

A importância da monitorização do clima, solo e planta para a gestão da rega na vinha (*Vitis vinifera* L.)

Tomás Viana Carvalho

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em
Viticultura e Enologia

Orientador: Doutor Carlos Manuel Antunes Lopes, Professor Associado com Agregação do(a) Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Juri:

Presidente: Doutor Jorge Manuel Rodrigues Ricardo da Silva, Professor Catedrático do(a) Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Vogais: Doutor Carlos Manuel Antunes Lopes, Professor Associado com Agregação do(a) Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa, orientador;

Doutor José Manuel Couto Silvestre, Investigador Auxiliar do(a) Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária.

Agradecimentos

Ao meu pai e à minha mãe por tudo o que já fizeram por mim e por sempre me terem dado a confiança para fazer as minhas decisões e correr atrás daquilo que gosto.

Aos meus avós pelo carinho e apoio que sempre me deram quando precisei.

À Diana, pela companhia, carinho e apoio nas alturas difíceis, e pelas revisões que me davam alento para continuar a trabalhar.

Ao Diogo e ao Rui, com quem tive o privilégio de partilhar 2 meses difíceis de recolha de dados de campo em Reguengos. Com o seu companheirismo e boa disposição facilitaram uma tarefa difícil.

Ao professor Carlos Lopes, orientador desta tese, que, como professor, me conseguiu passar um gosto enorme pela viticultura, pela disponibilidade, paciência e pela capacidade motivadora que tem nas pessoas.

Ao Eng. Ricardo Egpto pelo apoio na recolha de dados no campo e pela orientação que deu no início dos trabalhos de campo.

A toda a equipa do ITQB, especialmente ao Miguel Costa, Olga Zarrouk, Tania Rodrigues e Prof. Manuela Chaves.

Ao Eng. Rui Flores da Herdade do Esporão que, sempre com a sua boa disposição, nos facilitou o trabalho de campo.

A toda a minha família e amigos que de alguma forma me ajudaram, ou me deram força e alento para a longa caminhada de mestrado que culminou com esta tese.

A pesquisa que levou a estes resultados recebeu fundos do Programa “Seventh Framework” da Comunidade Europeia (FT7/2007-2013) sob o acordo garantido nº FT7-311775; Projeto Innovine (“Combining innovation in vineyard management and genetic diversity for a sustainable viticulture”).

À Agriciência, também parceiro no Projeto Innovine, por todo o apoio e material disponibilizado.

Abreviaturas

AFt – Área foliar total

BBCH – Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and Chemical Industry – escala fenológica

DSS – Decision support system

ETc – Índice evapotranspiração cultural

ET₀ – Evapotranspiração de referência

FS – Fluxo de seiva

FTSW – Fraction of the transpirable soil water

GPRS – General packet radio service

IRGA – Infrared Gas Analyser

MDS - Maximum daily trunk shrinkage

NCF – Número de camada de folhas

PAR – Photosynthetically active radiation

RDI – Regulated Deficit Irrigation

SDI – Sustainable Deficit Irrigation

SFE – Superfície foliar exposta

T – Temperatura

ψ_{fd} - Potencial hídrico foliar diário

ψ_b – Potencial hídrico de base

Resumo

A presente tese é integrada no projecto europeu Innovine (acordo garantido nº FT7-311775) que conta com a colaboração de diversas instituições de diversas áreas científicas e visa apresentar resultados de uma sub-região da região vitícola do Alentejo – Reguengos. Neste local foram instalados vários sensores de fitomonitorização para que se pudessem avaliar importantes parâmetros fisiológicos na resposta ao stress hídrico da casta “Touriga Nacional”. Para obter respostas diferentes das videiras utilizaram-se duas modalidades de rega – a Sustainable Deficit Irrigation (SDI) e a Regulated Deficit Irrigation (RDI).

Para cada modalidade de rega seleccionou-se uma videira que fosse representativa da modalidade e procedeu-se à instalação dos sensores de fitomonitorização (fluxo de seiva, dendrómetro, temperatura da folha, temperatura do bago, humidade do coberto).

As temperaturas das folhas oscilaram entre os 6,1°C e os 48,7°C na modalidade RDI e entre os 9,2°C e os 47,3°C na modalidade SDI. Já as temperaturas dos bagos oscilaram entre 6,1°C e os 49°C em ambas as modalidades.

Como possíveis estimadores de parâmetros fisiológicos, obtivemos, na análise a um ciclo de rega, coeficientes de determinação elevados para a taxa de depleção da água no solo ($R^2=0,90$ e $R^2=0,76$) em relação ao ψ_b . Como possíveis estimadores do ψ_{fd} verificou-se elevados coeficientes de correlação para a temperatura do ar ($R^2=0,81$ e $R^2=0,78$). Já o fluxo de seiva obteve coeficientes de correlação de $R^2=0,63$ e $R^2=0,60$ depois da rega e $R^2=0,80$ e $R^2=0,76$ antes da rega. A temperatura da folha apresentou os menores coeficientes de determinação com o potencial hídrico foliar - $R^2=0,67$ e $R^2=0,67$ depois da rega e $R^2=0,52$ e $R^2=0,59$ antes da rega.

Palavras chave – Fitomonitorização, Rega Deficitária, Fluxo de Seiva, Dendrómetro, Temperatura.

Abstract

The following thesis is included in the European project Innovine (granted agreement nº FT7-311775), which include the collaboration of several institutions with a long range of scientific areas, with the purpose of presenting results of an essay in an Alentejo sub-region – Reguengos. In this essay several sensors were installed for the use of phytomonitorization as a tool to monitor two types of deficit irrigation, RDI – Regulated Deficit Irrigation; SDI – Sustainable Deficit Irrigation. This phytomonitorization will be important in order to understand some determining physiological parameters of a vineyard in response to water stress, using the variety “Touriga Nacional”.

For both types of deficit irrigation a representative grapevine was selected, on which the following phytomonitoring sensors were installed - sap flow, leaf and berry temperature and trunk diameter, canopy humidity).

Leaf temperatures ranged from 6,1°C to 48,7°C in RDI and from 9,2°C to 47,3°C in SDI. For the berry temperatures the temperature ranged from 6,1°C to 49°C in both modalities.

As possible estimators for physiological parameters, when analyzing a single irrigation period, we obtained high determination coefficients for the leaf temperature ($R^2=0,90$ and $R^2=0,76$) when related with the ψ_b . As possible estimators of ψ_{fd} parameters we obtained high determination coefficients for air temperature ($R^2=0,81$ and $R^2=0,78$). For the sap flow the determination coefficients were $R^2=0,63$ and $R^2=0,60$ after irrigation and $R^2=0,80$ and $R^2=0,76$ before irrigation. Also for the leaf temperature vs leaf water potential we obtained $R^2=0,67$ and $R^2=0,67$ after irrigation and $R^2=0,52$ and $R^2=0,59$ before irrigation.

Key words – Phytomonitoring, Deficit Irrigation, Trunk Diameter, Sap Flow, Temperature

Extended Abstract

The impact of climate changes in the viticulture is happening mainly due to the increase of the average temperature and the decrease of the quantity and frequency in the annual precipitation. This changes origin drought periods that, conjugated with high atmospheric demands, make water the one of the most limitative viticulture factors.

The quality of the grapes can be affected either by water scarcity or water excess, which makes very important the use of tools that allow us to measure in real time and provide an accurate evaluation of the hydric status of the vineyards. Using this data it is possible to arrange a proper irrigation according to the necessities of the vineyards and maintain a moderate stress in the grapevines, which will be the ideal to produce quality wines.

The following thesis is included in the European project Innovine (granted agreement nº FT7-311775), which include the collaboration of several institutions with a long range of scientific areas, with the purpose of presenting results of an essay in an Alentejo sub-region – Reguengos. In this essay several sensors were installed for the use of phytomonitorization as a tool to monitor two types of deficit irrigation, RDI – Regulated Deficit Irrigation; SDI – Sustainable Deficit Irrigation. This phytomonitorization will be important in order to understand some determining physiological parameters of a vineyard in response to water stress, using the variety “Touriga Nacional”.

For both types of deficit irrigation a representative grapevine was selected, on which the following phytomonitoring sensors were installed - sap flow, leaf and berry temperature and trunk diameter, canopy humidity).

In parallel, other measurements were made, such as, daily leaf and root water potential, and gas exchange. This allows us to compare the traditional equipment against the modern sensors and evaluate the relationships.

Leaf temperatures ranged from 6,1°C to 48,7°C in RDI and from 9,2°C to 47,3°C in SDI. For the berry temperatures the temperature ranged from 6,1°C to 49°C in both modalities.

As possible estimators for physiological parameters, when analyzing a single irrigation period, we obtained high determination coefficients for the leaf temperature ($R^2=0,90$ and $R^2=0,76$) when related with the ψ_b . As possible estimators of ψ_{fd} parameters we

obtained high determination coefficients for air temperature ($R^2=0,81$ and $R^2=0,78$). For the sap flow the determination coefficients were $R^2=0,63$ and $R^2=0,60$ after irrigation and $R^2=0,80$ and $R^2=0,76$ before irrigation. Also for the leaf temperature we obtained $R^2=0,67$ and $R^2=0,67$ after irrigation and $R^2=0,52$ and $R^2=0,59$ before irrigation.

The long term objective is to produce models that could integrate DSS (decision support systems) and give assistance to the producers in day by day de or long term decisions.

For the future it is needed that the hardware's producing companies increase their focus in creating more robust sensors that can handle intense wind, rain, hot temperatures and other extreme conditions, because nowadays it is very hard to retrieve consistent and continuous data from the sensors.

Índice

Índice de Ilustrações.....	X
Índice de Tabelas.....	XIII
1 - Introdução e Objectivos	1
2 - Revisão Bibliográfica	3
2.1 - Alterações climáticas e suas consequências	3
2.2 - Sustentabilidade na vinha	4
2.3.1 - Rega.....	4
2.3.2 - Influência da água na vinha	5
2.3.3 - Rega deficitária controlada	7
2.4 - Fitomonitorização	8
2.4.1 - Ferramentas de recolha de informação.....	9
2.4.1.1 - Recolha de dados pontual.....	9
2.4.1.2 - Recolha de dados continua	10
3 - Material e Métodos.....	15
3.1 - Caracterização da Parcela de Ensaio.....	15
3.2 - Material Vegetativo	16
3.2.1 - Casta.....	16
3.2.1.1 - Touriga Nacional	16
3.2.2 - Porta enxerto	17
3.2.2.1 - 1103-Paulsen.....	17
3.2 - Solo das Parcelas.....	17
3.3 - Clima.....	18
3.4 - Delineamento Experimental	19
3.5 - Operações culturais	20
3.6 - Fitomonitorização	21
3.7 - Datalogger e software / Recolha e Armazenamento de Dados.....	21
3.8 - Caracterização dos sensores	22
3.8.1 - Dendrómetro.....	22
3.8.2 - Sensor do fluxo de seiva.....	22
3.8.3 - Sensor de humidade do solo.....	23
3.8.4 - Sensor de humidade no coberto.....	23
3.8.5 - Sensores de temperatura.....	24

3.9 - Medições Pontuais da Actividade Fisiológica	25
3.9.1 - Fenologia	25
3.9.2 - Potenciais Hídricos	25
3.9.4 - Ceptómetro	26
3.9.5 - Dimensões do Coberto.....	26
3.9.6- Área foliar.....	27
3.9.7 - Número de Camadas de Folhas	27
3.10 - Evolução da Maturação.....	27
3.11 - Vindima	27
4- Resultados e Discussão	28
4.1 - Problemas apresentados pelos sensores.....	28
4.2 - Caracterização do coberto vegetal	30
4.3 - Indicadores ambientais	31
4.4 - Humidade do solo	31
4.5 - Potencial hídrico de base (ψ_b).....	34
4.6 - Evolução do potencial hídrico foliar diurno (ψ_{fd})	35
4.7 - Temperatura do bago do pintor à vindima.....	37
4.8 - Evolução da temperatura dos bagos ao longo de um dia.....	39
4.9 - Evolução da temperatura da folha no período de maturação.....	40
4.10 - Evolução diária da temperatura das folhas	42
4.11 - Fluxo de seiva	43
4.12 - Dendrómetro	45
4.13 - Análise de um ciclo de rega.....	48
4.13.2 - Potenciais estimadores do potencial hídrico de base (ψ_b)	56
4.13.3 - Potenciais estimadores do potencial hídrico foliar diurno (ψ_{fd})	57
5 - Conclusões	60
6 - Bibliografia	62

Índice de Ilustrações

Figura 1 - Rega gota a gota numa vinha.....	5
Figura 2 - Funcionamento do sistema de fitomonitorização.	9
Figura 3 - Parcelas do ensaio experimental: Touriga Nacional e Aragonez. Fonte: Google Maps.	15
Figura 4 – Gráfico das temperaturas e precipitação de Janeiro a Setembro de 2014.....	18
Figura 5 - Datalogger e painel solar de uma ilha de sensores.....	21
Figura 6 - Sensor de humidade no solo de uma das ilhas de monitorização.	23
Figura 7 - À esquerda: sensor de temperatura da folha; à direita: sensor de temperatura do bago.....	24
Figura 8 - Esquematização da disposição dos sensores de temperatura do bago e da folha na videira.....	24
Figura 9 - Sensor de temperatura da folha caído (delineado a vermelho).	29
Figura 10 - Gráfico relativo à humidade volúmica da ilha #601 (RDI), entre o pintor e a vindima. Barras a negro representam o dia de rega. HV – Humidade volúmica.....	32
Figura 11 - Gráfico relativo à humidade volúmica da ilha #603 (SDI), entre o pintor e a vindima. Barras a negro representam o dia de rega. HV – Humidade volúmica.....	33
Figura 12 - Evolução da humidade volúmica de ambas as modalidades de rega e várias profundidades do solo ao longo de um dia. HV – Humidade volúmica.....	34
Figura 14 - Exemplo da evolução dos potenciais hídricos foliares diurnos pré-rega, ao longo de um dia, para ambas as modalidades de rega. SDI – Sustainable Deficit Irrigation; RDI – Regulated Deficit Irrigation.	36
Figura 15 - Exemplo da evolução dos potenciais hídricos foliares diurnos pós-rega, ao longo de um dia, para ambas as modalidades de rega. SDI – Sustainable Deficit Irrigation; RDI – Regulated Deficit Irrigation.	36
Figura 16 - Gráfico da temperatura média diária dos bagos, relativo à ilha #601 (RDI), do pintor à vindima.....	37
Figura 17 – Gráfico da temperatura média diária dos bagos, relativo à ilha #603 (SDI), do pintor à vindima.....	38
Figura 18 - Gráfico da evolução da temperatura dos bagos, relativo à ilha #603 (SDI), ao longo de um dia.....	39
Figura 19 - Gráfico da temperatura média diária das folhas, relativo à ilha #601 (RDI), do pintor à vindima.....	40
Figura 21 - Diferença das médias diárias das temperaturas da folha com a temperatura média diária do ar, em Agosto. SDI – Sustainable Deficit Irrigation; RDI – Regulated Deficit Irrigation.	42
Figura 22 - Gráfico da evolução da temperatura da folha ao longo de um dia, da ilha #603 (SDI). Zona sombreada corresponde às temperaturas ótimas de fotossíntese (Keller, 2010).....	42
Figura 23 - Gráfico da evolução do fluxo de seiva ao longo do dia em ambas as modalidades de rega.....	44
Figura 24 - Evolução do fluxo de seiva do pintor à vindima na ilha #601 (RDI).	44
Figura 25- Evolução do fluxo de seiva do pintor à vindima na ilha #603 (SDI).,	45

Figura 26 - Evolução dos valores do diâmetro do tronco da ilha #601 (RDI), desde o dia em que começaram a enviar dados até à vindima. Ajustamentos dos dendrómetros delineados a vermelho.	45
Figura 27 – Evolução dos valores do diâmetro do tronco da ilha #603 (SDI), de dia 207 até ao dia 219.....	46
Figura 28 - Evolução dos valores do diâmetro do tronco da ilha #603 (SDI), do dia 220 até ao dia 232.....	47
Figura 29 - Evolução dos valores do diâmetro do tronco da ilha #603 (SDI) ao longo de um dia.	47
Figura30 - Percurso dos valores do Ψ_{Foliar} Diário (A) em comparação com a evolução dos valores do fluxo de seiva (B) no dia 31/07/2014, correspondente ao início de um ciclo de rega. RDI – Regulated Deficit Irrigation; SDI – Sustainable Deficit Irrigation.....	49
Figura 31 - Percurso dos valores do Ψ_{Foliar} Diário (A) em comparação com a evolução dos valores do fluxo de seiva (B) no dia 5/08/2014, correspondente ao fim de um ciclo de rega. RDI – Regulated Deficit Irrigation; SDI – Sustainable Deficit Irrigation.	49
Figura 32 – Evolução diurna da temperatura média da folha (B) em comparação com valores de Ψ_{fd} (A) no dia 31/07/2014, correspondente ao início de um ciclo de rega. Tfolha RDI – Temperatura da folha da modalidade Regulated Deficit Irrigation; Tfolha SDI – Temperatura da folha da modalidade Sustainable Deficit Irrigation; Tar – Temperatura do ar.	51
Figura 33 – Evolução diurna da temperatura média das folhas (B) em comparação com valores de Ψ_{fd} (A) no dia 05/08/2014, correspondente ao fim de um ciclo de rega. Tfolha RDI – Temperatura da folha da modalidade Regulated Deficit Irrigation; Tfolha SDI – Temperatura da folha da modalidade Sustainable Deficit Irrigation; Tar – Temperatura do ar.	51
Figura 34 - Gráficos de comparação das temperaturas das folhas expostas com temperaturas médias das folhas. (A) – Relativo ao dia 31/07 (início de ciclo de rega); (B) – Relativo ao dia 05/08 (fim do ciclo de rega). Tfolha RDI – Temperatura da folha da modalidade Regulated Deficit Irrigation; Tfolha SDI – Temperatura da folha da modalidade Sustainable Deficit Irrigation; Tar – Temperatura do ar.	52
Figura 35- Evolução diurna da temperatura média dos bagos (B) em comparação com valores de Ψ_{fd} (A) no dia 31/07/2014, correspondente ao início de um ciclo de rega. Tbago RDI – Temperatura do bago da modalidade Regulated Deficit Irrigation; Tbago SDI – Temperatura do bago da modalidade Sustainable Deficit Irrigation.	53
Figura 36 – Evolução diurna da temperatura média dos bagos (B) em comparação com valores de Ψ_{fd} (A) no dia 05/08/2014, correspondente ao fim de um ciclo de rega. Tbago RDI – Temperatura do bago da modalidade Regulated Deficit Irrigation; Tbago SDI – Temperatura do bago da modalidade Sustainable Deficit Irrigation.	54
Figura 37 – Evolução diurna das taxas de depleção do solo (B) em comparação com valores de Ψ_{fd} (A) no dia 31/07/2014, correspondente ao início de um ciclo de rega. RDI – Regulated Deficit Irrigation; SDI – Sustainable Deficit Irrigation.	54
Figura 38 – Evolução diurna das taxas de depleção do solo (B) em comparação com valores de Ψ_{fd} (A) no dia 05/08/2014, correspondente ao fim de um ciclo de rega. RDI – Regulated Deficit Irrigation; SDI – Sustainable Deficit Irrigation.....	55
Figura 39 - Análise de regressão entre a Taxa de Depleção de Água no solo (variável independente) e o Potencial Hídrico Foliar de Base (variável dependente) entre 7 de Agosto e 21 de Agosto.	56

Figura 40 - Análise de regressão entre a Taxa de Depleção de Água no solo (variável independente) e o Potencial Hídrico Foliar de Base (variável dependente) entre 31 de Julho e 21 de Agosto.	57
Figura 41 - Análise de regressão entre a Taxa de Depleção de Água no solo (variável independente) e o Potencial Hídrico Foliar de Base (variável dependente) entre 31 de Julho e 21 de Agosto, sem o outlier RDI.....	57
Figura 42 - Análise de regressão entre as temperaturas das folhas (variável independente) e o ψ_{fd} (variável dependente) de 31/07 e 05/08.....	58
Figura 43 - Gráficos com análise de regressão da temperatura das folhas (variável independente) com o ψ_{fd} (variável dependente) do dia 31/07 (A) e 05/08 (B), respectivamente.	58
Figura 44 - Gráficos com análise de regressão do fluxo de seiva (variável independente) com o ψ_{fd} (variável dependente) do dia 31/07 (A) e 05/08 (B), respectivamente.	59
Figura 45 - Análise de regressão da temperatura do ar (variável independente) com o ψ_{fd} (variável dependente) do dia 31/07 e 05/08.	59

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Análises ao solo referentes às castas do ensaio.....	17
Tabela 2 - Delineamento experimental do ensaio. RDI - Regulated deficit irrigation; SDI - Sustainable deficit irrigation.	20
Tabela 3 - Datas das regas nas duas modalidades do ensaio.....	20
Tabela 4 - Descrição dos sensores de fluxo de seiva e respectiva localização.....	23
Tabela 5 - Datas e estados fenológicos da Touriga Nacional no ensaio.	25
Tabela 6 - Dados referentes às dimensões das sebes da modalidade RDI e SDI.	30
Tabela 7- Correlação da temperatura do ar com média da temperatura das folhas	53

1 - Introdução e Objectivos

O impacto das alterações climáticas na viticultura tem-se feito notar nos últimos 50 anos através do aumento de temperatura média e na quantidade e frequência da precipitação anual (Fererer & Evans, 2006). No caso particular de produção de uvas para vinho, a tipicidade de cada região vitivinícola é, em parte, originada pelas condições climáticas médias dos últimos anos, enquanto que a variabilidade inter-anual determina a qualidade da uva produzida em cada ano (Jones, 2007).

As alterações climáticas levam os viticultores à adopção de sistemas de rega como forma de proteger o seu investimento e conseguir melhores produções (Fernandez et al., 2008). No entanto a consciencialização de que as reservas hídricas disponíveis são cada vez mais escassas, leva a que, actualmente, se procurem desenvolver práticas de viticultura sustentáveis.

Sabe-se que a qualidade da uva pode ser afectada negativamente, tanto por carência hídrica severa, como por conforto hídrico, logo torna-se fundamental dispor de ferramentas que permitam avaliar, em tempo real, o estado hídrico da cultura e as disponibilidades de água no solo (Riou e Lebon, 2000; Silvestre, 2003). Na rega da vinha pretende-se uma melhor gestão dos recursos hídricos, aumentando a sua eficiência através do uso das quantidades ideais de água e melhor timing de rega (Fererer & Evans, 2006). Desta forma protege-se o ambiente e, ao mesmo tempo, diferencia-se o produto no mercado de vinhos (Zucca et al., 2009).

A viticultura é dos sectores da agricultura mais promissores para implementação de novas tecnologias, de forma a aumentar a produção, a qualidade do vinho e a diminuir os custos de manutenção (Matese et al., 2013). Para monitorizar o estado hídrico da vinha são necessárias ferramentas de diagnóstico à escala da parcela, pois é difícil extrapolar resultados de um determinado clima (procura/demanda atmosférica), ou de um tipo de solo (capacidade de água utilizável) para outro (Silvestre, 2003).

Os métodos tradicionais (p.e. potencial hídrico de base), são pouco expeditos, visto que, quando é necessário cobrir uma área mais vasta, torna-se um processo lento que afecta a tomada de decisões na manutenção da vinha. Daí o desenvolvimento de ilhas de sensores (WSN – wireless sensor network), capazes de obter informação da vinha em tempo real, surgir como uma alternativa aos métodos tradicionais. Para tal, é necessário estabelecer correlações entre os dados obtidos da forma tradicional, e os dados obtidos pelos sensores. É neste sentido que se desenvolvem modelos que, posteriormente, podem integrar sistemas de apoio à decisão (DSS – decision support

system) de forma a dar assistência aos produtores, tanto no dia-a-dia, como em decisões a longo prazo (Rossi et al., 2013; Sonka et al., 1997).

Este trabalho está inserido no âmbito do projecto europeu Innovine (acordo garantido nº FT7-311775), e corresponde ao Pacote de Tarefas 5 – Implementação de sistemas de suporte à decisão no âmbito de uma viticultura sustentável. Através de ensaios de campo, pretende-se:

- Obter informação válida da vinha através dos sensores instalados;
- Correlacionar os dados obtidos pelos sensores contínuos com as medições pontuais tradicionais e com os dados atmosféricos;
- Interpretação dos dados obtidos na perspectiva de apoio à gestão da rega;

2 - Revisão Bibliográfica

2.1 - Alterações climáticas e suas consequências

As actividades humanas cada vez mais contribuem para o aumento dos gases responsáveis pelo efeito de estufa. Grande parte deste efeito deve-se ao aumento das concentrações de dióxido de carbono na atmosfera, o que gera um aumento da temperatura global. Tais alterações vão gerar implicações profundas nas condições agroclimáticas, nomeadamente na viticultura. Quaisquer medidas que possam ser tomadas hoje, não vão evitar parte do aumento da temperatura global, daí ser necessária uma estratégia de adaptação (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007; Webb, 2007; Schultz, 2000).

Segundo um estudo levado a cabo por Webb (2007) na Austrália, tendo a vinha as horas de frio necessárias, o abrolhamento será mais cedo. No caso das horas de frio necessárias não serem alcançadas, o abrolhamento será mais tarde. No entanto, em todos os locais estudados dá-se uma compressão da duração do ciclo reprodutivo, resultando numa maturação mais rápida e numa vindima antecipada, o que coincide com um período mais quente do ano. As ondas de calor provavelmente também irão aumentar a sua frequência e/ou intensidade causando impacto directo na fisiologia das videiras, assim como no uso da água pelas mesmas (Hayman et al., 2009).

As previsões apontam para alterações nos padrões de precipitação, o que inclui aumento de precipitação no inverno e diminuição no verão. No entanto, mesmo que as previsões sobre a precipitação anual total e a distribuição por região e/ou altura do ano não estejam correctas, a demanda atmosférica será sempre maior, devido ao aumento de temperatura. Tais mudanças na evapotranspiração podem reduzir significativamente a humidade no solo a longo prazo. (Schultz, 2000).

Embora vários modelos de clima globais estejam a ser teorizados e testados, o erro ainda é significativo, visto que, não se sabe como vão evoluir os níveis de dióxido de carbono na atmosfera, e isso é uma das variáveis que mais influencia a subida da temperatura do planeta. Haverá sempre um desfazamento entre o nível de exactidão que os produtores necessitam e os níveis de exactidão que a ciência nos dá, por isso é essencial tomar medidas de prevenção para o aumento da temperatura global e restrições hídricas (Hayman et al., 2009).

