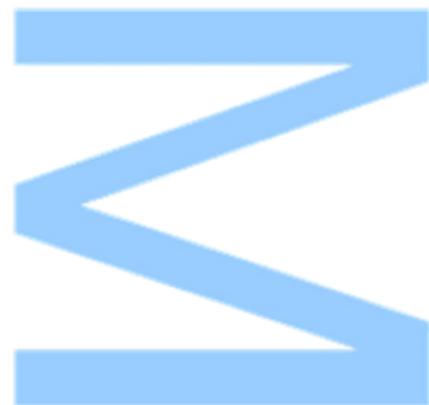
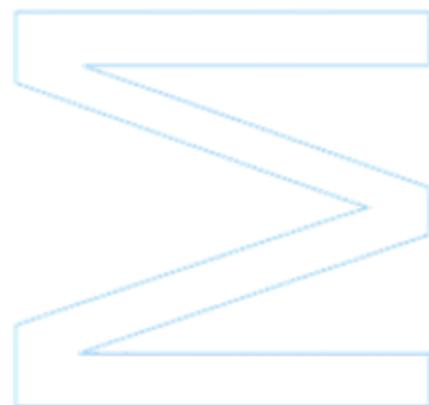


# Efeitos de Estratégias de Rega Deficitária Sobre o Rendimento e Qualidade da Casta Touriga Franca na Região do Douro

Joana Irene Magalhães C. Valente Teixeira  
Dissertação de Mestrado apresentada à  
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto em  
Engenharia agrónómica  
2015



# Efeitos de Estratégias de Rega Deficitária Sobre o Rendimento e Qualidade da Casta Touriga Franca na Região do Douro

Joana Irene Magalhães C. Valente Teixeira

Mestrado em Engenharia Agronómica

Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território

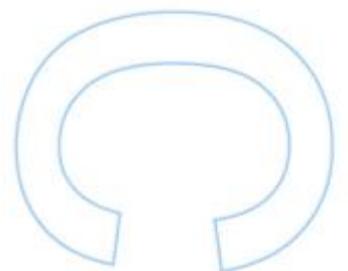
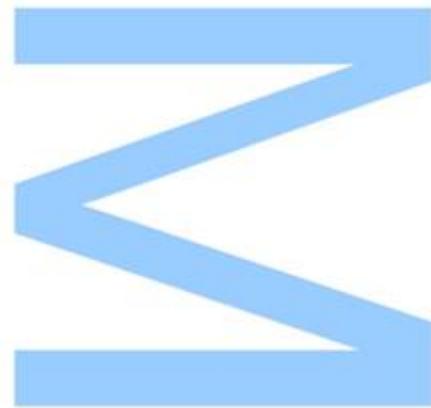
2015

## **Orientador**

Doutor Jorge Bernardo Lacerda de Queiroz, Professor Auxiliar, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

## **Coorientador**

Tiago Nogueira, Engenheiro Agrónomo, Quinta do Crasto, SA



Para a minha avó Clara Dina.

# Agradecimentos

Gostaria de deixar algumas palavras de agradecimento às pessoas que de forma direta ou indireta contribuíram para a concretização desta dissertação.

**Aos meus pais, Luís e Manuela** devo tudo quanto sou e algum dia serei, não existem palavras que quantifiquem o quanto lhes sou grata. São pessoas maravilhosas, por quem nutro um orgulho imenso. Agradeço por me terem dado sempre margem para sonhar e para concretizar esses sonhos. Mostram-me todos os dias que posso ser mais e melhor.

**Ao meu irmão Luís, à minha cunhada Margarida e ao meu adorado sobrinho António Pedro**, agradeço a amizade e o carinho com que me acolheram no seu lar e me fizeram sempre sentir em casa.

À minha querida **tia Maria Emília**, das mulheres que eu mais admiro desde que me lembro de ser gente. É e sempre será para mim uma inspiração.

À “minha” **Inês**, cujo laço familiar nos une como primas mas a amizade desde o berço nos tornou irmãs de coração.

Ao **Simão Bento**, pelos anos que já vivemos juntos sempre repletos de amor, apoio incondicional e amizade sem medida. As pequenas alegrias da vida fazem muito mais sentido contigo ao meu lado.

Às pessoas maravilhosas com quem tive a sorte de me cruzar no mestrado e se tornaram amigos: **Célia Borges, Sandra Ferreira, Ana Isabel Sousa, Mariana Costa e Bruno Balazeiro**.

Ao **Doutor Jorge Queiroz**, professor da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, agradeço a permanente disponibilidade, a calma, a boa disposição e a simpatia. Será sempre uma referência para mim.

Ao **Doutor Luís Cunha**, professor da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, pela ajuda no tratamento dos dados.

À **Quinta do Crasto, SA** que tão prontamente aceitou receber-me a mim e aos meus colegas e nos proporcionou todas as condições de trabalho, o meu sincero agradecimento.

Ao **Engenheiro Tiago Nogueira**, da Quinta do Crasto, agradeço a entrega e a simpatia com que sempre nos recebeu e o empenho no desenvolvimento deste trabalho.

Ao **senhor António, ao senhor Eduardo e ao senhor Luís**, trabalhadores da Quinta da Cabreira, pela ajuda preciosa em alguns trabalhos práticos desenvolvidos ao longo do ensaio.

Aos colegas de mestrado que realizaram os seus estudos na Quinta da Cabreira comigo, **Manuel Macedo Pinto e Miguel Lousada**.

Ao **Engenheiro Paulo Santos**, da ADVID, sempre disponível independentemente da hora ou do dia.

À **Engenheira Branca Teixeira**, da ADVID, pela colaboração na cedência dos dados climáticos relativos ao Vale da Vilariga.

# Resumo

A Região Demarcada do Douro está inserida numa zona de clima tipicamente mediterrânico, onde a precipitação é irregular e as temperaturas elevadas. Nestas condições, a escassez de água no solo pode pôr em risco a qualidade produtiva e enológica das uvas produzidas na região. A necessidade de implementar sistemas de rega é uma realidade nas zonas mais áridas da região duriense mas, como a água é um bem escasso, é imperativo otimizar o uso deste recurso.

A Quinta da Cabreira, propriedade da Quinta do Crasto, SA, localiza-se em Vila Nova de Foz Côa, em plena sub-região do Douro Superior. Aqui as condições climáticas são especialmente rigorosas, com Verões muito quentes e com distribuição da precipitação pouco regular ao longo do ano. Apesar de já toda a área de vinha desta quinta ser regada, o processo não está otimizado. Não se conhecem as quantidades de água necessárias para alcançar a qualidade que se pretende de uma vinha que tem tudo para produzir vinhos de excelência. Quanto mais aprimorado e melhor conhecido for o processo de irrigação, mais ajustado será, refletindo-se na poupança dos recursos hídricos.

Partindo do conhecimento destes factos, propusemo-nos encontrar respostas a uma questão fulcral: *Qual é o impacto de diferentes estratégias de rega deficitária no rendimento e na qualidade da casta Touriga Franca?* Com o estudo pretendemos definir a modalidade que permite alcançar a máxima qualidade na produção de uva para vinho. Com este objetivo central em mente, foi instalado um ensaio de rega numa parcela de Touriga Franca na Quinta da Cabreira, repetido em 3 blocos com 2 bardos: 1 bardo interior e 1 bardo exterior. Em cada bloco instalaram-se 4 modalidades de rega. Três modalidades com diferentes percentagens da evapotranspiração: (1)  $R_{75}$  ou rega com 75% da evapotranspiração; (2)  $R_{50}$  ou rega com 50% da evapotranspiração; (3)  $R_{25}$  ou rega com 25% da evapotranspiração e (4) uma testemunha não regada,  $R_0$ . Utilizaram-se 480 videiras no total, cada modalidade tinha 20 videiras do bardo interior e 20 do bardo exterior.

Os resultados do nosso ensaio foram mais visíveis no que diz respeito à produção do que à qualidade. Verificámos que a área foliar e a composição da canópia foram afetadas de diferentes formas de acordo com a modalidade de rega. Por outro lado, também concluímos que o peso médio do cacho (g) e o peso médio do bago (g) são influenciados pela rega, pois apresentaram significância estatística. A modalidade que

apresentou o valor de peso médio de cacho mais elevado foi a modalidade R<sub>50</sub> mas a modalidade com peso médio do bago superior foi a R<sub>25</sub>.

No que concerne à qualidade, as análises realizadas às amostras de uvas colhidas à vindima não revelaram diferenças significativas na maioria dos parâmetros analisados.

No nosso ensaio, o único parâmetro que foi afetado pela rega foi o Teor em Álcool Provável, sendo que a modalidade que atingiu o valor mais alto foi a R<sub>50</sub>.

As restantes análises realizadas à acidez total, pH, ácido málico, polifenóis, antocianas e taninos não revelaram diferenças significativas.

**Palavras-chave:** Douro Superior; Touriga Franca; Rega deficitária; Produção; Qualidade;

# Abstract

The Douro Region is set in a typical Mediterranean climate zone, where rainfall is irregular and the temperatures are high. Under these conditions, the scarcity of water in the soil jeopardizes productive and oenological quality of grapes produced in the region. The necessity of install irrigation systems is a reality in the most arid zones of Douro region but, as water is a scarce commodity, it's imperative to optimize the use of this resource.

Quinta da Cabreira belongs to Quinta do Crasto, SA and is located in Vila Nova de Foz Côa, Douro Superior, Portugal. Here the climatic conditions are particularly severe, with high temperatures in summer months and little regular distribution of rainfall throughout the year. Nowadays the entire vineyard area has installed a deficit irrigation system but the process isn't optimized.

The amount of water necessary to achieve the quality wanted from a vineyard that has everything to produces wines of excellence isn't quantified. How more improved and better known the irrigation process, more adjusted will be and more water will be save.

Based on the knowledge of these facts, our aim is to seek answers to a key question: What is the impact of different deficit irrigation strategies on yield and quality of wine grape Touriga Franca? With this study we intend to set the system which achieve maximum quality in grape production for wine. With this core objective in mind, it was installed an irrigation test in a plot of Touriga Franca at Quinta da Cabreira, distributing over three blocs with 2 bards (interior and exterior). At each bloc we used four modalities of irrigation, three modalities with different percentages of evapotranspiration: (1)  $R_{75}$  or irrigation with 75% of evapotranspiration; (2)  $R_{50}$  or irrigation with 50% of evapotranspiration; (3)  $R_{25}$  or irrigation with 25% of evapotranspiration and (4) non irrigated modality,  $R_0$ . We used 480 vines, each modality had 20 vines on interior bard and 20 vines on exterior bard.

The results of our assay are more visible at production than quality. We found that leaf area and the composition of the canopy were affected in different ways according to the watering method. In the other hand, we also found that the production per vine (kg) cluster weight (g) and the average berry weight (g) are influenced by irrigation, as statistically significant. The mode with higher production and cluster weight was  $R_{50}$ .

The grape harvest samples analyzes revealed no significant differences in the majority of oenological parameters.

In our test, the only parameter that was affected by irrigation was the content in Probable alcohol, and the mode that reached the highest value was R<sub>50</sub>.

The remaining analyzes the total acidity, pH, malic acid, in sugars, polyphenols, anthocyanin and tannins revealed no significant differences.

**Keywords:** Douro Superior; Touriga Franca; Deficit irrigation; Production; Quality;

# Índice

Agradecimentos.....	iii
Resumo .....	v
Abstract .....	vii
Lista de figuras .....	xii
Lista de tabelas.....	xv
Lista de abreviaturas.....	xvii
1. Introdução.....	1
2. Revisão bibliográfica.....	3
2.1 A viticultura em Portugal .....	3
2.1.1 A Região Demarcada do Douro .....	4
2.2 A importância da rega na produção vitivinícola .....	9
2.3 Cálculo das necessidades de rega .....	11
2.4 Modelos de rega deficitária .....	12
2.5 Indicadores do estado hídrico .....	14
2.5.1 Potencial hídrico foliar.....	15
2.5.2 Trocas gasosas.....	19
2.6 O papel da água na fisiologia da videira e cálculo das suas necessidades ....	20
2.6.1 A carência hídrica na videira.....	20
2.7 Efeito da disponibilidade de água no desenvolvimento vegetativo, produção, qualidade e maturação .....	21
3. Material e métodos .....	25
3.1 Caracterização do Ensaio .....	25
3.1.1 Localização da parcela .....	25
3.1.2 Delineamento experimental .....	26
3.1.3 Características edafoclimáticas.....	30
3.1.4 Descrição da casta e do porta-enxertos.....	31
3.1.5 Sistema de condução e operações culturais .....	33

3.1.6 A rega .....	34
3.2 Metodologia .....	35
3.2.1 Estados fenológicos .....	35
3.2.2 Índices de fertilidade .....	35
3.2.3 Caracterização do coberto vegetal .....	35
3.2.3.1 Área Foliar .....	36
3.2.3.2 Porosidade do coberto e número de camada de folhas (NCF) .....	37
3.2.4 Cálculo da evapotranspiração e das necessidades de rega .....	38
3.2.5 Medições ecofisiológicas .....	40
3.2.5.1 Potencial hídrico foliar de base .....	40
3.2.5.2 Trocas gasosas ao nível dos estomas .....	41
3.2.6 Evolução da maturação e qualidade da vindima .....	42
3.2.7 Registo dos componentes do rendimento à vindima .....	43
3.3 Análise estatística dos resultados .....	43
4. Resultados e discussão .....	44
4.1 Caracterização do clima .....	44
4.2 Evolução Fenológica .....	48
4.3 Componentes de fertilidade .....	49
4.3.1 Carga à poda, número médio de inflorescências e pâmpanos .....	49
4.3.2 Taxa de abrolhamento (TA) .....	51
4.3.3 Índice de Fertilidade Potencial (IFP) .....	52
4.4 Caracterização do coberto vegetal .....	53
4.4.1 Área foliar .....	53
4.4.2 Densidade do coberto vegetal .....	57
4.5 Cálculo da evapotranspiração e das necessidades de rega .....	61
4.6 Medições ecofisiológicas .....	63
4.6.1 Potencial hídrico foliar de base ( $\Psi_b$ ) .....	63
4.6.2 Potencial Hídrico Foliar e trocas gasosas ao nível dos estomas .....	65
4.7 Impacte da disponibilidade hídrica na qualidade e produção .....	71

