captura.

DOY	ESTRATÉGIA	CWSI portátil
182 (01/julho)	RD	0,43
	SR	0,60
	RT	0,62
190 (09/julho)	RD	0,51
	SR	0,59
	RT	0,65
194 (13/julho)	RD	0,65
	SR	0,62
	RT	0,50
210 (29/julho)	RD	0,74
	SR	0,63
	RT	0,47
224 (12/agosto)	RD	0,65
	SR	0,64
	RT	0,68

**SR-** Sem Rega; **RD-** Rega Deficitária e a **RT-** Rega Total.

### i) DOY 182 (01 de julho de 2021)

O CWSI do método estatístico teve uma amplitude entre 0 e 1,51. Na estratégia RD, a sua variação foi de 0 e 1,38, com uma média de 0,45, e o desvio padrão de 0,18. Na estratégia SR teve uma variação de 0 e 1,51, com uma média de 0,40 e o desvio padrão de 0,18 e por último na estratégia da RT variou entre 0 e 1,24, com uma média de 0,54 e o desvio padrão de 0,15. Atendendo a que a estratégia RT apresenta um valor de CWSI menor, podemos estimar que as plantas estão em maior conforto hídrico relativamente às restantes estratégias.

O CWSI do método normal teve uma amplitude entre 0 e 1,61. Na estratégia da RD, a sua variação foi de 0 e 1,45, com uma média de 0,92 e o desvio padrão de 0,10. Na SR, foi registada uma variação de 0 a 1,61, com uma média de 0,99 e o desvio padrão de 0,10 e por último na estratégia RT variou de 0 a 1,32 com uma média de 0,95 e o um desvio padrão de 0,09.

O CWSI do método da temperatura do ar teve uma amplitude entre 0 e 2,97. Assim sendo a estratégia da RD, a sua variação foi de 0 e 2,01, com uma média de 0,46 e o desvio padrão de 0,32. Na SR, foi registada uma variação de 0 a 2,98, com uma média de 0,46 e o desvio padrão de 0,42 e por último na estratégia RT variou de 0 a 1,29 com uma média de 0,47 e o desvio padrão de 0,23 (Figura 4.18) e (Quadro 4.10).

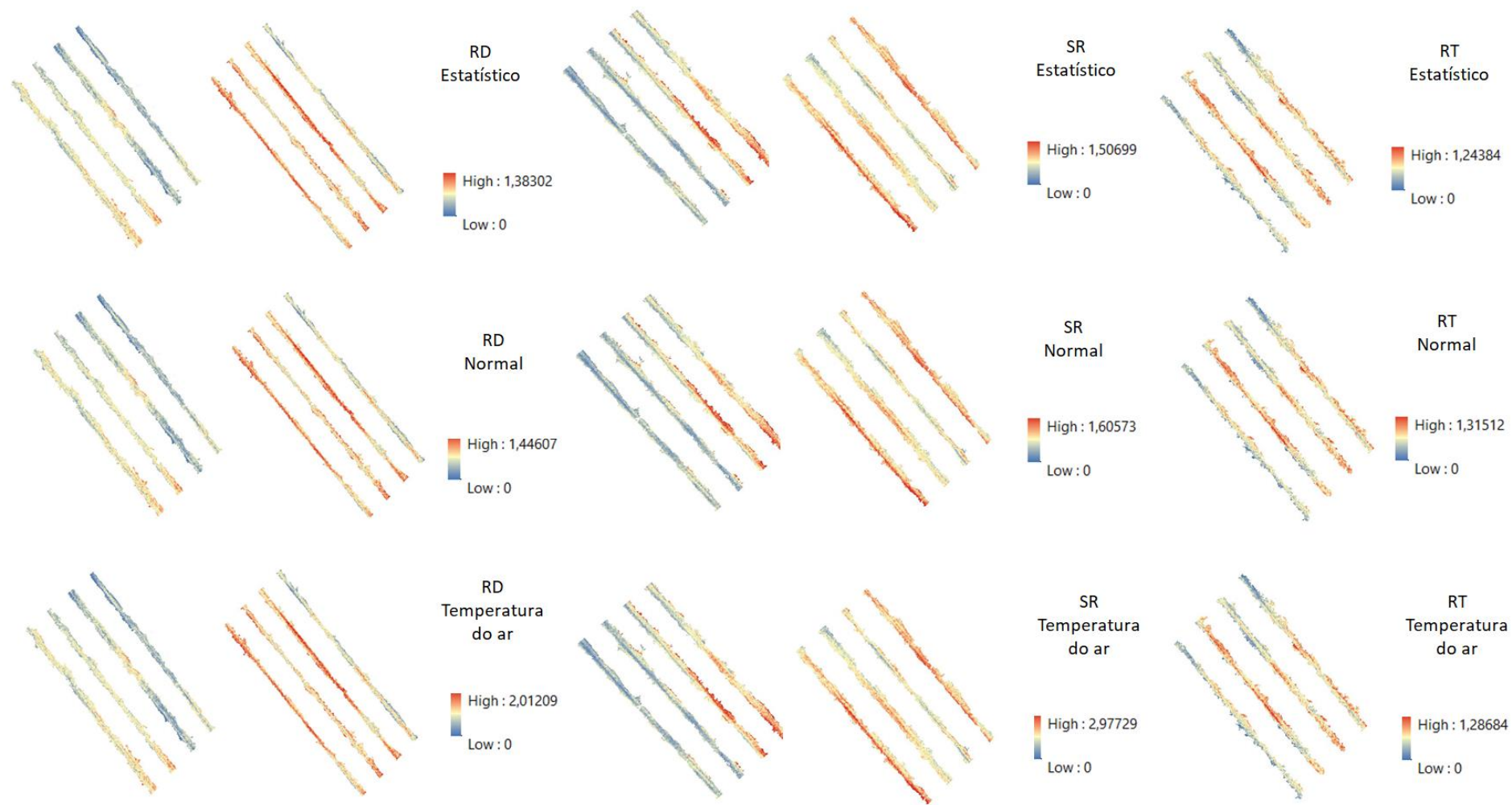
Da análise do teor de água no solo (mm), verifica-se que nas três estratégias de rega a variação é mínima (148-171 mm). Denotando-se que a estratégia SR apresenta teores de água no solo superiores nesta primeira (Figura 4.6).

**Quadro 4.10-** Resumo dos valores do CWSI aéreo segundo o método e estratégias de rega do DOY 182.

Método	CWSI Estatístico			CWSI Normal			CWSI Temperatura do ar		
	RD	SR	RT	RD	SR	RT	RD	SR	RT
<b>Mínimo</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Máximo</b>	1,38	1,51	1,24	1,45	1,61	1,32	2,01	2,98	1,29
<b>Média</b>	0,45	0,40	0,54	0,92	0,99	0,95	0,46	0,46	0,47
<b>Desvio Padrão</b>	0,18	0,18	0,15	0,10	0,10	0,09	0,32	0,42	0,23

**SR-** Sem Rega; **RD-** Rega Deficitária e a **RT-** Rega Total.





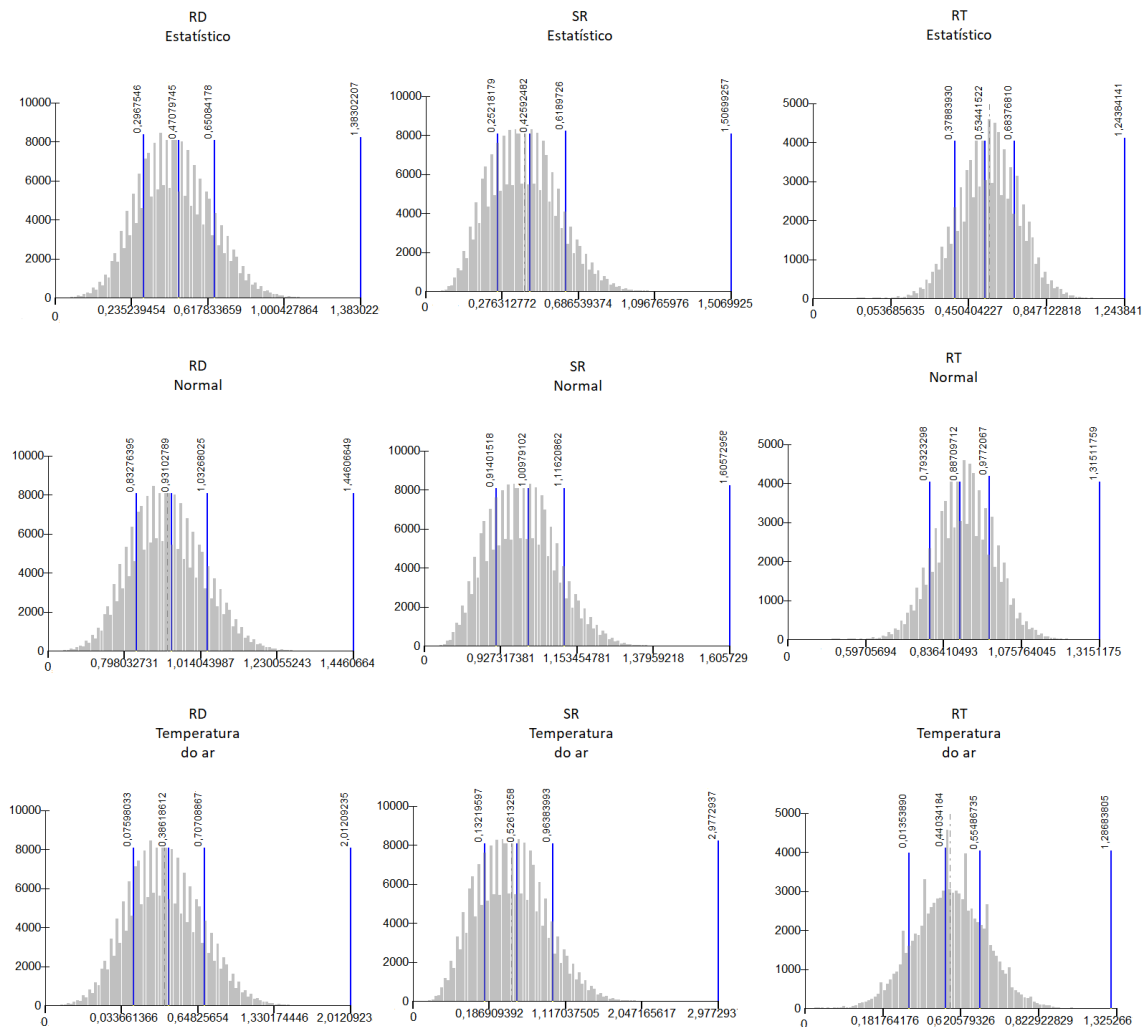
**Figura 4.18-** O CWSI aéreo do DOY 182 (01/07), consoante o método estatístico, normal e da Temperatura do ar. Estando agrupados segundo as estratégias; **RD-** Rega deficitária; **SR-** Sem Rega e a **RT-** Rega Total.

Se verificarmos as incidências do CWSI estatístico, a RD varia entre o 0,30 e o 0,65, enquanto que a SR apresenta uma incidência entre o 0,25 e o 0,61, e a RT apresenta uma incidência entre o 0,38, e o 0,68.

Já o CWSI normal a RD varia entre o 0,88 e o 1,03, enquanto que a SR apresenta uma incidência entre o 0,91 e o 1,12, e a RT apresenta uma incidência entre o 0,78 e o 0,98.

O CWSI temperatura do ar, a RD varia entre o 0,07 e o 0,70, enquanto que a SR apresenta uma incidência entre o 0,13 e o 0,96, e a RT apresenta uma incidência entre o 0,01 e o 0,55.

Nota-se que os valores do método normal são superiores aos restantes métodos, já o método da temperatura possui uma variação maior devido ao valor da temperatura do ar (Tdry), e o método estatístico apresenta valores mais baixos (Figura 4.19).



**Figura 4.19-** Histograma das três vertentes do CWSI relativos ao DOY 182 (01/07), agrupado por quartis, com a media a tracejado segundo a estratégia: **RD-** rega deficitária; **SR-** Sem rega e a **RT-** Rega total.

## ii) DOY 190 (09 de julho de 2021)

O CWSI do método estatístico do ar teve uma amplitude entre 0,15 e 1,63. Assim sendo, na estratégia da RD, a sua variação foi de 0 e 1,63, com uma média de 0,46 e o desvio padrão de 0,18. Na SR, foi registada uma variação de 0 a 1,35, com uma média de 0,39 e o desvio padrão de 0,18 e por último na estratégia RT variou de 0 a 1,18 com uma média de 0,54 e o desvio padrão de 0,17. Atendendo a que a estratégia RT apresenta um valor de CWSI menor, podemos estimar que as plantas estão em maior conforto hídrico relativamente às restantes estratégias.

O CWSI do método normal teve uma amplitude entre 0 e 1,64. Assim sendo na estratégia da RD, a sua variação foi de 0 e 1,64, com uma média de 0,90 e o desvio padrão de 0,11. Na SR, foi registada uma variação de 0 a 1,52, com uma média de 0,96 e o desvio padrão de 0,10 e por último na estratégia RT variou de 0 a 1,23 com uma média de 0,91 e o desvio padrão de 0,10. Observando que a estratégia SR apresenta um valor de CWSI maior, podemos estimar que as plantas estão em maior stress hídrico relativamente às restantes.