2.2 - Sustentabilidade na vinha

Os autores Jamie Goode and Sam Harrop (2011) definem a sustentabilidade como a interseção do ambiente, problemas sociais e lucro. A importância da sustentabilidade tem vindo a aumentar nos últimos tempos devido a uma maior consciencialização dos produtores acerca do impacto que as suas ações têm, principalmente, no ambiente. O ambiente tem como principais problemas a contaminação dos solos e redução da biodiversidade através de fertilizantes e fitofármacos, e, além disso, o elevado uso de água e energia. As alternativas necessitam de maior investimento inicial em *know-how* e tecnologias de ponta, mas, a longo prazo, além de proteger o ambiente, geram-se resultados financeiros baseados numa maior eficiência e gestão dos recursos disponíveis. As carências hídricas de algumas zonas podem afectar, além da viticultura, a população. O facto de todos estes temas estarem relacionados pela sustentabilidade, faz com que esta, esteja cada vez mais em voga.

Em algumas regiões da África do Sul têm sido estudados cenários de aumento de temperatura e diminuição de rega, de forma a que se possam projectar tanto os efeitos na vinha, como os recursos hídricos necessários para regas. (Carter, 2006)

2.3.1 - Rega

A disponibilidade hídrica é um factor de maior importancia na viticultura, e vai influenciar o desenvolvimento da vinha e a produção, tanto em termos quantitativos como qualitativos. A água é indispensável para a fotossíntese, para manter a hidratação e o turgor celular necessários para os processos bioquímicos que ocorrem na videira (Souza et al., 2005; White, 2003). Por norma, a fonte de reabastecimento de água no solo é a precipitação, o que, em alguns locais do globo, iguala ou supera as necessidades da vinha. No entanto, há locais nos quais a precipitação não é suficiente para manter os níveis hídricos que uma vinha requer, seja pelo clima de determinada região, pela capacidade de retenção de água no solo, ou até pelas castas (isohídricas ou anisohídricas). Esses locais têm vindo a crescer devido ao aumento da temperatura global, à diminuição da quantidade da precipitação, da alteração dos padrões de precipitação e aumento da evapotranspiração que se têm verificado nos últimos anos, fruto das alterações climáticas (Wise et al., 2007).

Os desafios vão surgindo na vinha, como por exemplo, as alterações climáticas, e os viticultores vão inovando e adoptando novas estratégias, que adaptam a vinha às novas realidades. O desafio de hoje e do futuro será a obtenção de uma melhor gestão da disponibilidade hídrica, que pode ser materializada por operações culturais,

como redução da superfície foliar exposta para reduzir evapotranspiração, reposicionamento das vinhas para regiões com mais recursos hídricos, melhoramento genético para tolerância à seca, tanto no porta-enxerto, como nas castas, e finalmente, a rega.

A irrigação gota a gota na viticultura, já é, hoje em dia, considerada uma prática comum (Figura 1). É utilizada principalmente nos períodos mais secos com o objectivo de regular a disponibilidade hídrica nas vinhas (Etchebarne et al., 2009).



Figura 1 - Rega gota a gota numa vinha.

A rega nas vinhas oferece segurança ao proteger grandes investimentos, como a plantação de uma vinha, com potenciais ganhos em relação a cenários de seca na vinha. Além disso serve para controlar a produção e a qualidade das uvas e conseqüentemente qualquer produto que resulte do processamento das mesmas (Federes e Evans, 2006).

2.3.2 - Influência da água na vinha

A gestão da produção e qualidade da uva varia consoante a quantidade de água existente no solo. Para uma boa gestão da rega da vinha, o viticultor tem que ajustar a sua modalidade de rega consoante os factores fisiológicos e climáticos. Dotações elevadas de água podem gerar um aumento do vigor, da vegetação e da produção. Uma sebe mais densa é mais propícia a doenças criptogâmicas, devido à conservação da humidade no interior e à não circulação de vento pelo interior da sebe. Uma dotação exagerada de água, por norma, também diminui a qualidade das uvas para vinho, devido a factores como o aumento do tamanho do bago, resultando na menor relação película/polpa. A competição entre a distribuição dos açúcares para a maturação dos bagos e o crescimento vegetativo, pode resultar em dificuldades de maturação e diluição de outros constituintes dos bagos (Pellegrino et al., 2004; Keller,

2010). A este tipo de rega dá-se o nome de rega de conforto hídrico, visto que não gera stress, a nível fisiológico, na planta.

Sem rega, ou com dotações de rega reduzidas, a videira, com recursos limitados, muda de estratégia de forma a economizar recursos. Ainda assim, à medida que a temporada avança sem rega, há mais coberto vegetal, a demanda atmosférica intensifica-se, e o solo que estava, no início da temporada, com reservas hídricas adequadas, vai ficando cada vez com menos água. É nesta altura que a demanda de recursos hídricos excede a água disponível no solo e origina stress hídrico (Prichard et al., 2004). A partir do momento em que se começa a fazer sentir o stress hídrico a videira adopta uma estratégia de defesa assegurando a continuidade da espécie. Como tal, a competição pelos fotoassimilados entre o crescimento vegetativo e a maturação dos bagos diminui, e é dada prioridade à maturação dos bagos. Uma das principais reações da planta ao stress hídrico é a redução da condutância estomática, representada pelo fecho dos estomas. Sabe-se que o controlo dos estomas está associado à radiação solar, défice de pressão de vapor e ao estado da água no solo. (Winkel e Rambal, 1993). A depleção de água no solo, gera menor fotossíntese, menor crescimento vegetativo e menor produção (Cifre et al., 2005; Centeno et al., 2010). A velocidade de crescimento dos sarmentos diminui, as gavinhas começam a secar, as folhas murcham e mudam a sua inclinação para o sol de forma a ficarem perpendiculares a este (Poling and Spayd, 2007; Keller, 2010).

Sendo o défice hídrico antes do vingamento pode abrandar ou parar o crescimento vegetativo. Em casos de défices hídricos do vingamento ao pintor tende a haver menor expansão vegetativa (Romero et al., 2010; McCarthy et al., 2002), o que proporciona trabalho facilitado na vinha, assim como um microclima ao nível dos cachos menos favorável a doenças criptogâmicas (Deloire et al., 2000). Segundo os mesmos autores o controlo do tamanho do bago também pode ser feito com stress hídrico por essa altura. A nível do cacho, os bagos serão mais pequenos, com maior relação película/polpa, e menor produção, sendo que, por outro lado, a concentração de açúcares, ácidos, antocianinas e taninos poderá ser maior (Cortell et al., 2005, 2007; Leeuwen et al., 2009). No entanto, em casos de stress hídrico severo, poderão haver outras consequências, como a paragem da maturação, escaldão de folhas e sua abscisão, o que vai expor os cachos à radiação solar. Tal acontecimento pode levar a escaldões nos cachos e caso este cenário se verifique vários anos, a videira poderá ter uma menor longevidade (Poling e Spayd, 2007).

2.3.3 - Rega deficitária controlada

A rega deficitária é uma técnica de rega que permite ao viticultor impor stress hídrico à planta através da regulação da água disponibilizada à planta, limitando assim o uso de água por parte da videira. Através deste controlo da rega, a água disponível no solo vai diminuindo até ao ponto em que a evapotranspiração é maior do que a absorção de água do solo por parte da videira, e é nesse ponto em que se começa a desenvolver o stress hídrico (Prichard et al., 2004). Vinhas com o potencial para produzir vinhos de elevada qualidade estão normalmente em locais em que a evapotranspiração potencial é superior à reserva hídrica nos solos, gerando um défice hídrico no solo, que, em níveis moderados, favorece a qualidade do vinho (Seguin, 1983; Pellegrino et al., 2004).

Como se mostrou anteriormente, a videira requer condições específicas para produzir uvas com a qualidade desejada. Para tal, é necessário delinear quais os objectivos da rega deficitária e quais os pontos críticos da rega de forma a obter o produto desejado (Dry, 2005). Os efeitos da regulated deficit irrigation (RDI) vão depender do estado fenológico em que são impostos, assim como da severidade do stress imposto (McCarthy et al., 2002; Gurovich e Vergara, 2005). As respostas das videiras em relação ao stress hídrico vão depender da casta e das condições ambientais durante a temporada (Chaves et al., 2007).

A rega deficitária, na vinha, permite um controlo do desenvolvimento vegetativo, reduz o tamanho do bago e estimula a acumulação de antocianas e outros compostos fenólicos (Romero, 2010). Em termos económicos e ambientais, a poupança da água é o aspecto mais importante, assim como o tempo de trabalho das bombas que pode reduzir a factura eléctrica significativamente (Agrosustentável, 2014). No entanto, a rega deficitária necessita de uma monitorização precisa do estado hídrico do solo e da planta, de modo a que estes sejam mantidos dentro de ténues limites (Jones, 2004; Prichard, 2004). A carência hídrica pode resultar em perdas significativas tanto em quantidade como em qualidade da uva (Romero, 2010; Jones, 2004). Deve haver um controlo do estado hídrico da vinha, para que esta não atinja estados de conforto hídrico, nem de stress hídrico severo, sendo o stress hídrico moderado o ideal. Um dos problemas verificados, é que com a quantidade de castas, condições climatéricas e níveis de stress, torna-se difícil encontrar um indicador de stress da planta que seja fidedigno em todas as ocasiões. Há que definir os limites de stress conforme as circunstâncias do clima, do solo, do encepamento, etc. (Romero, 2010).

O uso eficiente da rega necessita de uma boa manutenção, criação de novas estratégias de rega e uma percepção precisa da quantidade de água a aplicar, no momento exacto em que as videiras irão tirar maior partido dessa rega (Wise et al., 2007). Não são essenciais grandes quantidades de água para uma performance óptima das videiras. Um défice hídrico moderado, induzido por regas deficitárias, pode ser usado na produção de uva, para controlar a relação sink-source da videira. Com este controle obtém-se uvas de igual ou melhor qualidade e aumenta-se a eficiência do uso de água em relação a videiras com rega de conforto hídrico (Chaves et al., 2007).

Alguns sistemas de rega deficitária abastecem o solo com rega, consoante a fração da evapotranspiração estimada da cultura (ET). A água armazenada no solo assume o resto das despesas a nível hídrico (Centeno et al., 2010).

2.4 - Fitomonitorização

A fitomonitorização está englobada no conceito de agricultura de precisão. É uma forma de monitorização do estado da planta em tempo real com o objectivo de gerir eficientemente uma determinada cultura.

Maior parte dos sistemas de controlo de culturas são baseados na monitorização do ambiente. Humidade do solo e factores climáticos, como a temperatura do ar, velocidade do vento, radiação solar, humidade do ar e precipitação, são frequentemente usados para agendar regas. No entanto, baseado na premissa de que os factores externos não são suficientemente fortes para determinar precisamente o estado da planta, surge a fitomonitorização, onde a própria planta expressa o seu estado fisiológico. De forma a criar um sistema de gestão para a planta, têm sido feitos vários estudos recorrendo a sensores para medir o fluxo de seiva, temperatura da folha e micro-variações do caule (Ton e Kopyt, 2003).

A fitomonitorização visa entender as implicações que da dinâmica da água no continuum solo-planta-atmosfera tem, nos diferentes estados fenológicos da vinha, na fisiologia da videira e na qualidade do vinho. Para tal, é necessário uma monitorização precisa da vinha, recorrendo aos sensores referidos como ferramenta para medir variáveis. (Buss et al., 2005). Com a informação recolhida, será possível avaliar, estimar e interpretar o estado da vinha de modo a que se possam determinar requisitos de rega, crescimento do bago, produção e ponto óptimo de vindima (Figura 2). Esta monitorização enquadra-se no primeiro passo de uma DSS (decision support system), que, neste âmbito, é a recolha e organização de vários tipos de dados

necessários para monitorizar uma cultura. A análise e interpretação da informação, serão o segundo passo de uma DSS, e a recomendação da melhor ação ou das melhores ações possíveis em determinado cenário, o terceiro passo, respectivamente (Riquelme, 2009; Rossi, 2013).



Figura 2 - Funcionamento do sistema de fitomonitorização.

2.4.1 - Ferramentas de recolha de informação

2.4.1.1 - Recolha de dados pontual

Câmara de pressão

O estado hídrico da videira pode ser avaliado com uma câmara de pressão, através da quantificação da pressão necessária para retirar água de uma folha através de um corte no peciolo. Será necessário aplicar tanto mais pressão quanto menos água tiver a videira, ao passo que uma videira em conforto hídrico gera menor pressão negativa e dessa forma a água sai aplicando menor pressão. O potencial torna-se mais negativo com o decorrer do dia, devido à transpiração da videira e consequente perda de água (Prichard, 2004; Poling and Spayd, 2007). O potencial hídrico é utilizado para medir o estado hídrico da planta e representa um indicador da sua actividade fisiológica (Lopes et al., 1998). Vários autores como Intrigliolo e Castel (2006), Cifre (2005) e Centeno (2010) afirmam que o potencial hídrico foliar de base é o melhor indicador do stress hídrico, devido à rápida resposta ao défice de água no solo e à boa correlação com o teor de humidade no solo. O potencial hídrico foliar diurno também é utilizado, porém é afectado pelas condições ambientais no dia da medição e respectivo comportamento estomático que a planta adopta perante essas condições (Lopes et al., 1998; Nagarajah, 1989).

Sonda de medição da humidade no solo - DIVINER

Através deste instrumento é possível fazer uma medição pontual da humidade do solo, em locais pré-definidos, onde estão inseridos tubos de PVC. A determinação da humidade do solo é feita através das respostas às mudanças da constante dieléctrica do solo. A capacitância do solo aumenta consideravelmente com um incremento da quantidade de moléculas de água no solo que estejam livres para adaptar-se à medida que os seus dipolos eléctricos respondem aos sensores de inversão do campo do capacitador.

Ceptómetro

Este sensor é usado para quantificar a PAR, radiação fotossinteticamente activa, no interior da canópia das videiras. É constituído por uma vara com 80 receptores de PAR e recebe luz no comprimento de onda entre os 400nm e os 700nm.

2.4.1.2 - Recolha de dados continua

Sensor de humidade no solo

A humidade no solo é uma boa ferramenta para avaliar o estado hídrico da planta. Um grande número de sensores deve ser instalado de forma a avaliar correctamente a quantidade de água, e a sua distribuição no solo (Centeno, 2010). Foram encontradas correlações significativas entre o potencial hídrico foliar de base e o teor de humidade no solo (Schulz, 1996; Medrano et al., 2003; Deloire et al., 2004). Através destes dados pode-se determinar a fração de água disponível no solo (FTSW), que é um indicador útil para avaliar o stress hídrico. É sensível a variações da quantidade de água no solo e permite integrar a informação ao longo do perfil radicular da vinha. Além disso não é influenciável por condições climáticas no dia do registo (Pellegrino et al., 2004)

Temperatura das folhas e dos bagos

A temperatura influencia vários factores como a absorção de dióxido de carbono (Geiger and Servaites, 1991), a taxa fotossintética, que é optima entre os 25 e 30°C e decresce abruptamente a partir dos 35°C (Hendrickson et al., 2003; Gamon and Pearcy, 1990), abertura dos estomas (Leinonen et al., 2006; Sadras e Soar, 2009; Sadras et al., 2012) e síntese de antocianinas (Sadras e Moran, 2012; Moffat, 2013). A temperatura, tanto nas folhas, como nos bagos, é afectada rapidamente por alterações na radiação e no vento. A temperatura das folhas e bagos exteriores são afectados maioritariamente pela radiação, ao passo que as folhas e bagos no interior do coberto

estão mais próximos da temperatura do ar. Uma folha totalmente exposta à radiação solar, dependendo da temperatura do ar, aumentaria entre 1 a 2 C° por segundo caso não houvesse dissipação de calor para o ambiente. A subida de temperatura para aproximadamente 45°C provoca a morte dos tecidos e desnatura as proteínas, num fenómeno comumente chamado de escaldão (Vogel, 2009). A dissipação de calor é principalmente proporcionada pela movimentação do ar (vento) e pela evaporação da água libertada pelos estomas através da transpiração. O vento remove o calor da superfície da folha através da circulação do ar, desde que a temperatura do ar seja menor do que a temperatura da folha. A transpiração resulta numa perda de calor porque a evaporação da água requer energia. O stress hídrico vai resultar num fecho dos estomas e conseqüente diminuição da transpiração, fazendo com que a temperatura aumente. Daí as folhas das videiras em stress hídrico tenderem a ter uma temperatura mais elevada do que as folhas de videiras em conforto hídrico (Grant et al., 2007; Poling e Spayd, 2007).

Termopares para medir a temperatura do coberto vegetal e dos cachos podem permitir distinguir o estado hídrico das videiras, devido ao facto das folhas de videiras mais stressadas, estarem, normalmente, mais quentes.. A causa do aquecimento da folha é originado pelo fecho dos estomas, que assim, não permite a transpiração e respectivo arrefecimento das folhas (Poling e Spayd, 2007).

Fluxo de seiva

As medições do fluxo de seiva dão estimativas fidedignas da água perdida pela planta sem interferir com as condições externas a que as folhas estão sujeitas (Braun and Schmid, 1999; Fernández et al., 2001; 2011). Em vinhas regadas o fluxo de seiva mostrou ser uma ferramenta interessante para estimar transpirações dos cobertos vegetais (Yunusa et al., 2000). O fluxo de seiva permite verificar os fluxos de seiva entre as raízes e a parte aérea da planta, permitindo averiguar qual o consumo hídrico da planta e quais as necessidades hídricas da mesma (Lu et al., 2004).

O modo de funcionamento implica duas agulhas inseridas radialmente no tronco da videira com uma distância de 10 a 15 cm. A agulha de cima é aquecida com uma corrente constante e a diferença de temperatura entre as duas agulhas é medida. Quando não há fluxo, a temperatura na madeira que envolve a agulha aquecida, vai aumentar até ficar em equilíbrio com a temperatura dessa mesma agulha. Quando o equilíbrio é atingido, o diferencial de temperatura entre as duas agulhas chega ao ponto máximo. A partir do momento em que a seiva começa a percorrer a planta, começa-se a dissipar a temperatura acumulada na madeira envolvente da agulha de

cima, o que resulta na diminuição do diferencial de temperatura (Lu et al., 2004). Granier (1985) desenvolveu um equação que permite relacionar a velocidade do fluxo de seiva com a diferença de temperaturas verificada pelo sensor:

$$\text{EQUAÇÃO: } u=119 \cdot 10^{-6} K^{1,231} (\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1})$$

U = densidade de fluxo de seiva

$$K = (dT_{\text{max}} - dT) \cdot dT^{-1}$$

dTmax = diferença de temperatura na ausência de fluxo

dT = diferença temperatura

Numa experiência de Escalona et al. (2002) verificou-se uma diminuição significativa do fluxo de seiva na videira sob condições de stress hídrico. O fluxo de seiva conseguiu correlações bastante interessantes em videiras em vasos, nomeadamente com a transpiração medida através de trocas gasosas ($R^2 = 0,84$), total diário de água consumida ($R^2=0,98$) e taxa fotossintética ($R^2=0,78$). Nesta experiência os valores máximos de fluxo de seiva foram mais baixos que as estimativas obtidas pelas trocas gasosas. Fernandez et al. (2011), num ensaio com oliveiras, refere que o fluxo de seiva por vezes altera o seu padrão com o stress hídrico, mas nem sempre. Tal facto, faz com que não seja o melhor índice para a decisão de rega, mas sim para averiguar os consumos de água da videira.

As desvantagens dos sensores de fluxo de seiva são o facto de, ao serem intrusivos, poderem afectar o desempenho da planta e, além disso, são caros, o que dificulta ter um grande número de sensores espalhados pela vinha (Cifre, 2005).

Dendrómetros

Estes sensores permitem a medição continua do diametro do tronco, que se pode relacionar com o estado hídrico, uso de água e crescimento da videira. O aumento e contração do tronco podem fornecer estimativas indirectas dos fluxos de transpiração da videira (Ortuño et al., 2010). A contração do tronco resulta da perda de água e da redução do turgor nos tecidos do floema e xilema como resultado da distribuição da água pela planta em resposta ao stress imposto (Montoro et al., 2012).

Na videira, o indicador mais utilizado para interpretar as flutuações do diâmetro do tronco é o maximum daily trunk shrinkage (MDS). Quanto maior for este valor, maior será a privação de água pela planta e maior o stress hídrico (Montoro, 2012). Num ensaio de Montoro (2012), o coeficiente de determinação do MDS com o potencial hídrico de ramo ao meio dia, foi de $R^2=0,28$ para o Temperanillo e $R^2=0,38$ para o Cabernet Sauvignon.

Escalona et al. (2002) verificaram o aumento do diâmetro do tronco de videiras em vaso durante a noite e a diminuição durante o dia. As videiras regadas mostraram um crescimento de tronco, visto que a diferença do diâmetro máximo do tronco entre dois dias seguidos era positiva. Já as videiras com menos rega começaram por manter padrões iguais às primeiras, no entanto quando o stress hídrico começou a aumentar o crescimento do tronco cessou e, no caso de stress prolongado, a diferença do diâmetro máximo entre dois dias mostrou-se negativa. Estes sintomas foram verificados ao mesmo tempo da diminuição do fluxo da seiva. Fernandez et al. (2011) utilizaram a diferença do diâmetro máximo do tronco em oliveiras em conforto hídrico e com vários níveis de stress e concluiu que este indicador é um bom indicador do stress hídrico em oliveiras.

A temperatura do ar e o défice de pressão de vapor entre as 11h e as 15h (altura do dia mais influente na redução do diâmetro do tronco) mostraram boas correlações com o MDS chegando a uma média de 74% (média sobre um período de 3 anos) (De la Rosa et al., 2013).

A grande vantagem deste sensor é que é barato, o que permite ter uma grande quantidade de sensores no campo (Cifre, 2005).

Sensor de folha molhada

Este sensor simula uma folha no coberto vegetal e consegue determinar se há ou não há humidade nesse coberto. É apenas qualitativo e não quantitativo. Através deste sensor é possível identificar se há condições, ou não, para o aparecimento de doenças criptogâmicas.

Indicadores Ambientais

Quando a água no solo não é um factor limitante, a radiação, temperatura, humidade do ar e vento são os factores que interagem para a realização da fotossíntese, crescimento da planta e para a quantidade e qualidade da produção. No entanto, também são estes factores, que interagem e se relacionam entre si, que vão determinar a utilização de água pela videira, através da transpiração, e a sua evaporação através do solo. (Champagnol, 1984; Prichard et al., 2004). Ao conjunto da evaporação da água do solo e transpiração de água pela planta dá-se o nome de evapotranspiração.

A intensidade destes factores atmosféricos varia consoante os dias, e consoante as épocas do ano e podem ser medidos e utilizados em modelos que calculam a

demanda atmosférica, como a evapotranspiração de referência (ET_o). O uso da água é influenciado pelo crescimento do coberto vegetal desde o abrolhamento até à expansão total do coberto. É preciso ter em conta que o estado hídrico da videira não é apenas o resultado da humidade no solo, mas também da demanda atmosférica, o que torna mais complexa a tarefa de estabelecer os valores limites para a tomadas de decisão na rega (Ortuño et al., 2006).

Conejero et al. (2007) compararam, em pessegueiros, dados de sensores de fluxo de seiva e de dendrometros com algumas variáveis ambientais e verificaram que o fluxo de seiva tem maior coeficiente de determinação com a evapotranspiração (ET_o), e o MDS com a temperatura média diária do ar. O mesmo autor também afirma que o MDS é mais sensível ao estado hídrico das plantas e por isso será um sensor mais preciso para a gestão da rega. Baseado na equação de Penman-Monteith, Langensiepen et al. (2009) comparou a equação com os resultados da evapotranspiração de referência obtidos a partir de um lisímetro. Na transpiração calculada obteve uma sobreestimação do fluxo de seiva de manhã e uma subestimação do fluxo de seiva durante a tarde. Além disso os resultados do fluxo de seiva medido estava sempre desfasado do fluxo de seiva calculado. Nesta experiência verificou que a equação de Penman-Monteith é uma ferramenta suficientemente robusta e sensível para detetar diferenças hídricas na planta e gerir a rega em plantas sob condições de stress hídrico.

3 - Material e Métodos

3.1 - Caracterização da Parcela de Ensaio

O ensaio de campo foi conduzido numa parcela experimental de uma vinha pertencente à empresa Herdade do Esporão. A vinha encontra-se integrada na região vitícola do Alentejo, sub-região Reguengos. Esta herdade localiza-se junto à cidade Reguengos de Monsaraz, tendo as parcelas alvo as seguintes coordenadas geográficas: latitude 38.395088; longitude -7.545419. Os talhões referentes ao ensaio, um de Touriga Nacional e um de Aragonez, ocupam uma área de aproximadamente 11 hectares plantados a 220 metros de altitude (Figura 3). A Touriga Nacional, onde vai incidir esta tese, tem 5,3 hectares.

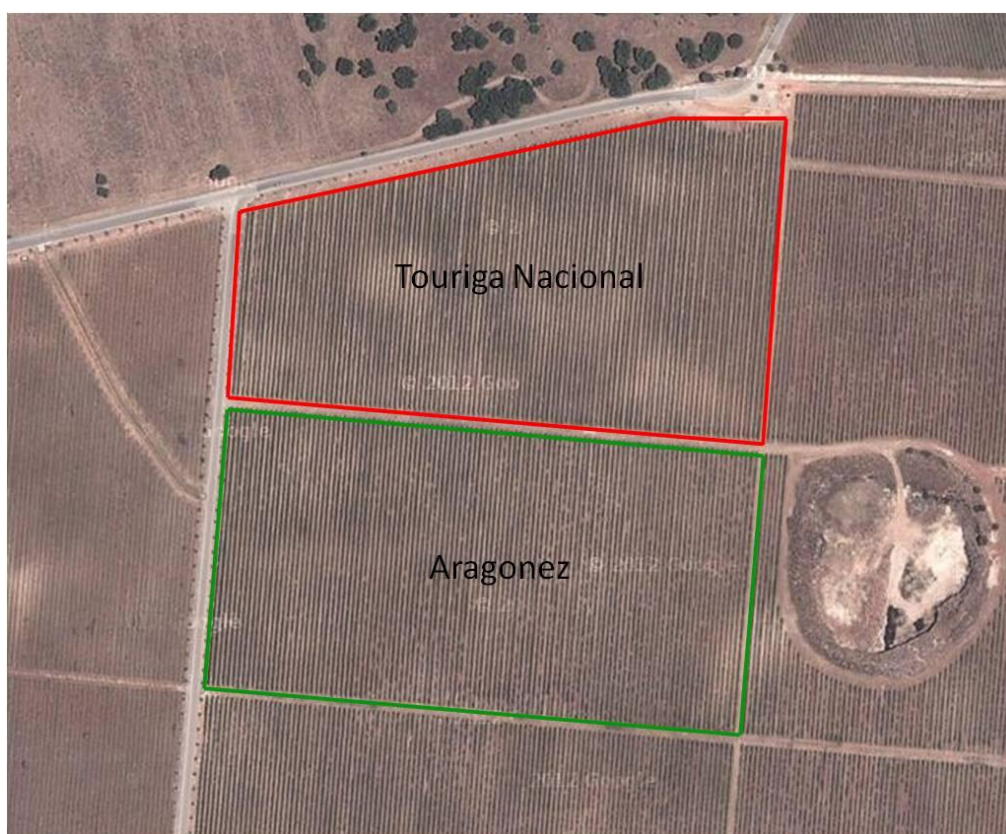


Figura 3 - Parcelas do ensaio experimental: Touriga Nacional e Aragonez. Fonte: Google Maps.