4.7.1 Número médio de cachos, peso médio dos cachos, número médio dos bagos e produção média por videira .....	71
4.7.2 Acidez total (g de ácido tartárico/litro), pH e ácido málico (g/L) .....	75
4.7.3 Teor de Álcool Provável (TAP).....	76
4.7.4 Teor em polifenóis, taninos e antocianas extraíveis .....	77
5. Conclusões.....	79
Referências .....	82
Anexos .....	90

# Lista de figuras

Figura 1 Mapa das regiões vinícolas de Portugal (adaptado de <a href="http://www.ivv.min-agricultura.pt/np4/regioes">http://www.ivv.min-agricultura.pt/np4/regioes</a> ). .....	3
Figura 2 Mapa da Região Demarcada do Douro (adaptado de <a href="http://www.milesawaydouroandcoa.com/vales-do-douro-coa/">http://www.milesawaydouroandcoa.com/vales-do-douro-coa/</a> ).....	5
Figura 3 Paisagem característica do Douro Vinhateiro. ....	6
Figura 4 Representação esquemática do funcionamento da câmara de pressão de Scholander (Smith & Prichard, 2002). .....	16
Figura 5 Esquema da síntese dos principais compostos das uvas, ao longo do ciclo de desenvolvimento (Jordão, 2015). .....	23
Figura 6 Vista aérea da Quinta da Cabreira. Fonte: Bing Maps. ....	25
Figura 7 Vista aérea da parcela de Touriga Franca. Fonte: Bing Maps.....	27
Figura 8 Representação esquemática de uma modalidade de rega.....	27
Figura 9 Representação esquemática do delineamento experimental. ....	28
Figura 10 Sonda EnviroSCAN® 150, que monitoriza a humidade do solo. ....	29
Figura 11 Unidade de comunicação, que trata os dados recolhidos pela sonda. ....	29
Figura 12 Folha de Touriga Franca, Quinta da Cabreira, setembro de 2015.....	31
Figura 13 Cacho de Touriga Franca. Quinta da Cabreira, setembro de 2015. ....	31
Figura 14 Videiras de Touriga Franca. Quinta da Cabreira, setembro de 2015.....	33
Figura 15 Videira escolhida para medição da Área Foliar. Quinta da Cabreira, agosto de 2015.....	36
Figura 16 Medição das nervuras das folhas para cálculo da área foliar. Quinta da Cabreira, agosto de 2015. ....	37
Figura 17 Representação esquemática do Método Point Quadrat .....	37
Figura 18 Câmara de pressão de Scholander. Quinta da Cabreira, julho de 2015.....	41
Figura 19 Câmara de Parkinson. Quinta da Cabreira, agosto de 2015. ....	42
Figura 20 Climatograma com a temperatura média e precipitação de Janeiro e Outubro de 2015 e valores da Normal Climatológica de 1931-1960, registados no Vale da Vilarica.....	44
Figura 21 Climatograma do mês de Setembro, registados na Quinta da Cabreira. O dia da vindima encontra-se assinalado com um círculo vermelho. ....	45
Figura 22 Gráfico da Temperatura máxima, mínima e precipitação de janeiro a outubro de 2015, na Quinta da Cabreira.....	46
Figura 23 Gráfico das temperaturas mínima, máxima e média ao longo dos anos, de Janeiro de 2013 a Outubro de 2015, na Quinta da Cabreira. ....	47

Figura 24 Gráfico da precipitação e % de humidade relativa no ar, registados desde Janeiro de 2013 até Outubro de 2015, na Quinta da Cabreira. ....	47
Figura 25 Datas dos Estados Fenológicos registados em 2015, nas várias sub-regiões do Douro e Escala de Baggiolini. Fonte: ADVID. ....	48
Figura 26 Carga deixada à poda em cada bloco. Dados não analisados estatisticamente. ....	50
Figura 27 Número médio de inflorescências por videira. Dados não analisados estatisticamente. ....	50
Figura 28 Número médio de pâmpanos por videira. Dados não analisados estatisticamente. ....	51
Figura 29 Taxa de abrolhamento média por bloco. Dados não analisados estatisticamente. ....	52
Figura 30 Índice de fertilidade potencial por bloco. Dados não analisados estatisticamente. ....	53
Figura 31 Valor médio da área foliar total por videira, nas quatro modalidades de rega, medidas a 19 de Maio, 23 de Julho e 10 de Setembro. Nível de significância:n.s.....	54
Figura 32 Valor médio da área foliar principal por videira, nas quatro modalidades de rega. Nível de significância: n.s. ....	55
Figura 33 Valor médio da área foliar das netas por videira nas quatro modalidades de rega. ....	56
Figura 34 Valor médio da % área foliar das netas por videira, nas quatro modalidades de rega ....	57
Figura 35 do Número de Camadas de Folhas nas diversas modalidades, quantificados ao nível dos cachos (NCFc) e ao nível vegetativo (NCFv).Dados não analisados estatisticamente. ....	58
Figura 36 Percentagem de folhas interiores das modalidades de rega, ao nível dos cachos (PF1c) e ao nível vegetativo (PF1v). Dados não analisados estatisticamente. .	59
Figura 37 Percentagem de cachos interiores das modalidades de rega, ao nível dos cachos (PF1c) e ao nível vegetativo (PF1v). Dados não analisados estatisticamente. .	60
Figura 38 Percentagem de buracos das modalidades de rega, ao nível dos cachos (PF1c) e ao nível vegetativo (PF1v), com as barras de erro padrão associado. Dados não analisados estatisticamente. ....	60
Figura 39 Registo da ET0, recolhida pela Estação Meteorológica da Quinta da Cabreira, ao longo do ensaio de rega. ....	61
Figura 40 Registos dos valores médios de Potencial Hídrico Foliar de Base de cada modalidade, ao longo do tempo. ....	64

Figura 41 Curva do Potencial Hídrico Foliar, medido em quatro momentos: base, 10h, 14h e às 17h.....	66
Figura 42 Relação entre a condutância estomática (gs) e a fotossíntese líquida (A). Valores das medições realizadas no dia 5 de Agosto. Nível de significância > 0,01. ....	67
Figura 43 Relação entre condutância estomática (gs) e a fotossíntese líquida (A). Valores das medições realizadas no dia 10 de Agosto. Nível de significância > 0,01. ....	68
Figura 44 Gráfico da correlação de Pearson entre a condutância estomática (gs) em função do potencial hídrico foliar (PHF), no dia 5 de agosto. Nível de significância > 0,01. ....	68
Figura 45 Gráfico da correlação de Pearson entre a fotossíntese líquida (A) em função do potencial hídrico foliar (PHF), no dia 5 de agosto. Nível de significância > 0,01.....	69
Figura 46 Gráfico da correlação de Pearson entre a fotossíntese líquida (A) em função do potencial hídrico foliar (PHF), no dia 10 de agosto. Nível de significância > 0,01.....	69
Figura 47 Gráfico da correlação de Pearson entre a fotossíntese líquida (A) em função da temperatura da folha (T <sub>leaf</sub> ), no dia 5 de agosto. Nível de significância > 0,01.....	70
Figura 48 Gráfico da correlação de Pearson entre a fotossíntese líquida (A) em função da temperatura da folha (T <sub>leaf</sub> ), no dia 10 de agosto. Nível de significância > 0,01.....	70
Figura 49 Número médio de cachos por videira, em cada modalidade. Nível de significância: n.s. ....	72
Figura 50 Gráfico da produção média por videira, de acordo com a modalidade de rega. Nível de significância: n.s. ....	74
Figura 51 Aspeto da canópia das videiras das várias modalidades de rega. Quinta da Cabreira, setembro de 2015 .....	91

# Lista de tabelas

Tabela 1 Níveis de déficit hídrico na videira segundo a determinação do potencial hídrico foliar mínimo ( $\Psi_n$ ). Tabela reproduzida de Prichard (n.d.).	18
Tabela 2 Registo da data e duração das regas.	34
Tabela 3 Tabelas da FAO por Kc para a vinha. Tabela reproduzida de Magalhães, 2008.	39
Tabela 4 Tabela do Kc segundo Terry Prichard e Paul Verdegral para a Califórnia. Tabela adaptada de Magalhães, 2008.	39
Tabela 5 Média dos valores de área foliar das netas por videira, em cada modalidade. Valores com letras diferentes pertencem a diferentes grupos de significância segundo o teste LSD ( $p < 0,05$ ). Nível de significância: $*0,01 < p < 0,05$ .	56
Tabela 6 Média dos valores de % ÁFn por videira, em cada modalidade. Valores com letras diferentes pertencem a diferentes grupos de significância segundo o teste LSD ( $p < 0,05$ ). Nível de significância: $***0,001$ .	57
Tabela 7 Registo de dados para o cálculo das necessidades de rega.	62
Tabela 8 Datas das monitorizações do Potencial Hídrico Foliar de Base.	63
Tabela 9 Média dos valores de Potencial Hídrico Foliar de base, em cada modalidade. Valores com letras diferentes pertencem a diferentes grupos de significância segundo o teste LSD ( $p < 0,05$ ). Nível de significância: $***0,001$ .	65
Tabela 10 Média do peso dos cachos, em cada modalidade. Valores com letras diferentes pertencem a diferentes grupos de significância segundo o teste LSD ( $p < 0,05$ ). Nível de significância: $*0,01 < p < 0,05$ .	73
Tabela 11 Média do peso dos bagos, em cada modalidade. Valores com letras diferentes pertencem a diferentes grupos de significância segundo o teste LSD ( $p < 0,05$ ). Nível de significância: $***0,001$ .	73
Tabela 12 Média da acidez total (g de ácido tartárico/litro), em cada modalidade.	75
Tabela 13 pH médio em cada modalidade.	75
Tabela 14 Valores médios de ácido málico em cada modalidade.	76
Tabela 15 Percentagem média de Álcool Provável, em cada modalidade. Valores com letras diferentes pertencem a diferentes grupos de significância segundo o teste LSD ( $p < 0,05$ ). Nível de significância: $***0,001$ .	76
Tabela 16 Valores médios de teor de álcool provável (% Vol) em cada modalidade.	77
Tabela 17 Polifenóis extraíveis, valores à vindima. Não significativo	77
Tabela 18 Taninos extraíveis, valores à vindima.	78
Tabela 19 Antocianinas extraíveis, valores à vindima.	78

Tabela 20 Registo dos principais estados fenológicos da vinha.....	90
Tabela 21 Datas de rega e respetivas dotações. ....	90
Tabela 22 Registo dos parâmetros do Método Point Quadrat das modalidades R <sub>0</sub> , R <sub>25</sub> , R <sub>50</sub> e R <sub>75</sub> . ....	91

# Lista de abreviaturas

- A – Fotossíntese líquida
- ABA – Ácido abcísico
- ADVID – Associação para o Desenvolvimento da Viticultura Duriense
- AF – Área foliar
- $AF_{folha}$  – Área foliar de uma folha
- $AF_{maior}$  – Área foliar da folha principal maior
- $AF_{max}$  – Área foliar da neta maior
- $AF_{med}$  – Área foliar média
- $AF_{menor}$  – Área foliar da folha principal menor
- $AF_{min}$  – Área foliar da neta menor
- AFT – Área foliar total
- DOC – Determinação de Origem Controlada
- E - Transpiração
- ET - Evapotranspiração
- $ET_0$  – Evapotranspiração de referência
- $ET_c$  – Evapotranspiração da cultura
- $g_s$  – Condutância estomática ao vapor de água
- HS – Equação de Hargreaves-Samani
- $H_t$  – Altura da Sebe
- IF – Índice de fertilidade
- IRGA – *Infrared gas analyzer* (Analisador de gases por infravermelhos)
- L2d - Comprimento da nervura lateral direita
- L2e - Comprimento da nervura lateral esquerda
- MPa - MegaPascal
- NCF - Número de camadas de folhas
- PM - Equação de Penman Monteith
- PRD - *Partial root drying* (rega parcial do volume radicular)
- RDD – Região Demarcada do Douro
- RDI - *Regulated deficit irrigation* (rega deficitária controlada)
- TF – Touriga Franca
- $\Psi_f$  - Potencial hídrico foliar
- $\Psi_b$  - Potencial hídrico foliar de base
- $\Psi_{stem}$  – Potencial hídrico do ramo/pâmpano

# 1. Introdução

A cultura da vinha é, por tradição, uma cultura que não necessita de rega, apesar de se encontrar maioritariamente em regiões sujeitas a seca sazonal. Ao longo do tempo, a videira desenvolveu adaptações anatómicas, morfológicas e fisiológicas, tais como o enraizamento em profundidade, o aumento do tamanho das folhas, modificações no calibre dos vasos xilémicos ou a capacidade de regulação dos estomas, que lhe permitem suportar a escassez de água (Cifre *et al.*, 2005; Magalhães, 2008)

A região mediterrânica da Europa é particularmente sensível à seca e potencialmente vulnerável a alterações climáticas. Atendendo aos cenários previstos para os próximos anos, no que respeita ao clima, as vinhas desta região sofrerão alterações substanciais, com verões muito secos, como alertam Rizza *et al.* (2004). De acordo com Jones (2013), a qualidade do vinho e o sucesso da viticultura dependem de diferentes fatores meteorológicos e climáticos, como a radiação solar, a temperatura média, a acumulação de calor, a precipitação, a humidade e o balanço hídrico do solo, tornando necessário adotar novas práticas culturais, a fim de mitigar os efeitos negativos dessas alterações (Lopes *et al.*, 2011). Nestes locais, o défice de água no solo e na atmosfera, em conjunto com as altas temperaturas que se verificam no verão, provoca alterações no rendimento e na qualidade das uvas (Chaves *et al.*, 2010). Por esse motivo, um pouco por todo o mundo, recorre-se à rega como ferramenta de expressão do *terroir* em vinhos de qualidade excecional. Mais concretamente, recorre-se a rega deficitária controlada, por ser uma boa alternativa para otimizar o equilíbrio entre a qualidade e a produção, poupando água e promovendo a qualidade dos frutos, apenas com perdas marginais no rendimento, como salientam, por exemplo, Chaves *et al.* (2010) e Gurovich e Vergara (2005).