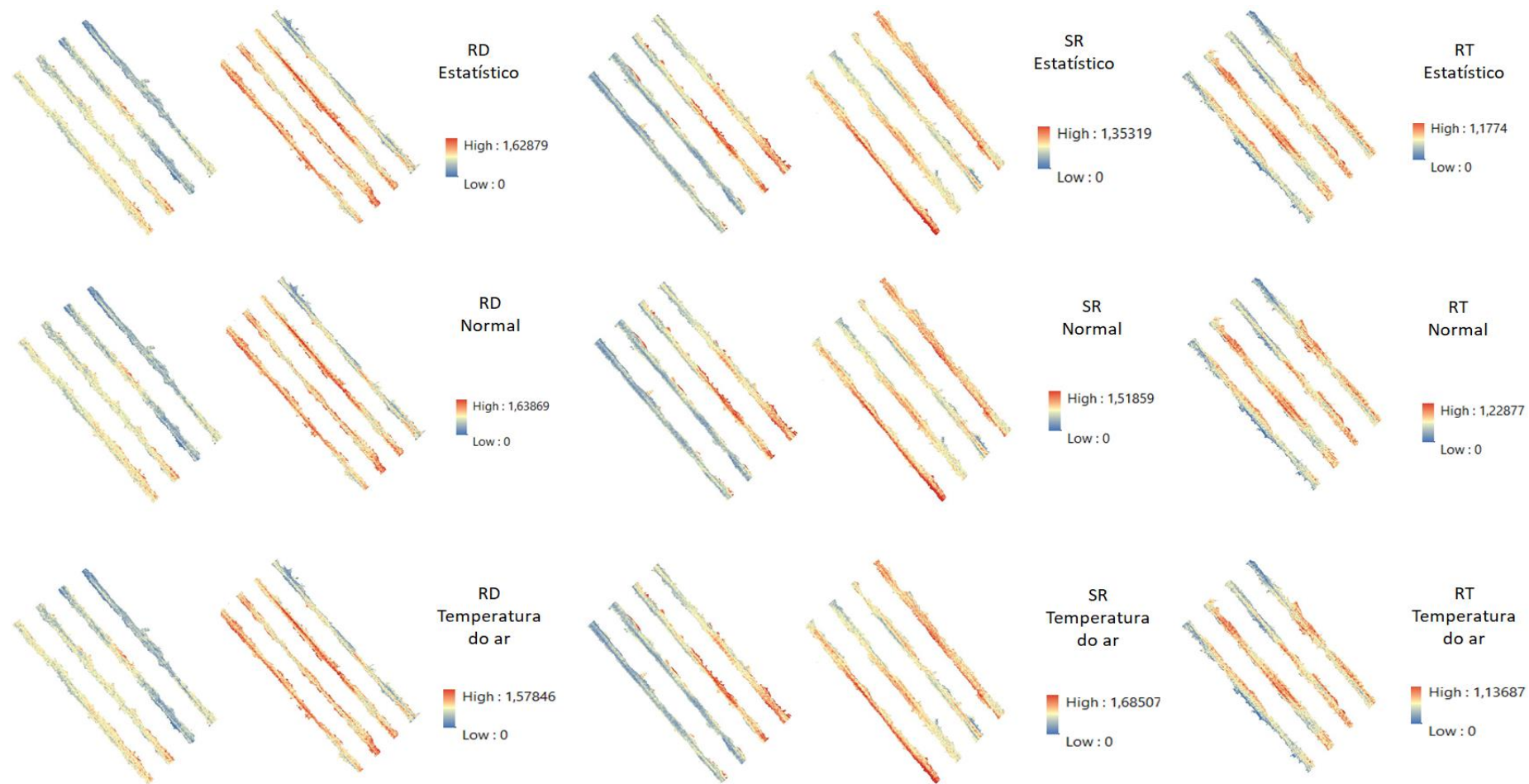
O CWSI do método da temperatura do ar teve uma amplitude entre 0 e 1,69. Assim sendo na estratégia da RD, a sua variação foi de 0 e 2,58, com uma média de 0,43 e o desvio padrão de 0,33. Na SR, foi registada uma variação de 0 a 2,69, com uma média de 0,44 e o desvio padrão de 0,41 e por último na estratégia RT variou de 0 a 1,14 com uma média de 0,46 e o desvio padrão de 0,23 (Figura 4.20) e (Quadro 4.11).

Da observação do teor de água no solo (mm), verifica-se que nas três estratégias de rega a variação é mínima entre si e a data anterior (140-164 mm). Denotando-se que a estratégia SR apresenta teores de água no solo superiores. (Figura 4.6).

**Quadro 4.11-** Resumo dos valores do CWSI aéreo segundo o método e estratégias de rega do DOY 190.

Método	CWSI Estatístico			CWSI Normal			CWSI Temperatura do ar		
	RD	SR	RT	RD	SR	RT	RD	SR	RT
<b>Estratégia</b>									
<b>Mínimo</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Máximo</b>	1,63	1,35	1,18	1,64	1,52	1,23	2,58	2,69	1,14
<b>Média</b>	0,46	0,39	0,54	0,90	0,96	0,91	0,43	0,44	0,46
<b>Desvio Padrão</b>	0,18	0,18	0,17	0,11	0,10	0,10	0,33	0,41	0,23

**SR-** Sem Rega; **RD-** Rega Deficitária e a **RT-** Rega Total.



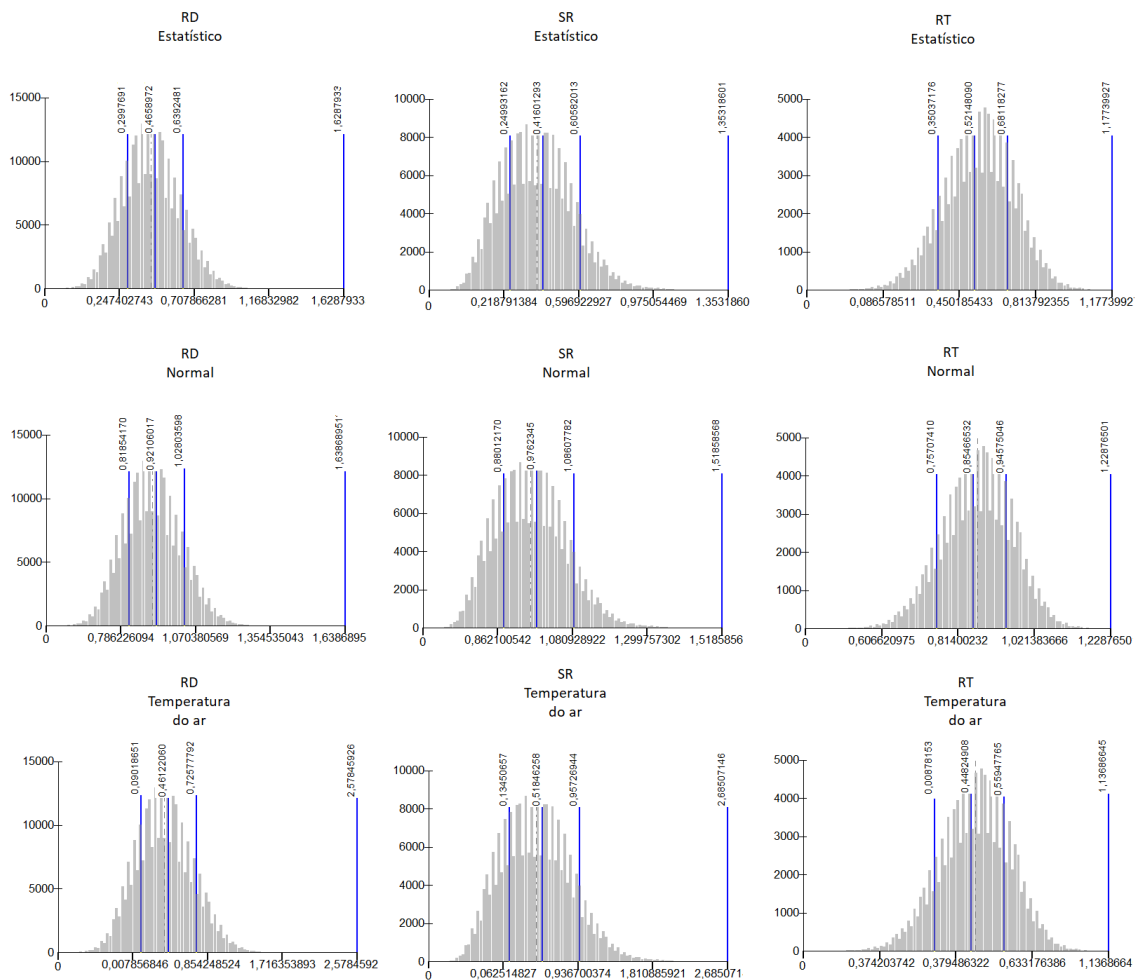
**Figura 4.20-** O CWSI aéreo do DOY 190 (09/07), consoante o método estatístico, normal e da Temperatura do ar. Estando agrupados segundo as estratégias de **RD-** rega deficitária; **SR-** Sem Rega e a **RT-** Rega Total.

Se verificarmos as incidências do CWSI estatístico, a RD varia entre o 0,29 e o 0,64, enquanto que a SR apresenta uma incidência entre o 0,25 e o 0,60, e a RT apresenta uma incidência entre o 0,35 e o 0,68.

Já o CWSI normal a RD varia entre o 0,81 e o 1,02, enquanto que a SR apresenta uma incidência entre o 0,88 e o 1,09, e a RT apresenta uma incidência entre o 0,76 e o 0,99.

O CWSI temperatura do ar, a RD varia entre o 0,10 e o 0,73, enquanto que a SR apresenta uma incidência entre o 0,13 e o 0,90, e a RT apresenta uma incidência entre o 0,01 e o 0,55.

Nota-se que os valores do método normal é superiores aos restantes métodos, já o método da temperatura possui uma variação maior devido ao valor da temperatura do ar (Tdry), e o método estatístico apresenta valores mais baixos (Figura 4.21)



**Figura 4.21-** Histograma das três vertentes do CWSI relativos ao DOY 190 (09/07), agrupado por quartis, com a média a tracejado segundo a estratégia: **RD-** rega deficitária; **SR-** Sem rega e a **RT-** Rega total.

### iii) DOY 194 (13 de julho de 2021)

O CWSI do método estatístico do ar teve uma amplitude entre 0 e 1,43. Assim sendo, na estratégia da RD, a sua variação foi de 0 e 1,43, com uma média de 0,49 e o desvio padrão de 0,17. Na SR, foi registrada uma variação de 0 a 1,32, com uma média de 0,51 e o desvio padrão de 0,18 e por último na estratégia RT variou de 0 a 1,40 com uma média de 0,41 e o desvio padrão de 0,18. Atendendo a que a estratégia RT apresenta um valor de CWSI menor, podemos estimar que as plantas estão em maior conforto hídrico relativamente às restantes estratégias.

O CWSI do método normal do ar teve uma amplitude entre 0 e 1,99. Assim sendo na estratégia da RD, a sua variação foi de 0 e 1,99, com uma média de 0,84 e o desvio padrão de 0,20. Na SR, foi registrada uma variação de 0 a 1,70, com uma média de 0,80 e o desvio padrão de 0,20 e por último na estratégia RT variou de 0 a 1,85 com uma média de 0,86 e o desvio padrão de 0,19. Observando que a estratégia SR apresenta valor de CWSI menor, podemos estimar que o método da temperatura padroniza os valores.

O CWSI do método da temperatura do ar teve uma amplitude entre 0 e 1,98. Assim sendo na estratégia da RD, a sua variação foi de 0 e 1,99, com uma média de 0,34 e o desvio padrão de 0,30. Na SR, foi registrada uma variação de 0 a 2,33, com uma média de 0,46 e o desvio padrão de 0,41 e por último na estratégia RT variou de 0 a 1,74 com uma média de 0,28 e o desvio padrão de 0,26 (Figura 4.22) e (Quadro 4.12).

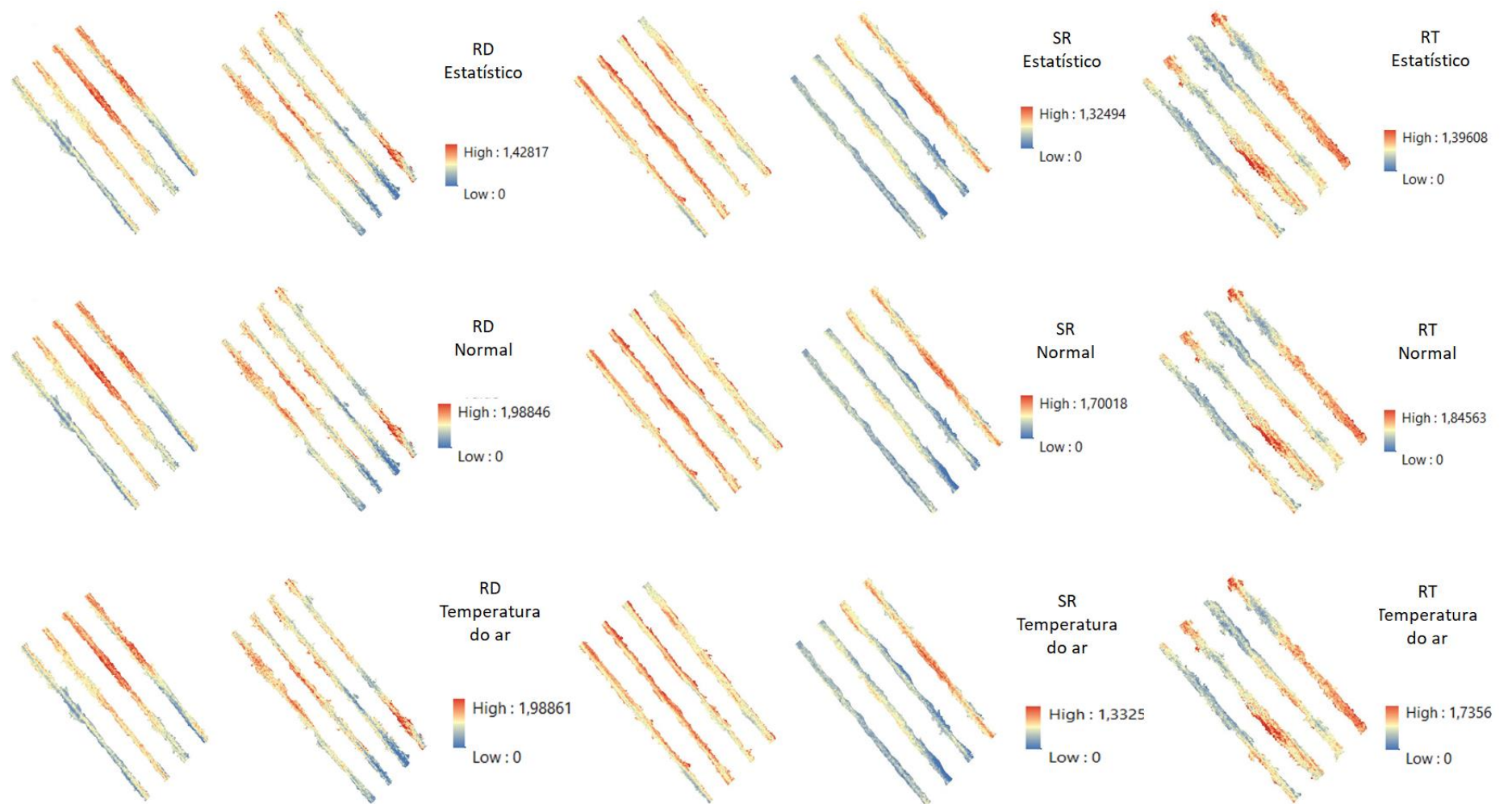
Da análise do teor de água no solo (mm), verifica-se que nas três estratégias de rega a variação é mínima entre si e ligeira descida da data anterior (128-150 mm). Denotando-se que a estratégia SR apresenta teores de água superiores. (Figura 4.6).