O alvo de estudo é uma parcela de vinha com 11 anos de idade, de Touriga Nacional, com orientação espacial da sebe Norte-Sul. O porta-enxerto utilizado é o 1103-P. O compasso de plantação é de 3m x 1,5m o que resulta numa densidade de plantação de 2222 videiras por hectare. O sistema de condução utilizado nas parcelas é o monoplano vertical ascendente podado em cordão Royat bilateral, em média, com 8 talhões e carga de poda de 16 olhos por videira, o que dá 35553 olhos por hectare. A

altura de tronco é de 65 cm. A vegetação é apoiada por um sistema de armação em madeira com 1 arame de formação à altura do tronco, 1 par de arames móveis e 1 par de arames fixos no topo. A vinha tem sistema de rega e o débito dos gotejadores é de 2,2 litros por hora. O espaçamento entre cada gotejador é de 1m. As linhas do ensaio foram divididas consoante a modalidade de rega estabelecida, SDI – 30% ETc (utilizado pela Herdade do Esporão, 211,32mm) e RDI – 20% (123,27mm) da água aplicada na modalidade SDI.

3.2 - Material Vegetativo

3.2.1 - Casta

3.2.1.1 - Touriga Nacional

A Touriga Nacional, pode ser considerada, hoje em dia, a casta porta-estandarte de Portugal. Hoje em dia é cultivada por todas as regiões vitícolas portuguesas e é a casta portuguesa mais internacionalizada, estando presente na Califórnia, Austrália, Argentina e também na África do Sul, onde era utilizada para os vinhos fortificados (Kerridge and Gackle, 2005).

É uma casta originária do Dão, visto que é o local onde existe maior heterogeneidade genética, sendo logo seguido pelo Douro, o que é justificável devido à proximidade das duas regiões. Presume-se que a Touriga Nacional seja a grande responsável pela fama dos vinhos da região vitivinícola do Dão. No entanto, onde mais se destacou, foi no vinho do Porto, onde era considerada uma casta nobre, que enaltecia os lotes. (Ghira, 2004; Kerridge and Gackle, 2005).

Facilmente adaptável a vários tipos de solo, a Touriga Nacional precisa de elevadas insolações e temperaturas para que exprima melhor as suas características. Tem também vigor elevado, com tendência para abrolhar muitos gomos secundários e latentes e assim formar muitas netas que adensam o coberto. Não revela especial sensibilidade ao conjunto de doenças e pragas mais habituais. Em termos morfológicos a folha é pequena a média, pentagonal com cinco lóbulos, página inferior com média densidade de pelos prostrados e de pelos erectos, dentes curtos e rectilíneos, seio peciolar aberto em V e seios laterais abertos com base em U. O cacho é pequeno e medianamente compacto e o bago é ligeiramente achatado, médio, cor negra-azul, película de espessura média e polpa mole. Na fenologia tem um abrolhamento e floração precoce (2 dias antes do Castelão e em simultâneo com o Castelão, respectivamente), o pintor é em época média (dois dias após o Castelão) e a

maturação é média (uma semana após Castelão), no entanto há estudos no Douro que mostram é tardia e, para que se atinja um maturação fenólica adequada, deve ser das últimas castas vindimadas (IVV, 2011).

A nível enológico é considerada uma casta nobre, visto que enaltece os lotes, mesmo estando presente em pequenas quantidades. Hoje em dia também proporciona excelentes vinhos monovarietais. A Touriga Nacional tem uma complexidade aromática inconfundível com concentrações elevadas de compostos terpenicos e norisoprenóides em C13 responsáveis pelos aromas florais. Os descritores mais comuns são a violeta e a fruta silvestre madura. Tem potencial de envelhecimento elevado e com aptidão para envelhecimento em barrica. (Bohm, 2007).

3.2.2 - Porta enxerto

3.2.2.1 - 1103-Paulsen

O porta enxerto 1103-P é um híbrido de *Vitis Berlandieri* com *Vitis Rupestris* e foi obtido por Paulsen no século XIX. É um porta enxerto com bastante vigor, com resistência à filoxera, boa tolerância à seca mas também à humidade no solo, suporta o calcário activo até 17-19% e retarda um pouco o ciclo vegetativo (Mota e Garrido, 2001).

3.2 - Solo das Parcelas

As amostras feitas ao solo a 16 de Novembro de 2012 revelam que o solo da Touriga Nacional é franco-arenoso, tem baixo teor de matéria orgânica e é alcalino com pH de 7,6.

Tabela 1 - Análises ao solo referentes às castas do ensaio.

	Aragonês	Touriga Nacional
pH água (reacção do solo)	7	7,6
Teor de matéria orgânica	1,39% (baixo)	0,72% (baixo)
Fósforo extraível	113 mg P ₂ O ₅ kg ⁻¹ (alto)	107 mg P ₂ O ₅ kg ⁻¹ (alto)
Potássio extraível	192 K ₂ O Kg ⁻¹ (alto)	154 K ₂ O Kg ⁻¹ (alto)
Classe de textura	Franco-argilo-limoso	Franco-arenoso
Reserva utilizável (mm)	175,7	152,7

3.3 - Clima

Na região vitícola do Alentejo a classificação Köppen-Geiger é Csa que significa clima temperado com primaveras e verões quentes e secos. É um clima mediterrâneo com influência continental. A precipitação média anual é de 550-650 mm e a temperatura média anual é de 16-16,5 °C. A insolação anual ronda as 3000 horas.

Os dados são retirados de uma estação meteorológica instalada na herdade do Esporão com recolha de valores de meia em meia hora. Os factores medidos pela estação são a radiação incidente, temperatura média do ar, velocidade do vento, precipitação e ponto de orvalho. A informação é armazenada num datalogger e, posteriormente, transferida para a plataforma da AgriCiência. A figura 4 mostra as temperaturas e precipitação do ano 2014 até 30 de Setembro.

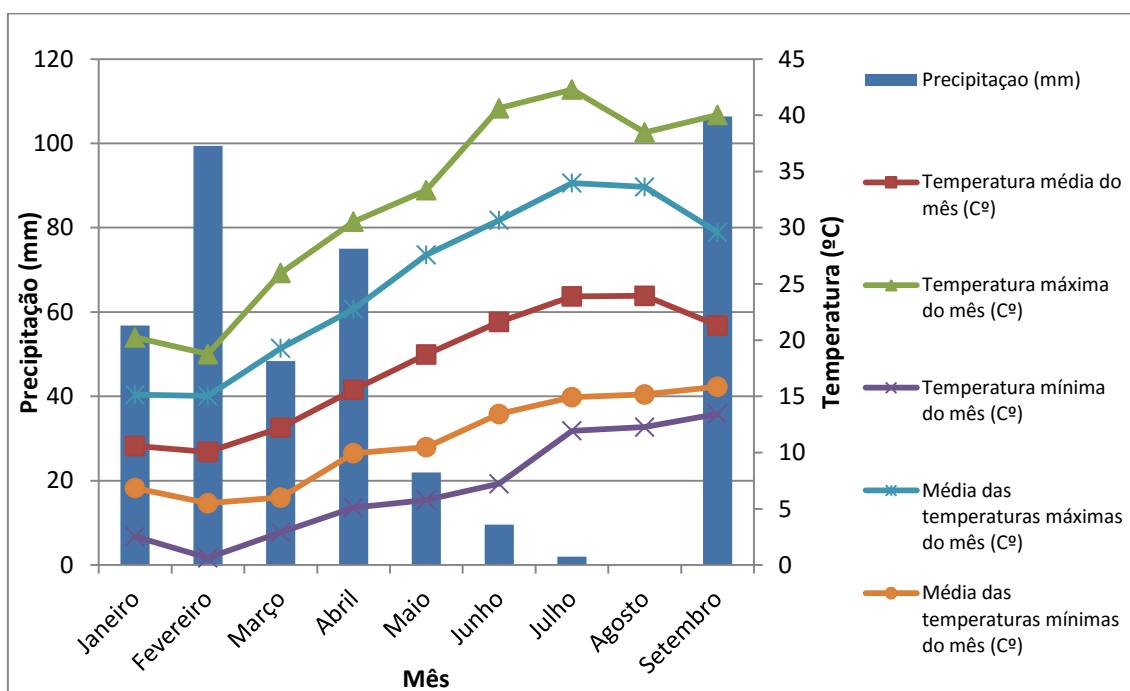


Figura 4 – Gráfico das temperaturas e precipitação de Janeiro a Setembro de 2014.

Os dados climatéricos vão ser utilizados para calcular os seguintes índices bioclimáticos:

Índice de Winkler (Amerine & Winkler, 1944)

$$\sum_{1 \text{ Mar}}^{31 \text{ Set}} \text{Temperatura média diária} - 10$$

Índice Heliotérmico de Huglin (Huglin, 1986)

$$\sum_{1 \text{ Mar}}^{31 \text{ Set}} \frac{(\text{Temperatura média diária} - 10) + (\text{Temperatura máxima diária} - 10)}{2} . K$$

Balanço Hídrico de Riou

$$W = W_o + \sum P - \sum E_s - \sum T_v$$

W_o – reserva hídrica do solo no momento inicial (1 de Abril)

P – precipitação pluviométrica

E_s – evaporação directa a partir do solo

T_v – transpiração potencial do vinhedo

Índice de Evapotranspiração Cultural

$$ET_c = ET_o . kc$$

ET_c – evapotranspiração da cultura

ET_o – evapotranspiração de referência

kc – coeficiente cultural

Estes factos fazem com que o Alentejo tenha uma boa capacidade de maturação de açúcares caso o stress hídrico não se imponha em demasia. Já a maturação fenólica pode ser afectada por temperaturas acima de 35°C.

3.4 - Delineamento Experimental

As parcelas foram divididas numa distribuição de blocos casualizada em quatro blocos (repetições), com 6 linhas de videiras cada (tabela 2). Cada um dos blocos tinha as 2 modalidades de rega: SDI e RDI (3 linhas para cada). As linhas formadas por videiras úteis são separadas por linhas de videiras de bordadura.

Nas linhas referentes ao ensaio foi realizado, pela nossa equipa, o levantamento dos arames consoante o crescimento da planta, o desladrçamento e a despona.

3.6 - Fitomonitorização



Figura 5 - Datalogger e painel solar de uma ilha de sensores.

Instalação dos Sensores de Recolha de Dados Contínua

Na vinha foram instaladas 4 ilhas de sensores, 2 por cada casta estudada, com o objectivo de monitorizar determinados parâmetros continuamente.

Cada ilha é composta por um datalogger, um dendrómetro, um sensor de fluxo de seiva, um sensor de humidade do solo, um sensor de humidade do coberto, 3 termopares para folhas e 6 termopares para bagos. A informação é recolhida por cada sensor de 10 em 10 segundos e são registadas no datalogger as médias dessas medições em intervalos de 30 minutos, e este, por sua vez, transmite por GSM para um servidor durante todo o ciclo estudado (fim de floração até à vindima). Tendo sempre em vista a sustentabilidade, todas as ilhas de sensores são alimentadas através de energia solar convertida por painéis solares instalados no topo da ilha, como se pode ver na figura 5. A instalação das ilhas foi levada a cabo no dia 22 e 23 de Abril, à excepção dos termopares do bago, que foram instalados no dia 16 de Junho. As ilhas de sensores foram instaladas de forma a evitar ensombramento sobre as videiras em estudo.

3.7 - Datalogger e software / Recolha e Armazenamento de Dados

O datalogger é da UAVISION (Torres Vedras, Portugal). Este recolhe, armazena, condiciona e regista os dados de todos os sensores. Os dados são, posteriormente, transmitidos por GPRS para um servidor online, onde são tratados por um software

desenvolvido pela empresa Agriciência, responsável por esta área do projecto Innovine (acordo garantido nº FT7-311775).

3.8 - Caracterização dos sensores

3.8.1 - Dendrómetro

Este instrumento da ECOMATIK (Dachau, Alemanha) proporciona uma forma não invasiva para determinar as variações no diâmetro do tronco, permitindo assim fazer inferências sobre o estado hídrico da planta. As variações são detectadas, em modo contínuo, por uma agulha de tensão com sensibilidade na ordem dos μm e a informação é enviada para o datalogger. Os dendrómetros do tronco foram instalados abaixo da vegetação, a cerca de 20 cm do solo.

3.8.2 - Sensor do fluxo de seiva

O sensor do fluxo de seiva da ECOMATIK (Dachau, Alemanha) consiste em duas agulhas termopares, uma das quais com uma resistência de aquecimento. As agulhas são inseridas no tronco, uma acima da outra, separadas por 10 cm, sendo que a agulha que tem a resistência fica por cima. À agulha de cima é transmitida energia de forma a aquecer. A diferença de temperaturas (ΔT) detectada entre a agulha de cima e a de baixo será o output do sensor, que é enviado para o datalogger. Na tabela 4 encontram-se os dados referentes à instalação dos sensores do fluxo de seiva. O datalogger CR10x foi fornecido pelo Dr. José Silvestre, assim como 4 sensores de fluxo de seiva (2 para a Touriga Nacional e 2 para o Aragonez). Destes 4 sensores um par tem agulhas com 1 cm de comprimento e o outro par tem 0,5 cm de comprimento. O datalogger da ilha #601 está também ligado ao datalogger CR10x como forma de controlo positivo. A diferente orientação deve-se ao facto de se evitarem os nós da videira, que podem dificultar as medições. A estes valores é então aplicada a formula proposta por Granier (1985) para converter em densidade de fluxo.

Tabela 4 - Descrição dos sensores de fluxo de seiva e respectiva localização.

Casta	TN	TN	TN	TN
Tratamento	RDI	RDI	RDI	SDI
Linha	6	6	6	17
Datalogger	Ilha #601	CR10x	CR10x	Ilha #603
Videira	7	8	11	18
Altura base - agulha de aquecimento	42 cm	41 cm	39 cm	38 cm
Comprimento agulhas	2 cm	1 cm	0,5 cm	2 cm
Perímetro	13,25 cm	12,9 cm	12,5 cm	17,2
Orientação	Oeste	Sudoeste	Oeste	Oeste

3.8.3 - Sensor de humidade do solo

O sensor uSoil R40, adquirido à UAVISION (Torres Vedras, Portugal) (Figura 6) funciona com o princípio FDR (Frequency Domain Reflectometry) e permite medir o teor de humidade no solo a diferentes profundidades. Neste ensaio mediu-se o teor de humidade a 20, 40 e 60 cm abaixo do nível do solo. O output é em % humidade. Este sensor permite monitorização ao longo do perfil para aumentar a robustez dos dados necessários à tomada de decisão para a rega.



Figura 6 - Sensor de humidade no solo de uma das ilhas de monitorização.

3.8.4 - Sensor de humidade no coberto

Este sensor, da UAVISION (Torres Vedras, Portugal), simula uma folha no coberto de vegetação. Este equipamento regista o número de horas em que existe humidade no sensor, o que permite averiguar se as condições são, ou não, favoráveis ao aparecimento de doenças criptogâmicas.

3.8.5 - Sensores de temperatura

Estes sensores de temperatura, da UAVISION (Torres Vedras, Portugal) (Figura 7), medem a temperatura dos bagos e das folhas em intervalos contínuos, ao longo do dia. A temperatura é afectada principalmente pela radiação incidente, no entanto outros factores, como o vento, cor do corpo e humidade do ar, têm influência na temperatura.



Figura 7 - À esquerda: sensor de temperatura da folha; à direita: sensor de temperatura do bago.

Foram instalados 9 sensores por ilha: 3 nos bagos (nascente, poente e interior do coberto); 6 nas folhas (2 no lado nascente, 2 no poente e 2 no interior do coberto), como se verifica na figura 8. Os dados são enviados para o datalogger em °C.

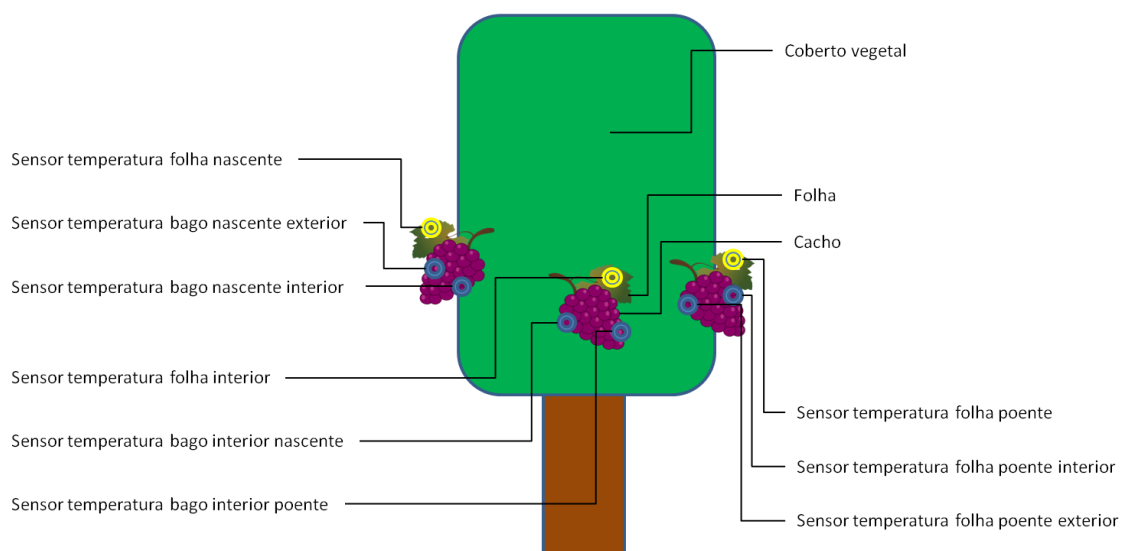


Figura 8 - Esquematização da disposição dos sensores de temperatura do bago e da folha na videira.

3.9 - Medições Pontuais da Actividade Fisiológica

As medições que se seguem estão inseridas no contexto do Pacote de Tarefas 1 – Efeitos das práticas culturais e ambiente nas videiras e bagos em relação às alterações climáticas, do projecto europeu Innovine (acordo garantido nº FT7-311775). A interacção entre o Pacote de Tarefas 1 e 5 é essencial, visto serem necessárias medições fisiológicas para validar os dados obtidos com os sensores.

3.9.1 - Fenologia

De forma a estabelecer uma escala temporal biológica procedeu-se à observação e recolha dos dados fenológicos segundo a escala BBCH (Coombe, 1986; Lorenz et al., 1995). A recolha foi realizada em 2 videiras por cada linha útil, 1 braço por cada videira. Começou-se a registar a fenologia dia 12 de Março (dia do ano 71) e finalizou-se dia 14 de Agosto (dia do ano 226), de onde se destaca o abrolhamento, floração, pintor e data vindima (tabela 5).

Tabela 5 - Datas e estados fenológicos da Touriga Nacional no ensaio.

Fenologia	Data	Dia do Ano
Abrolhamento	12 de Março	71
Floração	05 de Maio	125
Pintor	16 de Julho	197
Vindima	29 de Agosto	241

Segundo esta escala, para determinar a data de vindima, utiliza-se o grau Brix após o pintor. Para calcular o grau Brix, em cada linha útil foram recolhidos 3 bagos por videira, sendo os bagos de partes diferentes do cacho (superior, lateral e inferior), perfazendo um total de 30 bagos. Os valores de Brix foram obtidos através de um refratômetro.

3.9.2 - Potenciais Hídricos

As medições dos potenciais hídricos foram efectuadas com uma câmara de pressão do tipo descrito por Sholander et al. (1965) e segundo os cuidados metodológicos descritos por Turner (1988). A medição resulta da pressão exercida na folha para que a água livre (intercelular) seja expelida pelo pecíolo. Os dados de potenciais hídricos foram obtidos desde o dia 27 de Maio até dia 28 de Agosto.

Para o potencial hídrico de base as medições realizaram-se 2 vezes por semana, antes do nascer do sol, às 03h30 nas videiras próximas das ilhas. Foram retiradas 2

folhas adultas, sãs, localizadas num sarmento principal, por cada linha. Caso a diferença entre as medições fosse maior que -0,5 bar, repetia-se a medição, até um limite de 4 medições por linha.

O potencial hídrico foliar diário mediu-se 2 vezes por semana, 5 vezes por dia, de 3 em 3 horas (8h, 11h, 14h, 17h, 20h). Foram retiradas 2 folhas adultas, sãs, de um sarmento principal do lado de maior incidência solar na sebe, dependendo da hora do dia, nas videiras próximas das ilhas. Caso a diferença entre as medições fosse maior que -1,0 bar, repetia-se a medição, até um limite de 4 medições por linha.

A medição do potencial hídrico de caule ao meio dia solar executou-se 2 vezes ao longo deste ensaio. Para esta medição é necessário proceder-se ao envolvimento da folha com um saco e, envolve-se o saco com alumínio. Este passo deve ser feito pelo menos 2 horas antes da medição, de forma a evitar radiação incidente e armazenar a transpiração da folha. As 2 folhas seleccionadas devem ser adultas, sãs, de um sarmento principal do lado de maior incidência solar na sebe, nas videiras próximas das ilhas.

3.9.4 - Ceptómetro

O ceptómetro AccuPAR LP-80 da Decagon Devices, Inc (Washington, Estados Unidos da América) mede a radiação fotossinteticamente activa (PAR) no interior da sebe. As medições são feitas com o céu limpo, ao meio dia solar, em diferentes estados fenológicos, nomeadamente: floração, pintor, antes e depois da despona, meia maturação e 1 semana antes da vindima. A metodologia consiste em medir os valores de referência com o ceptómetro fora do coberto, e, de seguida, inserir o equipamento no coberto, num perfil longitudinal, e medir os valores no interior do coberto. Desde modo calcula-se a percentagem de radiação incidente que atinge o interior.

3.9.5 - Dimensões do Coberto

A medição da dimensão do coberto efectuou-se em 4 alturas distintas: floração, pintor, meia maturação e uma semana antes da vindima. Foram calculadas com base na média de várias medições. Mediram-se 3 videiras, por linha útil. A altura da sebe (H) foi determinada entre a base da vegetação e a extremidade do sarmento, e a espessura da sebe (e) mediu-se ao nível dos cachos e no topo da vegetação. Considerando a sebe contínua e regular, com base na altura e espessura obtém-se uma estimativa do perímetro exposto e, conhecendo a distância na entrelinha, assim como a sua porosidade, calcula-se uma aproximação superfície foliar exposta (SFE) por hectare (Lopes, 1994).

3.9.6- Área foliar

Para calcular a área foliar utilizou-se o método, não destrutivo, proposto por Lopes e Pinto (2005). Para tal mediu e registou-se o comprimento da nervura lateral direita (L2d) e nervura lateral esquerda (L2e) da maior e menor folha, tendo esta que ter no mínimo 3 cm na nervura principal e registaram-se o número de folhas por sarmento. Desta forma calcula-se a área média da folha e multiplicando pelo número de folhas por sarmento obtém-se a área foliar média por sarmento. O mesmo procedimento foi aplicado para calcular a área foliar média das netas por sarmento. Em cada uma das 8 linhas úteis foram seleccionadas 3 videiras representativas da vinha e em cada videira foram seleccionados 2 sarmentos, representativos da vegetação. Dos sarmentos utilizados para a área foliar nunca foram retiradas folhas para medições de potenciais hídricos. A área foliar foi medida à floração, antes e depois da despona, à meia maturação e à vindima.

3.9.7 - Número de Camadas de Folhas

Para medir o número de camadas de folhas foi utilizado o método desenvolvido por Smart e Robinson (1991) designado de “Point Quadrat”. Este método consiste na passagem de uma agulha fina transversalmente à sebe, registando-se o número de contactos com as folhas e cachos (Lopes, 1994). Através deste método também podemos estimar a porosidade da sebe, caso não se registem contactos à passagem da vara.

3.10 - Evolução da Maturação

Na evolução da maturação acompanhou-se o grau provável, acidez total, pH, antocianas e polifenóis. As análises tiveram lugar no laboratório de Ecofisiologia Molecular de Plantas do Instituto de Tecnologia Química e Biológica (ITQB) em Oeiras. As amostras analisadas consistiam em 300 bagos retirados, aleatoriamente, por casta, bloco, modalidade de rega e lado da sebe (nascente e poente).

3.11 - Vindima

A data da vindima foi decidida tendo em conta os índices de evolução da maturação observados, análises efectuadas e condições atmosféricas. A vindima decorreu dia 29 de Agosto (dia do ano 241) e foram vindimadas as videiras úteis, registando-se o número de cachos, o peso total dos cachos e a percentagem de bagos secos por videira.

4- Resultados e Discussão

A fitomonitorização, como já descrito anteriormente, consiste numa recolha de dados, relativos aos diversos sensores, em tempo real. Esta recolha, ao longo de meses, origina grandes quantidades de dados armazenados. Como tal, neste trabalho, apenas serão apresentados e discutidos os resultados das ilhas de monitorização da Touriga Nacional, que estão associados às ilhas #601 e #603, com as modalidades de rega RDI e SDI, respectivamente.

As ilhas de fitomonitorização foram instaladas dia 23 de Abril, no entanto apenas começaram a emitir dados no dia 16 de Maio. Também aqui foi seleccionada a informação, e apenas vão ser apresentados e discutidos os resultados referentes a Julho e Agosto, altura em que há maior demanda atmosférica e a pressão ambiental sobre a videira é maior.

4.1 - Problemas apresentados pelos sensores

Os sensores utilizados são ferramentas delicadas e necessitam de constante monitorização e manutenção. Também, de ano para ano, pretende-se melhorar os sensores, de modo a que os valores recolhidos sejam cada vez mais fidedignos. De seguida explicam-se os problemas que foram surgindo ao longo do ensaio, e como se lidou com eles.

O dendrómetro da ilha #603, apesar de várias tentativas de reparação, recolheu sempre o mesmo valor durante o tempo em que as ilhas estiveram ligadas. Nas tentativas de reparação, ajustou-se o dendrómetro ao tronco, e reiniciou-se o datalogger e o sensor. Nenhuma das medidas tomadas surtiu efeito, o que torna impossível a apresentação e discussão dos dados referentes ao dendrómetro da ilha #603.