Portugal integra a região mediterrânica e, devido à escassez e irregularidade com que a precipitação se distribui ao longo do ano, a água é um recurso condicionador das culturas (Cifre *et al.*, 2005). Contudo, durante muito tempo a rega da vinha não foi vista com bons olhos, segundo Santos *et al.* (2005), por causa dos possíveis efeitos negativos na qualidade dos vinhos. No entanto, o aumento do *stress* hídrico verificado ao longo da última década, em virtude da elevada evaporação atmosférica e da baixa taxa de precipitação durante a fase de crescimento, bem como a procura crescente de vinhos de qualidade superior a preços aceitáveis, levou os produtores a procurarem novas estratégias que potenciassem a produção sem aumentar os custos de exploração e, obviamente, sem prejuízo da qualidade. Neste contexto iniciou-se a irrigação da vinha

como mais-valia para estabilizar o crescimento e garantir a sobrevivência das videiras (Magalhães, 2008; Santos *et al.*, 2005).

Como refere Magalhães (2008), as vantagens da rega refletem-se no incremento da qualidade evitando quebras de produção por desidratação dos bagos, permitindo controlar o *stress* hídrico e evitando paragens precoces da maturação, tão desfavoráveis à concentração dos açúcares e às componentes fenólicas e aromáticas. As estratégias de rega mais usuais, para além da irrigação deficitária, que não exige qualquer tipo de controlo, são a Regulated Deficit Irrigation (RDI) e a Partial Root Drying (PRD). Estas metodologias pressupõe que a água é fornecida à planta em níveis inferiores à evapotranspiração total da cultura ( $ET_c$ ) em determinados momentos do ciclo vegetativo (Chaves *et al.*, 2010).

A RDI é uma das mais importantes técnicas de rega utilizada na vinha com o intuito de equilibrar o crescimento vegetativo e reprodutivo, graças à aplicação de uma quantidade de água inferior à necessária em períodos específicos do crescimento da videira. Contudo, a aplicação da RDI não é fácil. A maior dificuldade reside na necessidade de monitorização da humidade no solo para evitar situações de défice hídrico severo, em períodos de temperaturas altas.

A PRD foi desenvolvida para permitir o controlo do crescimento e da transpiração das plantas, evitando situações de *stress* em algumas fases, tal como acontece com a RDI. Nesta técnica uma parte da raiz é irrigada e outra não, fazendo com que parte da raiz esteja hidratada e outra parte esteja seca. Deste modo, as raízes do lado regado asseguram um estado hídrico favorável à planta enquanto as raízes que estão expostas à *secura* emitem sinais químicos que são transportados até aos pânpanos, através dos vasos xilémicos que controlam o desenvolvimento vegetativo, o vigor e a abertura dos estomas nas folhas, como explicam Santos *et al.* (2005) e Magalhães (2008).

Apesar dos avanços da ciência, persistem atualmente muitos pormenores a acertar no que toca à correta utilização destas ferramentas, tendo em consideração a casta e a região vitivinícola, entre outros. De acordo com Baeza *et al.* (2007) os principais desafios relacionam-se com a determinação da quantidade de água a aplicar, quando administrar a rega, qual o efeito da irrigação e quais os melhores parâmetros de monitorização do abastecimento de água, conforme a resposta da videira. Com o ensaio que serviu de base a esta dissertação procurámos respostas para algumas das questões que aqui se levantam, trabalhando com a casta Touriga Franca, na Região Demarcada do Douro (RDD), mais concretamente na sub-região do Douro Superior.

## 2. Revisão bibliográfica

Este capítulo apresenta uma breve revisão da literatura sobre conceitos importantes para o enquadramento e melhor entendimento do estudo descrito nesta dissertação.

### 2.1 A viticultura em Portugal

De acordo com Spiegel-Roy e Bravdo (1964), a viticultura surgiu na Ásia Menor e no Mediterrâneo Oriental, tendo sido cultivada nessa região durante vários milhares de anos antes da nossa era.

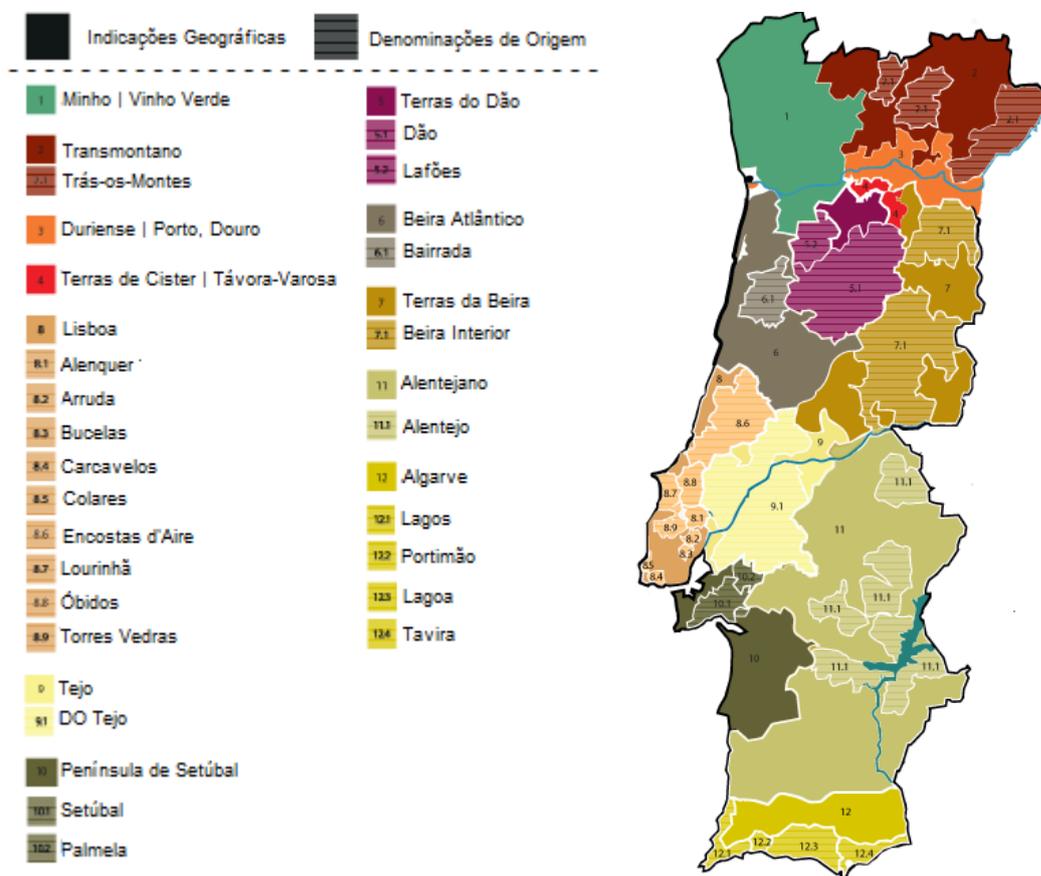


Figura 1 Mapa das regiões vinícolas de Portugal (adaptado de <http://www.ivv.min-agricultura.pt/hp4/regioes>).

Em Portugal, a cultura da vinha está distribuída numa faixa de latitude que vai dos 37° aos 42° Norte e de longitude entre os 7° e os 9,5° Oeste, resultando em mais de trinta regiões vinícolas (cf. Figura 1) com denominações de origem diferentes (Queiroz, 2002), no entanto, a sua origem perde-se no tempo. Pensa-se que a vinha terá sido introduzida na Península Ibérica pelos Tartéssios cerca de 2000 anos a.C. e que atingiu o seu auge

com a chegada dos Romanos, 210 anos a.C.. A primeira referência à viticultura surge no século II a.C., por Políbio e por Estrabão, referindo que o consumo de vinho era reservado às classes sociais mais elevadas, por ocasiões de festa (Magalhães, 2008).

A viticultura portuguesa assenta em dois períodos essenciais: o primeiro, durante a ocupação romana, de que resultaram as bases de viticultura e os métodos de vinificação; o segundo, na alta idade Média, influenciado pela presença das ordens religiosas no nosso país, que contribuíram para o incremento da produção de vinho e para a introdução do consumo de vinho na dieta alimentar (Magalhães, 2008). De acordo com os dados mais recentes do Instituto da Vinha e do Vinho (IVV), a área de vinha plantada era de 218 677 hectares, em 2013 (IVV, 2014). Também relativamente à campanha de 2013 foram produzidos 6 231 347 hectolitros (hl) de vinho, dos quais, aproximadamente, 1 500 000hl foram produzidos no Douro (IVV, 2014). No mesmo ano, a venda de vinho representou 48% do total da receita obtida com o comércio de bebidas alcoólicas (INE, 2014).

Portugal é o 11.º produtor de vinho a nível mundial, mas ocupa a 10.º posição na lista de maiores exportadores mundiais e o 3.º lugar no consumo *per capita*, com um valor médio aproximado de 42,5 litros por habitante (OIV, 2013).

### 2.1.1 A Região Demarcada do Douro

A região do Douro estabelece-se geograficamente ao longo do tronco médio do vale do rio Douro e parte de alguns afluentes. Começa no concelho de Mesão Frio e termina em Freixo de Espada à Cinta (Ribeiro, 2000). A delimitação da região foi iniciativa do Marquês de Pombal, em 1756, à data Secretário de Estado dos Negócios Interiores do Reino, cargo equivalente ao de primeiro-ministro, nos nossos dias. O Douro tornou-se, assim, na primeira região demarcada e regulamentadas de produção de vinho em Portugal e no mundo (Henderson & Rex, 2012; Magalhães, 2008).

Situada no nordeste do território português, a região estende-se ao longo da bacia hidrográfica do rio Douro, sempre rodeada por montanhas, o que lhe confere características mesológicas e climáticas únicas. A história e a ocupação humana ditaram os ritmos de ocupação do terreno pela vinha, as diferenças climáticas originaram diferentes *terroir* que se distinguem nos vinhos (IVV, 2014) e graças a essa diversidade a Região Demarcada do Douro (RDD) está dividida em três sub-regiões: Baixo Corgo, Cima Corgo e Douro Superior (IVDP, 2010).

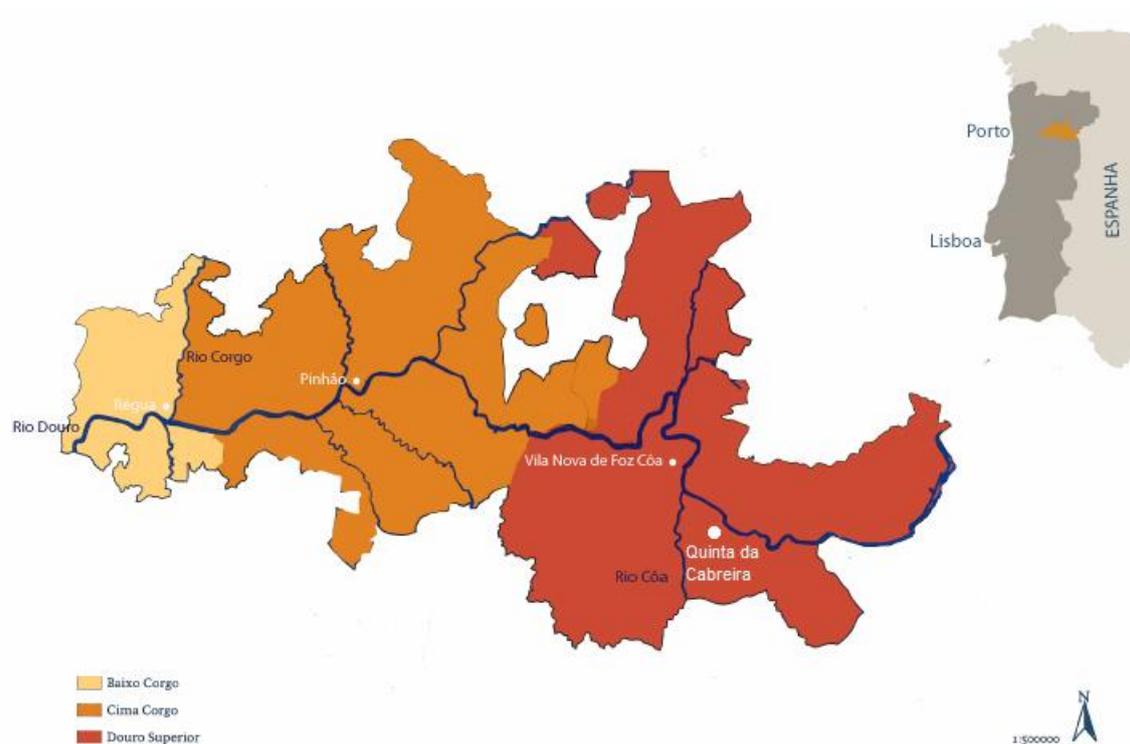


Figura 2 Mapa da Região Demarcada do Douro (adaptado de <http://www.milesawaydouroandcoa.com/vales-do-douro-coa/>).

A RDD (Figura 2) ocupa cerca de 250 000 hectares de superfície, onde 44 000 estão plantados com vinha e originam dois tipos de vinho: Porto e Douro (IVV, 2014). Da área total de vinha, aproximadamente 84% tem benefício, ou seja, está habilitada para a produção de vinho do Porto (Magalhães, 2008). Pensa-se que a seleção de *cultivares* adaptadas às condições de secura e calor terá começado de forma natural com intervenção do Homem por volta do ano 55 a.C., no vale do Douro (Pereira, 2000).