**Quadro 4.12-** Resumo dos valores do CWSI aéreo segundo o método e estratégias de rega do DOY 190.

Método	CWSI Estatístico			CWSI Normal			CWSI Temperatura do ar		
	RD	SR	RT	RD	SR	RT	RD	SR	RT
<b>Mínimo</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Máximo</b>	1,43	1,32	1,40	1,99	1,70	1,85	1,99	2,33	1,74
<b>Média</b>	0,49	0,51	0,41	0,84	0,80	0,86	0,34	0,46	0,28
<b>Desvio Padrão</b>	0,17	0,18	0,18	0,20	0,20	0,19	0,30	0,41	0,26

**SR-** Sem Rega; **RD-** Rega Deficitária e a **RT-** Rega Total.





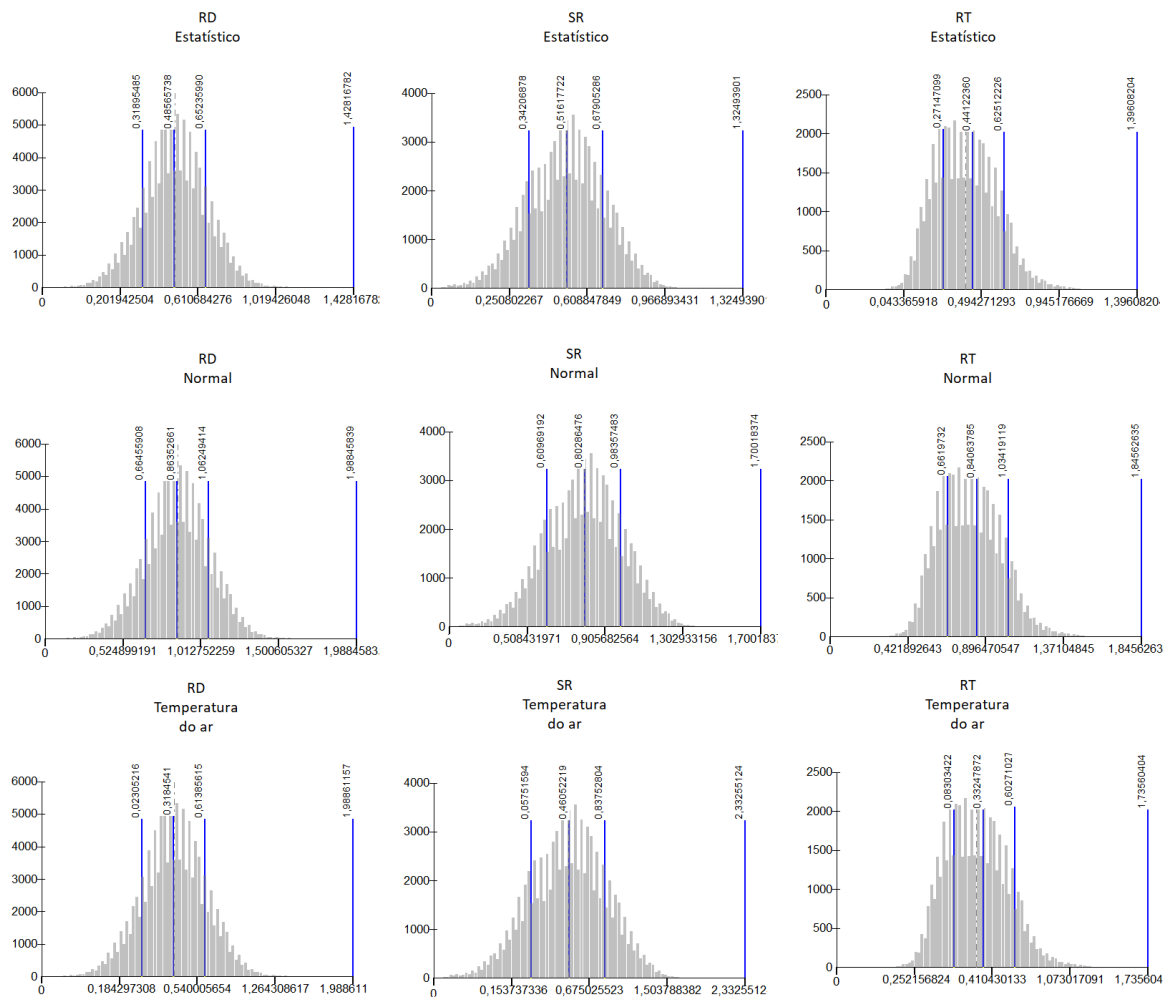
**Figura 4.22-** O CWSI aéreo do 194 (13/07), consoante o método estatístico, normal e da Temperatura do ar. Estando agrupados segundo as estratégias de **RD-** rega deficitária; **SR-** Sem Rega e a **RT-** Rega Total.

Se verificarmos as incidências do CWSI estatístico, a RD varia entre o 0,31 e o 0,65, enquanto que a SR apresenta uma incidência entre o 0,34 e o 0,68, a RT apresenta uma incidência entre o 0,27 e o 0,63.

Já o CWSI normal a RD varia entre o 0,66 e o 1,07, enquanto que a SR apresenta uma incidência entre o 0,60 e o 0,98, a RT apresenta uma incidência entre o 0,66 e o 1,04.

O CWSI temperatura do ar, a RD varia entre o 0,03 e o 0,61, enquanto que a SR apresenta uma incidência entre o 0,06 e o 0,84, a RT apresenta uma incidência entre o 0,08 e o 0,60.

Nota-se que os valores do método normal são superiores aos restantes métodos, já o método da temperatura possui uma variação maior devido ao valor da temperatura do ar (Tdry), e o método estatístico apresenta valores mais baixos (Figura 4.23).



**Figura 4.23-** Histograma das três vertentes do CWSI relativos ao DOY 194 (13/07), agrupado por quartis, com a média a tracejado segundo a estratégia: **RD-** rega deficitária; **SR-** Sem rega e a **RT-** Rega total.



#### iv) DOY 210 (29 de julho de 2021)

O CWSI do método estatístico do ar teve uma amplitude entre 0 e 1,19. Assim sendo, na estratégia da RD, a sua variação foi de 0 e 1,09, com uma média de 0,49 e o desvio padrão de 0,25. Na SR, foi registada uma variação de 0 a 1,08, com uma média de 0,46 e o desvio padrão de 0,33 e por último na estratégia RT variou de 0 a 1,19 com uma média de 0,59 e o desvio padrão de 0,26. Pode-se denotar que a quantidade de água no solo influencia o comportamento hídrico da planta.

O CWSI do método normal do ar teve uma amplitude entre 0 e 1,90. Assim sendo na estratégia da RD, a sua variação foi de 0 e 1,90, com uma média de 0,84 e o desvio padrão de 0,39. Na SR, foi registada uma variação de 0 a 1,72, com uma média de 0,87 e o desvio padrão de 0,48 e por último na estratégia RT variou de 0 a 1,44 com uma média de 0,85 e o desvio padrão de 0,31. Atendendo a que a estratégia RT apresenta um valor de CWSI menor, podemos estimar que as plantas estão em maior conforto hídrico relativamente às restantes, por possuírem maior teor de água no solo.

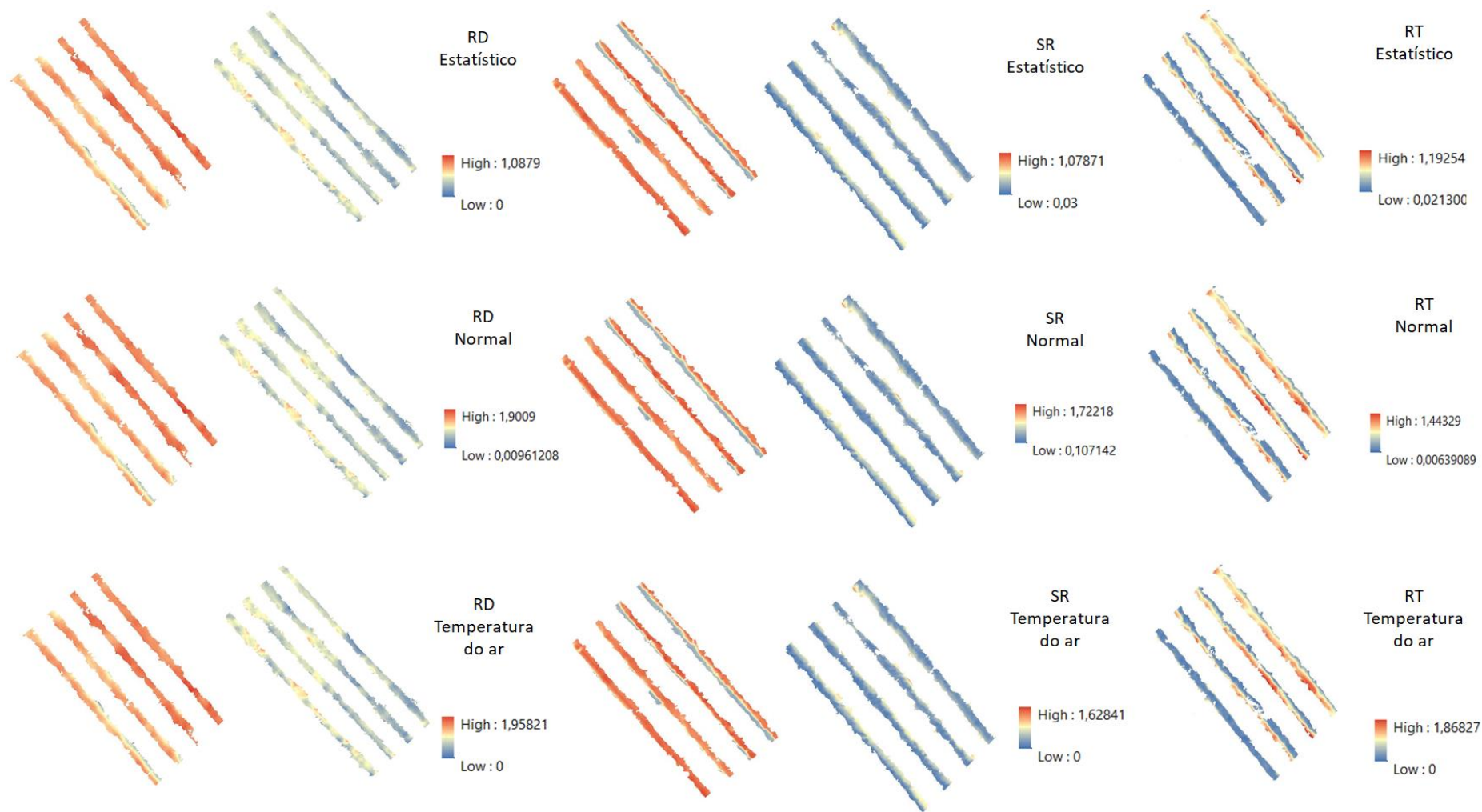
O CWSI do método da temperatura do ar teve uma amplitude entre 0 e 2,87. Assim sendo na estratégia da RD, a sua variação foi de 0 e 1,90, com uma média de 0,68 e o desvio padrão de 0,77. Na SR, foi registada uma variação de 0 a 1,63, com uma média de 0,70 e o desvio padrão de 0,26 e por último na estratégia RT variou de 0 a 2,87 com uma média de 0,42 e o desvio padrão de 0,66 (Figura 4.24) e (Quadro 4.13).

Da observação do teor de água no solo (mm), verifica-se que nas três estratégias de rega a variação é mínima entre si e uma acentuada descida da data anterior (97-123 mm). Denotando-se que a estratégia SR apresenta teores de água superiores (Figura 4.6).

**Quadro 4.13-** Resumo dos valores do CWSI aéreo segundo o método e estratégias de rega do DOY 210.

Método	CWSI Estatístico			CWSI Normal			CWSI Temperatura do ar		
	RD	SR	RT	RD	SR	RT	RD	SR	RT
<b>Estratégia</b>									
<b>Mínimo</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Máximo</b>	1,09	1,08	1,19	1,90	1,72	1,44	1,90	1,63	2,87
<b>Média</b>	0,49	0,46	0,59	0,84	0,87	0,85	0,68	0,70	0,42
<b>Desvio Padrão</b>	0,25	0,33	0,26	0,39	0,48	0,31	0,77	0,26	0,66

**SR-** Sem Rega; **RD-** Rega Deficitária e a **RT-** Rega Total.



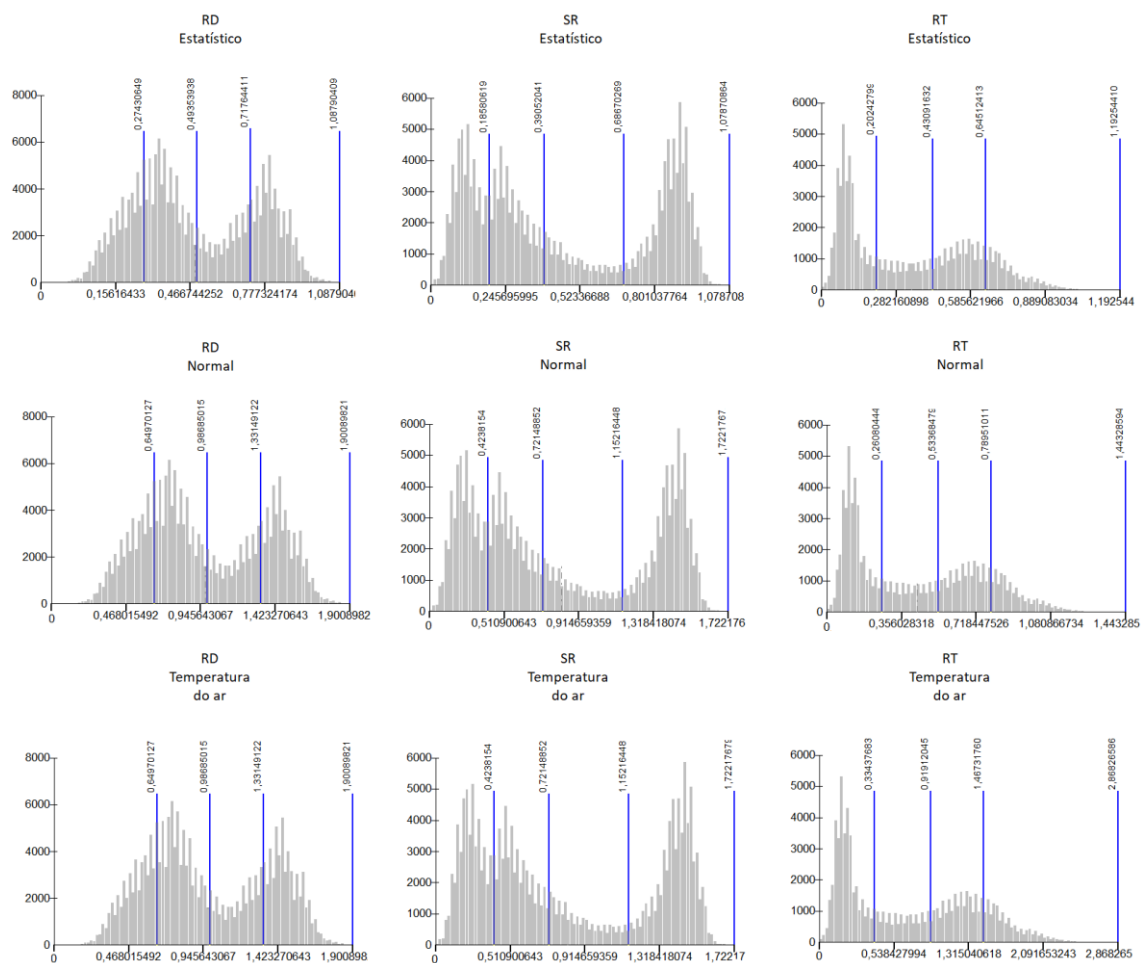
**Figura 4.24-** O CWSI aéreo do 210 (29/07), consoante o método estatístico, normal e da Temperatura do ar. Estando agrupados segundo as estratégias de **RD**- Rega deficitária; **SR**- Sem Rega e a **RT**- Rega Total.