Em relação aos sensores de temperatura do bago, o sensor nº3 da ilha #601, situado no lado nascente do interior da vegetação, deu, de dia 2 a dia 10 de Julho, temperaturas negativas. O caixa do datalogger das temperaturas foi aberta e verificou-se que os fios responsáveis pela transmissão de dados estavam a fazer mau contacto com a placa do datalogger. Procedeu-se à conexão e, no mesmo dia, as temperaturas voltaram aos valores normais. O mesmo voltou a passar-se de dia 22 a dia 25 de Julho, sem aparente razão para isso. No entanto, as mesmas medidas foram tomadas e voltaram a resultar até ao fim da recolha de dados.

Relativamente aos sensores de temperatura da folha, verificou-se que, todas as semanas, cerca de 2 sensores, no total das ilhas, não estavam colocados nas folhas. O número aumentava quando havia trabalho de máquinas nas linhas úteis. A única forma de controlar este problema é através de uma assídua presença na vinha. Assim pode-se re-colocar os sensores na folha com o máximo de rapidez possível. Já os sensores de temperatura de bago caíam muito menos vezes, devido ao formato de mola, como se pode ver na figura 9. De forma a contornar o problema, para o ano seguinte seria aconselhável trocar o imã dos sensores de temperatura da folha, pela mola dos sensores de temperatura do bago. No entanto, estes sensores, em folhas maiores apenas é possível colocá-los na periferia da folha. Teria que ser um sensor mais alongado para permitir medir a temperatura na parte central da folha.



Figura 9 - Sensor de temperatura da folha caído (delineado a vermelho).

O stress hídrico na videira também faz com que, por vezes, seja necessário trocar alguns sensores pois as folhas senescentes, ou folhas com escaldões, não vão dar resultados fidedignos, uma vez que os mecanismos de transpiração não vão estar a funcionar correctamente. Também foi alterada a posição dos sensores que foram colocados em bagos que, mais tarde, vieram a desidratar ou a desenvolver escaldões devido à intensa exposição à radiação. Durante o ensaio apenas ocorreram 3 trocas

relativamente a folhas senescentes ou com escaldão e 2 relativas a bagos já em passa.

Na análise dos dados dos sensores, um factor que dificulta o trabalho de análise, é o facto das horas entre os vários sensores não estarem sincronizadas, e além disso não tem um número fixo de medições diárias.

4.2 - Caracterização do coberto vegetal

As características do coberto vegetal para ambas as modalidades de rega aplicadas foram as descritas na tabela 6. Os valores de altura e largura da sebe foram muito semelhantes entre as modalidades, visto que houve despona e levantamento dos arames, o que diminui as diferenças que eventualmente se podiam verificar. A percentagem de área foliar de netas maior para a modalidade RDI, enquanto que os maiores valores de SFE e de área foliar total (AFt) se registaram na modalidade SDI, embora as diferenças não sejam significativas. Foram feitas 5 medições – 14/05, 02/06, 03/06, 22/07 e 21/08.

A SFE tem grande importância na vinha, pois são as folhas que recebem a radiação directa do sol as responsáveis pela maior parte da fotossíntese do coberto vegetal (Chaves, 1986).

Tabela 6 - Dados referentes às dimensões das sebes da modalidade RDI e SDI no dia 21/08.

Parâmetros	SDI	RDI
Altura sebe (cm)	133	131
Largura sebe (cm)	50	51
Área Foliar total (m ² /ha)	15554	15332
% AFnetas	50	60
Superfície foliar exposta (m ² /ha)	10496	10406
AFt / SFE	1,48	1,47
Número de camadas de folhas	2,5	2,27

Smart et al.(1990) referiu que o coberto ideal devia ter 21000 m² de área foliar total por hectare, assim como um índice de 1,5 entre a AFt e a SFE. Os resultados apresentados mostram um índice Aft/SFE semelhante ao referido na bibliografia, no entanto a AFt é menor, visto que o ensaio está localizado numa zona quente, e uma maior AFt poderia proporcionar mais transpiração pelas plantas. O número de camadas de folhas (NFC) ideal preconizado pelo mesmo autor seria entre 1 a 1,5, mas

os resultados demonstraram valores entre 2,27 (RDI) e 2,5 (SDI), possivelmente por a Touriga Nacional ser uma casta de características retombantes.

Embora não sejam diferenças significativas a modalidade SDI apresenta uma tendência para maior Aft, SFE e NCF do que a modalidade RDI. Isto poderá ser explicado pela maior dotação de rega empregue na modalidade SDI, que promove maior crescimento vegetativo. Estes factos podem levar a crer que a rega já começou com o crescimento vegetativo parado.

4.3 - Indicadores ambientais

Para se caracterizar o ano 2014 a nível climático, utilizaram-se vários indicadores baseados nas temperaturas médias, máximas e mínimas, assim como a precipitação. Todos estes parâmetros foram fornecidos pela estação meteorológica do Esporão.

O índice de Winkler de 1 de Abril a 30 de Setembro foi de 1989,48°C, o que significa que é uma zona de nível IV, numa escala em que o I é o nível mais frio e o V é o nível mais quente (Amerine and Winkler, 1944). Já o índice de Huglin, numa escala de 6 classes, em que a classe 1 é a mais fria e a classe 6 é a mais quente, obteve 2800,22°C, que equivale à classe 5. Esta classe tem um excedente heliotérmico mesmo para castas tardias e tem um risco de stress associado. No índice de frio noturno, calculado com base nas médias das temperaturas mínimas em Agosto (mês de vindima), verificou-se um valor de 15,17°C. Este valor equivale ao nível 2 do índice de frio noturno, o que equivale a noites temperadas. O nível 1 é para noites quentes e o nível 4 é para noites muito frias.

Pode-se admitir que, à luz dos resultados dos índices bioclimáticos, o ano se encaixa no perfil climático do Alentejo, sendo, no entanto, um ano atipicamente fresco para o Alentejo.

4.4 - Humidade do solo

No gráfico da figura 10 está representada a humidade volúmica do solo correspondente à modalidade RDI (ilha #601).

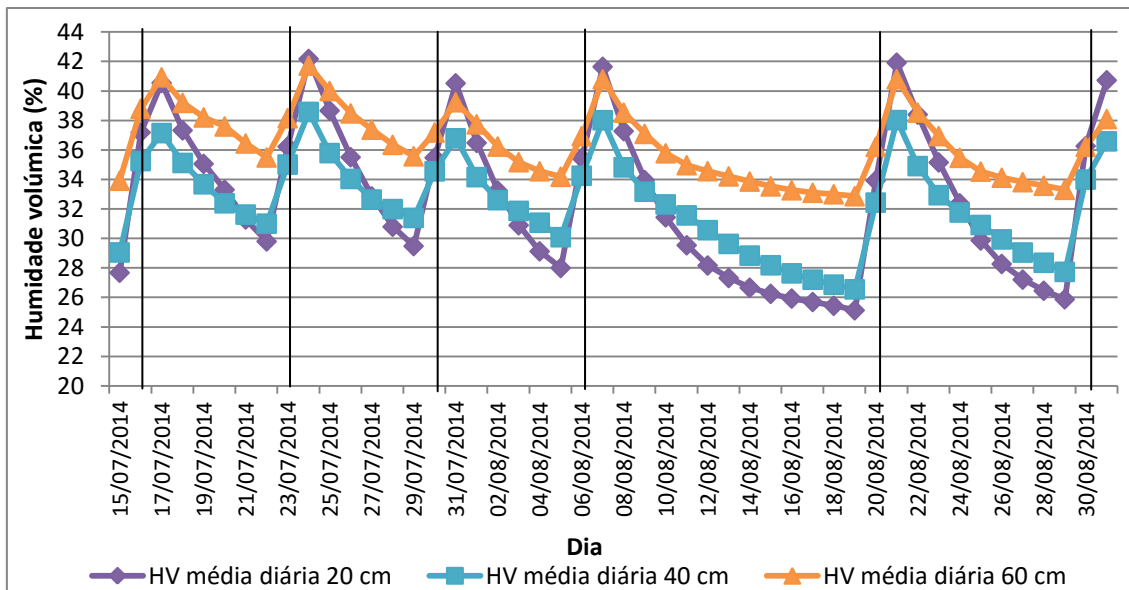


Figura 10 - Gráfico relativo à humidade volúmica da ilha #601 (RDI), entre o pintor e a vindima. Barras a negro representam o dia de rega. HV – Humidade volúmica

Quando há rega (representada pelas barras a negro), a humidade volúmica nas 3 profundidades aumenta. O aumento dá-se até ao dia seguinte ao da rega. Após o pico de humidade volúmica a água presente no solo começa a diminuir devido à sua absorção pelas raízes da videira. A rega deu-se semanalmente até ao dia 12/08, no qual, após visualização dos potenciais de base, se decidiu não regar. Nos 14 dias seguintes, sem rega, assistiu-se ao diminuir da humidade do solo até valores de 25%. No dia 20/08 voltou-se a aplicar rega e os valores de humidade volúmica voltaram a valores semelhantes aos da última rega. De notar que, com o decorrer do DPV (défice de pressão de vapor), a taxa a que a água do solo é absorvida aumenta, ou seja, há uma depleção mais rápida da humidade volúmica. O sensor dos 20cm apresentou na maior parte das ocasiões os valores de humidade volúmica maiores após a rega, no entanto, a sua taxa de depleção foi também maior. As razões poderão ser uma maior quantidade de raízes nesse espaço e uma maior evaporação do solo nesta camada superficial. O sensor dos 60cm após a rega, acompanhou os valores do sensor 20cm, porém a sua taxa de depleção foi muito menor, nunca descendo abaixo dos 32,87% de humidade volúmica. O sensor dos 40cm não atingiu valores de humidade volúmica tão altos como os outros dois sensores, porém também não atingiu valores tão baixos quanto o sensor de 20cm. A amplitude semanal de humidade volúmica foi tanto maior quanto mais superficial a camada, o que significa que as camadas mais profundas recebem menos água e fornecem menos água, ao passo que as camadas superficiais recebem e fornecem mais água à videira, além da água perdida por evaporação.

No gráfico da figura 11 observa-se a evolução da humidade volúmica do solo correspondente à modalidade SDI (ilha #603). No período representado no gráfico podem ver-se 9 regas, embora uma das regas (dia 30/08) já seja depois da vindima.

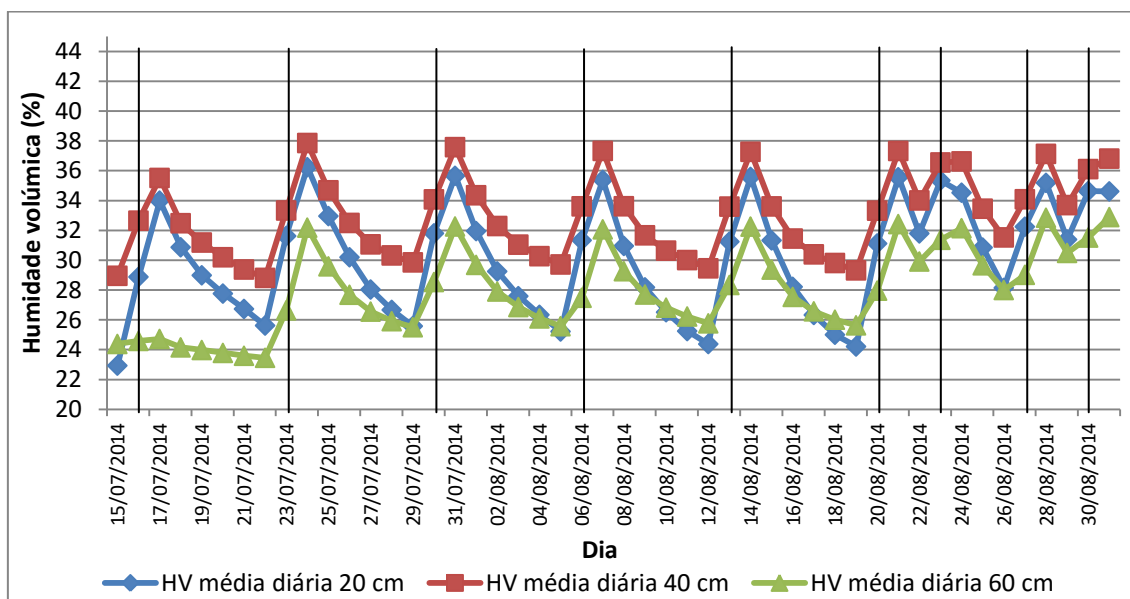


Figura 11 - Gráfico relativo à humidade volúmica da ilha #603 (SDI), entre o pintor e a vindima. Barras a negro representam o dia de rega. HV – Humidade volúmica

É possível ver um padrão semelhante à modalidade RDI (ilha #601), no entanto nesta modalidade é o solo à profundidade de 40cm que acumula maior humidade volúmica após as regas, seguido do sensor dos 20cm. Também é a camada a 20cm de profundidade que apresenta a maior taxa de depleção, atingindo em duas situações (dia 12/08 e dia 19/08) humidades volúmicas na ordem dos 24%. À profundidade de 60cm regista-se a menor taxa de depleção, indicando que as videiras terão menos raízes a esta profundidade. Para além disso a evaporação do solo não tem impacto a estas profundidades. Isto deve-se a um fenómeno de self-mulching em que os primeiros 2cm de solo secam, ficando com uma quantidade de água de 2 a 4%, o que leva a uma maior conservação da água nas camadas inferiores de solo (White, 2003). Nesta sonda, a humidade do solo nunca ultrapassou os 38% no sensor de 40cm e os 36% no sensor de 20cm.

Em ambos os casos a humidade volúmica parece ser muito alta para um solo com textura franco-arenosa, o que se pode dever a fendas que se tenham formado à volta do sensor após a instalação. Além disso não foi aberto nenhum perfil para avaliar a distribuição das raízes e se há diferenças na compactação do solo e textura, algo que deverá ser feito no futuro para resultados mais fidedignos.

No gráfico da figura 12 apresenta-se a evolução da humidade volúmica ao longo do dia 16/08 (228) do ano.

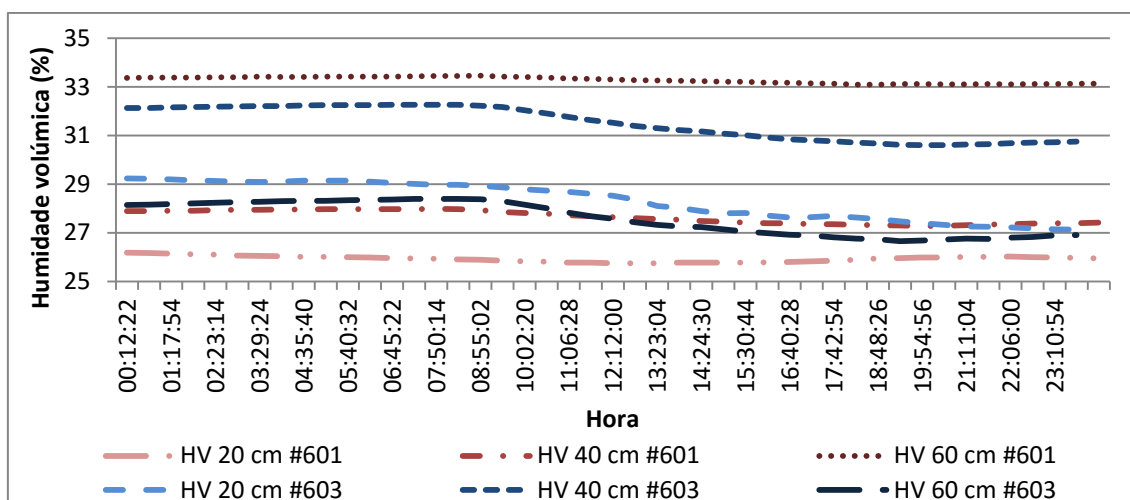


Figura 12 - Evolução da humidade volúmica de ambas as modalidades de rega e várias profundidades do solo ao longo de um dia. HV – Humidade volúmica

A partir das 09h00-10h00, a humidade volúmica começou a descer até estabilizar por volta das 18h00. O balanço do dia é, por norma, negativo, excepto nos dias de rega e dia pós rega. Também se verifica uma diferença no declive de descida da humidade volúmica nas diferentes modalidades de rega. A modalidade SDI tem um declive maior, o que indica um maior gasto de água diário neste dia. Estes dados, podem-se relacionar com os dados do fluxo de seiva que também apresentam pelas 09h00 um aumento do fluxo, o qual, após diminuição, estabiliza.

4.5 - Potencial hídrico de base (ψ_b)

No gráfico da figura 13 apresentam-se os valores do potencial hídrico foliar de base medido no período de maturação. Em cada semana eram recolhidos os valores no dia anterior à rega e no dia após a rega.

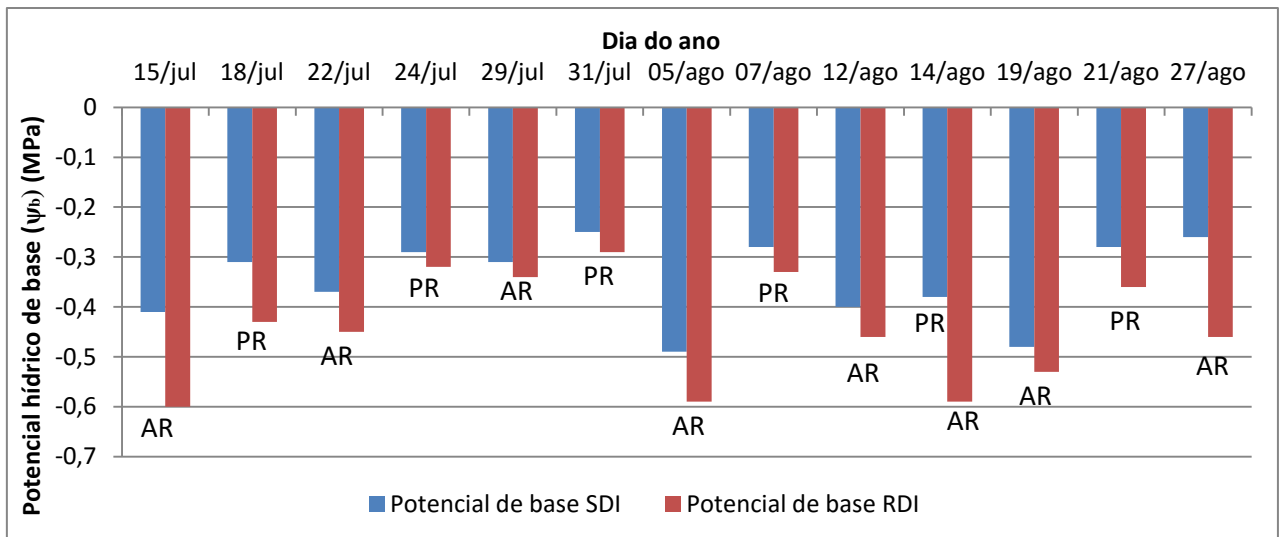


Figura 13 - Potenciais hídricos de base entre o pintor e a vindima, nas duas modalidades de rega. AR – antes rega; PR – pós-rega; SDI – Sustainable Deficit Irrigation; RDI – Regulated Deficit Irrigation.

Verificou-se que o potencial hídrico foliar de base da modalidade RDI foi sempre inferior ao da modalidade SDI, o que se explica pela maior dotação de rega da modalidade SDI. Observou-se também uma subida do potencial hídrico no dia posterior à rega em qualquer das modalidades em resultado do aumento do teor em água no solo. De evidenciar que, apesar de não se ter regado na modalidade RDI, desde o dia 06/08 até o dia 20/08, o potencial hídrico de base do dia 19/08 não diminuiu em relação ao potencial hídrico de base do dia 14/08. Este facto pode dever-se a uma regulação estomática, evitando transpiração excessiva da planta. Esta hipótese é corroborada pelos dados da figura 24, que apresenta na semana de 14/08 a 19/08 os valores do fluxo de seiva mais baixos de toda a época em estudo.

4.6 - Evolução do potencial hídrico foliar diurno (ψ_{fd})

Como se pode observar nos gráficos das figuras 14 e 15, relativas aos dias 196 e 198, antes e após a rega do dia 197, respectivamente, o potencial hídrico foliar diurno diminui com o decorrer do dia, atingindo o seu mínimo entre as 14h00 e as 17h00. Após esse mínimo, aumenta ligeiramente a partir das 14h00/17h00, até às 20h00.

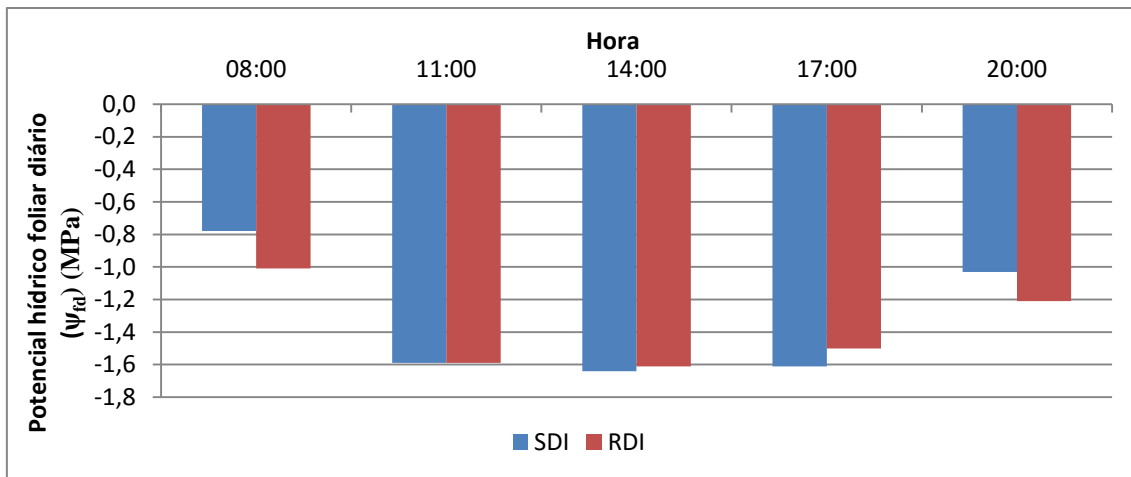


Figura 14 - Exemplo da evolução dos potenciais hídricos foliares diurnos pré-rega, ao longo de um dia, para ambas as modalidades de rega. SDI – Sustainable Deficit Irrigation; RDI – Regulated Deficit Irrigation.

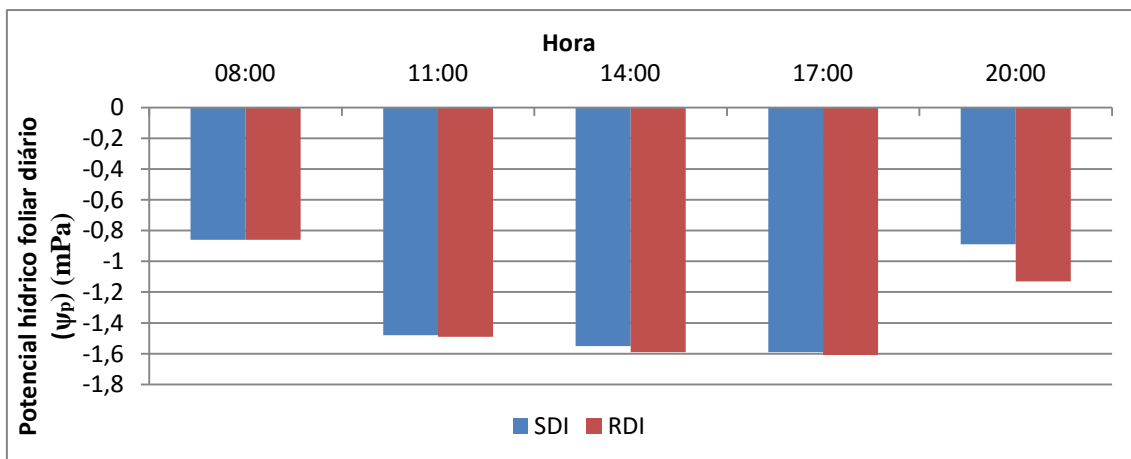


Figura 15 - Exemplo da evolução dos potenciais hídricos foliares diurnos pós-rega, ao longo de um dia, para ambas as modalidades de rega. SDI – Sustainable Deficit Irrigation; RDI – Regulated Deficit Irrigation.

No gráfico da figura 14, referente ao ψ_{fd} medido antes da rega, verifica-se que, à excepção do potencial das 08h00 da modalidade SDI, todas as medições pontuais resultaram em ψ_{fd} mais negativos relativamente aos valores associados ao pós rega (figura 15). Após a rega, como se verifica no gráfico da figura 15, os potenciais sobem, o que indica uma recuperação a nível hídrico e uma redução do stress das videiras. Quer antes da rega, quer após, as horas de maior radiação, temperatura, e por conseguinte, stress para a planta aparentam ser entre as 11h00 e as 17h00. Nessa altura do dia a demanda atmosférica é maior daí apresentarem potenciais hídricos mais baixos.

Às 08h00 da manhã, antes da rega, verifica-se que o ψ_{fd} do SDI é mais alto do que o do RDI. Sendo o SDI a modalidade com maior dotação de rega, é suposto que a planta apresente um nível de stress inferior ao da modalidade RDI. Já na mesma hora,

após a rega, o ψ_{fd} de ambas as modalidades é semelhante, mostrando uma recuperação do RDI em relação ao SDI.

Em qualquer das modalidades, o ψ_{fd} medido às 20h00 apresenta uma recuperação da mesma ordem de grandeza após a rega (0,2 MPa). No entanto, regista-se um ligeiro aumento do ψ_{fd} do antes para o após rega, na ordem nos 0,1 MPa em cada uma das modalidades, o que se percebe devido ao fornecimento de água que se fez com a rega.

Neste caso não há diferenças significativas entre modalidades, ou seja, o ψ_{fd} não responde à rega, mas responde à demanda atmosférica.

4.7 - Temperatura do bago do pintor à vindima

No gráfico da figura 16 apresenta-se as temperaturas médias diárias dos bagos desde o pintor até dia 31 de Agosto da ilha #601 - RDI.