Os solos desta região pertencem à formação geológica do complexo xisto-grauváquico ante-ordovício ao longo do vale do Douro e seus afluentes. Existem também algumas inclusões de uma formação geológica de origem granítica em Carrazeda de Ansiães, Numão, no concelho de Vila Nova de Foz Côa, e em Sande, concelho de Lamego (IVDP, 2010; Ribeiro, 2000). Em Barca d'Alva há pequenas manchas de silúrico e ordovício. Segundo Ribeiro (2000), os solos são pouco diversificados e de origem artificial, resultado da mobilização da terra pelo Homem para tornar possível a cultura da vinha. Uma das particularidades da região do Douro que a torna numa região vinícola única no mundo, é a sua paisagem, a forma como, com mestria, se rasgou a montanha para instalar hectares e hectares de vinha (cf. Figura 3).



*Figura 3 Paisagem característica do Douro Vinhateiro.*

Falar da viticultura duriense implica falar de um acontecimento que trouxe alterações drásticas à região: a crise filoxérica que surgiu em 1862. A filoxera é um inseto que provoca danos fatais nas videiras de tronco europeu e contra quem a luta química, na época, não mostrou ser eficaz. A solução encontrada foi passar a utilizar porta-enxertos de espécies americanas, resistentes a essa praga.

Até essa altura a vinha era instalada em terraços irregulares com 1 ou 2 filas de videiras. Os socalcos eram rasgados de baixo para cima e as pedras aproveitadas para a construção dos muros de suporte. A densidade de plantação rondava as 3000 a 3500 plantas/hectare. Com o ataque da filoxera, muitas destas vinhas foram deixadas ao abandono, continuando assim até aos nossos dias, sendo agora chamadas de 'mortórios' (IVDP, 2012). Com as mudanças pós-filoxera vieram novas formas de armação do terreno. Os terraços construídos passaram a ser mais largos, mais inclinados e, algumas vezes, sem muros de suporte. A densidade de plantação duplicou, passando para as 6 mil plantas/ha. Surgiu também a vinha plantada em declives naturais, respeitando a inclinação natural do terreno. Contudo, neste sistema, a mecanização é impossível, devido à falta de estradas e de acessos às vinhas,

implicando grandes encargos com mão-de-obra. Tais condicionantes têm feito os viticultores durienses optar cada vez menos por este tipo de armação (IVDP, 2012).

Foi já na segunda metade do século XX que se fizeram os primeiros patamares horizontais com taludes de terra, com 1 ou 2 linhas de videias e com densidades de plantação na ordem das 3000 a 3500 plantas/ha. Mais recentemente apareceram as vinhas ao alto, plantadas segundo as linhas de maior declive do terreno - declive máximo de 40% -, com densidades de plantação semelhantes às vinhas tradicionais, entre as 4000 e as 5000 plantas/ha, oferecendo a grande vantagem de poderem ser mecanizadas (IVDP, 2012).

Considera-se que o clima no Douro é mediterrânico. No entanto, a precipitação não é igual em toda a região, variando entre 1000mm nas zonas mais atlânticas e 400mm por ano, às vezes até menos, no Douro Superior. Numa primeira análise estes valores de precipitação parecerem ser razoáveis, mas, na verdade, não são. Porque a chuva tende a escassear de maio a setembro, que são os meses quentes por excelência na região revestindo-se de enorme importância para a vinha (Andresen, 2006).

As características únicas de clima, relevo e solo, conduzem a uma das mais baixas produtividades do mundo, compensada, no entanto, pela elevada qualidade do vinho nascido nesta região (Pereira, 2000).

Entre as regiões vitícolas nacionais, a região do Douro destaca-se por ser o berço de um dos vinhos mais famosos, tanto em Portugal como no mundo: o Vinho do Porto.

## **O Vinho do Porto**

Nos socacos do Douro nascem dois tipos de vinho com história e tradição diferentes: o Vinho do Porto e o vinho de Denominação de Origem Controlada Douro (DOC Douro). Os clássicos vinhos do Porto representam cerca de 45% da produção e os vinhos DOC Douro representam cerca de 35%. Numa perspetiva global, os vinhos produzidos na RDD são maioritariamente tintos, pois os brancos têm ainda uma baixa expressão, representando menos de 25% do total da produção (Jones, 2013).

O Vinho do Porto é um vinho licoroso cujo processo de fabrico é diferente dos outros vinhos, destacando-se o tempo de maceração e fermentação mais curto, e a fermentação do mosto, interrompida pela adição de aguardente vínica. Pode ser feito pela junção de lotes de vinhos revelando um elevado potencial de envelhecimento (IVDP, 2009a). É um vinho de teor alcoólico elevado, entre os 19% e os 22% do volume.

São produzidos três tipos de vinho do Porto: (1) Tinto, que pode ser *Tawny* ou *Ruby*; (2) Branco e, mais recentemente, (3) Rosé (IVV, 2014).

Para se fazer Vinho do Porto é necessária uma licença específica, ou benefício, resultante da aplicação de determinadas regras visando proteger e garantir a qualidade. Para se compreender como funciona o sistema de benefício, é necessário recuar até 1932, ano em que a Casa do Douro, à época entidade reguladora da produção de Vinho do Porto, cadastrou todas as parcelas de vinha da região. Levantava-se então a questão de preservação da qualidade e de controlo da produção de Vinho do Porto, vindo a instituir-se, em 1948, um método de classificação das parcelas, conhecido como Método de Pontuação de Moreira da Fonseca ou Sistema de Benefício do Vinho do Porto. Este método baseava-se na aplicação de 3 critérios principais - o solo, o clima e as condições culturais, avaliando em cada critério diferentes parâmetros:

O solo – avalia-se a natureza do terreno, a pedregosidade, a produtividade e o declive;

O clima – avalia-se a localização, a altitude, o abrigo e a exposição;

As condições culturais – avaliam-se as castas, a armação do terreno e a condução da vinha, a idade e o compasso de plantação.

O resultado da avaliação dos parâmetros descritos acima permite atribuir uma pontuação à vinha que, de acordo com essa pontuação, recebe uma letra entre A - pontuação mais alta - e F - a pontuação mais baixa. Essa letra classifica e determina a quantidade de vinho do Porto que pode ser produzido com uvas da respetiva parcela. Na atualidade, o sistema de benefício está enquadrado pelo *Regulamento da Classificação das Parcelas com Cultura de Vinha Para a Produção de Vinho Susceptível de Obtenção da Denominação de Origem Porto*, publicado pela Portaria n.º 413/2001, do Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas.

A quantidade global de Vinho do Porto produzido em cada ano é determinada, de acordo com Quevedo (2014), tendo em conta as vendas e os *stocks*, mecanismo controlado pelo Instituto dos Vinhos do Douro e Porto (IVDP).

## **Os DOC Douro**

Os DOC Douro ganharam maior notoriedade na segunda metade do século XX. São vinhos tintos ou brancos, que podem ser consumidos jovens ou de guarda, como é o caso dos Reserva ou Grande Reserva, que atingem a qualidade máxima alguns anos após a vindima (IVDP, 2009b). Atualmente as produções destes dois vinhos no Douro é praticamente igual em percentagem (IVV, 2014).

Combinando castas autóctones com a sábia combinação de lotes de várias castas fazem-se vinhos com grande complexidade e riqueza únicas (IVV, 2014). Nas castas tintas merece realce a Touriga Franca, a Touriga Nacional, a Tinta Roriz, o Tinto Cão e a Tinta Barroca, e nas brancas merece menção a Malvasia Fina, o Gouveio e o Rabigato (IVDP, 2010).

### **A sub-região do Douro Superior**

A sub-região do Douro Superior é a mais extensa em área. Começa no Cachão da Valeira e estende-se até à fronteira com Espanha. São cerca de 110 mil hectares de área, dos quais apenas 10 mil são ocupados por vinha (IVDP, 2010). A sua localização geográfica, distanciada dos grandes centros urbanos, e as dificuldades de acesso, ditaram o afastamento dos viticultores desta região. No entanto, devido à sua orografia menos acidentada apresenta boas condições para implantação da vinha mecanizada, o que tem aliciado alguns produtores a instalar novas produções de grande dimensão (Magalhães, 2008).

## **2.2 A importância da rega na produção vitivinícola**

A vinha é cultivada em condições de *stress* hídrico, com vista a potenciar a qualidade dos vinhos (van Leeuwen *et al.*, 2002). O conceito de *stress* hídrico é definido como sendo a situação em que a água é um fator limitativo ao normal funcionamento da planta e pode surgir tanto por excesso de água como numa situação de *défice* (Magalhães, 2008). É uma das poucas culturas que tem a capacidade de resistir a longos períodos de seca e que consegue diminuir as suas necessidades de água durante os períodos mais críticos. Apesar de estar bem adaptada à escassez de água, a videira, é das plantas que reage de forma mais positiva à irrigação (Spiegel-Roy & Bravdo, 1964).

A cultura da vinha encontra-se um pouco por todo o mundo, até em locais que não reúnem as condições edafoclimáticas ideais, onde os solos e o clima são demasiado secos (Jordão, 1998). Nestas regiões a rega da vinha constitui uma prática comum para controlar o crescimento da videira e aumentar a qualidade das uvas (van Leeuwen & Vivin, 2008). Há países onde esta prática não é autorizada na produção de uvas para vinho de qualidade embora, de acordo com a FAO (2012) seja uma prática permitida em cada vez mais locais. Santos *et al.*, (2005) referem que na Europa e, mais concretamente, em Portugal, a rega da vinha só recentemente começou a ganhar terreno nas práticas vitivinícolas, por causa da crença existente de que a água poderia

ser prejudicial para a qualidade do vinho. No entanto, em função da crescente aridez do clima, a rega tem vindo a tornar-se comum nas regiões do país onde se verifica alta evapotranspiração potencial e onde a precipitação é reduzida nos meses de crescimento da videira.

O conhecimento das relações hídricas é de extrema importância em qualquer região vitícola, uma vez que elas são de extrema importância no que concerne ao equilíbrio da videira, à produção e qualidade do fruto e à prevenção de doenças (Jones, 2013). A disponibilidade hídrica durante o desenvolvimento do cacho é um dos fatores que, tal como a temperatura e a radiação, afetam a composição e os atributos do vinho (FAO, 2012). Um défice hídrico severo leva à diminuição da produção de fotoassimilados, uma vez que os estomas se fecham e a fotossíntese fica limitada, refletindo-se no crescimento e na qualidade dos cachos, na diminuição da área foliar e, conseqüentemente, na quantidade de luz interceptada. Por outro lado, quando a planta está sujeita a um regime de água sem restrições o crescimento vegetativo é exagerado, ocorrendo competição pelos fotoassimilados que se destinavam aos cachos. Neste cenário, a canópia torna-se demasiado densa afetando negativamente a floração, o amadurecimento dos frutos e facilitando o desenvolvimento de doenças (Pellegrino *et al.*, 2006) .

Como salvaguarda Santos *et al.* (2007), a irrigação, desde que bem aplicada, é uma ferramenta bastante eficaz para potenciar o rendimento da vinha. Spiegel-Roy e Bravdo (1964) defendem que a rega é importante porque a água é um meio de reação química, de dissolução de gases e minerais e essencial para a manutenção da turgescência das células e Prichard (1992) destaca a importância da água enquanto elemento fundamental para o normal funcionamento fisiológico da videira, pois permite o movimento e a absorção de substâncias entre as células e os órgãos da planta, através do xilema e do floema.

Nos últimos anos têm-se desenvolvido estudos e.g. Acevedo-Opazo, Ortega-Farias & Fuentes (2010) que demonstram que a manipulação do estado hídrico da videira durante estados fenológicos sensíveis tem efeitos diretos na composição das uvas e nos atributos de qualidade, uma vez que o crescimento vegetativo, o microclima da canópia e o metabolismo dos frutos são alterados. A rega deve, por isso, ser controlada de forma a otimizar um balanço *source/sink* que garanta um desenvolvimento vegetativo e reprodutivo adequados e evite o vigor excessivo (Chaves *et al.*, 2007). Um programa de irrigação ótimo deve impor à planta um regime hídrico que permita uma boa atividade fisiológica das folhas e ao mesmo tempo reduza o vigor excessivo dos pâmpanos. Para

além do mais, uma canópia mais aberta e mais equilibrada influencia a qualidade dos bagos, aumentando a concentração de compostos fenólicos. A irrigação também deve ser adequada ao estado fenológico em que a videira se encontra, uma vez que a sua resposta ao déficit hídrico varia ao longo do ciclo de desenvolvimento (Santos *et al.*, 2007) . Contudo, independentemente do local onde se encontra a vinha, antes da implementação de uma estratégia de rega deficitária é preciso determinar quando, quanto e como regar (Williams, 2001).

### 2.3 Cálculo das necessidades de rega

A evapotranspiração (ET) resulta da combinação da quantidade de água perdida por evaporação através do solo e por transpiração através das plantas. Este parâmetro varia em função da composição da canópia. Se a área foliar for reduzida, deduz-se que a maior parte da água se perde por evaporação do solo; se a área foliar for elevada, então, é a transpiração que assume o papel principal nas perdas de água (Moyer *et al.*, 2013). Williams (2001) realça que a ET potencial varia sazonalmente, sendo mais baixa no início do desenvolvimento da videira, atingindo o pico a meio do verão e decresce a partir desse momento até à queda da folha.

A vinha ocupa grande parte da área agrícola da região Mediterrânica e, devido às características ambientais desta região, a evapotranspiração é um dos componentes principais do ciclo hidrológico (Trambouze & Voltz, 2001). Em consequência, é necessário repor humidade no solo de forma artificial, assumindo grande importância a capacidade de estimar o uso de água de uma videira, principalmente em zonas onde a quantidade de água disponível é essencialmente proveniente da irrigação (Williams & Ayars, 2005). A quantidade de água a fornecer por irrigação à videira implica, portanto, o conhecimento dos valores de evapotranspiração baseado nas características de crescimento da vinha, do espaço na entrelinha e da distância entre videiras (Williams, 2001).