Se verificarmos a incidência do CWSI estatístico, a RD varia entre o 0,27 e o 0,72, enquanto que a SR apresenta uma incidência entre o 0,09 a 0,35 e o 0,79 a ,0,89 , a RT apresenta uma incidência entre o 0,05 a 0,15 e o 0,43 a 0,73 .

Já o CWSI normal a RD varia entre o 0,46 a 0,91 e o 1,33 a 1,49 enquanto que a SR apresenta uma incidência entre o 0,35 a 0,53 e o 1,32 a 1,49, a RT apresenta uma incidência entre o 0,07 a 0,26 e o 0,55 a 0,71 a 1,09.

O CWSI temperatura do ar, a RD varia entre o 0,47 a 0,90 e o 1,42 a 1,45, enquanto que a SR apresenta uma incidência entre o 0,32 a 0,67 e o 1,33 a 1,45, a RT apresenta uma incidência entre o 0,32 a 0,45 e o 1,30 a 1,40.

Assim desta forma nota-se que devido a rega que estava a decorrer durante o voo, as temperaturas e por consequência o CWSI apresenta uma forma bimodal, porém segue a mesma lógica descrita nas datas anteriores (Figura 4.25).



**Figura 4.25-** Histograma das três vertentes do CWSI relativos ao DOY 210 (29/07), agrupado por quartis, com a média a tracejado segundo a estratégia: **RD-** Rega deficitária; **SR-** Sem rega e a **RT-** Rega total.

**v) DOY 224 (12 de agosto de 2021)**

O CWSI do método estatístico do ar teve uma amplitude entre 0 e 1,29. Assim sendo, na estratégia da RD, a sua variação foi de 0 e 1,29, com uma média de 0,51 e o desvio padrão de 0,18. Na SR, foi registrada uma variação de 0 a 1,07, com uma média de 0,46 e o desvio padrão de 0,23 e por último na estratégia RT variou de 0 a 1,21 com uma média de 0,59 e o desvio padrão de 0,16. Denota-se que a estratégia SR possui um maior CWSI devido ao teor de água no solo ser superior às restantes e a ter sido feita uma rega próximo desta data.

O CWSI do método normal do ar teve uma amplitude entre 0 e 1,86. Assim sendo na estratégia da RD, a sua variação foi de 0 e 1,52, com uma média de 0,85 e o desvio padrão de 0,35. Na SR, foi registrada uma variação de 0 a 1,82, com uma média de 0,84 e o desvio padrão de 0,43 e por último na estratégia RT variou de 0 a 1,86 com uma média de 0,84 e o desvio padrão de 0,35.

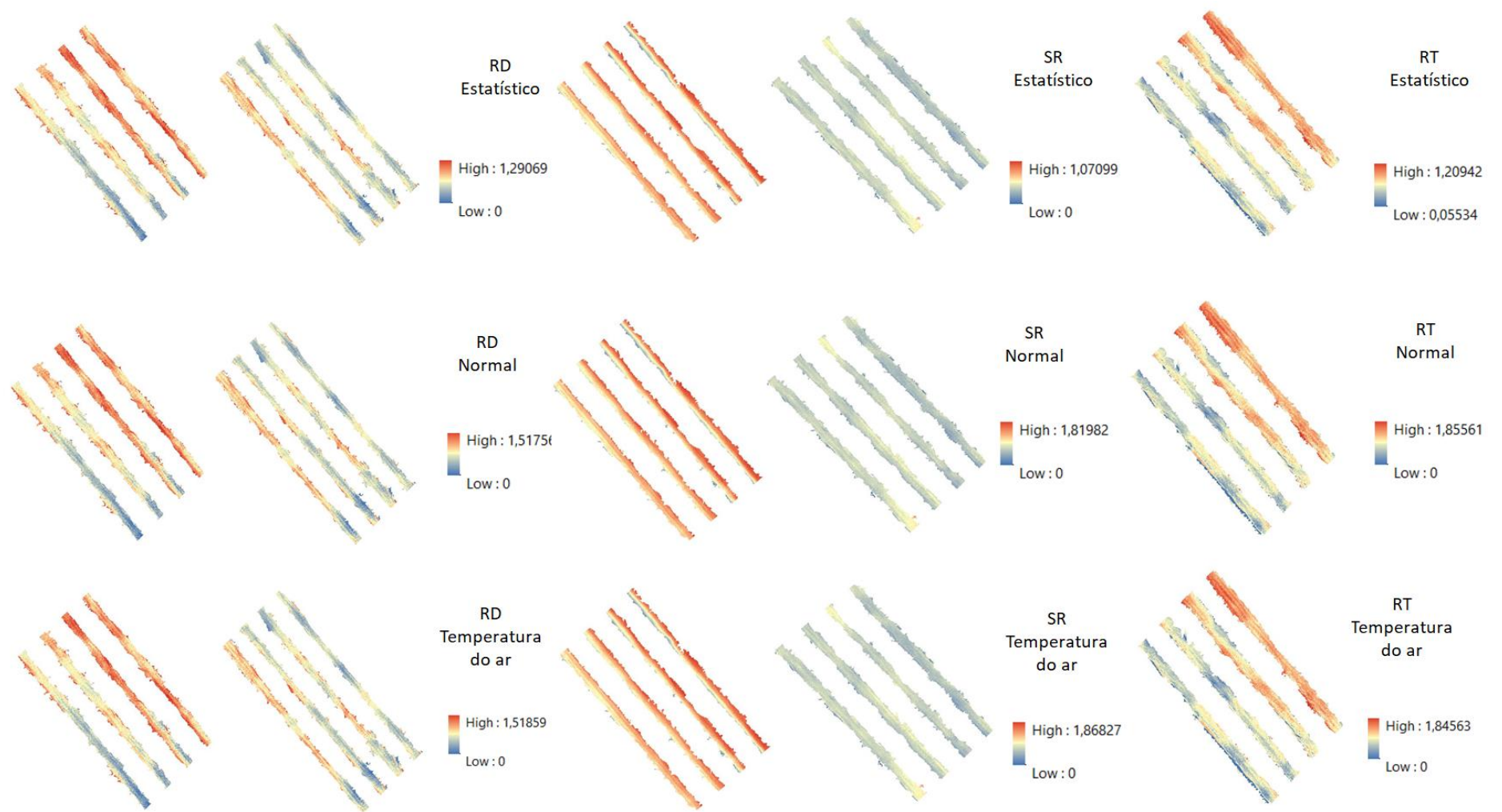
O CWSI do método da temperatura do ar teve uma amplitude entre 0 e 1,87. Assim sendo na estratégia da RD, a sua variação foi de 0 e 1,52, com uma média de 0,68 e o desvio padrão de 0,60. Na SR, foi registrada uma variação de 0 a 1,87, com uma média de 0,70 e o desvio padrão de 0,45 e por último na estratégia RT variou de 0 a 1,85 com uma média de 0,72 e o desvio padrão de 0,65 (Figura 4.26) e (Quadro 4.14).

Da análise do teor de água no solo (mm), verifica-se que nas três estratégias de rega a variação é mínima entre si e estabiliza comparando com a data anterior (96-115 mm). Denotando-se que a estratégia SR apresenta teores de água superiores (Figura 4.6).

**Quadro 4.14-** Resumo dos valores do CWSI aéreo segundo o método e estratégias de rega do DOY 224.

Método	CWSI Estatístico			CWSI Normal			CWSI Temperatura do ar		
	RD	SR	RT	RD	SR	RT	RD	SR	RT
<b>Estratégia</b>									
<b>Mínimo</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Máximo</b>	1,29	1,07	1,21	1,52	1,82	1,86	1,52	1,87	1,85
<b>Média</b>	0,51	0,46	0,59	0,85	0,84	0,84	0,68	0,70	0,72
<b>Desvio Padrão</b>	0,18	0,23	0,16	0,35	0,43	0,34	0,60	0,45	0,65

**SR-** Sem Rega; **RD-** Rega Deficitária e a **RT-** Rega Total.

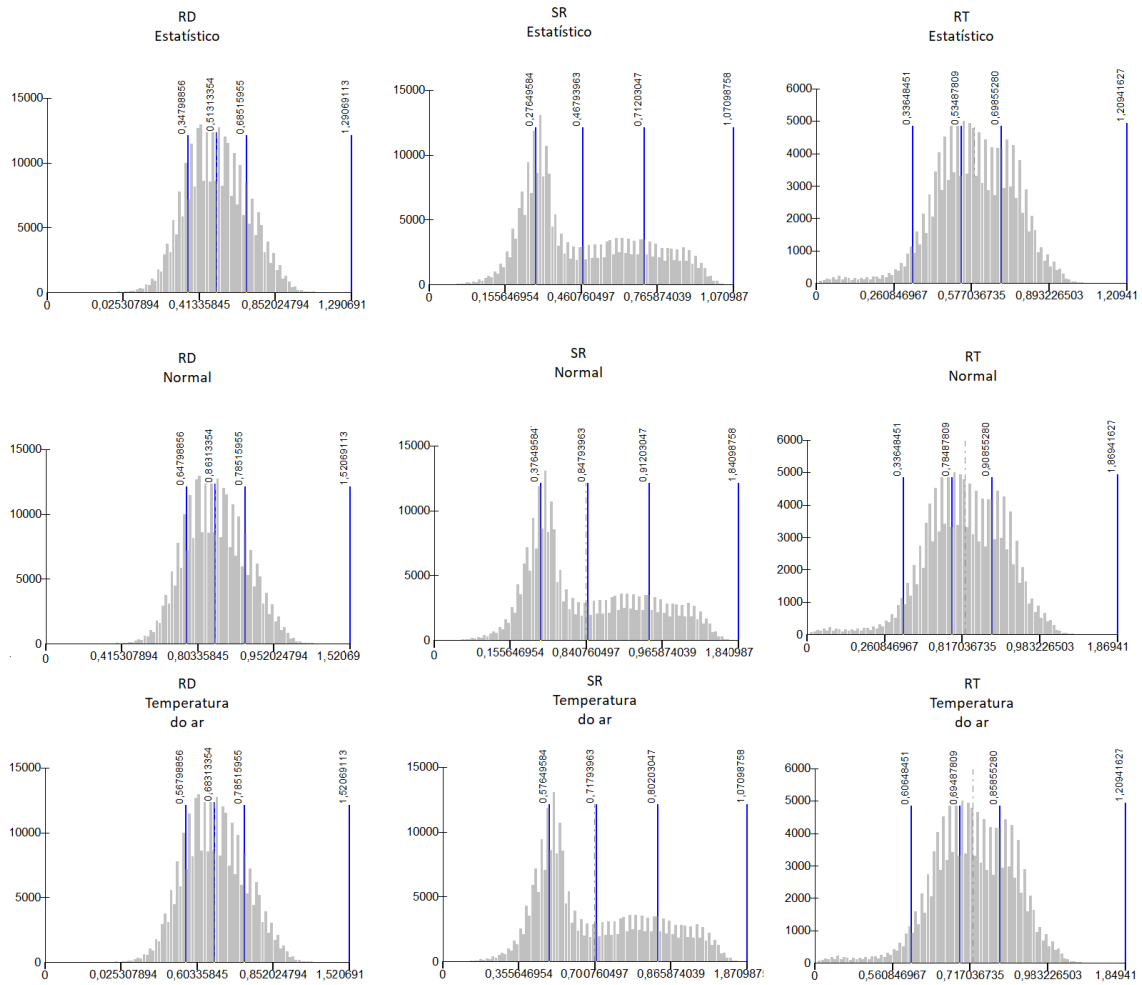


**Figura 4.26-** O CWSI aéreo do 224 (12/08), consoante o método estatístico, normal e da Temperatura do ar. Estando agrupados segundo as estratégias de **RD-** Rega deficitária; **SR-** Sem Rega e a **RT-** Rega Total.

Se verificarmos a incidência do CWSI estatístico, a RD varia entre o 0,34 e o 0,69, enquanto que a SR apresenta uma incidência entre o 0,15 a 0,37 e o 0,54 a 0,76, a RT apresenta uma incidência entre o 0,49 e o 0,70.

Já o CWSI normal a RD varia entre o 0,82 e o 0,94, enquanto que a SR apresenta uma incidência entre o 0,16 a 0,75 e o 0,90 a 0,98, a RT apresenta uma incidência entre o 0,33 e o 0,90.

O CWSI temperatura do ar, a RD varia entre o 0,54 e o 0,78, enquanto que a SR apresenta uma incidência entre o 0,36 a 0,60 e o 0,71 a 0,86, a RT apresenta uma incidência entre o 0,62 e o 0,90. Nota-se que os valores do método normal são superiores aos restantes métodos, já o método da temperatura possui uma variação maior devido ao valor da temperatura do ar ( $T_{dry}$ ), e o método estatístico apresenta valores mais baixos. Em todos os métodos a SR apresenta uma variação do CWSI acentuado (Figura 4.27).



**Figura 4.27-** Histograma das três vertentes do CWSI relativos ao DOY 224 (12/08), agrupado por quartis, com a média a tracejado segundo a estratégia: **RD-** Rega deficitária; **SR-** Sem rega e a **RT-** Rega total.

De uma forma geral, salienta-se que o modelo de cálculo do CWSI normal foi o que apresentou os valores de média mais elevados e o CWSI estatístico, de uma forma predominante, os mais baixos. Embora o valor por si, possa não relevar a análise, interessa perceber a grandeza dos mesmos para o entendimento do stress hídrico da cultura, que com dados normais, quanto mais elevado o valor, potencialmente maior será o estado de stress hídrico da cultura e vice-versa.

De referir que as leituras realizadas ao longo do trabalho, as amostras de dados revelaram-se ser homogêneas seguindo uma distribuição normal, conforme leitura dos histogramas, com exclusão do DOY 210, que apresenta uma distribuição bimodal (figura 4.26), podendo representar dois grupos de dados distintos estatisticamente, os quais poderão ser visualizados na representação contínua dos mapas do CWSI (Figura 4.27).

#### 4.4. Validação de dados

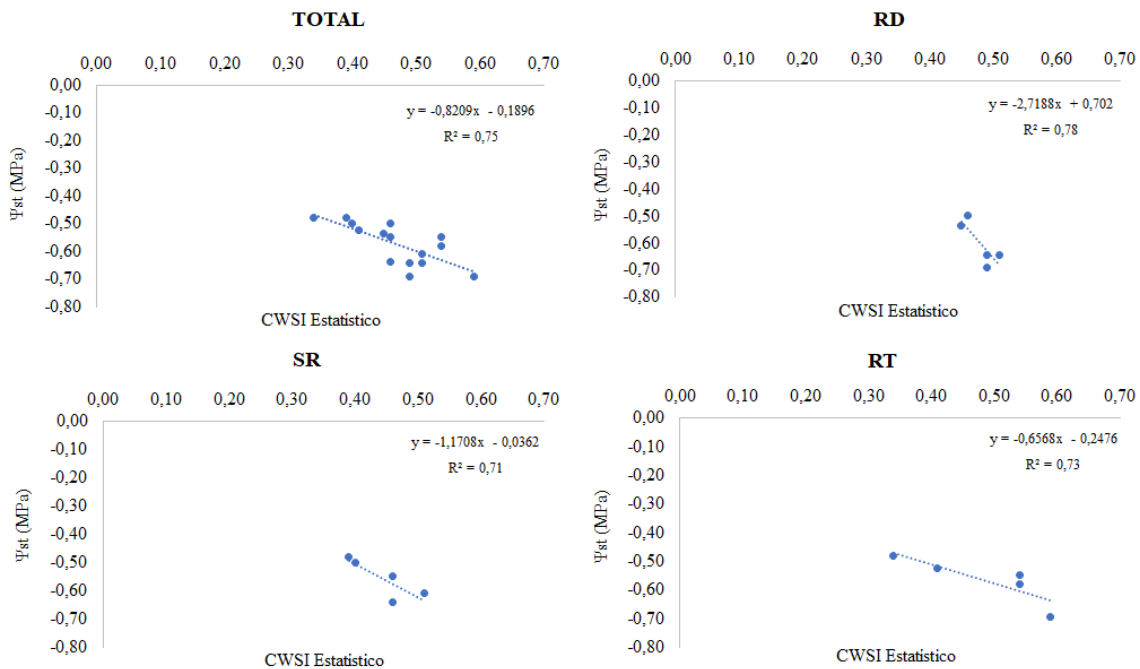
##### 4.4.1. CWSI aéreo VS Potencial hídrico de ramo ( $\Psi_{st}$ )

A validação dos dados foi realizada através da análise de uma regressão linear das médias do CWSI por método e por estratégia de rega, comparativamente com a média do potencial hídrico de ramo obtido com a câmera Sholander.