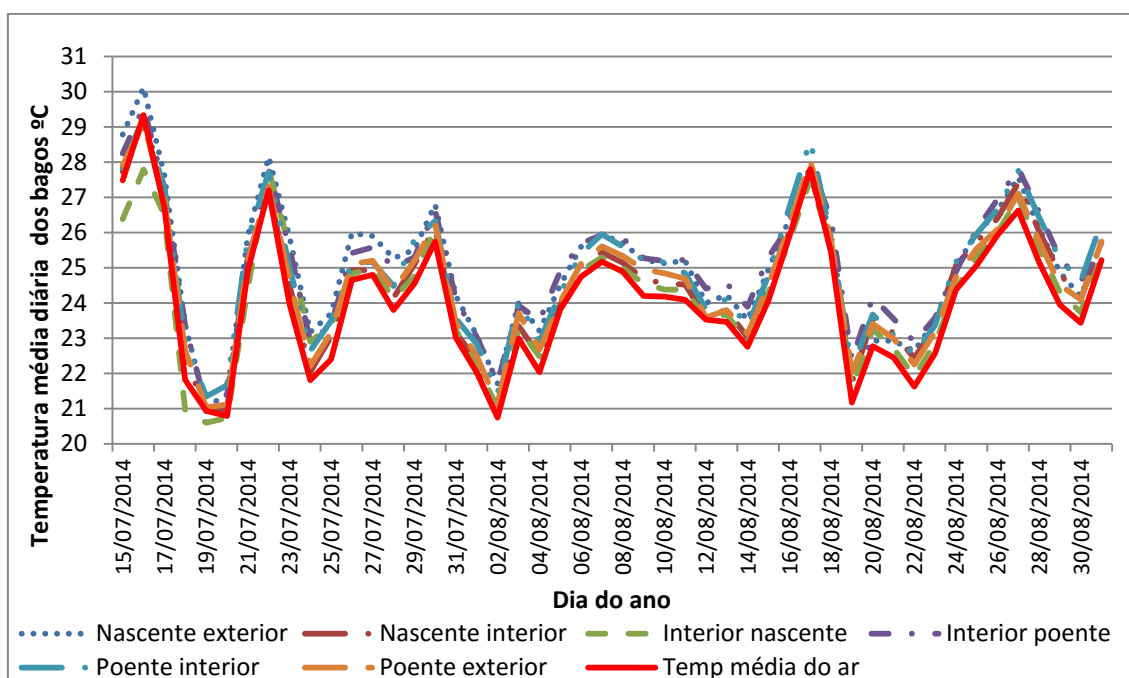


Figura 16 - Temperatura média diária dos bagos, relativo à ilha #601 (RDI), do pintor à vindima.

O excesso de sensores causa entropia no gráfico, no entanto é possível verificar que a temperatura média diária do bago acompanha sempre o movimento da temperatura do ar. A temperatura do ar é, por norma, inferior à dos bagos, devido ao facto do bago ser um corpo escuro e, durante o dia, absorver mais radiação. A temperatura média diária do bago mais alta observou-se no dia 16/07 com o valor de 30,12°C, no bago exterior do lado nascente da sebe. Já a temperatura máxima ocorrida neste período foi no dia

17/08, em que o bago interior do lado poente atingiu a temperatura de 49°C. A temperatura mínima verificou-se no dia 21/08, em que o bago do exterior do lado poente da videira atingiu a temperatura de 11,5°C (dados não apresentados).

No gráfico da figura 17, apresenta-se a informação relativa ao mesmo período, dos sensores de temperatura do bago da ilha #603 – SDI. É de salientar que no início destas medições já havia algum stress, pelo que a baixa temperatura dos bagos pode dever-se também a algum problema no sistema de aquisição de dados da ilha.

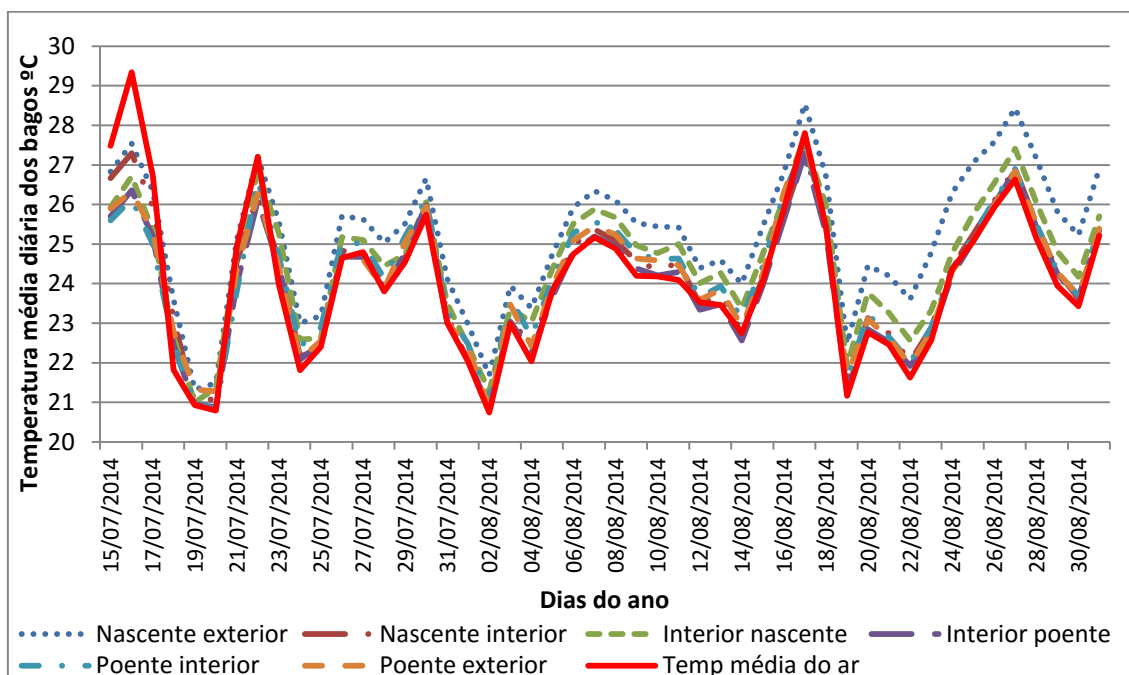


Figura 17 – Temperatura média diária dos bagos, relativo à ilha #603 (SDI), do pintor à vindima.

Volta-se a verificar um paralelismo entre a evolução da temperatura média diária dos bagos e a temperatura média diária do ar. Ao contrário dos valores referentes ao tratamento RDI, o tratamento SDI, onde se aplicou uma maior dotação de rega, mostra, em algumas situações, nomeadamente nos dias 16/07 e 22/07, as temperaturas dos bagos inferiores às temperaturas médias do ar. Este facto justifica-se devido ao efeito protector da folhagem sobre os bagos, no entanto, para o final do ensaio, com o acumular do stress, e senescência das folhas basais, tal já não acontece. O valor mais alto da temperatura média diária dos bagos foi 28,54°C, no dia 17/08, no bago exterior do lado nascente da sebe (-1,6°C que no mesmo bago do tratamento RDI). O valor máximo de temperatura dos bagos alcançado pelo tratamento SDI foi de 48,5°C, no bago exterior do lado poente da sebe, no dia 16/08, ficando assim 0,5°C aquém do valor máximo de temperatura do tratamento RDI. O

valor mínimo foi atingido por ambos os bagos do lado poente, ambos no dia 14/08, com a temperatura mínima de 12°C.

4.8 - Evolução da temperatura dos bagos ao longo de um dia

A temperatura a que os bagos são sujeitos vai influenciar a produção de certos compostos, entre os quais estão as antocianinas. Vários estudos revelam que a produção de antocianinas é inibida a partir dos 35°C (Keller, 2010), daí a importância de acompanhar as temperaturas dos bagos. A evolução das temperaturas dos bagos ao longo de um dia, por norma, segue sempre o mesmo padrão. Como se pode verificar no gráfico da figura 18, referente ao dia 16/08, ilha #603, tratamento SDI, a partir das 8h30 da manhã a temperatura dos bagos começa a subir.

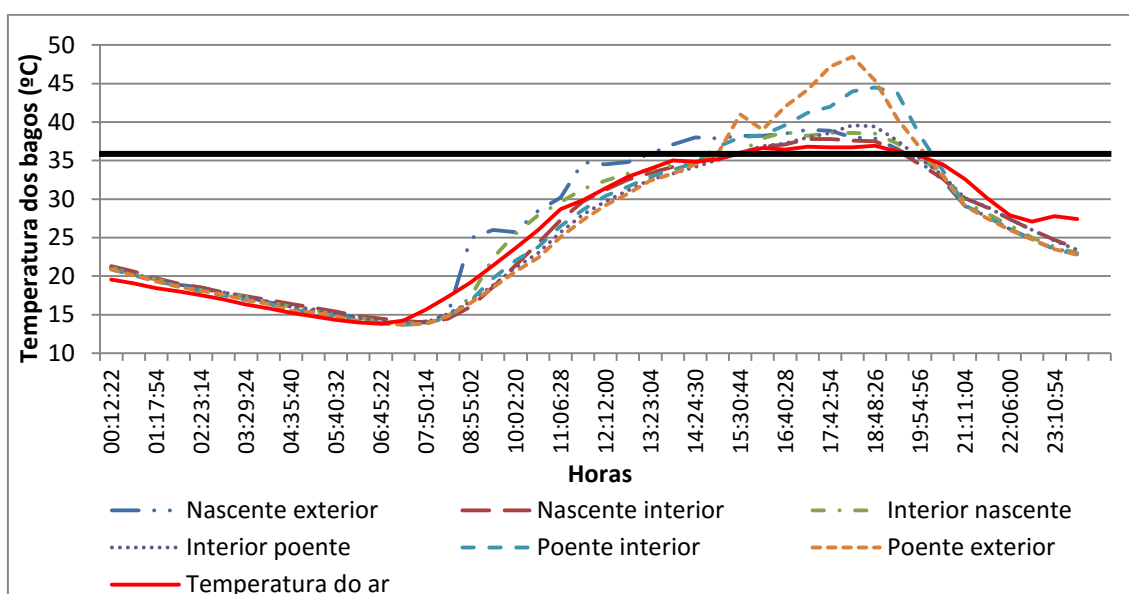


Figura 18 - Gráfico da evolução da temperatura dos bagos, relativo à ilha #603 (SDI), ao longo de um dia.

Na parte da manhã é o bago exterior do lado nascente que atinge a temperatura mais alta, pois tem a radiação do sol a incidir directamente sobre ele. Por vezes, dão-se variações bruscas da temperatura, como se pode verificar cerca das 10 horas no mesmo bago. Isto deve-se ao ensombramento por parte de folhas. Até às 15 horas as temperaturas de todos os bagos aumentam e, a partir daí, as temperaturas de quase todos os bagos estabilizam entre os 36,5°C e os 39,5°C, o que significa, 1,5°C a 4,5°C acima da temperatura a partir da qual se verifica uma limitação da síntese e/ou degradação das antocianinas. Ainda assim, há bagos do lado poente, que, por receberem maior radiação, vão aumentar a sua temperatura mais do que os restantes. Neste caso o bago do exterior do cacho do lado poente da sebe atinge os 48,5°C, por

ser atingido directamente pela radiação solar, enquanto que o sensor no interior do cacho do lado poente atinge os 44,5°C.

4.9 - Evolução da temperatura da folha no período de maturação

O gráfico da figura 19 representa as temperaturas recolhidas pelos sensores das folhas na ilha #601, que corresponde ao tratamento RDI.

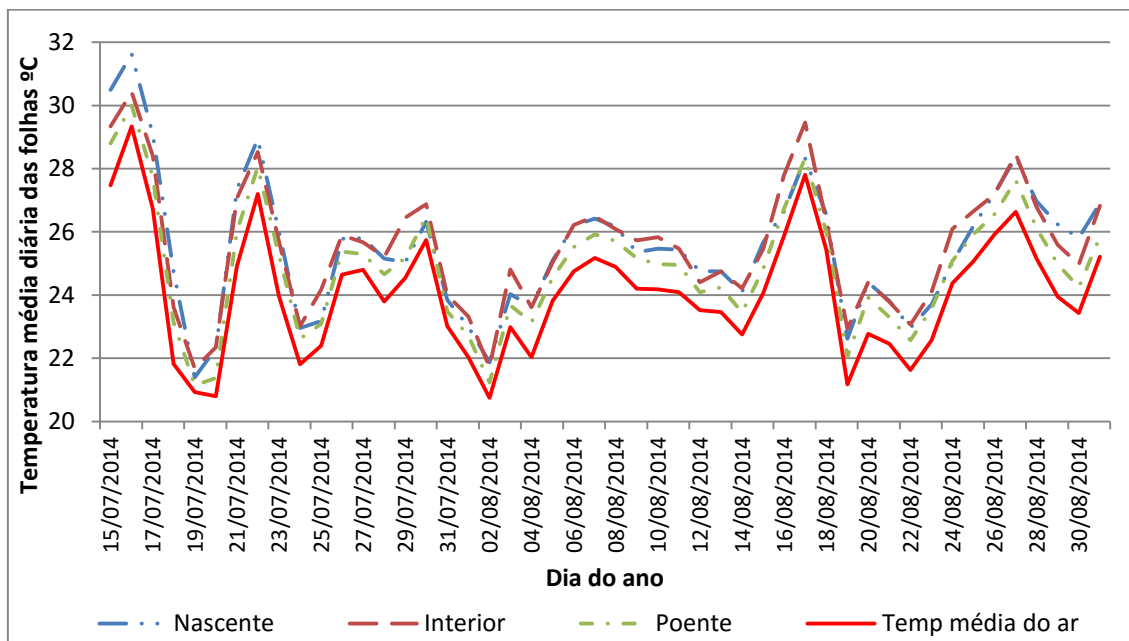


Figura 19 - Gráfico da temperatura média diária das folhas, relativo à ilha #601 (RDI), do pintor à vindima.

Neste gráfico verifica-se que, tal como nos bagos, a temperatura das folhas acompanha a temperatura do ar, embora ligeiramente maior do que a temperatura do ar devido à maior exposição à radiação pela parte da folha. A maior temperatura média registada no período observado foi de 31,6°C, na folha do lado nascente, no dia 16/07, que coincidiu com um dia de rega. A temperatura máxima registada foi de 47,3°C, na folha interior, que corresponde ao dia 17/07 do ano. É suposto a folha localizada no interior do coberto estar protegida de luz directa do sol, no entanto, neste caso, devido à modificação do local do sensor devido à queda deste, a folha escolhida ficou mais exposta do que o pretendido, possivelmente por senescência das folhas basais. A temperatura mínima (11°C) ocorreu no dia 31/07 no sensor do lado nascente

As temperaturas médias diárias das folhas relativas à ilha #603 – RDI são apresentadas no gráfico da figura 20. No início das medições já havia algum stress,

pele que a baixa temperatura das folhas relativamente à do temperatura do ar pode dever-se a algum problema no sistema de aquisição de dados da ilha.

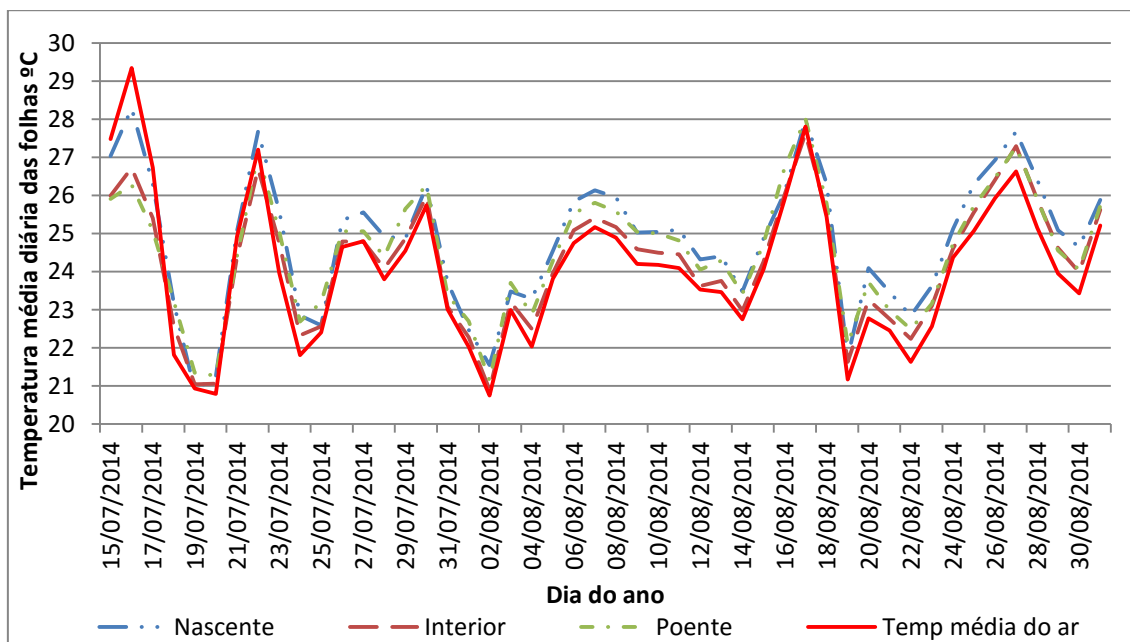


Figura 20 – Evolução da temperatura média diária das folhas, relativo à ilha #603 (SDI), do pintor à vindima.

Tal como aconteceu no gráfico de temperaturas médias dos bagos, também aqui no dia 16/07 a temperatura do ar foi superior à temperatura das folhas. Este facto pode dever-se à melhor dissipação do calor, através da transpiração, numa folha cujo tratamento forneceu mais água, e também por não ser na altura de maior stress hídrico. A temperatura média máxima foi de 28,3°C, na folha localizada no lado nascente, no dia 16/07. A temperatura máxima registada ocorreu na folha do lado poente da sebe, no dia 16/08 e foi de 27,3°C, já a temperatura mínima foi de 11°C, na folha do lado nascente da sebe, no dia 14/08.

Comparando o gráfico da temperatura média diária das folhas SDI com o RDI pode facilmente ver-se que a diferença entre a temperatura do ar e a temperatura das folhas é menor na modalidade SDI. Mais uma vez, apesar da pouca diferença entre tratamentos, parece haver uma melhor dissipação de calor pela parte das folhas da modalidade SDI.

A diferença entre a temperatura do ar e a média das temperaturas dos sensores da folha foi normalizada e pode ver-se no gráfico da figura 21, que nos mostra que a modalidade SDI apresenta maiores diferenças de temperatura relativamente à temperatura média do ar, à excepção do dia 30/08. A explicação destas diferenças

pode estar no facto da modalidade SDI ter maior dotação de rega em relação à modalidade RDI e por isso as folhas da modalidade SDI têm melhor capacidade de transpiração, o que leva a uma maior dissipação da temperatura.

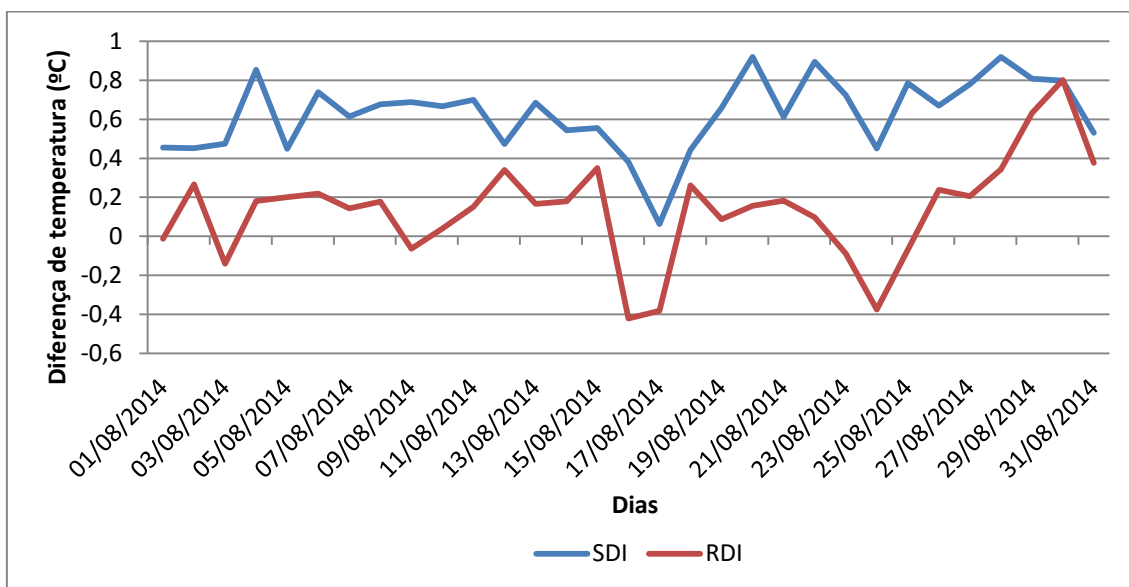


Figura 21 - Diferença das médias diárias das temperaturas da folha com a temperatura média diária do ar, em Agosto. SDI – Sustainable Deficit Irrigation; RDI – Regulated Deficit Irrigation.

4.10 - Evolução diária da temperatura das folhas

Tal como se pode verificar no gráfico da figura 22, o padrão diário da temperatura das folhas tem algumas diferenças relativamente ao padrão registado para os bagos.

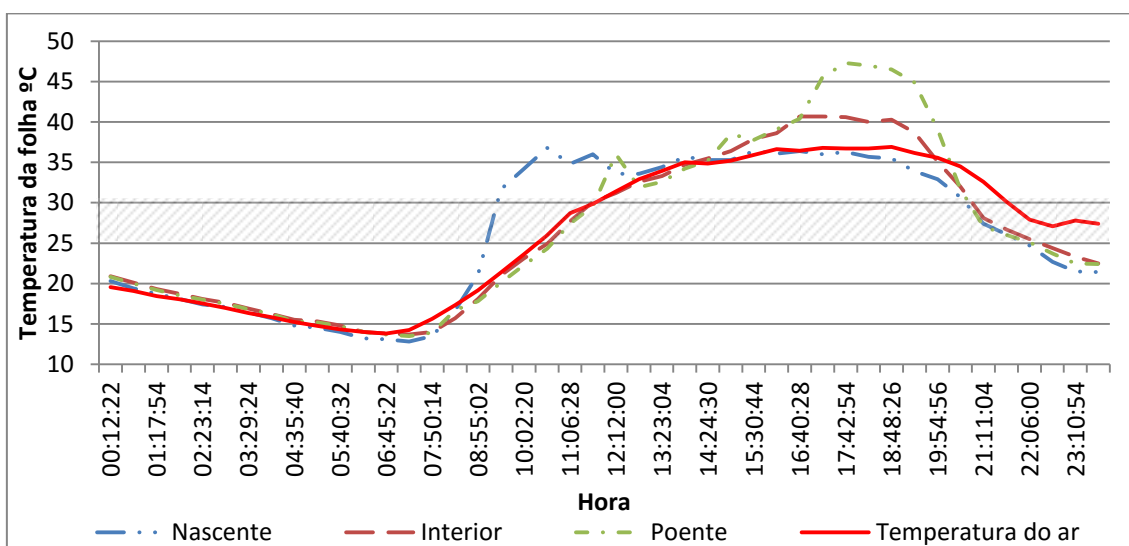


Figura 22 - Gráfico da evolução da temperatura da folha ao longo de um dia, da ilha #603 (SDI). Zona sombreada corresponde às temperaturas ótimas de fotossíntese (Keller, 2010).

A partir das 8h30 a temperatura do ar começa a subir, assim como a temperatura das folhas. A folha do lado nascente, por receber radiação do sol directamente vai

aumentar a sua temperatura em relação às outras. As temperaturas, tanto do ar como das folhas, continuam a aumentar, até estabilizarem, por volta das 15h30. Nesta fase, com o sol do lado poente, é a folha voltada a poente que aumenta a temperatura até chegar aos 47,3°C. Esta gama de temperaturas pode desnaturar proteínas e afectar severamente o funcionamento de alguns processos fotossintéticos da folha (Keller, 2010). Após o pico de temperatura, e devido à menor quantidade de radiação, pelas 19h30, a temperatura começa a diminuir. A temperatura vai diminuir até às 08h30 do dia seguinte, altura em que começa um novo ciclo.

4.11 - Fluxo de seiva

Aplicando a formula proposta por Granier (1985), podemos perceber que quanto menor a diferença de temperatura entre a agulha com a resistência e a agulha de referência maior vai ser o fluxo de seiva. Este resultado deve-se à ascensão da seiva na planta, que leva à dissipação do calor gerado pela agulha com corrente constante. Os resultados apresentados foram normalizados com as respectivas áreas foliares.

No gráfico da figura 23, referente ao dia 16/08, verifica-se que, logo que começa a haver radiação incidente nas folhas, por volta das 7h30, começa a dar-se a transpiração, o que leva à saída de vapor de água, via estomas. Nesta altura o calor em volta da agulha aquecida, começa a ser dissipado e a temperatura a diminuir, resultando numa menor diferença entre a agulha aquecida e a agulha de referência, e por consequência, maior fluxo de seiva. Como se pode verificar no gráfico da figura 23, o fluxo de seiva da planta da ilha #603, com rega SDI, obtém valores diurnos mais altos do que os valores da planta da ilha #601 (RDI). A planta referente à ilha da modalidade SDI atinge, um máximo diário de 0,93 l/h, enquanto que a planta da ilha da modalidade RDI se fica por um máximo de 0,37 l/h. As plantas atingem os valores máximos entre as 9h30 e 11h00 da manhã, no entanto dá-se uma descida ligeira e estabilização do fluxo da seiva, provavelmente, resultante do fecho parcial dos estomas. Pelas 19h30, os valores do fluxo de seiva começam a descer até valores basais.

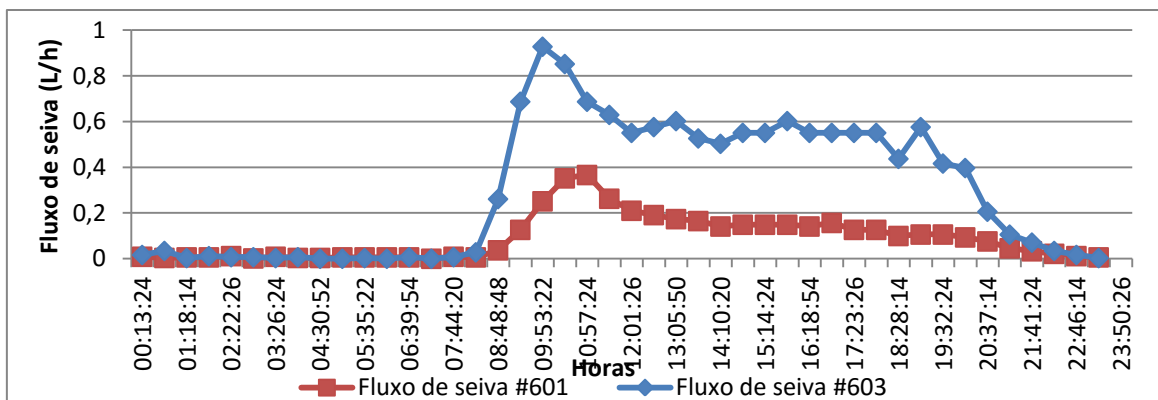


Figura 23 - Gráfico da evolução do fluxo de seiva ao longo do dia em ambas as modalidades de rega.