O estado hídrico da videira depende da água absorvida pela raiz e da quantidade de água perdida por transpiração (E), fenómeno fisiológico muito relacionado com as exigências hídricas. As castas que apresentem maior produção ou com formas de condução que levam a grandes expressões vegetativas têm exigências hídricas superiores e, conseqüentemente, maior taxa de transpiração (Magalhães, 2008). A perda de água através da transpiração dá-se pelos ostíolos dos estomas, sempre que as células de guarda se encontrem num grau de turgescência que permita a sua

abertura. Nesse instante dão-se trocas gasosas ao nível dos estomas, consistindo na absorção de O<sub>2</sub> e na libertação de CO<sub>2</sub>, pela fotossíntese e pelas perdas de água (Magalhães, 2008).

A evaporação através do solo e a transpiração das folhas varia de dia para dia ao longo do ciclo de crescimento. Quando a evapotranspiração é mais elevada as necessidades de rega são igualmente altas, quando os valores de ET baixam as necessidades de rega diminuem também (Williams, 2001).

Para calcular a evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>), Williams e Ayars (2005) sugerem que se pode utilizar uma equação que relaciona o coeficiente cultural (K<sub>c</sub>) e os valores de evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>):

$$ET_c = K_c \times ET_0$$

O K<sub>c</sub> é um valor que varia de acordo com o tipo de cultura e com o seu estágio de desenvolvimento. No caso da vinha a arquitetura da canópis e a área foliar representam dois fatores que influenciam os valores do coeficiente cultural (Williams & Ayars, 2005).

A evapotranspiração de referência é calculada através da equação de Penman-Monteith, na qual se usam fatores como a temperatura do ar, a humidade, a radiação solar e a velocidade do vento. Estes parâmetros são registados pelas estações meteorológicas mais modernas (Moyer *et al.*, 2013). Os valores de ET baixos estão associados a dias nublados, frescos, húmidos, com pouco vento e dias curtos (menos horas de luz solar). Por outro lado, valores de ET elevados estão associados a dias solarengos, quentes, secos, ventosos e com muitas horas de luz. Como recorda o mesmo autor as plantas tendem a desidratar mais rapidamente em condições de evapotranspiração elevada.

## 2.4 Modelos de rega deficitária

A cultura da vinha exige um controlo muito rigoroso da quantidade de água. A sua presença ou défice em valores elevados manifesta-se de formas pouco favoráveis. Por outro lado, a produção de vinhos de qualidade, com uma relação equilibrada de crescimento e qualidade, só se consegue através da gestão do teor de água no solo das vinhas, aplicando uma estratégia de rega que aporte menos água do que o total de evapotranspiração requerida pela planta em determinados momentos do seu desenvolvimento (Gurovich & Páez, 2004; Pellegrino *et al.*, 2006). Essa estratégia é a rega deficitária que, para além de satisfazer os requisitos anteriores, é também sinónimo de uso racional da rega (Cifre *et al.*, 2005).

As duas variantes de irrigação mais utilizadas são a rega deficitária controlada (regulated deficit irrigation - RDI) e a rega parcial do volume radicular (partial root drying - PRD). Quando bem aplicadas resultam na melhoria da eficiência hídrica da cultura e da qualidade da uva (Dry *et al.*, 2001; Santos *et al.*, 2007).

A rega deficitária controlada (RDI) é uma técnica de gestão da irrigação que usa o *stress* hídrico como meio para potenciar a qualidade dos frutos (Goodwin, 2002), aplicando diferentes níveis de restrição hídrica ao longo dos períodos críticos do desenvolvimento vegetativo e reprodutivo das culturas (Dry *et al.*, 2001) em níveis específicos, de acordo com a composição do solo, para que as reações fisiológicas da vinha possam ser aproveitadas em benefício do desenvolvimento das uvas (Goodwin, 2002). Utilizando esta técnica tira-se partido do *stress* hídrico moderado para atingir objetivos pré-definidos e, para tal, deve-se conhecer muito bem a disponibilidade hídrica do solo, de modo a assegurar que não se impõe *stress* excessivo à videira (Dry, 2005). Neste tipo de rega a água é fornecida durante períodos curtos de tempo, imediatamente a seguir à formação dos bagos, para controlar o seu tamanho e o crescimento vegetativo (Santos *et al.*, 2007). O impacto da irrigação é positivo na síntese e concentração de compostos fenólicos, sólidos solúveis e antocianinas, interferindo em características como a cor, o sabor e o aroma do vinho, fatores que determinam a qualidade do vinho (Acevedo-Opazo *et al.*, 2010; Santos *et al.*, 2007). Nas uvas tintas o incremento da qualidade quando se utiliza esta técnica é claro mas no caso das uvas para vinho branco, em que o contacto com as películas durante a fermentação é mínimo, os benefícios são menos evidentes (Goodwin, 2002).

No caso da rega parcial do volume radicular (PRD) são utilizados dois tubos de rega colocados em lados opostos do tronco da videira. Desta forma, uma parte do sistema radicular vai estar exposto a *stress* hídrico enquanto a outra metade se mantém hidratado, graças à rega. Cada planta tem dois gotejadores, um de cada lado, que debitam água alternadamente, em intervalos de 10 a 15 dias (Magalhães, 2008). Esta técnica de irrigação estimula respostas químicas da parte não regada da raiz, entre elas a produção de ácido abscísico (ABA), uma hormona favorável ao amadurecimento das uvas e que induz, ao nível das folhas, a redução do vigor e da condutância estomática ( $g_s$ ). As necessidades hídricas são asseguradas pelo contacto de parte do sistema radicular com o solo hidratado (Keller, 2005; van Leeuwen & Vivin, 2008).

As vantagens desta técnica incluem a poupança de água, controlo do crescimento vegetativo, aumento da qualidade dos bagos sem causar perdas de produção e ganhos ao nível da composição fenólica e aromática (Dry & Loveys, 1998; Santos *et al.*, 2007);

Uma característica interessante que se tem vindo a verificar em alguns ensaios é que mesmo quando se reduz a rega para metade não há redução significativa no rendimento, ao contrário do que se verifica em vinhas regadas usando RDI (Dry *et al.*, 2001). Por outro lado, há estudos (Intrigliolo & Castel, 2009; Santos *et al.*, 2003) que demonstram haver poucas diferenças entre esta técnica de rega e a convencional rega gota-a-gota. Isto deve-se ao facto de a intensidade da sinalização química originada num regime de irrigação parcial das raízes ser influenciada pela precipitação, pelo tipo de solo e pela taxa de evapotranspiração da região, bem como pela frequência de interrupções de irrigação a partir de um lado da zona radicular para o outro (Chaves *et al.*, 2007; Dry *et al.*, 2001).

O porta-enxertos também pode contribuir para as diferenças nos resultados obtidos, uma vez que diferente sensibilidade dos estomas ao *stress* hídrico ou o transporte de ácido abscísico (ABA) pode dever-se a diferenças no genótipo das plantas.

As maiores dificuldades na aplicação destas técnicas estão associadas à garantia de que não se aplica água em excesso, no caso da RDI e de que o tempo que decorre entre as regas com PRD é apropriado (Pellegrino *et al.*, 2006).

## 2.5 Indicadores do estado hídrico

A condição hídrica pode ser aferida por indicadores fisiológicos como o potencial hídrico, microvariações do diâmetro dos órgãos e das plantas, débito de seiva e transpiração (van Leeuwen & Vivin, 2008), trocas gasosas, dendrometria, termometria e termografia, fitomonitorios ou pela observação da aparência da vegetação. Neste capítulo daremos ênfase às duas técnicas utilizadas no ensaio: o potencial hídrico foliar e a monitorização das trocas gasosas.

O estado hídrico das videiras resulta do balanço entre a quantidade de água absorvida do solo e a água perdida por transpiração e evaporação, não só das videiras como também de toda a flora existente à sua volta (Magalhães, 2008). Por isso, a monitorização do estado de hidratação é essencial para o desenvolvimento de um plano de rega que vá ao encontro dos objetivos do viticultor (Acevedo-Opazo *et al.*, 2010).

O controlo da restrição hídrica faz-se com recurso a indicadores que disponibilizam dados precisos e em tempo útil, tais como a disponibilidade de água e a sua condutividade no solo, e a capacidade da videira para transportar água do solo para a

atmosfera. É com base nestes dados que se tomam decisões de ordem técnica quanto à escolha da estratégia de rega (Acevedo-Opazo *et al.*, 2010; Payan *et al.*, 2006).

Uma vez que a distribuição de água irregular na zona radicular provoca modificações no funcionamento fisiológico das videiras, sobretudo no que diz respeito aos sinais químicos produzidos pela raiz (Lopes *et al.*, 2008), dá-se preferência a métodos que façam a monitorização através da medição de mudanças provocadas pelo *stress*, no funcionamento fisiológico da videira. O estado de hidratação do solo é frequentemente indicado pelo potencial hídrico foliar de base, também usado para determinar o nível de *stress* da videira (Pellegrino *et al.*, 2006).

### 2.5.1 Potencial hídrico foliar

O potencial hídrico foliar ( $\Psi_f$ ) é um bom indicador do estado hídrico, uma vez que representa o estado energético da água na planta. Este parâmetro é definido pelo potencial médio do solo na zona radicular, a evapotranspiração real instantânea e a resistência do circuito principal solo-folha (Lopes *et al.*, 2008). A relação entre a ausência de água no solo e o potencial hídrico é linear, ou seja, à medida que a água no solo escasseia os valores de potencial hídrico tornam-se mais negativos (Prichard, n.d.).

A determinação do potencial hídrico foliar é uma técnica excelente para medir a quantidade de água presente nas plantas, tanto nas regadas como nas não regadas. . A sua medição faz-se com recurso a uma câmara de pressão, de acordo com a metodologia descrita por Scholander *et al.*, (1965). A câmara de pressão pode fornecer valores de potencial foliar hídrico de base ( $\Psi_b$ ), potencial hídrico do ramo ( $\Psi_{stem}$ ) e potencial foliar hídrico diurno ( $\Psi_f$ ) (Acevedo-Opazo *et al.*, 2010; Choné, 2001).

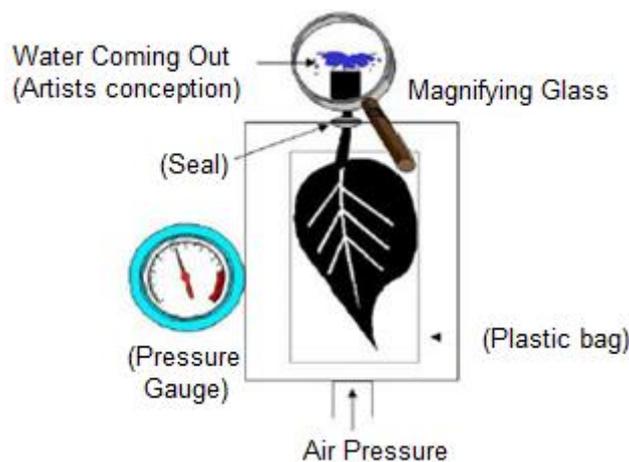


Figura 4 Representação esquemática do funcionamento da câmara de pressão de Scholander (Smith & Prichard, 2002).

A câmara hermética, representada no esquema da Figura 4, é o componente principal da câmara de Scholander. Para a determinação do potencial hídrico de uma folha procede-se ao seu corte, com o cuidado de fazer um corte perfeito e oblíquo para facilitar a visibilidade das gotas de exsudação. Imediatamente após a colheita, a folha é fixada na tampa da câmara, ficando apenas o pecíolo em contacto com o exterior, através de um pequeno orifício. Depois de apertar a tampa, garantindo que não há folgas que permitam fugas de gás, começa-se a injeção de azoto sob pressão crescente. No instante em que, com o auxílio de uma lupa, se visualizam os primeiros sinais de exsudação de seiva no pecíolo cortado, a injeção de gás é interrompida e é registado o valor da pressão. O valor da pressão que é preciso exercer para que haja exsudação é igual ao potencial hídrico foliar. A pressão no interior da câmara é medida por um manómetro que pode fornecer os valores em Bar ou MPa (10Bar=0,1 MPa).

A medição do potencial hídrico foliar ( $\Psi_f$ ) define o estado de hidratação instantâneo com grande precisão (van Leeuwen & Vivin, 2008). O valor deste parâmetro, expresso em unidades de pressão, indica o estado energético da água na planta. Quanto menos água livre houver na planta, resultado de uma menor disponibilidade hídrica, mais elevada será a pressão necessária para provocar a saída de água pelo pecíolo (Deloire *et al.*, 2005) e quanto maior for o défice hídrico na planta mais negativo será o valor de  $\Psi_f$  (Pereira, 2000).

Para Williams (2001), os fatores mais impactantes nos valores de  $\Psi_f$  são as condições atmosféricas no momento de recolha das amostras e a composição do solo. A este

respeito, Magalhães (2008) acrescenta que os valores são dependentes da casta e das características de implantação da raiz no solo.

O estado hídrico da videira não é estático, varia ao longo do dia, conforme o estado fenológico da planta, a disponibilidade hídrica do solo e a hora do dia. As condições meteorológicas também interferem, devido ao poder evaporativo da atmosfera, da condutividade hidráulica interna das plantas e do controlo estomático (Choné, 2001; Flexas *et al.*, 2007) . Em condições normais, ou seja num dia de céu limpo e tendo o solo boas reservas de água, o potencial hídrico foliar começa a diminuir logo ao nascer do sol, atingindo o seu mínimo por volta do meio-dia, ou seja, alcançando o potencial hídrico foliar mínimo ( $\Psi_h$ ) no momento em que o potencial evaporativo do ar é maior e o sistema radicular não consegue extrair água suficiente do solo para equilibrar as perdas por transpiração. Nesse momento, os valores negativos são mais severos, recuperando-se o potencial hídrico ao longo da tarde, sendo que só de madrugada volta a atingir os valores mais elevados - menos negativos – (Lopes *et al.*, 2008; Pereira, 2000).