##### i) CWSI estatístico VS Potencial hídrico de ramo ( $\Psi_{st}$ )

O CWSI estatístico e o potencial hídrico de ramo no total dos cinco dias obtiveram um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) 0,75. Detalhando a cada uma das estratégias de rega obtivemos uma variação diferente, i) RD com  $R^2 = 0,78$ ; ii) SR com  $R^2 = 0,71$  e iii) RT com  $R^2 = 0,73$  (Figura 4.28).

Neste sentido, os resultados obtidos pelo CWSI estatístico, possuem uma forte correlação com a amostra obtida em campo do potencial hídrico de ramo.



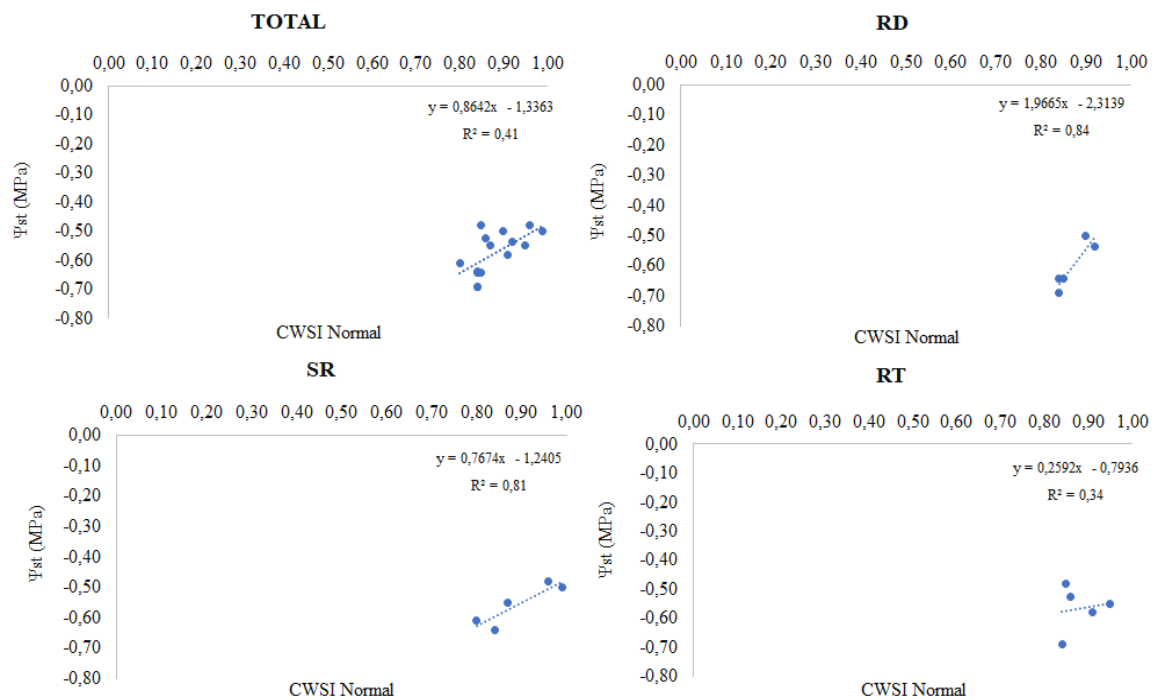
**Figura 4.28-** Análise linear da média do CWSI estatístico com o potencial hídrico de ramo ( $\Psi_{st}$ ); **TOTAL-** corresponde aos valores dos cinco dias pelas estratégias todas; **RD-** os valores dos cinco dias da estratégia rega deficitária; **SR-** os valores dos cinco dias da estratégia sem rega; e o **RT-** os valores dos cinco dias da estratégia rega total.

##### ii) CWSI normal VS Potencial hídrico de ramo ( $\Psi_{st}$ )



O CWSI normal e o potencial hídrico de ramo no total dos cinco dias obtiveram um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,41. Detalhando a cada uma das estratégias de rega obtivemos uma variação diferente; i) RD com um  $R^2 = 0,34$ , ii) SR com  $R^2 = 0,84$  e por último, iii) RT com  $R^2 = 0,81$  (Figura 4.29).

Neste sentido, o resultado global do CWSI normal obteve uma fraca correlação com os valores obtidos em campo. Relativamente às estratégias de rega, podemos estimar, embora tendo consciência dos poucos locais amostrais por estratégia, que a RT e a SR, possuem uma forte correlação com a amostra de campo do potencial hídrico de ramo, e RD uma relação fraca.

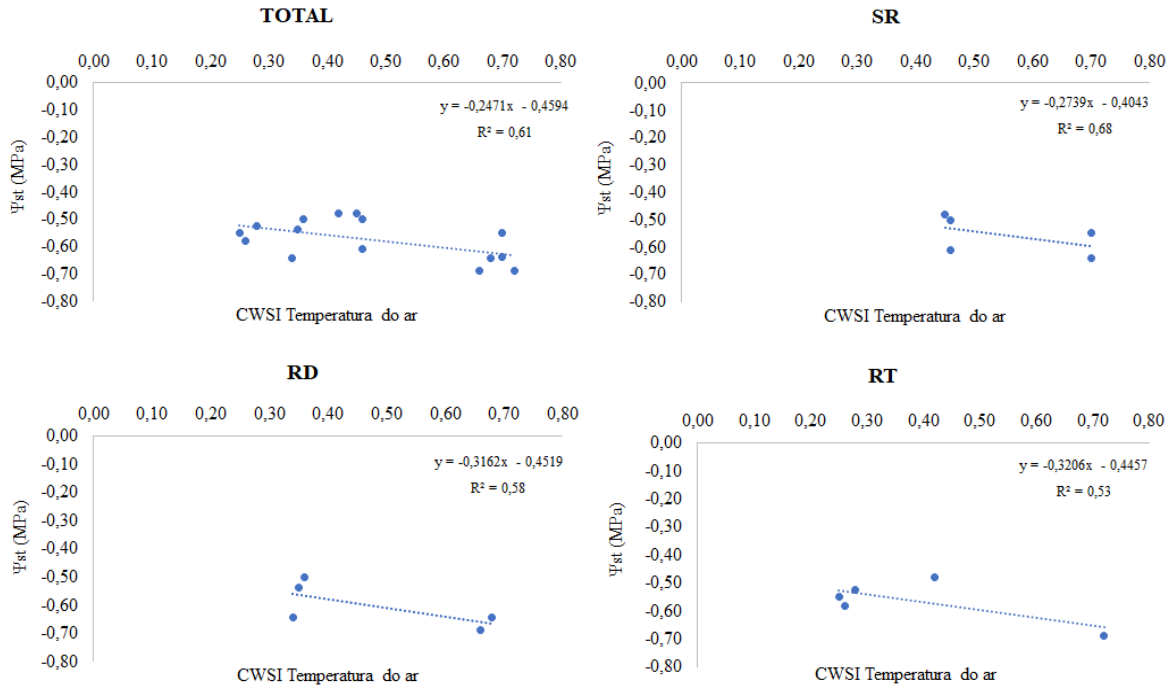


**Figura 4.29-** Análise linear da média do CWSI normal com o potencial hídrico de ramo ( $\Psi_{st}$ ); **TOTAL-** corresponde aos valores dos cinco dias pelas estratégias todas; **RD-** os valores dos cinco dias da estratégia rega deficitária; **SR-** os valores dos cinco dias da estratégia sem rega; e o **RT-** os valores dos cinco dias da estratégia rega total.

### iii) CWSI temperatura do ar VS Potencial hídrico de ramo ( $\Psi_{st}$ )

O CWSI temperatura do ar e o potencial hídrico de ramo no total dos cinco dias obtiveram um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,61. Detalhando a cada uma das estratégias de rega obtivemos uma variação diferente; i) RD com um  $R^2 = 0,58$ , ii) SR com  $R^2 = 0,68$  e por último, iii) RT com  $R^2 = 0,53$  (Figura 4.30).

Neste sentido, o resultado global da temperatura do ar, obteve uma moderada correlação com os valores obtidos em campo. Relativamente às estratégias de rega RD, SR e RT, podemos estimar que possuem uma moderada correlação com a amostra de campo do potencial hídrico de ramo.

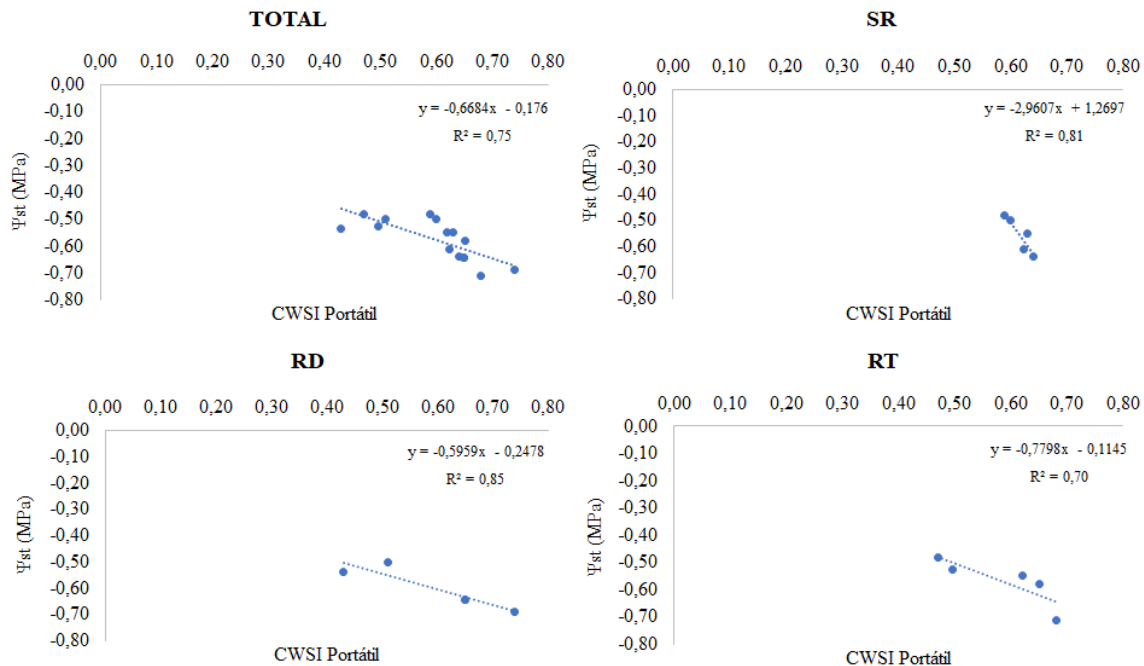


**Figura 4.30-** Análise linear da média do CWSI temperatura do ar com o potencial hídrico de ramo ( $\Psi_{st}$ ); **TOTAL-** corresponde aos valores dos cinco dias pelas estratégias todas; **RD-** os valores dos cinco dias da estratégia rega deficitária; **SR-** os valores dos cinco dias da estratégia sem rega; e **RT-** os valores dos cinco dias da estratégia rega total.

#### iv) CWSI portátil VS Potencial hídrico de ramo ( $\Psi_{st}$ )

O CWSI portátil e o potencial hídrico de ramo no total dos cinco dias obtiveram um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,75. Detalhando a cada uma das estratégias de rega obtivemos uma variação diferente; i) RD com  $R^2 = 0,85$ , ii) SR com  $R^2 = 0,81$  e por último, iii) RT com  $R^2 = 0,70$  (Figura 4.31).

Neste sentido, o resultado global do CWSI portátil obteve uma forte correlação com os valores obtidos em campo. Relativamente às estratégias de rega, podemos estimar, embora tendo consciência dos poucos locais amostrais por estratégia, que possuem uma forte correlação com a amostra de campo do potencial hídrico de ramo.



**Figura 4.31-** Análise linear da média do CWSI do portátil com o potencial hídrico de ramo ( $\Psi_{st}$ ); **TOTAL-** corresponde aos valores dos cinco dias pelas estratégias todas; **RD-** os valores dos cinco dias da estratégia rega deficitária; **SR-** os valores dos cinco dias da estratégia sem rega; e a **RT-** os valores dos cinco dias da estratégia rega total.

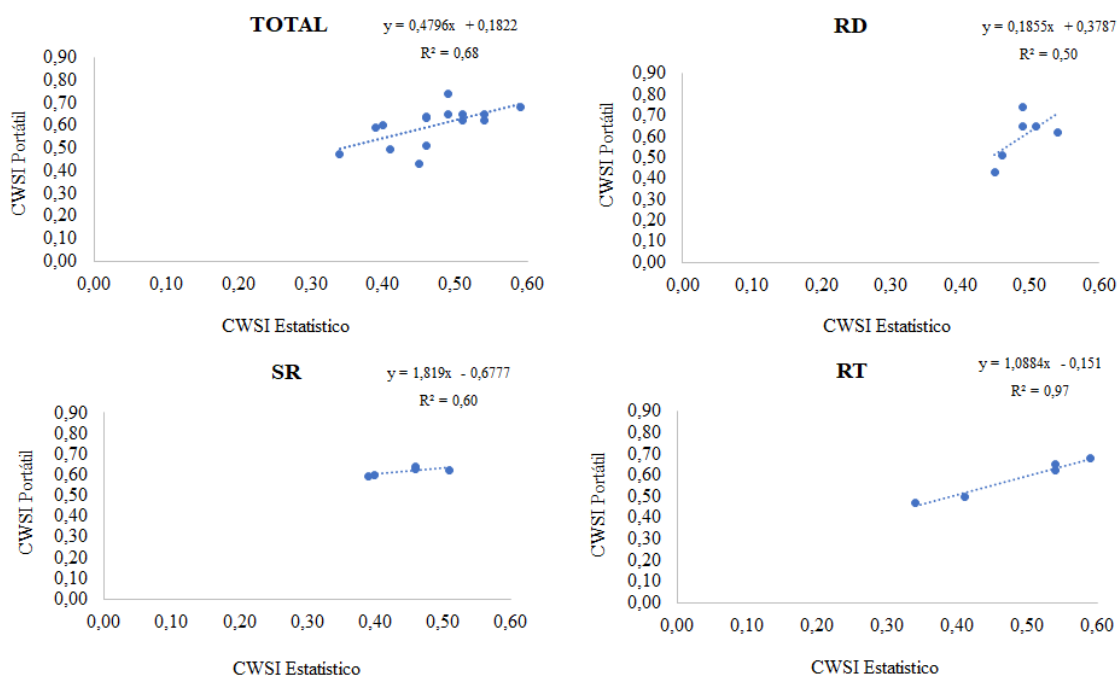
#### 4.4.2. CWSI aéreo VS CWSI portátil

De igual forma, foi também realizada através da análise de uma regressão linear das médias do CWSI por método e por estratégia de rega, a correlação existente entre o CWSI aéreo comparativamente com a média do CWSI portátil.