Como se pode ver nos gráficos das figuras 24 e 25, o fluxo de seiva assume um padrão semelhante mas com ordens de grandeza diferentes. Verificou-se que em 5 das 6 regas referentes à ilha #601 (RDI), no dia seguinte à rega, o valor máximo de fluxo de seiva é maior, o que poderá indicar que, na presença de mais água, a videira também a gastará mais facilmente. Já na ilha #603 (SDI), apenas 6 das 9 regas mostraram o aumento de fluxo de seiva no dia seguinte à rega. O valor máximo de fluxo de seiva atingido pela ilha #601 (RDI) foi de 0,484 l/h (dia 27/07), enquanto que na ilha #603 (SDI) foi de 1,10 l/h (dia 21/08). Esta diferença pode dever-se ao local onde foi inserida a agulha do sensor do fluxo de seiva. Tendo o tronco da videira um diâmetro relativamente pequeno pode influenciar a leitura do sensor do fluxo de seiva.

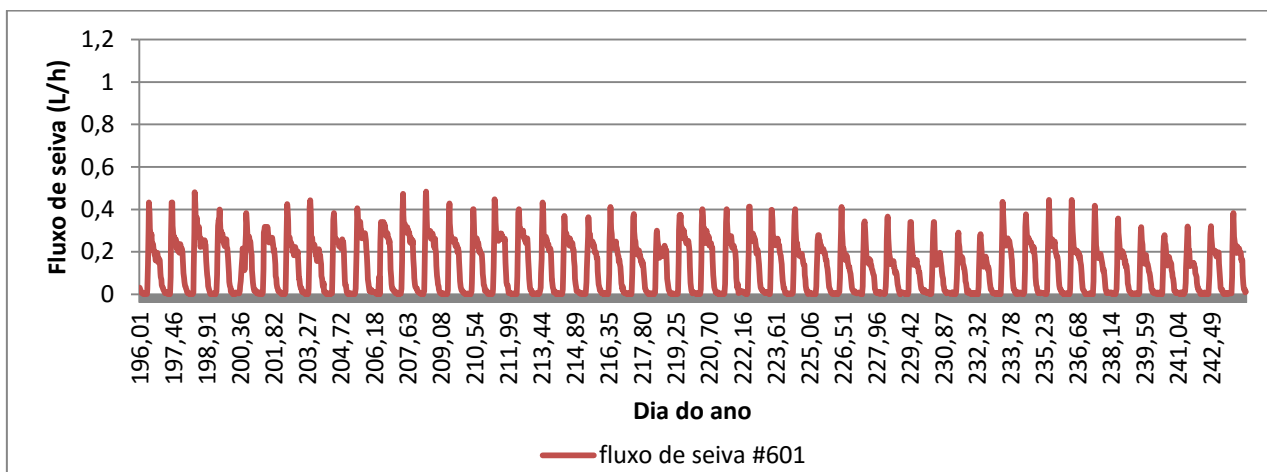


Figura 24 - Evolução do fluxo de seiva do pintor à vindima na ilha #601 (RDI).

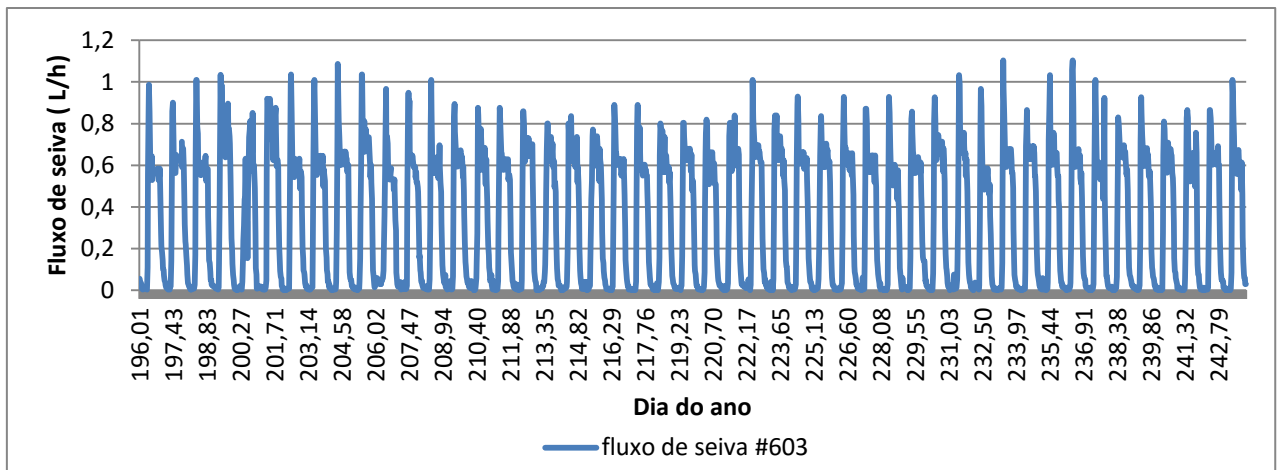


Figura 25- Evolução do fluxo de seiva do pintor à vindima na ilha #603 (SDI).

4.12 - Dendrômetro

Os sensores do diâmetro do tronco foram os que deram mais problemas neste ensaio. Dos 2 dendrômetros disponíveis para a casta Touriga Nacional, apenas um deu valores considerados adequados. Ainda assim, o dendrômetro associado à ilha #601 apresenta vários dados inconsistentes no período estudado, como se pode ver no gráfico da Figura 26.

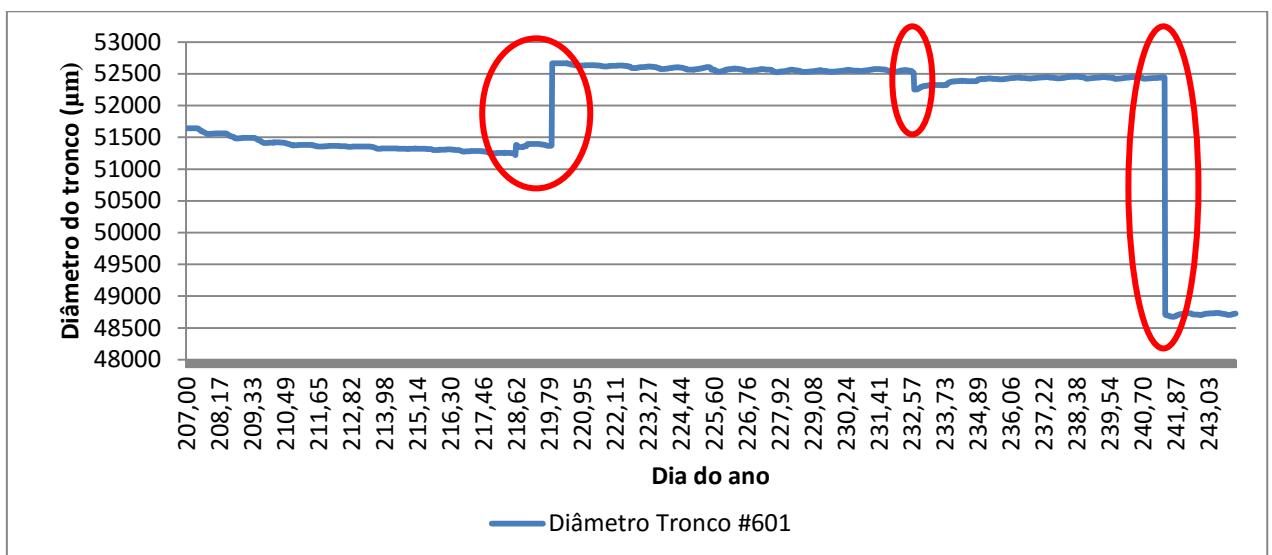


Figura 26 - Evolução dos valores do diâmetro do tronco da ilha #601 (RDI), desde o dia em que começaram a enviar dados até à vindima. Ajustamentos dos dendrômetros delineados a vermelho.

Os pontos realçados a vermelho indicam os dias dos quais se suspeita de alterações dos valores reais. Um aumento ou decréscimo do diâmetro do tronco nunca seria um processo brusco como se vê nos casos apontados pelas setas, mas seria sim, um processo gradual. Como tal, decidiu-se separar 2 períodos em que não ocorreram

anomalias. Como se pode ver no gráfico da figura 27, os dias 26/07 (day of year (doy) 207) a 29/07 (doy 210) apresentam um padrão de descida do diâmetro do tronco devido ao uso de água pela planta e consequente diminuição da água no solo. No entanto, a partir do dia 30/07 (doy 211), esse padrão altera-se. O dia 30/07 foi dia de rega e, possivelmente por isso, há menor variação do diâmetro do tronco nos dias seguintes. No dia 03/08 (doy 215), o gráfico volta a tomar um padrão semelhante àquele apresentado antes da rega, voltando a aumentar ligeiramente a variação diária do diâmetro do tronco. No dia 06/08 (doy 218) dá-se uma subida abrupta do diâmetro do tronco que, apesar de ser num dia de rega, não justifica um aumento tão acentuado. Foi, possivelmente, algum toque involuntário que se deu na proteção do dendrómetro e fluxo de seiva. De qualquer modo, é visível a contração do tronco na videira, visto que no dia 26/07 (doy 207) estava com 51641 μ m de diâmetro do tronco e no dia 06/08 (doy 218), antes de se dar a anomalia, estava com 51248 μ m, o que representa um encolhimento de 393 μ m num período de 11 dias, num dos quais (dia 30/07) com rega.

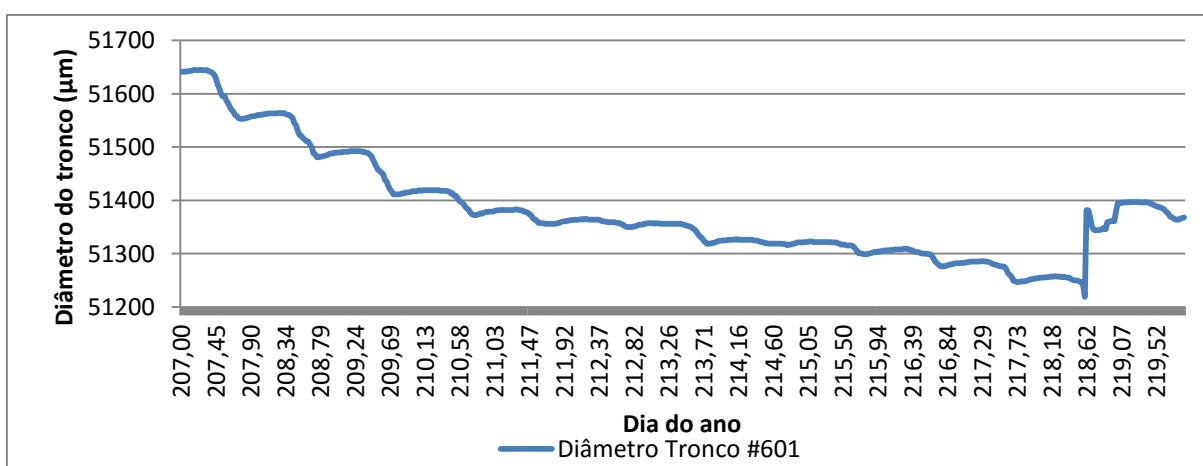


Figura 27 – Evolução dos valores do diâmetro do tronco da ilha #603 (SDI), de dia 207 até ao dia 219.

O gráfico da figura 28, relativo ao período entre o dia 08/08 (doy 220) e 20/08 (doy 232), mostra um padrão semelhante ao gráfico anterior. O diâmetro máximo diário vai diminuindo de um dia para o outro, excepto no dia 13/08 (doy 225) e no dia 19/08 (doy 231) em que o diâmetro máximo diário aumenta. Os aumentos do diâmetro do tronco dão-se quando a absorção da água no solo é maior do que a transpiração da videira. Visto que há água no solo, o aumento do diâmetro máximo diário poderá eventualmente ser de um dia com a demanda evaporativa mais baixa (dia 13/08 e 19/08 tiveram 2 das 3 temperaturas médias do ar mais baixas do período visado no gráfico) que permitiu à planta uma melhor recuperação, ou a planta estar mais

stressada e, por isso, abria menos os estomas de modo a reduzir a transpiração. Neste período (doy 220 até 232) o diâmetro do tronco diminuiu 149 μ m.

Em 2000, Moriana et al. concluiu que o diâmetro máximo diário tem boas correlações com o potencial hídrico de ramo em condições de pouco stress. Quando o stress aumenta, as correlações diminuem, o que faz com que seja um indicador pouco útil para a videira que é uma cultura que, maior parte das vezes, usa níveis de stress altos.

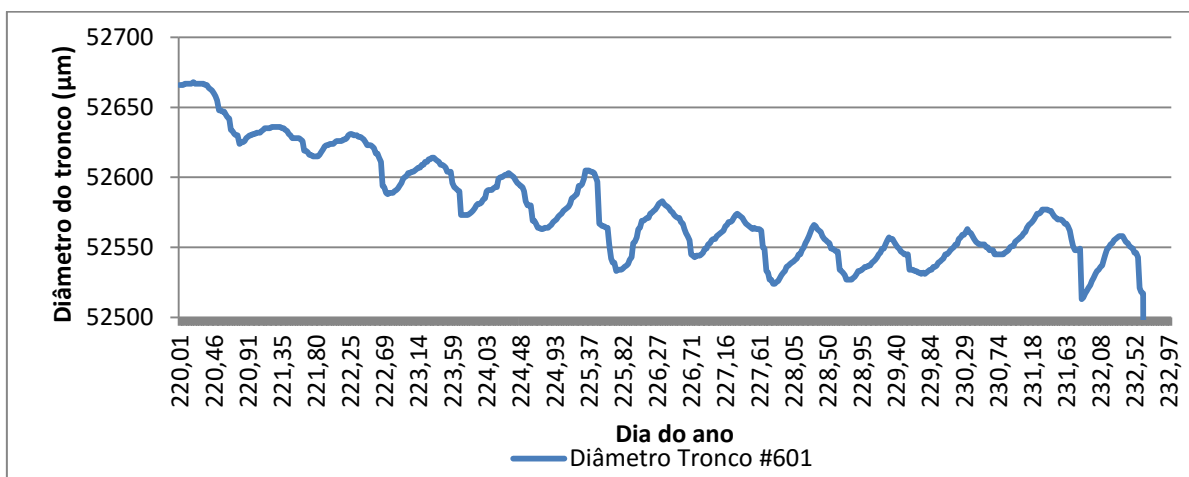


Figura 28 - Evolução dos valores do diâmetro do tronco da ilha #603 (SDI), do dia 220 até ao dia 232.

A evolução do diâmetro do tronco ao longo de um dia está representada no gráfico da figura 29, relativo ao dia 16 de Agosto.

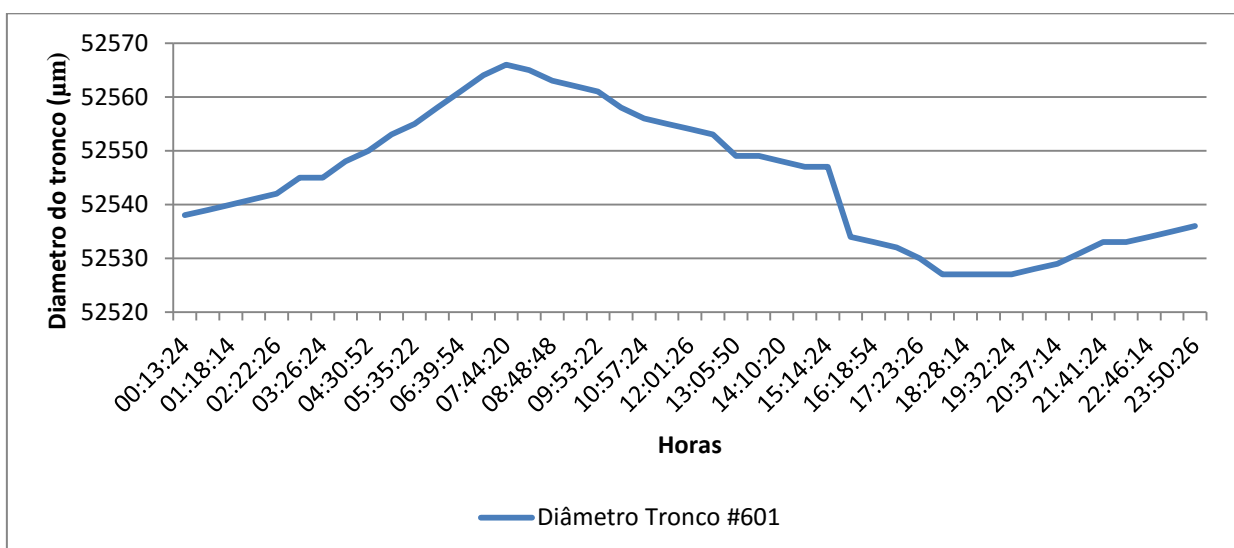


Figura 29 - Evolução dos valores do diâmetro do tronco da ilha #603 (SDI) ao longo de um dia (16/08).

O aumento do diâmetro do tronco dá-se nas horas noturnas. Neste caso nota-se uma recuperação lenta. Durante o dia, devido à transpiração, a videira perde água em

forma de vapor para a atmosfera, o que, quando a absorção de água não é suficiente para compensar, gera um défice de pressão no interior da planta, gerando o encolhimento do diâmetro do tronco. A amplitude máxima a 16/08 foi de 39 μ m.

4.13 - Análise de um ciclo de rega

De modo a compreender os dados colhidos pelos sensores das ilhas, procedeu-se à sua comparação com potenciais hídricos, que vários autores assinalam como bom método para avaliar o estado hídrico da planta. A semana escolhida corresponde à semana em que há maiores diferenças de potenciais hídricos de base entre o dia pós-rega e o dia pré rega. No dia 31 de Julho (dia do ano 212), pós rega, registou-se um potencial hídrico de base de -0,25 para a modalidade SDI e -0,29 para a modalidade RDI; e no dia 5 de Agosto (dia do ano 217) registou-se valor de potencial hídrico de base de -0,49 para a modalidade SDI e de -0,59 para a modalidade RDI. Olhando para os valores dos potenciais hídricos de base, esta foi a semana de maior stress para a videira. Os valores da fração de água utilizável no solo (FTSW) eram de 33% para ambas as modalidades no dia 31 de Julho e passou para 7% na modalidade SDI e 11% na modalidade RDI, no dia 5 de Agosto.

4.13.1 - Análise do Fluxo da seiva num ciclo de rega

No gráfico das figuras 30 e 31 está representada a evolução diária do potencial hídrico foliar diurno (medido às 08h, 11h, 14h, 17h e 20h) em comparação com o fluxo de seiva normalizado (FS norm), para ambas as modalidades (SDI e RDI), no dia posterior à rega (31/7) e no dia antes da rega (05/08), respectivamente.

Em relação ao fluxo de seiva, observou-se que os valores obtidos pelas duas videiras em que foram instalados os sensores possuíam diferenças nas quantidades de fluxo, devido à deficiente calibração dos sensores do fluxo de seiva e/ou devido a diferenças nas reservas úteis de água no solo. Procedeu-se à normalização e transformação desses dados em percentagem do fluxo de seiva ao longo do dia, de forma a obter um gráfico mais fácil de interpretar.

Nos gráficos relativos às figuras 30 e 31, tal como em Silvestre (2003), verificou-se um aumento significativo no fluxo de seiva no início da manhã, entre as 9h00 e 10h30. (Patakas et al., 2005). Um aumento do fluxo de seiva indica um aumento da transpiração de água. Dado que as raízes não conseguem absorver a uma taxa equivalente à transpiração, gera-se uma pressão negativa no interior da videira, daí a

medição do potencial hídrico foliar diurno às 08h ter valores na ordem os -0,5MPa e às 11h ter valores na ordem dos -1,4MPa.

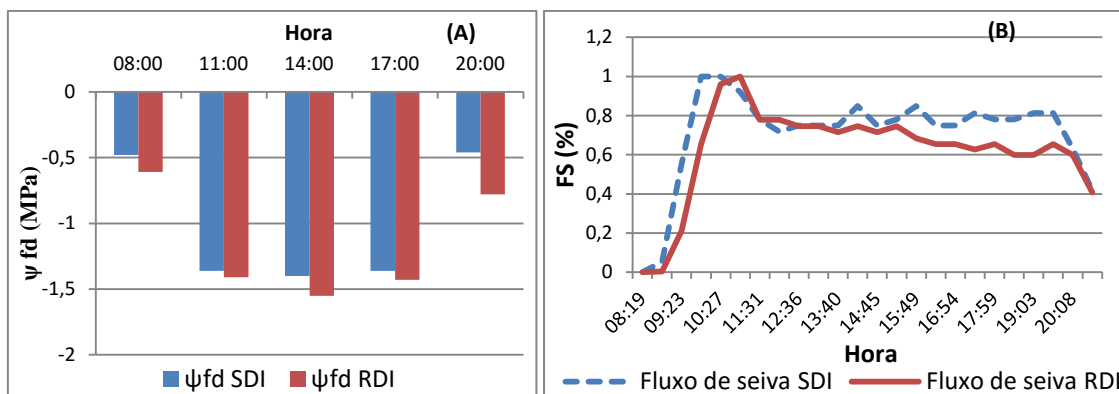


Figura-30 - Percurso dos valores do Ψ Foliar Diário (A) em comparação com a evolução dos valores do fluxo de seiva (B) no dia 31/07/2014, correspondente ao início de um ciclo de rega. RDI – Regulated Deficit Irrigation; SDI – Sustainable Deficit Irrigation.

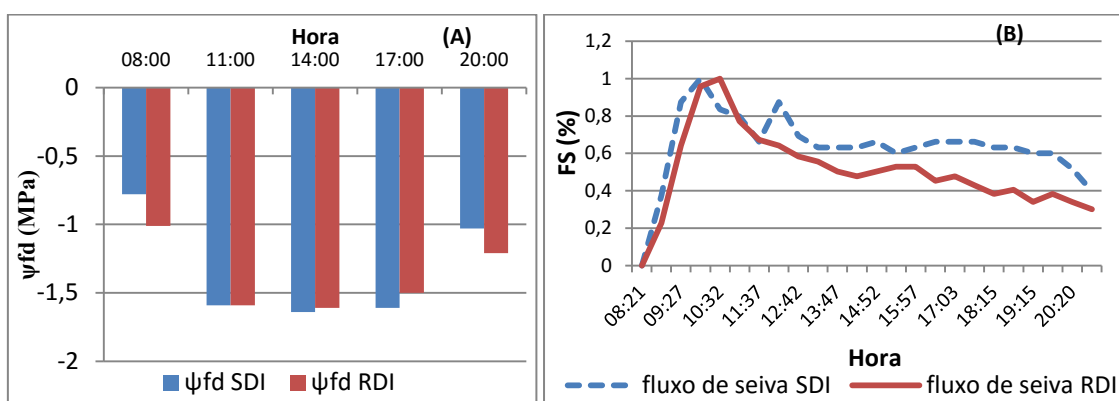


Figura 31 - Percurso dos valores do Ψ Foliar Diário (A) em comparação com a evolução dos valores do fluxo de seiva (B) no dia 5/08/2014, correspondente ao fim de um ciclo de rega. RDI – Regulated Deficit Irrigation; SDI – Sustainable Deficit Irrigation.

No dia após a rega, na videira da ilha #603 (SDI) após o aumento significativo do fluxo de seiva (9h00-10h30), dá-se uma ligeira diminuição deste, até que, por volta das 11h30, estabiliza até às 19h30. Este período de estabilização coincide com a estabilização do potencial hídrico foliar diurno das 11:00h às 17:00h. Na videira da ilha #601 (RDI), nunca se dá uma estabilização total do fluxo de seiva, diminuindo ligeiramente até as 19h30. Em concordância também o potencial hídrico foliar diurno na medição das 17h aumenta ligeiramente, devido à diminuição da transpiração. Após as 19h30 dá-se nova descida significativa do fluxo de seiva, até ao ponto em que a reposição de água na videira pelas raízes seja maior do que a fração transpirada, resultando num aumento do potencial hídrico foliar diurno. Na videira da ilha #603, verifica-se um fluxo de seiva ligeiramente maior do que na videira da ilha #601,

possivelmente pela primeira ter maiores reservas hídricas no solo, resultantes da maior dotação de rega da modalidade SDI. Por consequência dessas reservas hídricas, mesmo transpirando mais, o seu potencial hídrico foliar diurno é sempre ligeiramente superior ao da videira da modalidade RDI.

No dia antes da rega, as videiras estão com os seus potenciais hídricos mais baixos, em resultado das menores disponibilidades hídricas correspondentes ao final do ciclo de dessecação do solo. A evolução do fluxo de seiva e potencial hídrico foliar diurno é semelhante ao verificado no dia pós-rega, à exceção de pequenas diferenças. Após o pico matinal dá-se uma descida maior dos valores do fluxo de seiva em ambas as modalidades. Se assumirmos que associado a um menor fluxo de seiva, há menor transpiração, então, em comparação com o dia pós-rega, o potencial hídrico foliar diurno devia ser menor. No entanto, o que se verifica é um decréscimo do ψ_{fd} em relação ao dia pós rega, pela razão de que a água no solo disponível para as raízes das videiras é também muito menor. No final do dia, em comparação com o dia pós rega, a transpiração diminui muito ligeiramente, e por isso a subida do ψ_{fd} não é tão significativa. Além disso, no dia pré rega, depois dos gastos hídricos de toda a semana, é mais visível a diferença de fluxos de seiva entre as duas modalidades (SDI e RDI).

Quando a água se torna um factor limitante, um aumento da temperatura do ar pode levar ao fecho de estomas reduzindo o fluxo de seiva das plantas stressadas. O fecho de estomas em resposta ao aumento de temperatura do ar é uma estratégia eficaz para evitar perdas de água excessivas em condições de seca e evita que o potencial hídrico desça para níveis perigosos (Tyree and Sperry, 1988).

Temperatura das folhas

Nos gráficos das figuras 32 e 33 estão representados os valores do potencial hídrico foliar diurno e a média das temperaturas medidas nas folhas para o período de pós rega 31/07 e pré rega 05/08. A média da temperatura máxima das folhas, na modalidade RDI, foi de 35,5°C no dia 31/07 e de 37,8°C no dia 05/08, enquanto que a temperatura máxima do ar foi de 32,6°C e 33,7°C nos dias 31/07 e 05/08, respectivamente. A evolução da temperatura média das folhas descreve um percurso idêntico ao da temperatura do ar, sendo o padrão tanto mais paralelo quanto mais dias as videiras estão sem rega ou, por outras palavras, quanto maior o stress hídrico.