O potencial hídrico medido antes do nascer do sol é designado potencial hídrico foliar de base ( $\Psi_b$ ). Nesse momento os estomas estão fechados devido à ausência de luz solar e verifica-se um equilíbrio entre o potencial hídrico do solo e da planta (Silvestre, 2007). Smart e Coombe (1982) consideram que o  $\Psi_b$  é o melhor parâmetro para definir a condição hídrica da videira e, por isso, os valores podem ser usados para quantificar o nível de *stress* hídrico a que a planta está sujeita (Ojeda *et al.*, 2001).

Há uma relação bastante evidente entre o potencial hídrico foliar de base e a percentagem de água disponível no solo, o que reforça a sua utilização enquanto bom indicador da disponibilidade hídrica do solo e da atividade fisiológica da videira, principalmente em situações de *secura*. A principal desvantagem deste método é que o  $\Psi_b$  tem de ser medido antes do sol nascer, obrigando a ir à vinha ainda de madrugada. Por outro lado, os valores obtidos refletem a situação da planta quando os estomas estão fechados, mas, assim que o sol nasce, a situação altera-se e o pico de *stress* diurno tem de ser determinado com uma nova medição (Lopes *et al.*, 1998).

Os valores de potencial de base podem ser usados para quantificar o nível de *stress* da planta (Ojeda *et al.*, 2001).

Tabela 1 Níveis de déficit hídrico na videira segundo a determinação do potencial hídrico foliar mínimo ( $\Psi_h$ ). Tabela reproduzida de Prichard (n.d.).

<b>Níveis de déficit hídrico da videira segundo Potencial hídrico foliar mínimo (<math>\Psi_h</math>), medido ao meio-dia solar</b>		
<b>1</b>	Menos de -1MPa	Sem <i>stress</i>
<b>2</b>	-1 a -1,2 MPa	<i>Stress</i> suave
<b>3</b>	-1,2 a -1,4 MPa	<i>Stress</i> moderado
<b>4</b>	-1,4 a -1,6 MPa	<i>Stress</i> elevado
<b>5</b>	Acima de -1,6 MPa	<i>Stress</i> severo

O potencial hídrico foliar mínimo ( $\Psi_h$ ) é medido ao meio-dia solar, ocorrendo quando há regulação estomática e as folhas expostas à luz solar estão a executar processos fisiológicos como a fotossíntese e a transpiração. Esta medição é realizada com o intuito de determinar o potencial hídrico mais baixo que a planta atinge durante o dia e o nível de *stress*, como se vê na Tabela 1 (van Leeuwen *et al.*, 2009) . O potencial hídrico foliar pode atingir valores entre -1,3 e -1,6MPa com facilidade. Com valores desta ordem a assimilação líquida de CO<sub>2</sub> torna-se muito reduzida, devido ao encerramento dos estomas.

O potencial hídrico do ramo ( $\Psi_{stem}$ ) também é considerado como indicador do estado hídrico da planta. Para a sua medição, a qualquer hora do dia, as folhas são revestidas com papel de alumínio para impedir a transpiração e, desta forma, ficar equilibrado com o potencial hídrico do pânpano (Begg & Turner, 1970). O  $\Psi_{stem}$  apresenta maior sensibilidade às variações da disponibilidade hídrica quando comparado com o potencial hídrico diurno, facto que se deve à sua correlação com a transpiração (Choné, 2001; Deloire *et al.*, 2005; Ferreyra *et al.*, 2002) . Este parâmetro também depende de fatores ambientais como a radiação, a temperatura e o déficit de pressão de vapor (Santesteban *et al.*, 2011) . O potencial hídrico do ramo tem sido relacionado com outros indicadores de *stress* hídrico, como o abrandamento do crescimento vegetal e o peso dos bagos (van Leeuwen *et al.*, 2009).

Em vinhas com *stress* hídrico, o déficit de pressão de vapor tem menor influência na variação do  $\Psi_{stem}$  (Santesteban *et al.*, 2011; Williams & Trout, 2005) . Williams e Baeza (2007) verificaram que o  $\Psi_{stem}$  varia em função da temperatura ambiente e do déficit de pressão de vapor no momento da medição, em vinhas com conforto hídrico. A este respeito, Santesteban *et al.* (2011) observaram que a temperatura do ar era mais influente do que o déficit de pressão de vapor e do que a evapotranspiração ao meio-

dia. Segundo estes investigadores, a quantidade de cachos e a área foliar também influenciam o  $\Psi_{\text{stem}}$ .

## 2.5.2 Trocas gasosas

Uma das primeiras reações da planta perante uma situação de défice hídrico é a diminuição da abertura dos estomas e, por esse motivo, as trocas gasosas são um importante indicador de *stress* hídrico na videira (Cifre *et al.*, 2005; Flexas *et al.*, 2004; Medrano *et al.*, 2007). As trocas gasosas entre as folhas e a atmosfera são medidas com recurso a um analisador de gases por infravermelhos (IRGA - *infrared gas analyzer*) que regista a temperatura do ar ( $T_a$ ), a temperatura da folha ( $T_f$ ), a transpiração ( $E$ ), a fixação de  $\text{CO}_2$  ( $A$ ) e a condutância estomática ( $g_s$ ).

Num dia de céu limpo, desde o nascer do sol até ao meio dia, a  $T_f$  aumenta gradualmente até um valor máximo, enquanto a  $g_s$  diminui e, por consequência, ocorre uma redução da transpiração e de fixação de  $\text{CO}_2$  (Magalhães, 2008).

Para a videira, a temperatura ótima para a realização da fotossíntese situa-se nos  $30^\circ\text{C}$ , diminuindo com a subida da temperatura e suspende-se quando atinge cerca dos  $40^\circ\text{C}$  (Feio, citado por Jordão *et al.*, 1998). Flexas *et al.* (2004) consideram que a condutância estomática está associada à resposta da planta à escassez de água. A forte ligação entre a  $g_s$  e a fotossíntese pode ser usada como indicador da hidratação da planta, mas deve ser complementada com a taxa de assimilação líquida de  $\text{CO}_2$ , uma vez que a resposta da fotossíntese ao *stress* hídrico pode estar relacionada com outras limitações que não sejam provocadas pelos estomas (Cifre *et al.*, 2005; Flexas *et al.*, 2002). Intrigliolo e Castel (2009) esclarecem que os valores que se obtêm com o IRGA são bastante confiáveis e que este método tem a vantagem de não ser destrutivo. Todavia, é pouco utilizado fora do contexto de investigação, pois o seu custo é elevado, para além de que a sua utilização exige alguma especialização e a amostragem é reduzida e demorada, pois as leituras são efetuadas numa folha de cada vez.

## 2.6 O papel da água na fisiologia da videira e cálculo das suas necessidades

A água desempenha um papel fundamental na biologia das plantas, uma vez que todos os processos metabólicos que ocorrem ao nível celular dependem da existência deste elemento, de forma direta ou indireta. Tem um papel imprescindível no crescimento e desenvolvimento das plantas, é parte fundamental do processo de fotossíntese, funciona como solvente para grande parte dos solutos minerais, permitindo a sua difusão por diferentes órgãos e uma determinada turgescência e manutenção da forma dos tecidos, participando no processo de abertura estomática. Para além disso, a evaporação da água para a atmosfera, através das folhas, permite trocas de calor com o ambiente (Pereira, 2000).

### 2.6.1 A carência hídrica na videira

O estado de hidratação de uma videira depende de vários fatores: da distribuição das suas raízes, da quantidade de água armazenada no solo e ainda da energia para vaporizar água ao nível das folhas e das resistências ao fluxo no sistema solo-planta-atmosfera (Pereira, 2000).

O *stress* hídrico é uma resposta fisiológica a uma condição de escassez de água. Algumas dessas respostas incluem a redução da divisão celular, perda da expansão celular, fecho dos estomas e consequente redução da fotossíntese e, numa situação severa, dessecação celular e morte. A maioria destas ações é dinâmica, ou seja, adaptam-se conforme a gravidade da carência hídrica a que estão sujeitas. Por exemplo, os estomas não fecham completamente aos primeiros sinais de falta de água, mas sim lentamente à medida que a seca vai aumentando, uma vez que estão implicados no processo fotossintético e consequente na formação de açúcares (Goodwin, 2002). O termo *stress* hídrico deve ser aplicado apenas em situações em que há uma excessiva falta de água que pode afetar a qualidade das uvas e colocar em risco a sustentabilidade da videira (van Leeuwen & Vivin, 2008).

A fase de crescimento vegetativo é muito sensível, exigindo um controlo rigoroso da rega, uma vez que a presença de água influencia o vigor vegetativo, o tamanho do bago e a qualidade das uvas. Água em excesso induz um estímulo de crescimento exagerado, o que leva à formação de canópias muito densas e à menor exposição dos frutos à radiação solar, implicando diminuição na qualidade dos frutos e aumento da incidência

de doenças (Santos *et al.*, 2007). A limitação de água induz efeitos negativos também durante a maturação, uma vez que, por um lado, limita a fotossíntese e, por outro, induz respostas positivas como a produção de ABA, fenómeno que limita a competição por substâncias carbonadas pelo ápice e origina bagos menos volumosos (van Leeuwen & Vivin, 2008).

Existem vários indicadores que podem ser utilizados para diagnosticar uma situação de *stress* hídrico, tais como o *status* de hidratação do solo e da videira ou os processos fisiológicos da planta, sensíveis à variação da quantidade de água no solo. O teor de água no solo pode ser indicado pelo valor do potencial hídrico foliar de base, muito utilizado para detetar situações de *stress* hídrico na vinha (Pellegrino *et al.*, 2006).

## 2.7 Efeito da disponibilidade de água no desenvolvimento vegetativo, produção, qualidade e maturação

Na região vitícola do Douro, à semelhança de outras regiões com clima mediterrânico, a distribuição irregular da precipitação ao longo do ano, aliada à elevada evapotranspiração durante a estação estival, representa limitações no desenvolvimento das videiras (Jones, 2013). Sabe-se que diferentes tipos de restrições ambientais podem limitar o vigor e o potencial produtivo e, assim, condicionar as uvas para vinificação. Entre essas limitações destaca-se a restrição de água, que desempenha um papel importante no comportamento da vinha e na composição das uvas (van Leeuwen & Vivin, 2008). Os efeitos do *stress* hídrico dependem da fase em que ocorre, da intensidade e da taxa em que é imposta a restrição hídrica (Santos *et al.*, 2007). As situações de *stress* hídrico, quando associadas a temperaturas altas, influenciam a síntese de compostos fenólicos, pela redução da atividade fotossintética (Jordão, 1998).

Em condições de conforto hídrico o crescimento vegetativo prolonga-se até tarde, no ciclo vegetativo. Esta condição faz com que se verifique um aumento da competição entre a vegetação e os frutos, provocando alterações no microclima da canópia, interferindo com a sanidade da videira e com a maturação das uvas, refletindo-se na qualidade dos bagos com teores de açúcares mais baixos e acidez mais elevada. Para além disso, os bagos são de maiores dimensões, fator que faz diminuir a relação película/polpa. Em consequência, as produções são mais elevadas mas os vinhos originados são herbáceos, com menos corpo, cor e álcool (Lopes *et al.*, 2008). Van Leeuwen (2008) acrescenta ainda que o regime hídrico pode ser influenciado pela escolha do material vegetal, pelo sistema de condução e pela manutenção do solo e

que uma condição de *stress* hídrico moderadamente limitado, geralmente induz efeitos benéficos sobre a qualidade dos vinhos produzidos.

Ainda que as vantagens da rega sejam cada vez mais evidentes, é preciso atingir o equilíbrio para que os resultados sejam vantajosos e, como em tudo, há vantagens e desvantagens quer quando se fornece água quer quando ela escasseia.

A aplicação de suplementos de água nas videiras, ao longo da maturação, é uma questão sensível que deve ser ponderada, uma vez que o seu efeito vai depender de fatores como as dotações de água a usar, a sua periodicidade, o tipo de casta, o solo, o clima e as fertilizações efetuadas. Os mostos resultantes de uvas sujeitas a irrigação parecem ter menos açúcares, valores mais altos de ácidos orgânicos, menor teor de antocianinas e maior pH, segundo Jordão (1998). Arnold (2001) refere que outros estudos realizados sobre o efeito da irrigação mostram que um aumento da disponibilidade de água leva ao aumento do peso dos bagos, do peso dos cachos e do peso da produção por videira, podendo favorecer o aparecimento de *Botrytis*, aumentando do peso da lenha de poda, aumentando dos níveis de potássio e de malato nos mostos e nos vinhos, para além da diminuição do °Brix.

Quando se reduz a irrigação antes do pintor, verifica-se a diminuição do tamanho dos bagos, fenómeno de extrema importância uma vez que os compostos aromáticos que determinam a qualidade do vinho se concentram nas películas e os solos tornam-se mais secos, limitando o crescimento dos pâmpanos (Santos *et al.*, 2007).

Tendo em conta que a rega deficitária pode ser encarada como uma estratégia de controlo do vigor, considera-se que os valores de potencial de base devem ser mantidos em níveis próximos de zero, desde o abrolhamento ao vingamento, para garantir que a canópia se estabelece sem problemas (Ojeda *et al.*, 2002). Um bom restabelecimento da humidade nos solos durante a primavera pode fomentar o crescimento da videira e potenciar uma floração e um vingamento mais eficazes (Jones, 2013). Do abrolhamento até ao vingamento, o *stress* hídrico é prejudicial porque, nesse período, ocorrem fenómenos determinantes, como a polinização das flores e o vingamento, momentos em que uma perturbação pode afetar a colheita (Ferreyra *et al.*, 2002).