##### i) CWSI estatístico VS CWSI portátil

O CWSI estatístico e o CWSI portátil no total dos cinco dias, obtiveram um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,68. Na sua análise por estratégia, foi possível obter uma variação semelhante: i) RD com um  $R^2 = 0,50$ ; ii) SR com um de  $R^2 = 0,60$  e por último, iii) RT com um de  $R^2 = 0,97$  (Figura 4.32).

De uma forma geral, excluindo a estratégia RT que foi forte, na qual obtivemos uma moderada correlação entre os CWSI analisados, os coeficientes de determinação apontam para uma moderada correlação entre as duas matrizes, o CWSI estatístico e o CWSI do portátil.

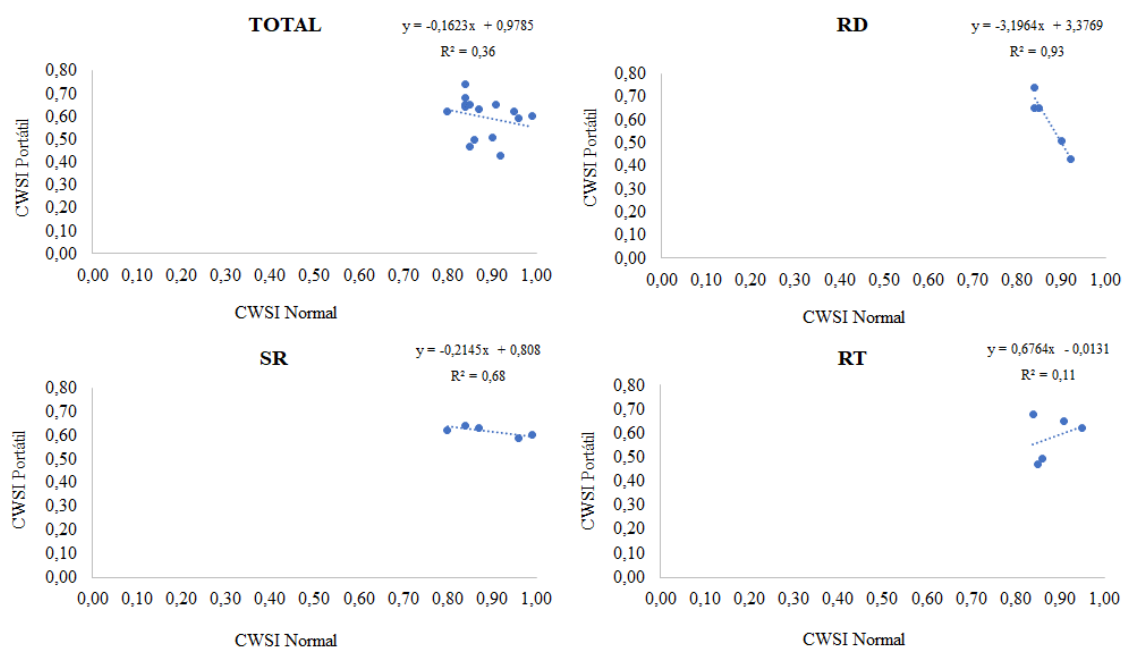


**Figura 4.32-** Análise linear da média do CWSI estatístico com o CWSI do portátil; **TOTAL-** corresponde aos valores dos cinco dias pelas estratégias todas; **RD-** os valores dos cinco dias da estratégia rega deficitária; **SR-** os valores dos cinco dias da estratégia sem rega; e a **RT-** os valores dos cinco dias da estratégia rega total.

## ii) CWSI normal VS CWSI portátil

O CWSI normal e o CWSI portátil no total dos cinco dias obtiveram um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,36. Analisando cada uma das estratégias de rega obtivemos uma variação diferente; i) RD com um  $R^2 = 0,93$ , ii) SR com  $R^2 = 0,67$  e por último, iii) RT com  $R^2 = 0,11$  (Figura 4.33).

Neste sentido, o resultado global do CWSI normal obteve uma fraca correlação com os valores obtidos em campo. Relativamente às estratégias de rega, podemos estimar, embora tendo consciência dos poucos locais amostrais por estratégia, que a RD e a SR, possuem uma forte correlação e a RT muito fraca entre as matrizes o CWSI normal e o CWSI portátil.

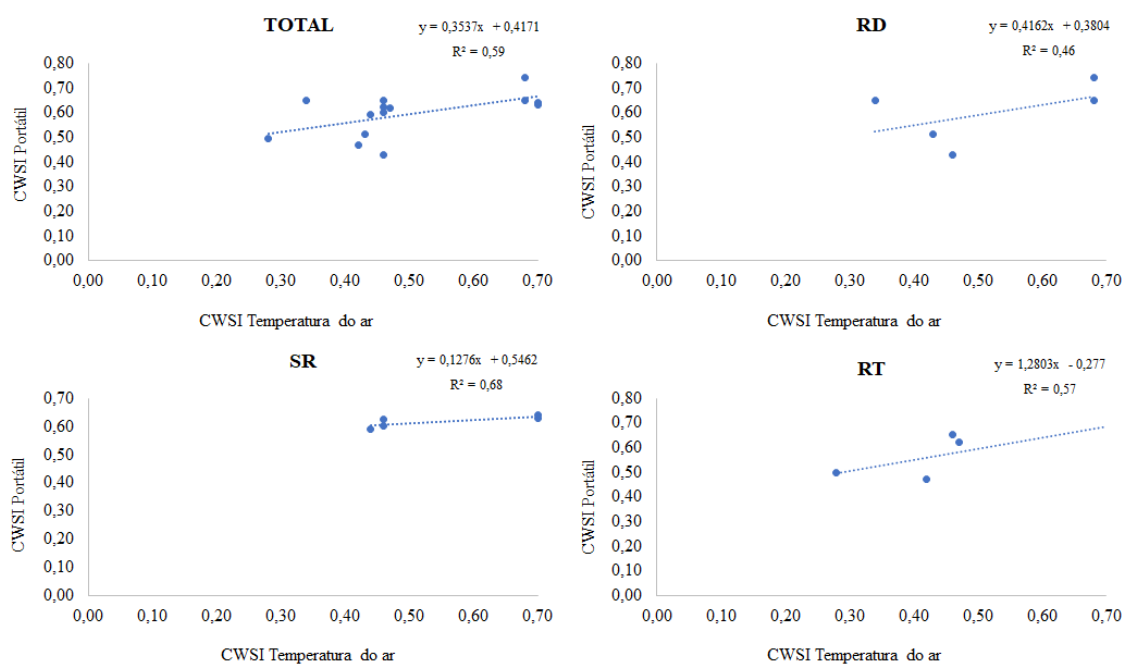


**Figura 4.33-** Análise linear da média do CWSI normal com o CWSI do portátil; **TOTAL-** corresponde aos valores dos cinco dias pelas estratégias todas; **RD-** os valores dos cinco dias da estratégia rega deficitária; **SR-** os valores dos cinco dias da estratégia sem rega; e **RT-** os valores dos cinco dias da estratégia rega total.

### iii) CWSI temperatura do ar VS CWSI portátil

O CWSI temperatura do ar e o CWSI portátil no total dos cinco dias obtiveram um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,59. Analisando cada uma das estratégias de rega obtivemos uma variação diferente; i) RD com um  $R^2 = 0,46$ , ii) SR com  $R^2 = 0,68$  e por último iii) RT com  $R^2 = 0,57$  (Figura 4.34).

Neste sentido, o resultado global do CWSI temperatura do ar, obteve uma moderada correlação com os valores obtidos em campo. Relativamente às estratégias de rega, podemos estimar, embora tendo consciência dos poucos locais amostrais por estratégia, que a SR e a RT, possuem uma moderada correlação e a RD fraca correlação com o CWSI temperatura do ar e o CWSI portátil.



**Figura 4.34-** Análise linear da média do CWSI temperatura do ar com o CWSI do portátil; **TOTAL-** corresponde aos valores dos cinco dias pelas estratégias todas; **RD-** os valores dos cinco dias da estratégia rega deficitária; **SR-** os valores dos cinco dias da estratégia sem rega; e **RT-** os valores dos cinco dias da estratégia rega total.

Assim, em conclusão procedeu-se a esquematização dos coeficientes de determinação  $R^2$  do CWSI (estatístico, normal, temperatura do ar e o portátil) com o potencial hídrico de ramo ( $\Psi_{st}$ ) e o CWSI (estatístico, normal e temperatura do ar) com o CWSI portátil, (Quadro 4.15).

**Quadro 4.15-** Valores do  $R^2$  da correlação linear, dos fatores em análise.

Validação	Total	RD	SR	RT
CWSI Estatístico/ ( $\Psi_{st}$ )	<b>0,75</b>	0,78	0,71	0,73
CWSI Normal/ ( $\Psi_{st}$ )	0,41	0,84	0,81	0,34
CWSI Temperatura do ar/ ( $\Psi_{st}$ )	0,61	0,68	0,58	0,53
CWSI Portátil / ( $\Psi_{st}$ )	<b>0,75</b>	0,81	0,85	0,70
CWSI Estatístico/CWSI Portátil	<b>0,68</b>	0,50	0,60	0,97
CWSI Normal/ CWSI Portátil	0,36	0,93	0,68	0,11
CWSI Temperatura do ar/ CWSI Portátil	0,59	0,46	0,68	0,57

Potencial hídrico de ramo ( $\Psi_{st}$ )

## 5. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

O presente estudo incidiu sobre a avaliação de métodos de estimação do estado hídrico da vinha, tendo como base imagens térmicas aéreas da canópia de uma vinha da casta loureiro. Este é um método rápido e não invasivo comparando com os métodos tradicionais que atualmente são utilizados para este fim. Assim sendo foi possível a produção de um mosaico aerofotogramétrico a partir de imagens térmicas captadas com um VANT, para obtenção dos valores de temperatura de cada pixel da canópia da videira. O processo da segmentação das imagens RGB aéreas proporcionou o isolamento da canópia da videira, descartando a área entre linhas da mesma, facilitando os processos de cálculo, encurtando amplitudes térmicas que poderiam influenciar o modelo de cálculo do CWSI.

Assim sendo, da análise dos cinco voos realizados na área de estudo, concluiu-se que é possível através das imagens térmicas (com alturas de voo de 60 metros), a obtenção de um indicador do estado hídrico da planta (CWSI), atendendo ao coeficiente de determinação obtido, quando correlacionado com o potencial hídrico de ramo e o CWSI portátil. O cálculo do CWSI com base em câmera aérea térmica pode ser utilizado como um método de análise do stress hídrico da planta, tal como demonstrou Moller *et al.*, (2007), Park *et al.*, (2017) e Bian *et al.*, (2019), tendo a capacidade de espacialização dos dados, com vantagem na obtenção de informação a partir de uma visualização vertical comparativamente a uma visualização horizontal.

A análise dos cinco dias de captura e processamento de dados térmicos de solo e respetivo cálculo do CWSI portátil, na sua relação com o potencial hídrico de ramo ( $R^2 = 0,75$ ) demonstrou que a sua correlação é forte, indo ao encontro do trabalho desenvolvido por García-Tejero *et al.*, (2016), Valín *et al.*, (2019) e Araújo-Paredes *et al.*, (2020). Por outro lado, ao analisar os resultados obtidos por estratégia de rega, observou-se que o SR ( $R^2 = 0,85$ ), o RD ( $R^2 = 0,81$ ) e o RT ( $R^2 = 0,70$ ) possuem correlações também fortes, potenciando a estimação do estado hídrico da planta a partir do CWSI portátil. Porém este método, tal como a obtenção de dados através da câmera scholander, é muito dispendioso quando pretendemos uma representação mais efetiva da realidade distribuída ao longo da parcela pelo facto de cada leitura nos fornecer os valores isolados de cada planta em análise.

Com os resultados, foi possível observar que qualquer um dos índices de stress hídrico da cultura, calculados a partir de termografia aérea, nas suas três variantes, torna possível a

interpretação e a estimativa do estado hídrico da planta, ou eventualmente pode potenciar o seu uso em conjunto com a câmara scholander.

A aplicação da fórmula do CWSI normal, pelo facto de ser necessária a recolha de dados no solo, torna-se um método mais dispendioso em tempo. Porém é possível a sua execução e cálculo do CWSI, sendo este, no entanto, o que obteve um coeficiente de determinação mais fraco, comparativamente com os restantes, ( $R^2 = 0,41$ ). Este facto possivelmente poderá dever-se à dimensão da amostra de recolha de dados em campo, e/ou de igual forma a fatores ambientais na calibração da câmara térmica de solo, como a temperatura do ar, a humidade relativa e a temperatura de reflexão.

O segundo método apresentado, o cálculo do CWSI da temperatura do ar, atendendo a que apenas necessita da temperatura do ar no momento em que se realiza o voo, torna-se um método mais rápido do que o anterior, sendo de igual forma possível a sua utilização para a obtenção de dados térmicos e por consequência o cálculo do CWSI. Com este método obteve-se um coeficiente de determinação moderado, quando se correlaciona o CWSI temperatura do ar e o potencial hídrico de ramo ( $R^2 = 0,61$ ). Nas estratégias de rega, observou-se que a SR ( $R^2 = 0,58$ ), o RD ( $R^2 = 0,68$ ) e o RT ( $R^2 = 0,53$ ) com correlações moderadas, foram de encontro aos resultados obtidos por Moller *et al.*, (2007). A correlação entre o CWSI normal e o CWSI portátil ( $R^2 = 0,59$ ) obteve com uma correlação moderada.

Por último, o cálculo do CWSI estatístico é o método com menor dispêndio de tempo em termos metodológicos, devido ao facto de este não necessitar de dados de campo para a sua execução. A correlação entre o CWSI estatístico e o com o potencial hídrico de ramo ( $R^2 = 0,75$ ) demonstrou uma correlação forte, indo ao encontro dos trabalhos desenvolvidos por Park *et al.*, (2017) e Bian *et al.*, (2019). Quando a análise foi agregada por estratégias de rega, observou-se que a SR ( $R^2 = 0,71$ ), o RD ( $R^2 = 0,78$ ) e o RT ( $R^2 = 0,73$ ) também obtiveram correlações fortes.