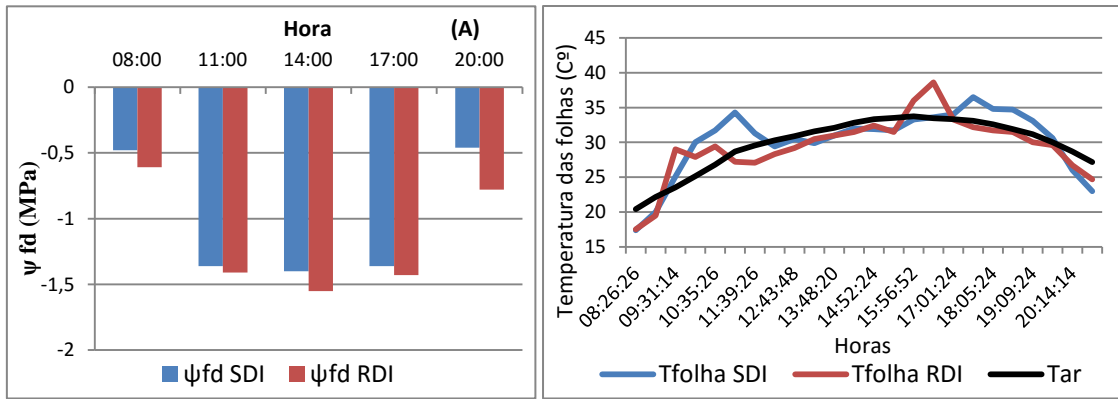


Figura 32 – Evolução diurna da temperatura média da folha (B) em comparação com valores de Ψ_{fd} (A) no dia 31/07/2014, correspondente ao início de um ciclo de rega. Tfolha RDI – Temperatura da folha da modalidade Regulated Deficit Irrigation; Tfolha SDI – Temperatura da folha da modalidade Sustainable Deficit Irrigation; Tar – Temperatura do ar.

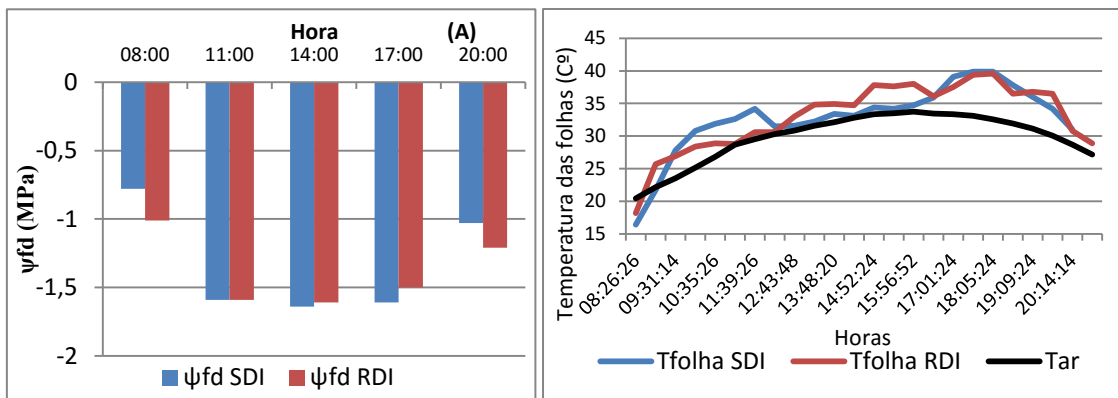


Figura 33 – Evolução diurna da temperatura média das folhas (B) em comparação com valores de Ψ_{fd} (A) no dia 05/08/2014, correspondente ao fim de um ciclo de rega. Tfolha RDI – Temperatura da folha da modalidade Regulated Deficit Irrigation; Tfolha SDI – Temperatura da folha da modalidade Sustainable Deficit Irrigation; Tar – Temperatura do ar.

As médias das temperaturas das folhas têm um crescimento contínuo com o decorrer do dia, até aproximadamente às 17 horas. Já as temperaturas relativas à folha mais exposta da sebe (de manhã lado nascente e tarde lado poente), têm um crescimento também contínuo, até às 17 horas, mas durante a manhã e tarde atingem alguns picos de temperatura devido à maior incidência solar como se verifica na figura 34.

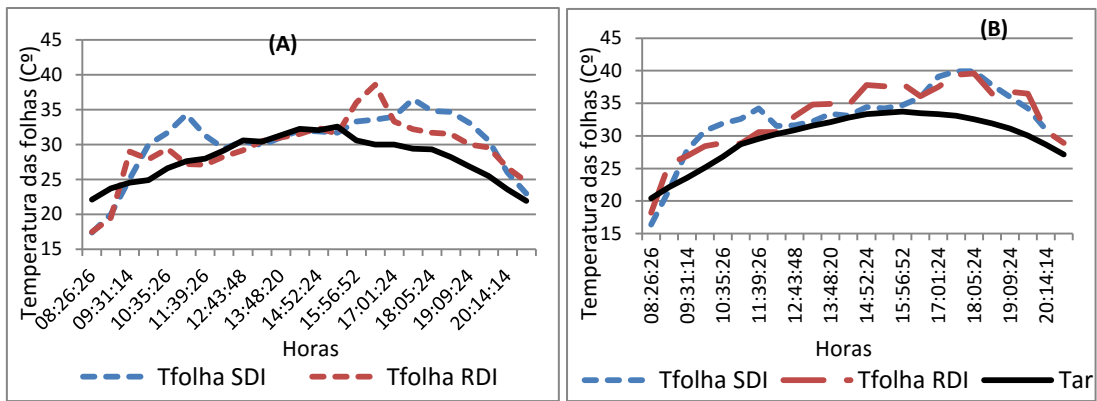


Figura 34 - Comparação das temperaturas das folhas expostas com temperaturas médias das folhas. (A) – Relativo ao dia 31/07 (início de ciclo de rega); (B) – Relativo ao dia 05/08 (fim do ciclo de rega). Tfolha RDI – Temperatura da folha da modalidade Regulated Deficit Irrigation; Tfolha SDI – Temperatura da folha da modalidade Sustainable Deficit Irrigation; Tar – Temperatura do ar.

De acordo com os gráficos da figura 34, no primeiro dia após a rega, as folhas da modalidade RDI apresentaram um temperatura mais elevada (38,6°C) do que a modalidade SDI (36,5°C). No final do ciclo de rega, as folhas da modalidade SDI e RDI apresentaram temperaturas similares, de 39,9°C e 39,6°C, respectivamente. Estes resultados mostram, mais uma vez, que a maior diferença de temperatura das folhas com a temperatura do ar se observa logo após a rega, sendo que essa diferença vai diminuindo com o passar dos dias sem rega. Inicialmente a modalidade SDI tem mais água armazenada no solo e, por isso, transpira mais, logo a sua temperatura da folha será menor do que a temperatura da folha da modalidade RDI devido à dissipação do calor. Já a modalidade RDI, por ter menor quantidade de água no solo, não transpirará tanto e por não conseguir dissipar tão bem o calor, tem maior temperatura da folha. Com o passar dos dias, pelo facto das plantas da modalidade SDI transpirem mais, também será maior a sua taxa de depleção de água do solo, chegando a um ponto em que está abaixo do nível da planta da modalidade RDI em termos de recursos hídricos. Como se pode verificar na tabela 7, após a rega, as plantas de ambas as modalidades, tendo água no solo, vão transpirar e dissipar mais facilmente a temperatura das folhas, daí terem baixos coeficientes de correlação com a temperatura do ar. Já nos últimos 2 dias antes da rega, os coeficientes de correlação entre temperatura do ar e temperatura da folha sobem para $R=0,91$ e $R=0,92$, o que significa que as plantas já não dissipam tão facilmente a temperatura das folhas. A dificuldade em dissipar a temperatura pode advir do stress nas plantas, que, a determinado ponto, faz com que estas não efectuem uma transpiração eficiente devido ao fecho dos estomas.

Tabela 7- Coeficientes de correlação entre a temperatura do ar e a média da temperatura das folhas de um período correspondente a um ciclo de rega. RDI – Regulated Deficit Irrigation; SDI – Sustainable Deficit Irrigation

Data	Coeficiente de correlação da temperatura do ar e temperatura da folha	
	RDI	SDI
31/jul	0,61	0,67
01/ago	0,92	0,85
02/ago	0,85	0,74
03/ago	0,83	0,77
04/ago	0,91	0,92
05/ago	0,93	0,92

Temperatura dos bagos

Nas figuras 35 e 36 estão representadas as temperaturas medidas nos bagos para o período de rega de 31/07 e 05/08. As temperaturas máximas observadas referentes ao dia 31/07 foram de 34,5°C e 33,2°C para as modalidades RDI e SDI respectivamente. Já no dia 05/08 as temperaturas máximas observadas foram semelhantes para ambas as modalidades (36,8°C).

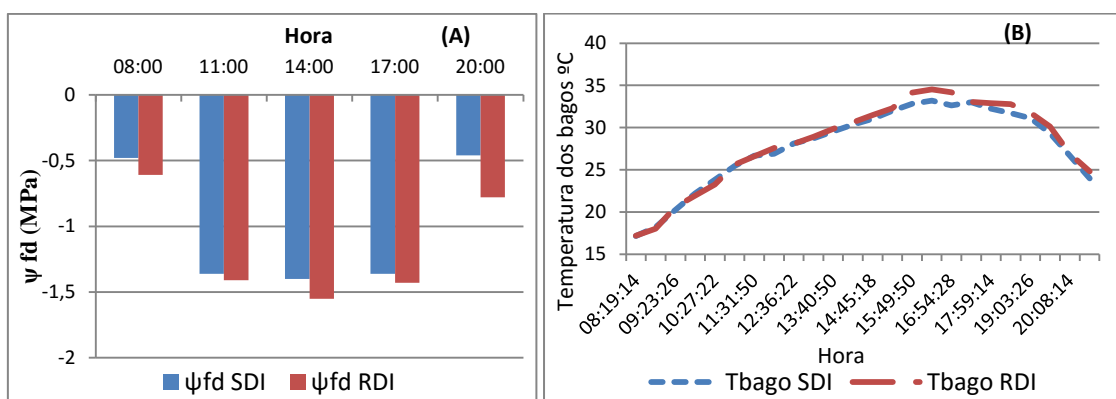


Figura 35- Evolução diurna da temperatura média dos bagos (B) em comparação com valores de Ψ_{fd} (A) no dia 31/07/2014, correspondente ao início de um ciclo de rega. Tbago RDI – Temperatura do bago da modalidade Regulated Deficit Irrigation; Tbago SDI – Temperatura do bago da modalidade Sustainable Deficit Irrigation.

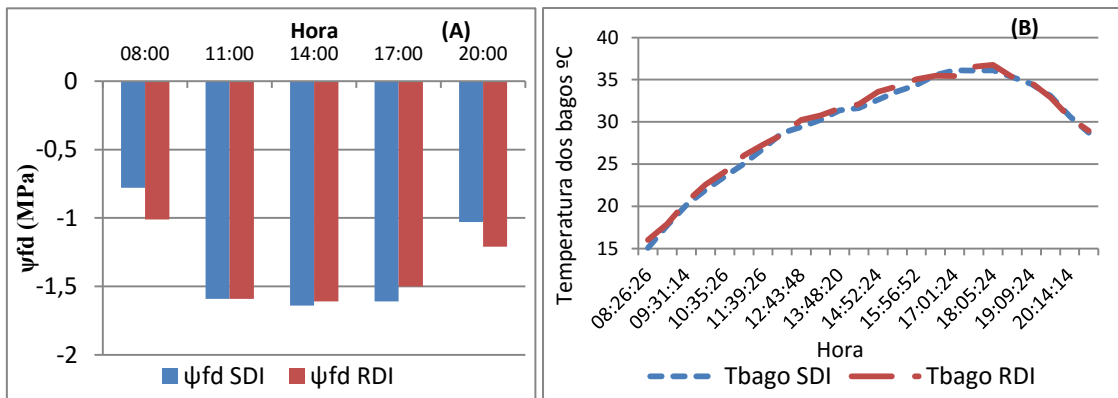


Figura 36 – Evolução diurna da temperatura média dos bagos (B) em comparação com valores de Ψ_{fd} (A) no dia 05/08/2014, correspondente ao fim de um ciclo de rega. Tbagos RDI – Temperatura do bago da modalidade Regulated Deficit Irrigation; Tbagos SDI – Temperatura do bago da modalidade Sustainable Deficit Irrigation.

Analisando as figuras 35 e 36, verifica-se que ambas as modalidades partilham um igual padrão de evolução da temperatura diurna dos bagos. Embora no fim do ciclo de rega a temperatura dos bagos seja ligeiramente maior, esta pequena diferença não se pode atribuir à diminuição das disponibilidades hídricas das videiras, pois os bagos não possuem estomas, logo pouco ou nada poderão influenciar a dissipação de calor nos bagos. Neste caso apenas a circulação do ar exterior servirá para a dissipação de calor no bago (Coombe, 1986), logo a diferença de temperatura deve-se em maior parte a um aumento da temperatura do ar.

Humidade do solo

Os gráficos das figuras 37 e 38 mostram a evolução do perfil da água do solo no dia 31/07 e dia 05/08, respectivamente. Para facilitar a leitura, os resultados dos sensores de água no solo às várias profundidades (20, 40 e 60 cm) foram transformados em fração da água utilizável no solo.

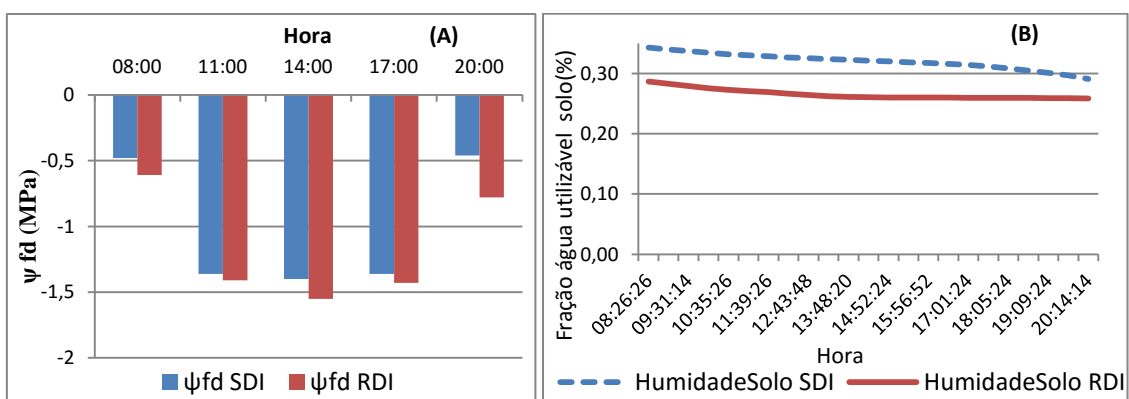


Figura 37 – Evolução diurna das fração de água utilizável no solo (B) em comparação com valores de Ψ_{fd} (A) no dia 31/07/2014, correspondente ao início de um ciclo de rega. RDI – Regulated Deficit Irrigation; SDI – Sustainable Deficit Irrigation.

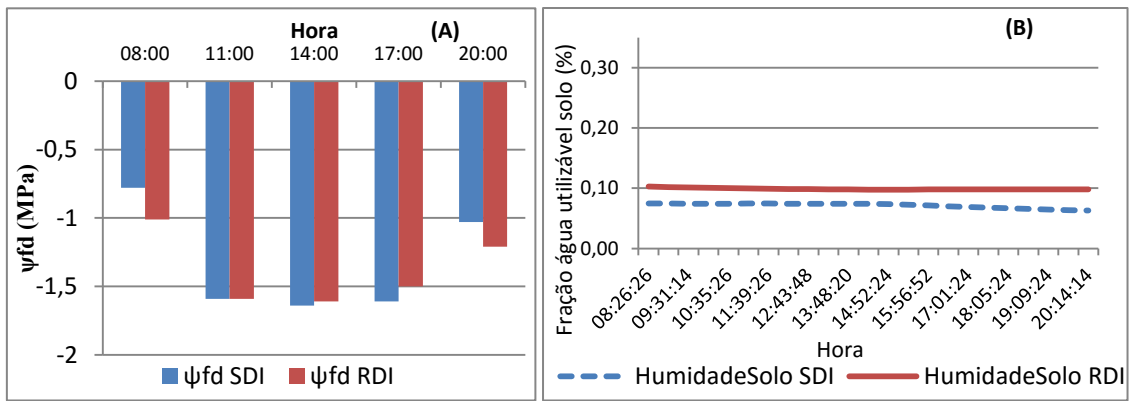


Figura 38 – Evolução diurna das fração de água utilizável no solo (B) em comparação com valores de Ψ_{fd} (A) no dia 05/08/2014, correspondente ao fim de um ciclo de rega. RDI – Regulated Deficit Irrigation; SDI – Sustainable Deficit Irrigation.

Logo após a rega, é possível verificar que a fração de água utilizável no solo é diferente em ambas as modalidades. No dia 31/07 a fração de água utilizável no solo está nos 34% para a modalidade SDI e nos 29% para a modalidade RDI. Nos períodos de rega, ambas as modalidades receberam as mesmas quantidades de água, no entanto, ao longo da época de maturação fizeram-se menos regas no RDI, daí apresentar um valor inferior ao SDI. A fração de água utilizável no solo da modalidade RDI, começa a descer no início do dia até, por volta das 14h estabilizar, indicando que não terá sido gasta mais água do solo, ou que está a ser gasta em quantidades muito pequenas. Já na modalidade SDI, deu-se uma queda de 5 pontos percentuais em relação à água no solo, com uma descida ao longo de todo o dia.

O dia anterior à rega (05/08) mostra um cenário bastante adverso para ambas as modalidades, tendo uma fração de água utilizável no solo de 10% para a RDI e de 7% para a SDI. Neste caso, a modalidade SDI tem menos água que a modalidade RDI, o que faz sentido se olharmos para os resultados do fluxo de seiva e da temperatura das folhas. Tendo os valores do fluxo de seiva altos, poderá indicar maior transpiração, o que vai implicar um maior gasto da água disponível no solo pela planta. Também foi possível verificar que nas duas modalidades, ao fim de 4 dias sem rega, a temperatura das folhas começou a mostrar maiores coeficientes de determinação com a temperatura do ar, o que indica uma maior dependência da temperatura do ar com o aumento do stress. (Tabela 7).

Em relação à interação com os potenciais hídricos foliares diurnos, no caso da modalidade RDI, pode-se verificar que é quando o ψ_{fd} chega ao valor mínimo por volta das 14h que também se estabiliza a fração da água utilizável no solo, o que pode resultar de um fechar parcial dos estomas. Já a modalidade SDI tende a diminuir a fração da água utilizável no solo com a diminuição do ψ_{fd} , o que corrobora os dados do

fluxo de seiva que mostram a planta da modalidade SDI sempre com maiores fluxos de seiva do que a modalidade RDI.

4.13.2 - Potenciais estimadores do potencial hídrico de base (ψ_b)

O potencial hídrico de base é dos mais robustos e utilizados indicadores para avaliar o estado hídrico das videiras. O ψ_b medido ao amanhecer fornece uma estimativa da disponibilidade hídrica do solo na zona explorada pelas raízes (Nagarajah, 1989). As vantagens deste indicador é que elimina a variabilidade a curto prazo das respostas estomáticas e detecta diferenças hídricas diárias no solo.

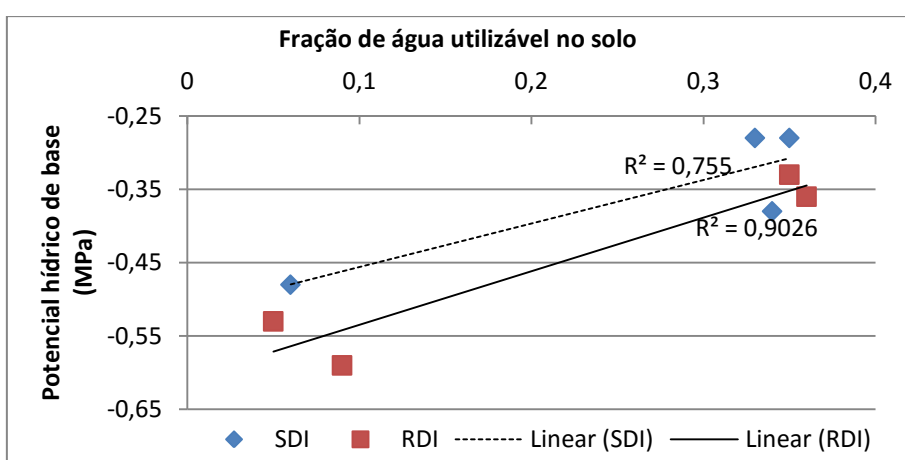


Figura 39 - Análise de regressão entre a Fração de água utilizável no solo (variável independente) e o Potencial Hídrico Foliar de Base (variável dependente) entre 7 de Agosto e 21 de Agosto.

No gráfico da Figura 39, verificam-se elevados coeficientes de determinação de dia 7 a dia 21 de Agosto entre o ψ_b e a FTSW. O gráfico mostra que com mais água no solo, o ψ_b é maior, o que pode significar uma planta menos stressada. Já um menor nível de água no solo, vai gerar um ψ_b mais baixo, ou seja, mais stress na videira. Conseguiram-se coeficientes de determinação de $R^2=0,90$ para o RDI e de $R^2=0,76$ para o SDI.

Se mantivermos o ψ_b num nível equivalente a stress moderado, poderemos obter um melhor vinho, por melhor relação película/polpa e maior concentração dos constituintes do vinho.

No entanto, adicionando as datas estudadas até agora (31/07 e 05/08), os coeficientes de determinação descem significativamente como se pode ver no gráfico da figura 40.

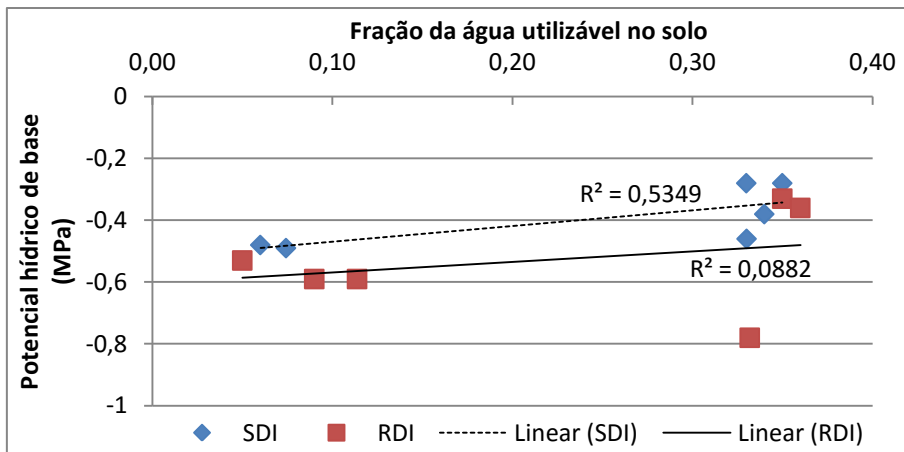


Figura 40 - Análise de regressão entre a Fração de água utilizável no solo (variável independente) e o Potencial Hídrico Foliar de Base (variável dependente) entre 31 de Julho e 21 de Agosto.

É possível averiguar que há um valor atípico no RDI que faz com que o coeficiente de determinação diminua para $R^2=0,09$. Já na modalidade SDI diminui para $R^2=0,53$. O que se passa no outlier é que para um ψ_b muito baixo está associado um nível de água no solo que supostamente daria algum conforto hídrico à planta e por isso teria um ψ_b mais alto.

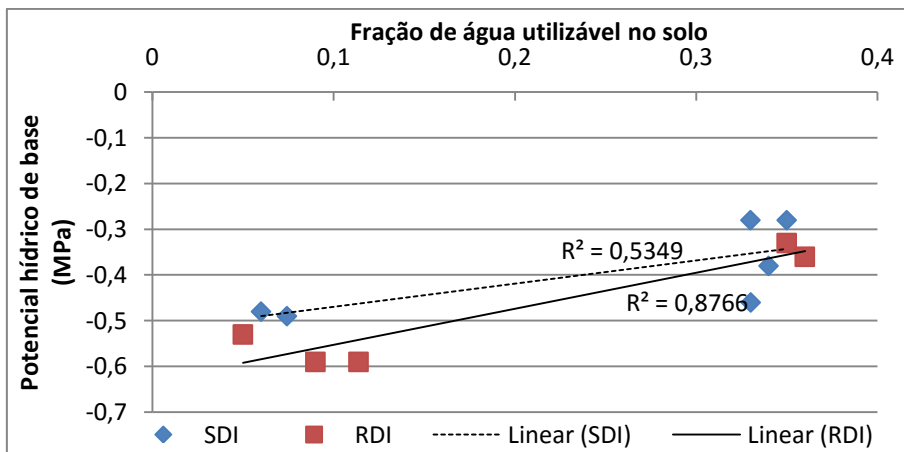


Figura 41 - Análise de regressão entre a Fração de água utilizável no solo (variável independente) e o Potencial Hídrico Foliar de Base (variável dependente) entre 31 de Julho e 21 de Agosto, sem o outlier RDI.

Como se pode verificar na figura 41, retirando o outlier, o R^2 sobe para 0,88, corroborando os coeficientes de determinação anteriormente apresentados.

4.13.3 - Potenciais estimadores do potencial hídrico foliar diurno (ψ_{fd})

O ψ_{fd} tem sido usado como um índice do estado hídrico por reflectir uma combinação de variáveis como o défice de pressão de vapor, interceptação de radiação solar, fração de água utilizável no solo, condutividade interna da planta e condutância estomática (Patakas, 1997).

No gráfico da figura 42, referente à correlação entre o potencial hídrico foliar diurno e a temperatura das folhas, não se encontram coeficientes de determinação muito altos, no entanto, percebe-se que temperaturas da folha mais altas estão associadas a potenciais hídricos foliares diurnos mais baixos.

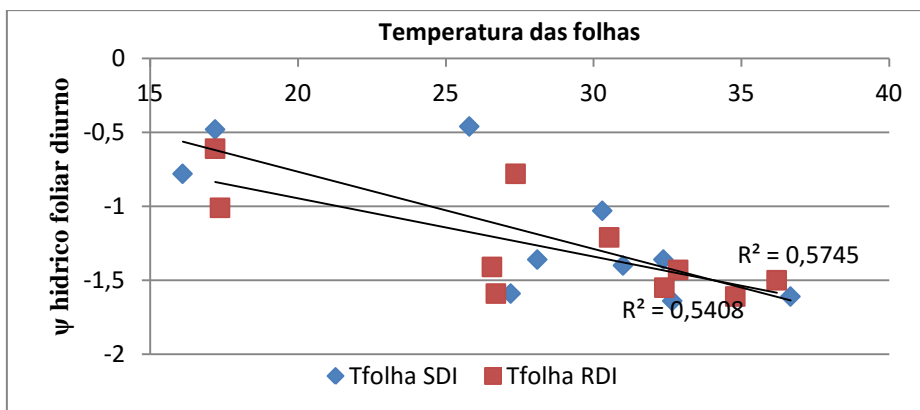


Figura 42 - Análise de regressão entre as temperaturas das folhas (variável independente) e o ψ_{fd} (variável dependente) de 31/07 e 05/08.