Após o vingamento, deve procurar criar-se uma situação de *stress* hídrico moderado, como medida preventiva do crescimento vegetativo desta fase até ao pintor, momentos em que se pretende que os fotoassimilados sintetizados na fotossíntese (Figura 5) sejam canalizados para o desenvolvimento dos cachos (Pellegrino *et al.*, 2006).

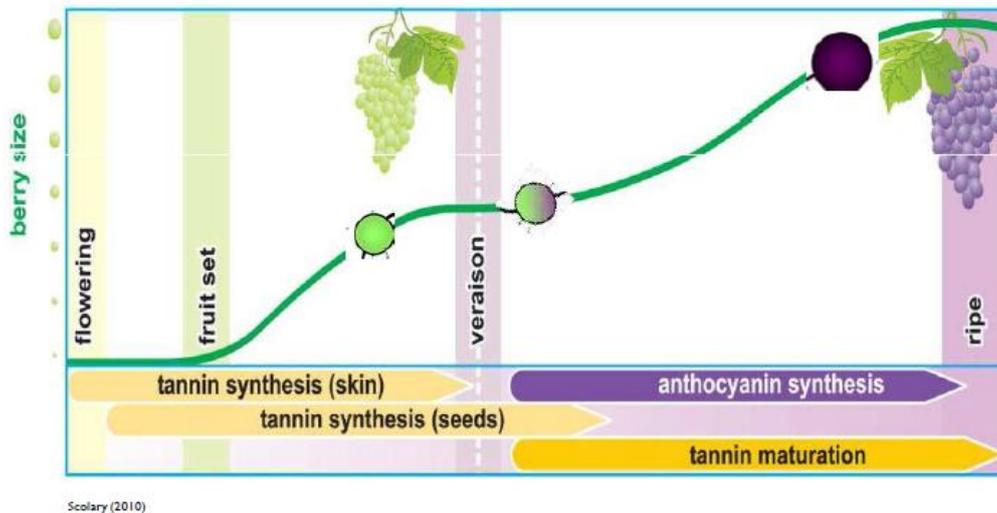


Figura 5 Esquema da síntese dos principais compostos das uvas, ao longo do ciclo de desenvolvimento (Jordão, 2015).

A indução de *stress* hídrico entre a alimpa e o pintor não é consensual e deve ser ponderada. Numa situação de escassez de água verifica-se a diminuição do crescimento vegetativo e a redução do tamanho do bago, causada por alterações na divisão celular do pericarpo ou simplesmente pela redução do volume do bago (Coombe & McCarthy, 2000; Ferreyra *et al.*, 2002; Ojeda, 2001). Por outro lado, um estudo de Coombe e McCarthy (2000) mostrou que a redução da produção pode ser compensada por um aumento do teor em sólidos solúveis e, possivelmente, um aumento da qualidade. O aumento de açúcares relaciona-se com o aumento da fotossíntese ou de fenómenos de concentração, devido ao aumento do rácio película/polpa (Santesteban & Royo, 2006). Com *stress* hídrico também ocorre aumento de acidez e do teor em compostos fenólicos, sendo os compostos mais afetados, segundo Pilar *et al.* (2007) e aumenta a probabilidade de escaldão nos cachos, devido à diminuição do número de folhas (Gurovich & Vergara, 2005; Spayd *et al.*, 2002). A diminuição do tamanho dos bagos antes do pintor é uma situação irreversível, mesmo que a videira entre em conforto hídrico na altura do amadurecimento (Carbonneau *et al.*, 2001).

O pintor é o estado fenológico que reúne maior consenso para a indução de *stress* hídrico. A redução do tamanho dos bagos não é tão acentuada como noutras, (Coombe & McCarthy, 2000; Ferreyra *et al.*, 2002), verificando-se um aumento de compostos fenólicos e de antocianinas (Ojeda *et al.*, 2002). Tanto a diminuição do tamanho dos bagos como a concentração de compostos fenólicos ocorrem devido à desidratação da uva. Já as antocianinas aumentam porque há maior síntese deste composto de cor, revelam Ojeda *et al.* (2002).

Com base em van Leeuwen (2008), podemos afirmar que, de um modo genérico, o *stress* hídrico tem impacte na taxa fotossintética, uma vez que a reduz, atrasa o crescimento, limita o tamanho dos bagos mas estimula a síntese de compostos fenólicos. O *stress* hídrico moderado promove o aumento da taxa de maturação, uma vez que, ao reduzir a fotossíntese, promove menor concorrência pelo carbono e menos volume de uvas para preencher. O *stress* hídrico elevado favorece o potencial enológico das uvas tintas mas é quase sempre prejudicial nas variedades brancas.

## 3. Material e métodos

Neste capítulo começamos por caracterizar brevemente o ensaio, descrever as metodologias seguidas e os instrumentos utilizados para a recolha de dados.

### 3.1 Caracterização do Ensaio

#### 3.1.1 Localização da parcela

O ensaio descrito nesta dissertação foi realizado em colaboração com a Quinta do Crasto, SA, empresa que se disponibilizou para cooperar com a Faculdade de Ciências da Universidade do Porto na realização deste estudo.



Figura 6 Vista aérea da Quinta da Cabreira. Fonte: Bing Maps.

O ensaio experimental foi instalado numa parcela de vinha de Touriga Franca (*Vitis vinífera* L.) na Quinta da Cabreira, em Castelo Melhor, concelho de Vila Nova de Foz Côa (Figura 6). A escolha desta quinta deveu-se à sua localização, na sub-região do Douro Superior, uma zona quente e com pouca precipitação onde os solos são pobres e com pouca capacidade de retenção de água. A Touriga Franca foi a casta eleita por estar plantada numa encosta com exposição solar privilegiada e porque nesta vinha está instalada uma sonda de monitorização de humidade do solo.

Os trabalhos decorreram entre os meses de Abril e Setembro do ano de produção 2014/2015. Ao longo do ensaio foram testadas diferentes modalidades de rega deficitária de forma a determinar qual a mais adequada, bem como quais os efeitos da rega aplicada no rendimento e na qualidade da casta Touriga Franca.

A Quinta da Cabreira localiza-se na Região Demarcada do Douro, mais concretamente na sub-região do Douro Superior. Estende-se por cerca de 140 hectares, dos quais 114 são de vinha e os restantes de olival. Nesta propriedade são cultivadas castas tintas como Touriga Nacional, Touriga Franca, Tinta Roriz, Tinta Barroca, Tinta Amarela, Tinta Francisca, Sousão, Alicante Bouschet, Syrah e ainda castas brancas como Rabigato, Viosinho e Verdelho. Uma parte da quinta tem benefício, estando classificada com a letra A determinando a quantidade de Vinho do Porto que se pode fazer em cada parcela.

A Quinta do Crasto é uma das mais antigas da região vitícola do Douro. Na propriedade que dá o nome à marca, em Sabrosa, permanece um dos marcos usados por Marquês de Pombal para demarcar a região produtora de vinho do Porto, datando de 1758. Em pleno século XX a propriedade sofreu uma grande remodelação pela mão da família Roquette, seus atuais proprietários, procurando renovar e expandir as áreas de vinha e modernizar as suas adegas. Atualmente afirmam-se como produtores de vinhos de Determinação de Origem Controlada (DOC) Douro e Vinhos do Porto de excelência, com reconhecimento de qualidade no mercado do vinho tanto a nível nacional como internacional (Crasto, 2015).

### 3.1.2 Delineamento experimental

Como referimos anteriormente, o ensaio foi instalado numa parcela de Touriga Franca, plantada no ano 2007 com recurso a enxertos-prontos, com porta-enxertos 110R. Nesta vinha, os patamares têm duas linhas de plantação com compasso de 1 metro de distância entre videiras e 2,2 metros na entrelinha. Durante o ensaio foram testadas diferentes modalidades de rega deficitária de forma a determinar qual a mais adequada, bem como quais os efeitos da rega aplicada no rendimento e na qualidade da casta Touriga Franca.

Esta parcela encontra-se a uma altitude média de 240m, virada a Sul e, por isso, com uma elevada exposição solar. As linhas de videiras estão orientadas no sentido Noroeste-Sudoeste.



Figura 7 Vista aérea da parcela de Touriga Franca. Fonte: Bing Maps.

Para o estudo foram seleccionados três blocos (ver área sombreada na Figura 7) e utilizados os dois bardos - interior e exterior. Em cada bardo estão instaladas quatro modalidades de rega. A cada modalidade correspondem vinte videiras (Figura 8). No ensaio total estão envolvidas 480 videiras. Entre cada bloco em estudo foi deixado um patamar de guarda para procurar garantir a integridade dos resultados.

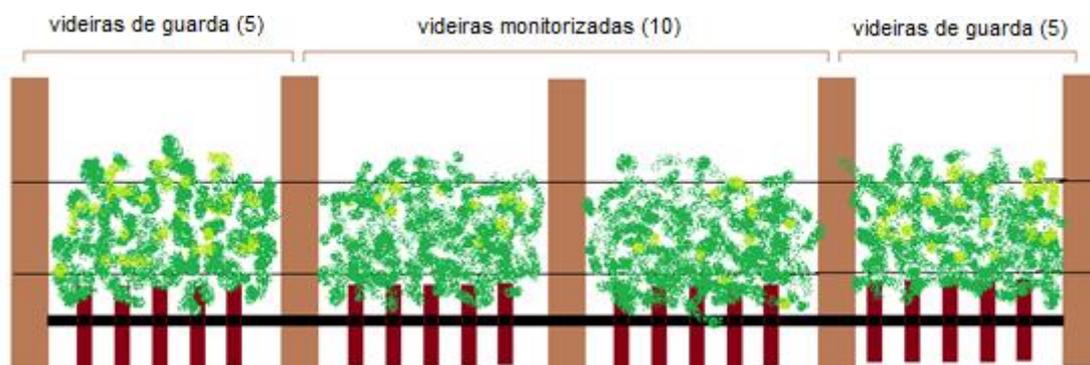


Figura 8 Representação esquemática de uma modalidade de rega.

A seleção das modalidades de rega a estudar deve-se ao facto de no ano de produção 2012/2013 ter sido realizado um pequeno estudo numa parcela de Touriga Nacional onde se testaram três modalidades de rega: 30% de Evapotranspiração (ET), 60% de ET e testemunha/modalidade não regada. Os resultados obtidos nesse estudo foram pouco esclarecedores e o tratamento de dados foi pouco aprofundado, muito por causa

da falta de tempo dos investigadores para dedicar ao ensaio. Ainda assim, concluiu-se que a rega a 30% de Evapotranspiração era melhor do que a de 60% ET, que parecia ser excessiva. Com a oportunidade de realizar um novo estudo de rega deficitária na Quinta da Cabreira, considerámos que seria interessante estudar outras percentagens de evapotranspiração em torno dos 30% de ET. Desse modo, poderíamos conhecer melhor a percentagem ótima, que conciliasse a qualidade pretendida com a poupança máxima de água, atendendo a que é um bem tão escasso quanto precioso nesta região. Quanto à % máxima decidimos ir até aos 75% de ET, uma vez que se trata de castas de uvas tintas, que resistem bem ao *stress* hídrico e parecem até tirar partido dessa condição.

Desta forma, decidimos instalar em cada patamar quatro modalidades de rega ( $R_x$ ):

1.  $R_0$  ou testemunha não regada
2.  $R_{25}$  ou rega com 25% de Evapotranspiração
3.  $R_{50}$  ou rega com 50% de Evapotranspiração
4.  $R_{75}$  ou rega com 75% de Evapotranspiração.

Em meados de maio de 2015, depois da demarcação do ensaio no terreno, uma intempérie destruiu alguns pânpanos em algumas videiras. Perante esta situação, e por se tratar de uma parcela de vinha com algumas replantações recentes, fizemos alguns ajustes ao delineamento experimental de forma a poder manter o mesmo número de videiras em estudo. Assim, as modalidades que constituem o patamar 1 passaram a estar distribuídas em dois patamares, denominados por 1A e 1B; o patamar 2 manteve o desenho inicial e no patamar 3 foram deixadas cinco videiras de guarda entre cada modalidade, para salvaguardar as distâncias entre as modalidades de rega. Após o sorteio das modalidades definiu-se a seguinte distribuição:

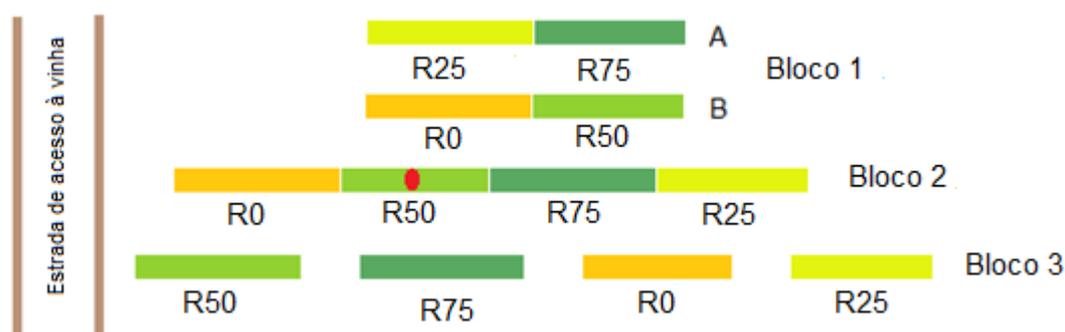


Figura 9 Representação esquemática do delineamento experimental.

No esquema representado pela Figura 9 está assinalado a vermelho o local onde se encontra instalada a sonda que recolhe dados sobre a humidade do solo. Está colocada a meio da modalidade R<sub>50</sub>, no patamar 2.



Figura 10 Sonda EnviroSCAN® 150, que monitoriza a humidade do solo.



Figura 11 Unidade de comunicação, que trata os dados recolhidos pela sonda.