Em comparação com os métodos de captura e recolha de dados em campo, os métodos de captura aérea são mais ágeis e rápidos, permitindo uma maior extensão de área em muito menor período de tempo. A capacidade para a obtenção e espacialização de dados térmicos, também se tornou, em termos de análise, de extrema importância, atendendo ao facto de termos a capacidade de olhar para a parcela como um todo e não apenas um indivíduo isoladamente. Por outro lado, é um método não invasivo o que permite uma quantidade infindável de leituras, não fragilizando ou debilitando a planta ao longo do seu ciclo



fenológico. Porém este método também possui debilidades, não apenas pelo facto de capturar maioritariamente as folhas expostas no terço superior da canópia, mas também pelo custo associado aos equipamentos, de plataforma e sensor térmico, como também de formação de quem os opera. Em conclusão, é possível a espacialização do CWSI através do método estatístico e da temperatura do ar, para estimar o stress hídrico da vinha, possibilitando a recolha e análise destes mesmos dados em grande escala, e em períodos de tempo inferior, onde o primeiro método demonstrou estatisticamente estimar de forma mais aproximada o stress hídrico da cultura.

Denotou-se que a variação de temperaturas aéreas captadas ao longo das datas, segue uma lógica de que na estratégia RT os valores de temperatura são inferiores às restantes estratégias, e a SR apresenta valores superiores às restantes, no qual pode ser justificado pelo tipo de solo e pela capacidade do mesmo reter e disponibilizar água, que poderá variar ao longo das estratégias e das datas.

Em conclusão, existem alguns fatores que podem justificar alguns cenários obtidos nos resultados, um dos fatores, passou pela incapacidade de controlar os dias e horas em que as regas se realizaram, pois ao longo das capturas aéreas, apenas foi realizada uma rega (29 de julho de 2021), a qual possivelmente poderá ser identificada através da variação da temperatura (bimodal) e por consequência da variação do CWSI ao longo das estratégias de rega. É possível também salientar que na monitorização do teor de água no solo, a estratégia SR apresenta teores de água médios superiores às restantes estratégias. Tal facto deveu-se à capacidade do solo em armazenar água e à dificuldade que este possui em a disponibilizar à planta. Os dois blocos de ensaio SR foram implantados na mesma unidade pedológica (Leptosolos Dístricos em xistos e rochas afins), possuindo esta, baixos coeficientes de disponibilização de água útil.

Assim sendo para trabalhos futuros, na área da captura e processamento de imagem aéreas térmicas, podemos identificar possíveis trabalhos a desenvolver tais como:

- Experimentação e desenvolvimento de algoritmos de agilização do processo de segmentação, no sentido de melhorar a definição dos limites da canópia, e/ou uma segmentação a 20%, 40% e 60% de similaridade entre textura de pixéis para determinar qual a sua aproximação à realidade.

- O acompanhamento de um ciclo cultural completo, com aquisição de informação e imagem aérea de VANT, com intuito da monitorização da evolução do stress nas mais diversas estratégias de rega ao longo do dia (9 h, 13 h e 15 h, 17 h).
- Agregar à metodologia realizada, a condutância estomática e sua comparação com a temperatura foliar;
- Sistematização e automatização do procedimento para o cálculo do CWSI, facilitando e vulgarizando o seu uso, com vantagens para o armazenamento de bases de dados e apoio à decisão agronómica.
- Estabilizar o procedimento de cálculo do CWSI, testar e fomentar a sua aplicação a outras culturas agrícolas.
- Avaliação de diferentes altitudes para obtenção de dados térmicos, melhorando e/ou agilizando o processo.

Em suma, a utilização de veículos aéreos não tripulados na agricultura para estimar dados, é cada vez mais uma realidade que veio para ficar, atendendo aos avanços tecnológicos, à melhoria dos equipamentos e ao conhecimento técnico para que a digitalização da agricultura seja uma realidade, tendo a investigação e a inovação tecnológica desenvolvida pelo ensino superior agrícola, um papel fundamental na disseminação e na transferência desse conhecimento.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo-Opazo, C., Tisseyre, B., Ojeda, H., Ortega-Farias, S., & Guillaume, S. 2008 a. Is it possible to assess the spatial variability of vine water status?. *OENO One*, 42(4), 203–219. <https://doi.org/10.20870/oenone.2008.42.4.811>.
- Acevedo-Opazo C., Ortega-Farias S. e Fuentes S., 2010b. Effects of grapevine (*Vitis vinifera* L.) water status on water consumption, vegetative growth and grape quality: an irrigation scheduling application to achieve regulated deficit irrigation. *Agricultural Water management*, 956-964. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.01.025>.
- Afolabi D., Man K., Liang H., Lim E., Shen Z., Lei C., Krilavicius T., Yang Y., Cheng L., Hahanov V. e Yemelyanov I., 2013. A WSN approach to unmanned aerial surveillance of traffic anomalies: some challenges and potential solutions. *In East-West Design & Test Symposium*. IEEE. 1-4, DOI: <https://doi.org/10.1109/EWDTS.2013.6673163>.
- Agati, G., D’Onofrio, C., Ducci, E., Cuzzola, A., Remorini, D., Tuccio, L., Lazzini, F., & Mattii, G. (2013). Potential of a multiparametric optical sensor for determining in situ the maturity components of red and white *vitis vinifera* wine grapes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(50), 12211-12218. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf405099n>.
- Agroconsultores e Geometral, 1995. Carta dos Solos e Carta da Aptidão da Terra de Entre Douro e Minho. Direcção Regional de Agricultura entre Douro e Minho – DRAEDM. Lisboa.
- Allen R., Pereira L., Raes D. e Smith M., 1998. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. FAO56, *FAO Irrigation and drainage*. ISBN 92-5-104219-5. Consultado em [Table of Contents \(fao.org\)](Table of Contents (fao.org)).
- Allison R., Wang X., Senalik C., 2020. Methods for Nondestructive Testing of Urban Trees. *Forests*, 11, 1341. DOI: <https://doi.org/10.3390/f1112134>.
- Amukele T., Ness P., Tobian A., Boyd J. e Street J. 2017. Drone transportation of blood products. *Transfusion*, 57, 582-588. DOI: <https://doi.org/10.1111/trf.13900>.
- Andrés A. e Cristóbal C., 2010. Thermal radiation and the second law. *Energy*, 35, 679-691. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.10.024>.
- Antolín M., Ayari M. e Sánchez-Díaz M., 2006. Effects of partial rootzone drying on yield, ripening and berry ABA in potted Tempranillo grapevines with split roots. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 12, 13-20. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2006.tb00039.x>.
- Antonucci F., Pallottino F, Valentina R., Rimatori, Giorgi S., Papetti P., e Menesatti P., 2011. Development of a Rapid Soil Water Content Detection Technique Using Active Infrared Thermal Methods for In-Field Applications. *Sensors*, 11, 10114-10128. DOI: <https://doi.org/10.3390/s111110114>.
- Araújo B., 2018. *Agricultura de precisão: operação de drones*. Coleção SENAR. ISBN: 978-85-7664-198-8. Consultado em [249-DRONES NOVO.pdf \(cnabrazil.org.br\)](249-DRONES NOVO.pdf (cnabrazil.org.br)).
- Ávila-Dávila L., Soler-Méndez M., Madrona-Sánchez P., Ruiz-Canales A., Bautista-Capetillo C., González-Trinidad J. e Molina-Martíne J., 2019. Análisis de la velocidad de infiltración del agua en suelos saturados mediante lisímetros de pesada.

X Congreso Ibérico de Agroingeniería 642-648. doi: [https://doi.org/10.26754/c\\_agroing.2019.com.3370](https://doi.org/10.26754/c_agroing.2019.com.3370).

- Bian J., Zhang Z., Chen J., Chen H., Cui C., Li X., Chen S. e Fu Q., 2019. "Simplified Evaluation of Cotton Water Stress Using High Resolution Unmanned Aerial Vehicle Thermal Imagery". *Remote Sensing*, 11, 267. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs11030267>.
- Bonfante A., Monaco E., Langella G., Mercogliano P., Bucchignani E., Manna P., e Terribile F., 2018. A dynamic viticultural zoning to explore the resilience of terroir concept under climate change. *Science of the Total Environment*, 624, 294-308.
- Bocheńska P. e Rzeźnik W., 2021. Greenhouse Gas Emissions from Agriculture in EU Countries—State and Perspectives. *Atmosphere*, 12, 1396. DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos12111396>.
- Brooke C., 2018. Thermal Imaging for the Archaeological Investigation of Historic Buildings. *Remote Sensing*, 10, 1401. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs10091401>.
- Buesa I., Ballester C., Mirás-Avalos J., Intrigliolo D., 2020. Effects of leaning grapevine canopy to the West on water use efficiency and yield under Mediterranean conditions, *Agricultural and Forest Meteorology*, 295. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108166>.
- Carbonneau A., Deloire A., Ojeda H., Andary C. e Kraeva, E., 2002. Influence of Pre- and Postveraison Water Deficit on Synthesis and Concentration of Skin Phenolic Compounds during Berry Growth of *Vitis vinifera* cv. Shiraz. *American Journal of Enology and Viticulture*, 53, 261-267. Consultado em [\(PDF\) Influence of pre- and post-veraison water deficit on synthesis and concentration of skin phenolic compounds during berry growth of Vitis Vinifera cv. Shiraz \(researchgate.net\)](#).
- Cardoso A., Alonso J., Rodrigues A., Araújo-Paredes C., Mendes S., Valín I., 2019. Agroecological terroir units in the North West Iberian Peninsula wine regions. *Applied Geography*, 107, 51-62. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2019.03.011>.
- Charles H., 2021. Heat Transfer Principles and Applications, Chapter 9 - Radiation heat transfer, Academic Press, 343-389. ISBN 9780128022962. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802296-2.00009-3>.
- Chaves M., Zarrouk O., Francisco R., Costa J., Santos T., Regalado A., Rodrigues M., Lopes C., 2010. Grapevine under deficit irrigation: hints from physiological and molecular data, *Annals of Botany*, 105, 661–676, DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mcq030>.
- Chuvieco E., 2010. *Teledetección Ambiental- La observación de la Tierra desde el espacio*. Capítulo 3 Sensores y Satélites de Teledetección, 87-122. ISBN- 987-84-344-3498-1.
- Dall'O' G., Sarto L. e Panza A., 2013. Infrared Screening of Residential Buildings for Energy Audit Purposes: Results of a Field Test. *Energies*, 6, 3859-3878. DOI: <https://doi.org/10.3390/en6083859>.
- Diakodes M., Bronzino J. D. e Peterson D. R., 2012. *Medical Infrared Imaging: Principles and Practices*. Press is an imprint of Taylor & Francis Group, an Informa business. ISBN 978-1-4398-7249-9. Consultado em [Medical Infrared Imaging: Principles and Practices - Google Livros](#).

- Egipto R., Barriguinha A., Silvestre J., Carvalho N., Neto M., Costa M. e Lopes C., 2016. A fito-monitorização com ferramenta de apoio à gestão da rega deficitária na vinha – estudo de caso no Alentejo. Livro de atas do 10º *Simpósio de Viticultura do Alentejo*, volume II. 7-14. DOI: <http://hdl.handle.net/10400.5/13126>.
- Fandiño M., Cancela J., Rey B. Martínez E., Rosa R., Pereira, L., 2012. Using the dual-K c approach to model evapotranspiration of Albariño vineyards (*Vitis vinifera* L. cv. Albariño) with consideration of active ground cover. *Agric. Water Manag.*, 112, 75–87. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.06.008>.
- FAO. *FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56 Crop Evapotranspiration*. Consultado em <http://academic.uprm.edu/abe/backup2/tomas/fao%2056.pdf>.
- Feroz S. e Abu Dabous S., 2021. UAV-Based Remote Sensing Applications for Bridge Condition Assessment. *Remote Sensing*, 13, 1809. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13091809>.
- Flir® Systems, 2017. *User's manual FLIR Exx series*. Consultado em <https://flir.netx.net/file/asset/11358/original/attachment>.
- Fraga H., Atauri I., Malheiro A., Pereira J. e Santos J., 2016. Viticulture in Portugal: A review of recent trends and climate change projections. *ClimWine international conference held in Bordeaux*, 11-13. DOI: <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2016.0.0.1621>.
- Fraga, H., Malheiro, A. C., Moutinho-Pereira, J., & Santos, J. A. 2014. Climate factors driving wine production in the Portuguese Minho region. *Agricultural and Forest Meteorology*, 185, 26-36. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2013.11.003>.
- Gamero E., Moreno D., Talaverano I., Prieto M., Guerra, M. e Valdés, M., 2014. Effects of irrigation and cluster thinning on tempranillo grape and wine composition. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 35, 196-204. DOI: <https://doi.org/10.21548/35-2-1006>.
- Garcia-Tejero I., Costa J., Egipto R., Durán-Zuazo V., Lima R., Lopes, C. e Chaves M. 2016. Thermal data to monitor crop-water status in irrigated Mediterranean viticulture. *Agricultural Water management*, 176, 80-90. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.05.008>.
- Goodchild A. e Toy J., 2017. Delivery by drone: An evaluation of unmanned aerial vehicle technology in reducing CO2. *Transportation Research Part D, Transport and Environment*, 61, Part A, 58-67. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.02.017>.
- Goodwin, I., 2002. Managing water stress in grape vines in greater Victoria. *Published and Authorised, Department of Environment and Primary Industries*. ISSN 1329-8062.
- Grammatikis P., Sarigiannidis P., Lagkas T. e Moscholios L., 2020. A compilation of UAV applications for precision agriculture. *Computer Networks*, 172, 107148. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2020.107148>.
- Haidari L., Brown S., Ferguson M., Bancroft E., Spiker M., Wilcox, A. e Lee B., 2016. The economic and operational value of using drones to transport vaccines. *Vaccine*, 34, 4062-4067. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2016.06.022>.

- Higinio González J., Martínez Sánchez J. e Bueno M. Arias P., 2017. Unmanned Aerial Systems for Civil Applications: A Review. *Drones*, 1, 2. DOI: <https://doi.org/10.3390/drones1010002>.
- Hildebrandt C., Raschner C. e Ammer K., 2010. An Overview of Recent Application of Medical Infrared Thermography in Sports Medicine in Austria. MDPI. *Sensors* 10, 5, 4700-4715. DOI: <https://doi.org/10.3390/s100504700>.
- Holst Gerald C., 2000. Common sense approach to thermal imaging. Washington, SPIE Optical Engineering Press. ISBN: 0-9640000-7-5.
- Idso S., 1982. Non-water-stressed baselines: a key to measuring and interpreting plant water stress. *Agricultural Meteorology*, 27, 59-70. DOI: [https://doi.org/10.1016/0002-1571\(82\)90020-6](https://doi.org/10.1016/0002-1571(82)90020-6).
- Intrigliolo, D., Castel, J., 2010. Resposta do currículo videira 'Tempranillo' ao tempo e quantidade de irrigação: relações com a água, crescimento de videiras, rendimento e composição de frutas e vinhos, 113. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00271-009-0164-1>.
- IPCC, 2021. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press
- IVV, 2018a. História. Site disponível Instituto da Vinha e do Vinho, última atualização abril de 2018. <https://www.ivv.gov.pt/np4/272/> Consultado em 16 de setembro de 2021.
- IVV, 2018b. Produção. Site disponível Instituto da Vinha e do Vinho, última atualização abril de 2018. <https://www.ivv.gov.pt/np4/36/> Consultado em 16 de setembro de 2021.
- Jones G. 2013. *Uma avaliação do clima para a região demarcada do douro: uma análise das condições climáticas do passado, presente e futuro para a produção de vinho*. Associação para o Desenvolvimento da Viticultura Duriense. ISBN: 978-989-98368-0-8. Consultado em [livroPT\\_ProjeçõesClimaticas.pdf](livroPT_ProjeçõesClimaticas.pdf) (advid.pt).
- Keller M., 2015. *The Science of Grapevines: Anatomy and Physiology*. 2ª edição. Irrigated Agriculture Research and Extension Center, Washington State University, Prosser, 101-124. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-419987-3.00003-0>.
- Kottek M., Grieser J., Beck C., Rudolf B. e Rubel, F., 2006. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15, 259-263. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>.
- Koundouras S., Marinos V., Gkoulioti A., Kotseridis Y. e Leewuen C., 2006. Influence of Vineyard Location and Vine Water Status on Fruit Maturation of Nonirrigated cv. Agiorgitiko (*Vitis vinifera* L.). *Effects on Wine Phenolic and Aroma Components*. 54, 5077 - 5086. DOI <https://doi.org/10.1021/jf0605446>.
- Lahiri B., Bagavathiappan S., Jayakumar T. e Philip J., 2012. Medical applications of infrared thermography: A review. *Infrared Physics & Technology*, 55, 221-235. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2012.03.007>.