Nos gráficos da figura 43, comparam-se os coeficientes de determinação entre o ψ_{fd} e a temperatura das folhas depois (A) e antes da rega (B) (gráficos separados). Existe um maior coeficiente de determinação depois da rega, visto que, maior quantidade de água disponível, permite à videira melhor transpiração, e, por consequência melhor regulação da sua temperatura.

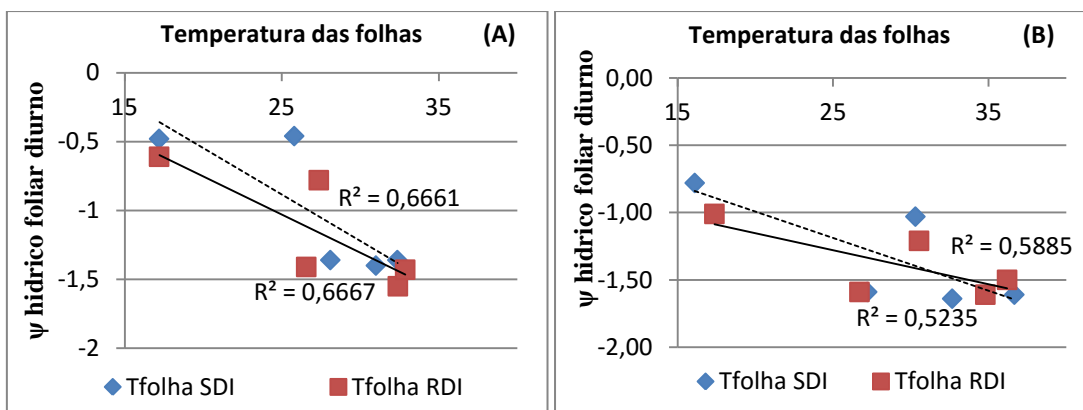


Figura 43 - Gráficos com análise de regressão da temperatura das folhas (variável independente) com o ψ_{fd} (variável dependente) do dia 31/07 (A) e 05/08 (B), respectivamente.

Nos gráficos da figura 44, verifica-se um aumento do coeficiente de determinação do fluxo de seiva do dia pós-rega (31/07) até ao dia pré-rega (05/08). Isto pode significar que com a diminuição de água no solo, a videira começa a gerir melhor os seus recursos hídricos, fechando os estomas. Enquanto que após a rega não haverá grande controlo estomático e a transpiração decorre sem restrições, depois de uns dias sem rega, o stress hídrico aumenta (diminuição do potencial hídrico de base) e é

necessário preservar água, logo haverá menor fluxo de seiva e por consequência, menor transpiração.

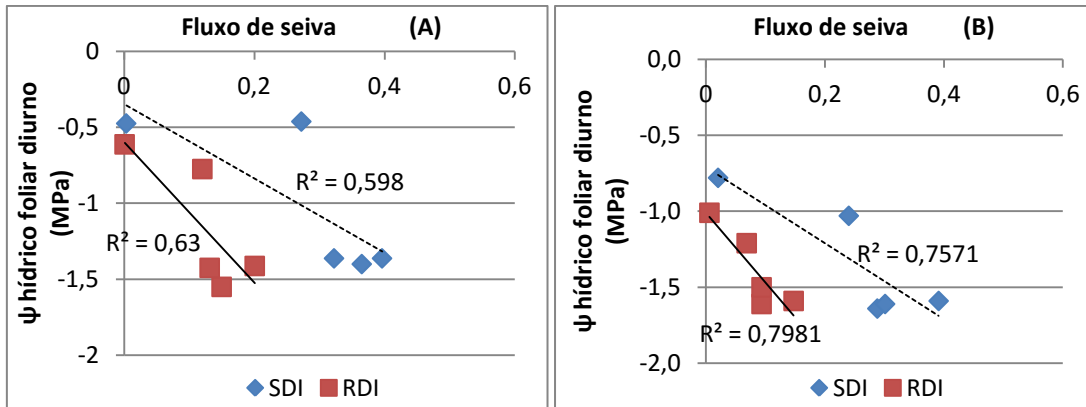


Figura 44 - Gráficos com análise de regressão do fluxo de seiva (variável independente) com o ψ_{fd} (variável dependente) do dia 31/07 (A) e 05/08 (B), respectivamente.

No caso do gráfico da figura 45, a temperatura do ar mostrou melhores correlações com o ψ_{fd} com $R^2=0,81$ e $R^2=0,78$. Além da temperatura do ar ser um método de recolha de informação bastante simples, tem grande influência no ψ_{fd} , permitindo que este modelo explique aproximadamente 80% da variabilidade do ψ_{fd} .

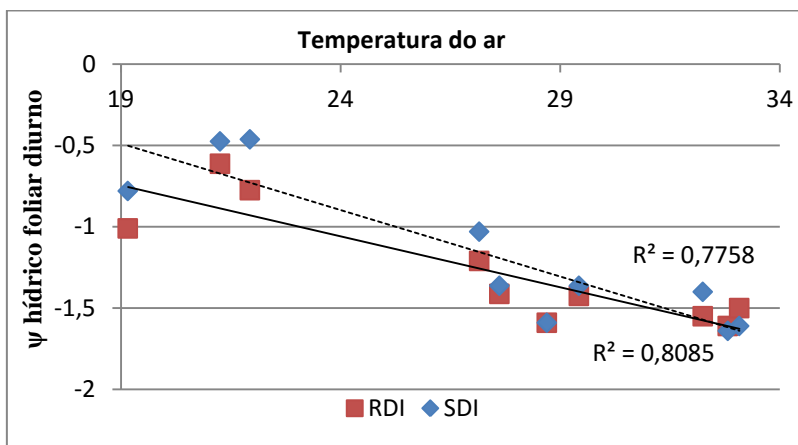


Figura 45 - Análise de regressão da temperatura do ar (variável independente) com o ψ_{fd} (variável dependente) do dia 31/07 e 05/08.

5 - Conclusões

Este projecto é referente ao segundo ano do projecto Innovine (acordo garantido nº FT7-311775). Alguns problemas do ano anterior conseguiram ser resolvidos, no entanto ainda há margem de progressão para gerar resultados mais fidedignos.

No que toca à rega, o Esporão é uma das maiores empresas do Alentejo e, como tal, devido à imensa área de vinha que gere, tem uma gestão da rega muito boa. Isto levou a que a rega efectuada pelo Esporão (SDI), ficasse bastante próxima da rega imposta pela modalidade RDI, gerida pela nossa equipa. Tal facto levou a que não se tivessem detetado grandes diferenças entre as modalidades, no entanto, podem-se ver ligeiras diferenças no comportamento das videiras.

Os dendrómetros revelaram que em termos de instalação e funcionamento ainda precisam de várias melhorias, enquanto que nos sensores de temperatura da folha necessitam de um formato semelhante aos usados nos bagos para melhor fixação à planta.

Verificou-se que as temperaturas das folhas oscilaram entre os 6,1°C e os 48,7°C na modalidade RDI e entre os 9,2°C e os 47,3°C na modalidade SDI.

Relativamente à temperatura dos bagos os valores oscilaram entre os 6,1°C e os 49°C em ambas as modalidades.

Observando os resultados das duas modalidades de rega conclui-se que a modalidade RDI induz um maior stress hídrico nas videiras caracterizado por potenciais hídricos menores e temperaturas das folhas mais elevadas em comparação com a modalidade SDI.

Através das relações dos dados obtidos por fitomonitorização (fluxo de seiva, diâmetro do tronco, temperatura da folha e bago) e dos dados fisiológicos obtidos pela equipa (ψ_b e ψ_{fd}), podemos concluir que os sensores mais passíveis de serem utilizados como estimadores de parâmetros fisiológicos são a temperatura do ar (como estimadores do potencial hídrico foliar diurno) e a humidade do solo (como estimador do potencial hídrico foliar de base). A temperatura do ar é dos factores mais importantes no que toca à regulação da condutância estomática (Keller, 2010) e vários mecanismos das plantas são activados pela temperatura. A variação da fração de água disponível no solo, faz com que a planta se adapte, e conseqüentemente tente fazer uma melhor gestão dos recursos hídricos disponíveis.

Com este estudo verificou-se que a fitomonitorização da planta através de sensores, para melhor gestão dos recursos hídricos, é uma mais valia na avaliação das respostas fisiológicas das plantas. No entanto, as respostas fisiológicas das plantas necessitam de boas interpretações dos valores para que as medidas de gestão tomadas possam surtir efeitos benéficos na planta e no ambiente.

A fitomonitorização ainda tem muito espaço para evoluir, fruto da complexidade e quantidade de variáveis que podem levar uma planta a ter diferentes respostas. Além disso é preciso um know-how especializado para instalação, utilização e interpretação dos resultados.

A utilização da fitomonitorização não deve nunca substituir o acompanhamento presencial dos técnicos no terreno, pois a combinação destas duas formas de acompanhar as videiras é que permite tomar decisões mais robustas e eficazes.

6 - Bibliografia

AgroSustentável (2014) Eficiência Energética. <http://www.agrosustentavel.com/eficiencia-energetica/> . Acedido em: 05/11/2014.

Amerine M. A., Winkler A. T. (1944) Composition and quality of musts and wines of California grapes. *Hilgardia* (University of California) **15**: 493–673.

Bohm J. (2007) O Grande Livro das Castas. Chaves Ferreira Publicações.

Braun P., Schmid J. (1999) Sap flow measurements in grapevines. Stem morphology and the use of the heat balance method. *Plant Soil*, 215: 39-45.

Buss P., Dalton M., Olden S., Guy R. (2005) Precision management in viticulture – an overview of an Australian integrated approach. *Proceedings of the Internacional Seminar “The role and importance of integrated soil and water management for orchard development”*: 51-57. Itália, Roma. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2005.

Carter S. (2006) The Projected Influence of Climate Change on the South African Wine Industry. Interim Report IR-06-043, International Institute for Applied Systems Analysis. 33 pp.

Centeno A., Baeza P., Lissarrague J. P. (2010) Relationship between soil and plant water status in wine grapes under various water deficit regimes. *Hortechology*, 20: 585-593.

Champagnol F. (1984). *Eléments de physiologie de la vigne et de viticulture générale*. Montpellier.France.

Chaves M.M. (1986). *Fotossíntese e repartição dos produtos de assimilação em vitis vinifera L.* Dissertação de doutoramento, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.

Chaves M. M., Santos T.P., Sousa C. R., Ortuño M. F., Rodrigues M. L., Lopes C. M., Maroco J. P., Pereira J. S. (2007) Deficit irrigation in grapevine improves water-use efficiency while controlling vigour and production quality. *Annals of Applied Biology*, 150: 237-252.

Cifre J., Bota J., Escalona J. M., Medrano H., Flexas J. (2005) Physiological tools for irrigation scheduling in grapevine (*Vitis vinifera* L.) - An open gate to improve water-use efficiency? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 106: 159-170.

Conejero W., Alarcón J.J., García-Orellana Y., Abrisqueta J.M., Torrecillas A. (2007) Daily sap flow and maximum daily trunk shrinkage measurements for diagnosing water stress in early maturing peach trees during the post-harvest period. *Tree Physiology*, 27: 81-88.

Coombe B. G. (1986) Influence of temperature on composition and quality of grapes. *Acta Horticulturae*, Davis, 206: 23-35. (Symposium on Grapevine Canopy and Vigor Management).

- Cortell J. M., Halbleib M., Gallagher A. V., Righetti T. L., Kennedy J. A. (2005) Influence of vine vigor on grape (*Vitis vinifera* L. cv. Pinot noir) and wine proanthocyanidins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 5798-5808.
- Cortell J. M., Halbleib M., Gallagher A. V., Righetti T.L., Kennedy J. A. (2007) Influence of vine vigor on grape (*Vitis vinifera* L. cv. Pinot noir) anthocyanins. Anthocyanins and pigmented polymers in wine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55: 6585-6595.
- De la Rosa J.M., Conesa M.R., Domingo R., Torres R., Pérez-Pastor A. (2013) Feasibility of using trunk diameter fluctuation and stem water potential reference lines for irrigation scheduling of early nectarine trees. *Agricultural Water Management*, 126: 133-141.
- Deloire A., Kraeva E., Andary C. (2000) Les défenses naturelles de la vigne. *Progrès Agricole et Viticole*, 117: 254-262.
- Deloire A., Carbonneau A., Ojeda H., Wang Z. (2004) La vigne et l'eau. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 38: 1–13.
- Dry P. R. (2005) Irrigation deficit strategies for maximising water use and wine quality in Australia. University of Adelaide.
- Escalona J., Flexas J., Medrano H. (2002) Drought effects on water flow, photosynthesis and growth of potted grapevines. *Vitis*, 41: 57-62.
- Etchebarne F., Ojeda H., Deloire A. (2009) Grape berry mineral composition in relation to vine water status and leaf area/fruit ratio. In: Roubelakis-Angelakis K.A. (2009) *Grapevine Molecular Physiology and Biotechnology*, 2nd edn., Springer Science.
- Fereres E., Evans R. G. (2006) Irrigation of fruit trees and vines: an introduction. *Irrigation Science*, 24: 55-57.
- Fernandez J.E., Palomo M.J., Diaz-Espejo A., Clothier B.E., Green S.R., Giron I.F., Moreno F. (2001) Heat-pulse measurements of sap flow in olives for automating irrigation: tests, root flow and diagnostics of water stress. *Agricultural Water Management*, 51: 99–123.
- Fernández J. E., Green S. R., Caspari H. W., Díaz-Espejo A., Cuevas M. V. (2008) The use of sap flow measurements for scheduling irrigation in olive, apple and Asian pear trees and in grapevines. *Plant and Soil*, 305: 91-104.
- Fernández J.E., Moreno F., Martín-Palome M.J., Cuevas M.V., Torres-Ruiz J.M., Moriana A. (2011) Combining sap flow and trunk diameter measurements to assess water needs in mature olive orchards. *Environmental and Experimental Botany*, 72: 330-338.
- Gamon J.A., Pearcy R.W. (1990) Photoinhibition in *Vitis californica*. The role of temperature during high-light treatment. *Plant Physiology*, 92: 487-494.
- Geiger D.R., Servaites J.C. (1991) Carbon allocation and responses to stress. *Response of Plants to Multiple Stresses*: 103–127. San Diego: Academic Press.

Goode J., Harrop S. (2011) *Authentic Wine – toward natural and sustainable winemaking*. University of California Press. ISBN 978-0-520-26563-9

Granier A. (1985) Une nouvelle method pour la mesure du flux de sève brute dans le tronc des arbres. *Annals of Forest Science*, 42: 193-200.

Grant O.M., Tronina L., Jones H.G., Chaves M.M. (2007) Exploring thermal imaging variables for the detection of stress responses in grapevine under different irrigation regimes. *Journal of Experimental Botany*, 58: 815-825.

Gurovich L., Vergara L.M. (2005) Riego deficitario controlado: la clave para la expresión del terroir de vinos premium. In: Seminario Internacional de Manejo de Riego y Suelo en Vides para Vino y Mesa, 1, 2005, Santiago. Proceedings. Santiago: Instituto de Investigaciones Agropecuarias. p: 30.

Hayman P. T., Leske P., Nidumolu U. (2009) Climate change and viticulture. Informing the decision making at a regional level. South Australian Wine Industry Association and South Australian Research and Development Institute.

Hendrickson L., Ball M.C., Osmond C.B., Furbank R.T., Chow W.S. (2003) Assessment of photoprotection mechanisms of grapevines at low temperature. *Functional Plant Biology*, 30: 631-642.

Huglin, P. (1986). *Biologie et écologie de la vigne*. Payot Lausanne. Paris.

Intergovernmental Panel on Climate Change (2007) Climate change: The physical science basis, Summary for policymakers. WMO, UNEP, p: 18.

Intrigliolo D.S., Castel J.R. (2006) Vine and soil-based measures of water status in a 'Tempranillo' vineyard. *Vitis*, 45: 157–163.

Instituto do Vinho e da Vinha (2011) *Catálogo das Castas para Vinho Cultivadas em Portugal*.

Jones G. V. (2007) Climate change: observations, projections, and general implications for viticulture and wine production. Whitman College.

Keller, M. (2010) *The Science of Grapevines – Anatomy and Physiology*. Washington D.C.: Washington State University. ISBN 978-0-12-374881-2.

Kerridge G., Gackle A. (2005) *Vines for Wines – A wine lover's guide to the top wine grape varieties*. Collingwood: CSIRO PUBLISHING. ISBN 0 643 09066 5.

Langensiepen M., Fuchs M., Bergamaschi H., Moreshet S., Cohen Y., Wolff P., Jutzi S.C., Cohen S., Rosa L.M.G., Li Y., Fricke T. (2009) Quantifying the uncertainties of transpiration calculations with the Penman-Monteith equation under different climate and optimum water supply conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149: 1063-1072.

Leeuwen C. V., Tregoat O., Choné X., Bois B., Pernet D., Gaudillère J.-P. (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 de Sciences de la Vigne et du Vin*, 43: 121-134.

Leinonen I., Grant O.M., Tagliavia C.P.P., Chaves M.M., Jones H.G. (2006) Estimating stomatal conductance with thermal imagery. *Plant, Cell and Environment*, 29: 1508-1518.

Lopes, C. (1994).Dissertação de Doutoramento - Influência do sistema de condução no microclima do coberto, vigor e produtividade da videira (*Vitis vinifera* L.). Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

Lopes C., Pacheco C., Vicente-Paulo J., Rodrigues M. (1998) Interesse do potencial hídrico foliar de base como indicador da actividade fisiológica da videira. Actas do 4º Simpósio de Vitivinicultura do Alentejo, vol. 1, ATEVA-CVRA (ed.): 97-102.

Lopes C., Pinto P. A. (2005) Easy and accurate estimation of grapevine leaf area with simple mathematical models. *Vitis*, 44: 55-61.

Lorenz D. H., Eichhorn K. W., Bleiholder H., Klose R., Meier U., Weber E. (1995) Growth stages of the grapevine. Phenological growth stages of the grapevine (*Vitis vinifera* L. spp. vinifera) – Codes and descriptions according to the extended BBCH scale. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 1: 100-103

Lu P., Urban L., Ping Z. (2004) Granier's Thermal Dissipation Probe (TDP) Method for Measuring Sap Flow in Trees: Theory and Practise. *Acta Botanica Sinica*, 46: 631-646.

Magalhães, N.P. (2008) *Tratado de Viticultura – A videira, a vinha e o “terroir”*. Lisboa: Chaves Ferreira Publicações S.A., 1ª ed., p: 605.

Matese A., Vaccari F. P., Tomasi D., Di Gennaro S. F., Primicerio J., Sabatini F., Guidoni S. (2013) CossVit: Enhancing canopy monitoring management practices in viticulture. *Sensors*, 13: 7652-7667.

McCarthy M. G., Loveys B. R., Dry P. R., Stoll M. (2002) Regulated deficit irrigation and partial root zone drying as irrigation management techniques for grapevines. *Deficit Irrigation Practices*. FAO Water Reports, 22: 79-87.

Medrano H., Escalona J.M., Cifré J., Bota J., Flexas J. (2003) A ten-year on the physiology of two Spanish grapevine cultivars under field conditions: Effects of water availability from leaf photosynthesis to grape yield and quality. *Functional Plant Biology*, 30: 607–619.

Moffat T.F. (2013) Sensor technology to assess grape bunch temperature variability in *Vitis vinifera* L. cv. Shiraz. Stellenbosch University. Stellenbosch.

Montoro A., Federes E., López-Urrea R., Mañas F., López-Fuster P. (2012) Sensivity of trunk diameter fluctuations in *Vitis vinifera* L. Tempranillo and Cabernet Sauvignon cultivars. *American Journal of Enology and Viticulture*, 63: 85-93.

Moriana A., Fereres E., Orgaz F., Castro J., Humanes M.D. and Pastor M. (2000) The relations between trunk diameter fluctuations and tree water status in olive tree (*Olea europaea* L.). *Acta Horticulturae*. 537: 293–297.

- Mota T., Garrido J. (2001) *Implantação Da Vinha. Castas, Porta-enxertos, Sistemas de Condução e Plantação*. Manual Técnico, CVRVV-EVAG, Arcos de Valdevez.
- Nagarajah, S., 1989. Physiological responses of grape vines to water stress. *Acta Horticulturae*, 240: 249-256.
- Ortuño M.F., Conejero W., Moreno F., Moriana A., Intrigliolo D.S., Biel C., Mellisho C.D., Pérez-Pastor A., Domingo R., Ruiz-Sánchez M.C., Casadesus J., Bonany J., Torrecillas A. (2010) Could trunk diameter sensors be used in woody crops for irrigation scheduling? A review of current knowledge and future perspectives. *Agricultural Water Management*, 97: 1-11.
- Ortuño M.F., García-Orellana Y., Conejero W., Ruiz-Sánchez M.C., Alarcón J.J., Torrecillas A. (2006) Stem and leaf water potentials, gas exchange, sap flow, and trunk diameter fluctuations for detecting water stress in lemon trees. *Trees*, 20: 1-8.
- Patakas A., Noitsakis B., Stavrakas D. (1997) Adaptation to seasonal drought in *Vitis vinifera* L. as affected by leaf age. *Vitis* 36: 11–14.
- Patakas A., Noitsakis B., Chouzouri A. (2005) Optimization of irrigation water use in grapevines using the relationship between transpiration and plant water status. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 106: 253–259.
- Pellegrino A., Lebon E., Voltz M., Wery J. (2004) Relationships between plant and soil water status in vine (*Vitis vinifera* L.). *Plant and Soil*, 266: 129-142.
- Poling B., Spayd S. (2007) North Carolina Wine Grape Grower's Guide. North Carolina Cooperative Extension Service.
- Prichard T., Hanson B., Schwankl L., Verdegaal P., Smith R. (2004) Deficit irrigation of quality winegrapes using micro-irrigation techniques. University of California, Cooperative Extension: Oakland, California.
- Riquelme J.A.L., Soto F., Suardiáz J., Sánchez P., Iborra A., Vera J.A. (2009) Wireless sensor networks for precision horticulture in southern Spain. *Computers and Electronics in Agriculture*, 68: 25-35.
- Romero P., Fernández-Fernández J. I., Martínez-Cutillas A. (2010) Physiological thresholds for efficient regulated deficit-irrigation management in winegrapes grown under semiarid conditions. *American Journal of Enology and Viticulture*, 61: 300-312.
- Rossi V., Salinari F., Poni S., Caffi T., Bettati T. (2014) Addressing the implementation problem in agricultural decision support systems: the example of vite.net®. *Computers and Electronics in Agriculture*, 100: 88-99.
- Sadras V.O., Soar C.J. (2009) Shiraz vines maintain yields in response to a 2-4°C increase in maximum temperature using an open-top heating system at key phenostages. *European Journal of Agronomy*, 31: 250-258.
- Sadras V.O., Montoro A., Moran M.A., Aphalo P.J. (2012) Elevated temperature altered the reaction norms of stomatal conductance in field-grown grapevine. *Agricultural and Forest Meteorology*, 165: 35-42.

- Sadras V.O., Moran M.A. (2012) Elevated temperature decouples anthocyanins and sugars in berries of Shiraz and Cabernet Franc. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 18: 115-122.
- Scholander P. F., Hammel H. T., Hemmingsen E. A., Bradstreet E. D. (1964) Hydrostatic pressure and osmotic potential in leaves of mangroves and some other plants. *National Academy of Science*, 52: 119-125.
- Schultz H.R. (1996) Water relations and photosynthetic responses of two grapevine cultivars of different geographical origin during water stress. *Acta Horticulturae*, 427: 251–266.
- Schultz H. R. (2000) Climate change and viticulture: A European perspective on climatology, carbon dioxide and UV-B effects. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 6: 2-12.
- Seguin G. (1983) Influence des terroirs viticoles sur la constitution de la qualité des vendanges. *Bulletin de l'O.I.V.* 56: 3–18.
- Silvestre J. (2003) Dissertação de Doutoramento - Evapotranspiração e funcionamento hídrico em *Vitis vinífera L.* Relatório de Doutoramento em Engenharia Agronómica, Instituto Superior de Agronomia.
- Smart R.E., Dick J.K., Gravett I.M., Fisher B.M. (1990) Canopy management improve grape yield and wine quality – Principles and practices. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 11: 3-17.
- Smart R.E., Robinson M. (1991) Sunlight into wine – A Handbook for Winegrape Canopy Management. Winetitles, Adelaide. ISBN 978-1875130108.
- Sonka S. T. et al. (1997) Precision Agriculture in the 21st Century. Washington, D.C.: *National Academy Press*. ISBN 0-309-05893-7.
- Souza C.R., Maroco J.P., Santos T.P., Rodrigues M.L., Lopes C., Pereira J.S., Chaves M.M. (2005) Control of stomatal aperture and carbon uptake by deficit irrigation in two grapevine cultivars. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 106: 261-274.
- Ton Y., Kopyt M. (2003) Phytomonitoring information and decision-support system for crop growing. *Proceedings of second International symposium on intelligent information technology in agriculture (ISITA 2003)*: 39-43. China, Beijing. National engineering research center for information technology in Agriculture.
- Turner N. C. (1988) Measurements of plant water status by the pressure chamber technique. *Irrigation Science*, 9: 289-308.
- Tyree M. T., Sperry, J.S. (1988) Do woody plants operate near the point of catastrophic xylem dysfunction caused by dynamic water stress? Answers from a model. *Plant Physiol.* 16: 879–882.
- Vogel S. (2009) Leaves in the lowest and highest winds: temperature, force and shape. *New Phytologist*, 183: 13-26.

Webb L.B., Whetton P.H., Barlow E.W.R. (2007) Modelled impact of future climate change on the phenology of winegrapes in Australia. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 13: 165-175.

White R.E. (2003) *Soils for fine wines*. New York: Oxford University Press. ISBN 0-19-514102-4.

Winkel T., Rambal S. (1993) Influence of water stress on grapevines growing in the field: from leaf to whole-plant response. *Australian Journal Plant Physiology*, 20: 143-157.

Wise A., Martinson T., Hawk J., Weigle T., Tarleton L. (2007) *New York Guide to Sustainable Viticulture Practises – Irrigation management*: 63-70.

Yunusa I.A.M., Walker R.R., Loveys B.R., Blackmore D.H. (2000) Determination of transpiration in irrigated grapevines: comparison of the heat-pulse technique with gravimetric and micrometeorological methods. *Irrigation Science*, 20: 1–8.

Zucca G., Smith D. E., Mitry D. J. (2009) Sustainable viticulture and winery practices in California: What is it, and do customers care? *International Journal of Wine Research*, 2.