- Lees A., Sejian V., Wallage A, Aço C., Mader, T., Lees J. e Gaughan, J. he Impact of Heat Load on Cattle. *Animals* 2019, 9, 322. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani9060322>.
- Lehmann W. e Frank C., 2013. Effects of individual climatic parameters on the infrared thermography of buildings. *Applied Energy*. Elsevier. 110, 29-49. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.03.066>.
- Lillesand T. e Kiefer R., 1999. *Remote Sensing and Image Interpretation. Capítulo 5- Multispectral, Thermal, and Hyperspectral Sensing*, 309-372. ISBN- 0-471-25515-7.
- Lovett K., Pacheco J., Packer C. e Rodriguez L., 2009. Detection of foot-and-mouth disease virus infected cattle using infrared thermography. *Sciencedirect The Veterinary Journal*, 180, 317-324. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2008.01.003>.
- Magalhães N., 2015. *Tratado da Viticultura - A Videira, a Vinha e o Terroir*. Esfera Poética, 2º edição. ISBN: 978-972-8987-15-2.
- Makram Haluani, 2014. *La tecnología aviónica militar en los conflictos asimétricos: historia, tipos y funciones de los drones letales. Definición y antecedentes históricos de los VANTs y de su uso en conflictos militares*, 31, 55-58. Consultado em 20 agosto de 2021.  
[http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S101225082014000100003&lng=pt&nrm=iso](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S101225082014000100003&lng=pt&nrm=iso). ISSN 1012-2508.
- Maldague X., 1993. *Nondestructive Evaluation of Materials by Infrared Thermography, cap.1*, Overview of Nondestructive Evaluation (NDE) Using Infrared Thermography. Springer-Verlag London Limited. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-1-4471-1995-1\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4471-1995-1_1).
- Maria P., Bruno C., Sandra N., Bento A. e Paula S., 2018. The terroir of Port wine: Two hundred and sixty years of history. *Food Chemistry*, 257, 388-398. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.014>.
- Mark W., 2007. The Stefan-Boltzmann Law. Physics Department, The College of Wooster, Wooster, Ohio, 44691. Consultado em [http://physics.wooster.edu/JrIS/Files/Wellons\\_Web\\_Article.pdf](http://physics.wooster.edu/JrIS/Files/Wellons_Web_Article.pdf).
- Matese A. e Salvatore D., 2018. "Practical Applications of a Multisensor UAV Platform Based on Multispectral, Thermal and RGB High Resolution Images in Precision Viticulture". *Agriculture*, 8, 116. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture8070116>.
- Matese A. e Gennaro D., 2015. Technology in precision viticulture: a state of the art review. *International Journal of Wine Research*, 7, 69-81. DOI: <https://doi.org/10.2147/IJWR.S69405>.
- Melis M., Pelo S., Erbì I., Loche M., Deiana G., Demurtas V., Meloni M, Dessì F., Funedda A., Scaioni M. e Scaringi G., 2020. Thermal Remote Sensing from UAVs: A Review on Methods in Coastal Cliffs Prone to Landslides. *Remote Sensing*, 12, 1971. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12121971>.
- Meola C., 2012. *Infrared Thermography Recent Advances and Future Trends* ", Bentham Science Publishers. DOI: <https://doi.org/10.2174/9781608051434112010>.
- Mercuri F., Cícero C., Orazi N., Paoloni S., Marinelli M. e Zammit U., 2014. Infrared Thermography Applied to the Study of Cultural Heritage. *International Journal of*



- Thermophysics*. Springer. 42, 280-289. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2019.08.005>.
- Messina G. e Modica G., 2020. Applications of UAV Thermal Imagery in Precision Agriculture: State of the Art and Future Research Outlook. *Remote Sensing*, 12, 1491. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12091491>.
- Mobley R., 2002. *An introduction to predictive maintenance*. 2 ed, cap 8- Thermography. Amsterdam, Butterworth Heinemann, 2002. 172-201 DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-7531-4.X5000-3>.
- Molin J., Amaral L. e Caloço A., 2015. *Agricultura de precisão*. Oficina de Textos, 1 ed. ISBN 978-85-7975-213-1. Consultado em 17 de junho de 2021, [agricultura\\_livro.indb \(bibliotecaagptea.org.br\)](http://agricultura_livro.indb (bibliotecaagptea.org.br)).
- Möller M., Alchanatis V., Cohen Y., Meron M., Tsipris J., Naor A., Ostrovsky V., Sprintsin M. e Cohen S., 2007. Use of thermal and visible imagery for estimating crop water status of irrigated grapevine, *Journal of Experimental Botany*, 58, 827-838. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/erl115>.
- Montambaux G., 2018. Generalizou Stefan-Boltzmann Law. *Found Phys*, 48, 395-410. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10701-018-0153-4>.
- Moyer M., Peters R. e Hamman R., 2013. Irrigation Basics for Eastern Washington Vineyards. Issued by Washington State University Extension and the U.S. Department of Agriculture in furtherance of the Acts. <http://pubs.cahnrs.wsu.edu/publications/wpcontent/uploads/sites/2/publications/em061e.pdf>.
- Myburgh P., 2011. Response of Vitis vinifera L. cv. Merlot to Low Frequency Irrigation and Partial Root Zone Drying in the Western Cape Coastal Region – Part II. Vegetative Growth, Yield and Quality. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 32, 104-116. DOI: <https://doi.org/10.21548/32-1-1370>.
- Oliveira I., 2003. Monitorização da água do solo. Centro de competências para o regadio Nacional (COTR). Acedido em 30 de julho de 2021 em [http://www.cotr.pt/utills/guias.php?fbclid=IwAR2SRISWh2u0KN1s1np10HkrNh37\\_S5uYTAbrWS3z9PYLv6ieTXmh00QeT8..](http://www.cotr.pt/utills/guias.php?fbclid=IwAR2SRISWh2u0KN1s1np10HkrNh37_S5uYTAbrWS3z9PYLv6ieTXmh00QeT8..)
- Paredes J., González J., Saito J. e Flores A., 2017. Multispectral imaging system with UAV integration capabilities for crop analysis. *IEEE International Symposium of Geoscience and Remote Sensing (GRSS-CHILE)*, 1-4, DOI: <https://doi.org/10.1109/GRSS-CHILE.2017.7996009>.
- Potriano G., Palmieri N., Antonello V. e Serianni A., 2018. Drones Support in Precision Agriculture for Fighting Against Parasites. *26<sup>th</sup> Telecommunications Forum (TELFOR)*. 1-4. DOI: <https://doi.org/10.1109/TELFOR.2018.8611876>.
- Prichard T., Hanson B., Schwankl L., Verdegaal P. e Smith R., 2004. Deficit irrigation of quality winegrapes using micro-irrigation techniques. *University of California, Cooperative Extension*. Consultado em <http://cesanluisobispo.ucanr.edu/files/89518.pdf>.
- Pulido V., Almeida F., Mato J., Naranjo B., Rodriguez S., e Yguacel E., 2018. Challenges of an Autonomous Wildfire Geolocation System Based on Synthetic Vision Technology. *Sensores*, 18, 3631. DOI: <https://doi.org/10.3390/s18113631>.



- Queisada J., 2017. Application of Infrared Thermography in Sports Science. In Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering, *Materials in Sports Equipment (Second Edition)*, Woodhead Publishing, 37-69. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102582-6.00002-2>.
- Rodrigues G., and Ricardo B., 2021. "Estimation of Reference Evapotranspiration during the Irrigation Season Using Nine Temperature-Based Methods in a Hot-Summer Mediterranean Climate" *Agriculture* 11, no. 2: 124. <https://doi.org/10.3390/agriculture11020124>.
- Santos T., Lopes C., Rodrigues L., Souza C., Ricardo-da-Silva J., Maroco J., Pereira J. e Chaves M., 2007. Effects of deficit irrigation strategies on cluster microclimate for improving fruit composition of Moscatel field-grown grapevines. *Scientia Horticulturae*, 112, 321-330. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.01.006>.
- Scheible J., Funk M., Pucihar K., Kljun M., Lochrie M., Egglestone P. e Skrlj P. 2017. Using drones for art and exergaming. *IEEE Pervasive Computing*, 16, 48-56. DOI: <https://doi.org/10.1109/MPRV.2017.4>.
- Shevelev I., 1998. Functional imaging of the brain by infrared radiation (thermoencephalography). *Progress in Neurobiology*, 56, 269-305. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0301-0082\(98\)00038-0](https://doi.org/10.1016/S0301-0082(98)00038-0).
- Sousa J., Sousa J. J., Bento R., Peres E., Martins J. e Moutinho O., 2016. Utilização de veículos aéreos não tripulados na investigação de acidentes de viação. *I seminário internacional uav*. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3905.8804>.
- Swinscow T., 1997. In: Estatísticas na estaca zero. Edição 9. Campbell M J, editor. Universidade de Southampton; Copyright BMJ Publishing Group. URL: [https://publish.uwo.ca/~gzou2/Stats\\_at\\_Square1.pdf](https://publish.uwo.ca/~gzou2/Stats_at_Square1.pdf).
- Timothy H., 2018 "Blackbody radiation in classical physics: A historical perspective", *American Journal of Physics*, 86, 495-509. DOI: <https://doi.org/10.1119/1.5034785>.
- Uto K., Seki H., Saito G. e Kosugi Y., 2013. Development of uav-mounted miniature hyperspectral sensor system for agricultural monitoring. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium - IGARSS*, 4415-4418. DOI: <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2013.6723814>.
- Valín, I., Araújo-Paredes C., Alonso, J, Rodrigues, A., Mendes, S., 2019. Utilização de Técnicas de Termografia Para a Avaliação Do Estado Hídrico Da Vitis Vinífera Cv Loureiro. Congresso de Ibérico de Agro-Engenharia 2019, 899-904. DOI: [https://doi.org/10.26754/c\\_agroing.2019.com.3442](https://doi.org/10.26754/c_agroing.2019.com.3442).
- Van Leeuwen C., Tregoat O., Choné X., Bois B., Pernet D. e Gaudillère J. 2009. Vine water status is a key factor in grape ripening and vintage quality for red bordeaux wine. How can it be assessed for vineyard management purposes?. *Journal International Des Sciences de La Vigne et Du Vin*, 43, 121-134. DOI: <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2009.43.3.798>.
- Vélez S., Barajas E., Blanco P., Rubio, J. e Castrillo D., 2021. Spatio-Temporal Analysis of Satellite Imagery (NDVI) to Identify Terroir and Vineyard Yeast Differences according to Appellation of Origin (AOP) and Biogeographic Origin. *Multidisciplinary Scientific Journal* 4, 244-256. DOI: <https://doi.org/10.3390/j4030020>.

- Vidal D. e Pitarma R., 2019. Infrared Thermography Applied to Tree Health Assessment: A Review. *Agriculture*, 9,156. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture9070156>.
- Watts, Adam C., Vincent G. Ambrosia, and Everett A. Hinkley. 2012. "Unmanned Aircraft Systems in Remote Sensing and Scientific Research: Classification and Considerations of Use" *Remote Sensing* 4, no. 6: 1671-1692. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs4061671>.
- Walthall C., Anderson C., Baumgard L., Takle E. e Wright-Morton L., 2013. *Climate Change and Agriculture in the United States: Effects and Adaptation*. Chapter 5: Climate Change Effects on U.S. Geological and Atmospheric Sciences Reports Agricultural Production, 53-98. Consultado em 8 de março de 2021, em [http://lib.dr.iastate.edu/ge\\_at\\_reports/1](http://lib.dr.iastate.edu/ge_at_reports/1).
- Wang S., Zhu G., Xia D., Ma J., Han T., Ma T. e Zhang K., 2019. The characteristics of evapotranspiration and crop coefficients of an irrigated vineyard in arid northwest China. *Agricultural Water Management*, 212, 388-398. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.09.023>.
- Weidinger J., Schlauderer S. e Overhage S., 2018. The Good, the Bad and the Indispensable Insights into the Practical Potential of Emergency Response Information Systems and Drones for Firefighters. In *Proceedings of the 51st Hawaii International Conference on System Sciences*, 55-64. Consultado em 10 de abril de 2021, em [Author Guidelines for 8 \(hawaii.edu\)](#).
- Welch A., 2015. A cost-benefit analysis of Amazon Prime Air. University of Tennessee at Chattanooga, Honors Theses, *The University of Tennessee at Chattanooga Economics Department*, 16, 1-12. Consultado em [admin,+Journal+manager,+pp1-12ms615 \(1\).pdf](#).
- Williams L. e Araujo F., 2002. Correlations among predawn leaf, midday leaf, and midday stem water potential and their correlations with other measures of soil and plant water status in *Vitis vinifera*. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 3, 448-454. DOI: <https://doi.org/10.21273/JASHS.127.3.448>.
- Williams, L.E. and Heymann, H. 2017. Effects of applied water amounts and trellis/training system on grapevine water relations, berry characteristics, productivity and wine composition of 'Cabernet Sauvignon'. *Acta Hort.* 1150, 413-426 DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1150.58>
- Xie C. e Yang C., 2020. A review on plant high-throughput phenotyping traits using UAV-based sensors. *Computers and Electronics in Agriculture*, 178. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105731>.
- Yang C., Lee W., Zhang Q. e Pierce F., 2013. *Agricultural Automation. Fundamentals and Practices*. CRC Press, Taylor & Francis Group: Boca Raton, London & New York, 63-86. Consultado em 20 junho 2021, no [Agricultural automation: fundamentals and practices \(gbv.de\)](#).
- Zheng H., Zhou X., Cheng T., Yao X., Tian Y., Cao W. e Zhu Y., 2016. Evaluation of a UAV-based hyperspectral frame camera for monitoring the leaf nitrogen concentration in rice. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 7350-7353. DOI: <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2016.7730917>.