Esta sonda, do modelo EnviroSCAN® 150, mede o teor de humidade no solo continuamente e fornece dados vitais para a gestão da rega. A sonda é constituída por um conjunto de quatro sensores localizados a profundidades de 20, 40, 60 e 80cm. Os sensores utilizam a capacitância elétrica, relação entre a quantidade de carga acumulada e o potencial elétrico assumido em consequência dessa carga, para medir o teor de humidade do solo, através da geração de um campo elétrico de alta frequência à volta de cada sensor e estendendo-se através do tubo de acesso para o solo que o rodeia. São recolhidas informações de 15 em 15 minutos e os dados enviados via GPRS a cada 2 horas. Os gráficos são publicados e atualizados *online*, com igual periodicidade. O sistema é alimentado com energia elétrica obtida de um painel solar instalado numa das faces da unidade de comunicação. Os gráficos gerados a partir da informação recolhida permitem conhecer a situação hídrica da zona radicular e a utilização que a cultura está a fazer da água disponível. Com essa informação o viticultor pode tomar a decisão de regar nos momentos mais oportunos e na quantidade adequada (Aquagri, n.d.).

No nosso estudo, os dados indicadores do estado de hidratação da cultura foram utilizados como mais uma ferramenta de avaliação.

No final de maio começámos a fazer o controlo do potencial hídrico foliar, com medições do potencial de base, antes do nascer do sol, com o objetivo de monitorizar a condição de hidratação das plantas. Assim que se obtiveram valores na ordem dos -0,4MPa iniciámos a irrigação e, a partir desse momento até à vindima, as videiras foram regadas

aproximadamente de duas em duas semanas, durante a noite, de acordo com as necessidades calculadas a partir dos dados obtidos pela estação meteorológica da Quinta.

### 3.1.3 Características edafoclimáticas

A região duriense situa-se no complexo xisto-grauváquico pré-câmbrico. Os solos são pouco diversificados e de origem artificial, designados de antrossolos de mistura dístrica de xisto. O termo antrossolo é aqui aplicado porque todos os solos onde se encontra plantada vinha resultaram da intervenção do Homem, que ao fazer arroteias e surribas escavou cerca de 1 a 1,5 metros de profundidade, trazendo até à superfície detritos da rocha-mãe (Ribeiro, 2000).

No Douro Superior a geologia é pouco diversificada, aqui surgem rochas menos ácidas (pH 6,0-6,5) e os solos são mais argilosos, devido à aridez mais acentuada que nas restantes sub-regiões. Os solos são de textura franca e pobres em matéria orgânica (Ribeiro, 2000).

O clima da Região Demarcada do Douro é mediterrânico, caracterizando-se por insolação elevada, temperatura e evapotranspiração potencial muito consistente ao longo dos anos e ainda por uma variação significativa da precipitação de ano para ano (Jones, 2013). Segundo a classificação de Köppen, o clima em Vila Nova de Foz Côa é do tipo Csa, o que significa que é um clima temperado, com verões quentes e secos (IPMA, n.d.).

Magalhães (2008) faz uma caracterização climática das regiões vitícolas de Portugal com base numa série de índices bioclimáticos que se podem considerar fatores definidores de potencialidades vitícolas. Os dados foram selecionados pelo autor anteriormente referido, dos fascículos I, II, III e IV de *Clima de Portugal* editado pelo Serviço Meteorológico Nacional, referentes aos anos de 1951-1980. Das localidades representantes da Região do Douro a que melhor descreve o clima típico de Vila Nova de Foz Côa, onde se localiza a quinta, é o Pocinho, devido à proximidade geográfica.

A temperatura acumulada por ano ronda os 2200°C, a precipitação anual situa-se nos 407mm, dos quais apenas 35mm acontecem nos meses de verão, entre agosto e setembro. O Índice Hídrico é de -24% e a classificação de Thornthwaite é DB'3sa', que corresponde à seguinte descrição: «Semi-árido, mesotérmico, com moderado excesso

de água no Inverno e nula ou pequena concentração de eficiência térmica na estação quente.»

### 3.1.4 Descrição da casta e do porta-enxertos

#### A Touriga Franca

A casta Touriga Franca, até há pouco tempo designada Touriga Francesa, é a casta com maior expressão na Região Demarcada do Douro, estimando-se que esteja presente em cerca de 18% dos 42 mil hectares de vinha plantada nesta região (Magalhães, 2003). Sabe-se que é uma casta recente, uma vez que, segundo Magalhães (2008) as primeiras referências surgem apenas por volta de 1940 e estudos relacionados com seleção clonal revelaram uma baixa variabilidade genética. A videira é de porte semi-ereto, com vigor médio, o que facilita as operações em verde, principalmente as operações de desponta mecânica e a orientação da vegetação (Magalhães, 2003; Pereira *et al.*, 2007). Exige solos pouco férteis embora requeira boa exposição solar para que a temperatura e insolação permitam atingir o teor em açúcares desejável (Magalhães, 2003). Quando atingem a maturidade, as folhas são de tamanho médio, em forma pentagonal com 3 a 5 lóbulos, apresentam perfil irregular de médio empolamento e o limbo é ligeiramente enrugado. O seio peciolar é fechado e ligeiramente sobreposto, com a base em forma de V (Pereira *et al.*, 2007).



Figura 12 Folha de Touriga Franca, Quinta da Cabreira, setembro de 2015.



Figura 13 Cacho de Touriga Franca. Quinta da Cabreira, setembro de 2015.

A folha e o cacho são muito resistentes ao calor, mas apresentam sensibilidade ao stress hídrico. Esta casta apresenta uma grande sensibilidade à traça da uva, fator que

leva à instalação da podridão acética. No entanto, é pouco sensível à cigarrinha verde (Magalhães, 2003).

O cacho da Touriga Franca é de tamanho médio e compacto, pode pesar entre 200 a 300 gramas, com bago de tamanho médio, arredondado, de cor negro-azul. A película é mediamente espessa, a polpa não corada, firme e pouco suculenta, sendo o seu sabor pouco definido. As produções são regulares e elevadas, com cerca de 3Kg por cepa (Magalhães, 2003). É uma casta de maturação média a tardia e os seus mostos possuem um potencial alcoólico e acidez médios. Pereira *et al.* (2007) referem que depois de vinificada origina vinhos com intensidade de cor elevada, aromas com alguma complexidade a frutos vermelhos, frutos silvestres e leve herbáceo, com potencial de envelhecimento elevado. É geralmente utilizada para produzir vinhos de lote, raramente se utilizando em vinhos monovariais por ter elevada capacidade corante e alguma complexidade aromática (Magalhães, 2008).

A Touriga Franca é uma casta importante no panorama vitivinícola sendo a segunda casta mais plantada a nível nacional, com uma área de 12 231ha (IVV, 2014) e presente em várias regiões vitícolas nacionais, para além do Douro, como a Bairrada, Óbidos, Alenquer, Arruda dos Vinhos, Torres Vedras, Ribatejo e Lagoa (Magalhães, 2008).

### **O porta-enxertos 110R**

As plantas desta vinha são enxertadas em porta-enxertos tipo 110R, um híbrido do grupo *Vitis rupestris* x *Vitis berlandieri* pertencente à série Richter, que está adaptado a regiões quentes, secas, com solos de baixa fertilidade e muito pedregosas (Magalhães, 2011). De acordo com Magalhães (2008), o porta-enxertos 110R é muito utilizado na região do Douro, uma vez que apresenta boa adaptação aos solos pobres e repletos de cascalho, típicos desta região. Induz elevada produtividade sem influenciar a maturação das uvas nem alterar a qualidade dos mostos. Contudo, deve ser evitada a sua utilização em solos húmidos ou férteis, sob risco de poder provocar atrasos na maturação ou mesmo desavinho, em castas mais sensíveis a este fenómeno. O 110R adapta-se bem a solos pobres em potássio ou magnésio, é moderadamente suscetível a nematodes galícolas, não tolera solos salgados e resiste a teores moderados de calcário ativo.

### 3.1.5 Sistema de condução e operações culturais

As videiras desta vinha estão conduzidas em monopiano vertical ascendente, podadas em cordão *Royat* unilateral.



*Figura 14 Videiras de Touriga Franca. Quinta da Cabreira, setembro de 2015.*

Ao longo do ciclo vegetativo a vinha foi intervencionada em várias ocasiões, de entre as quais, destacamos:

- Pré-poda e poda;
- Trituração da lenha de poda;
- Aplicação de herbicida de contacto e residual na linha e nos taludes;
- Despampa;
- Orientação da vegetação (duas passagens);
- Tratamentos fitossanitários: 3 anti-óidio e anti-míldio e 2 anti-óidio;
- Capinagem (duas passagens para controlo de infestantes na entrelinha);
- Desponta: a primeira passagem com uma despontadora A2L e a segunda com uma despontadora em U invertido.
- Aplicação de produtos anti-escaldão.

A desponta fez com que as medidas da canópia ficassem uniformes e por este motivo não se procedeu à determinação das dimensões da sebe.

### 3.1.6 A rega

Nesta propriedade, toda a área de vinha é regada. Estão instalados tubos de rega de 16 e 20 mm, os últimos apenas nas linhas com comprimento superior a 120 metros. Estes tubos têm gotejadores incorporados no interior, distanciados 1 metro, acompanhado assim a distância entre videiras. Cada pé tem um gotejador com um débito de 2 litros de água por hora. As dotações de rega são dependentes de inúmeras variantes que mudam de acordo com a casta, a exposição, a altitude, a idade da vinha ou o objetivo final, contudo, podemos considerar que na Quinta da Cabreira ocorre um momento de rega por semana, com a duração de 8h consecutivas, o que se traduz em 16 litros de água fornecidos às videiras.

Para o nosso ensaio foram feitas pequenas alterações ao sistema já existente nos locais do estudo. O tubo microperfurado foi substituído por um tubo com gotejadores exteriores de 2 e 4 litros de água por hora para regar as modalidades R<sub>25</sub> e R<sub>50</sub>, respetivamente, e no caso da modalidade R<sub>75</sub> dois gotejadores, um de cada lado da planta, um de 2 litros e outro de 4 litros para completar 6 litros de água por hora como se pretendia, uma vez que não conseguimos encontrar no mercado gotejadores com débito de 6 litros. Nos locais onde não há rega o tubo não tem qualquer perfuração.

A rega é controlada por um programador automático que inicia a rega à hora estipulada e termina ao fim do número de horas predefinido. Ao longo do ensaio ocorreram cinco momentos de rega, realizados sempre durante a noite para permitir uma melhor absorção da água no solo (cf. Tabela 2). A rega começou em Junho tendo o seu início tido em conta os dados fornecidos pela sonda, os valores de  $\Psi_b$  aferidos e a com base na experiência da empresa relativa aos anos anteriores.

*Tabela 2 Registo da data e duração das regas.*

Data	Duração da rega
25 para 26 de junho	6h21min
9 para 10 de julho	10h19min
23 para 24 de julho	9h55min
6 para 7 de agosto	9h22min
20 para 21 de agosto	9h22min

## 3.2 Metodologia

### 3.2.1 Estados fenológicos

Os estados fenológicos foram registados ao longo do ensaio para estabelecer o ciclo biológico das plantas em estudo. Das 20 videiras que constituíam cada modalidade foram selecionadas as 10 centrais para acompanhamento e sobre estas foram registados os estados fenológicos seguindo a escala de Baggiolini. Demos especial atenção à vinha durante os principais estados fenológicos, nomeadamente a floração, o pintor e a vindima, sendo que se considerou cada estado quando 50% da videira apresentou características de um determinado estado fenológico (DRAP, 2011).

### 3.2.2 Índices de fertilidade

No momento do registo dos estados fenológicos foram também recolhidos dados úteis para o cálculo dos índices de fertilidade potencial e percentagem de abrolhamento, incluindo o número de olhos não abrolhados, o número de olhos abrolhados e o número de inflorescências de cada olho. Os dados foram recolhidos no dia 19 de maio de 2015, já com cachos visíveis (estado fenológico I - Floração) e, com esses dados, foi possível ainda calcular a percentagem de abrolhamento, também designada por taxa de abrolhamento (TA) segundo a fórmula abaixo representada.

$$\text{Taxa de abrolhamento (TA)} = \frac{\text{número de olhos abrolhados}}{\text{número de olhos deixados à poda}}$$

A fertilidade dos gomos pode ser determinada a partir do número de inflorescências ou a partir do número de flores (Machado, 2011). No nosso caso, utilizámos o número de inflorescências, tendo-se procedido ao cálculo do índice de fertilidade potencial (IFP), resultado do número de inflorescências por olho abrolhado.

$$\text{Índice de fertilidade potencial (IFP)} = \frac{\text{número de inflorescências}}{\text{número de olhos abrolhados}}$$

### 3.2.3 Caracterização do coberto vegetal

A caracterização do coberto vegetal implica metodologias bastante trabalhosas, por esse motivo, seleccionámos apenas algumas videiras para a recolha de dados. Para o cálculo da área foliar, da porosidade do coberto e do número de camadas de folhas,

escolhemos duas videiras em cada modalidade de rega, uma do bardo interior e outra do bardo exterior, em cada bloco, num total de 6 videiras por modalidade.

### 3.2.3.1 Área Foliar

Em cada modalidade e bloco seleccionámos uma videira que nos pareceu estar em bom estado sanitário e escolhemos um pâmpano médio e frutífero representativo. Este pâmpano foi marcado (cf. Figura 15) e os dados referentes à área foliar foram sempre recolhidos no mesmo pâmpano.



Figura 15 Videira escolhida para medição da Área Foliar. Quinta da Cabreira, agosto de 2015.

Seguindo a metodologia proposta por Lopes e Pinto (2005) registámos o número de folhas principais (NFP), o comprimento das nervuras laterais esquerda e direita da folha maior (L2E e L2D) e da folha menor (L2e e L2d) do conjunto de folhas principais, o número de folhas das netas (NFN), o comprimento das nervuras laterais esquerda e direita da folha maior e da folha menor das netas. A área foliar das folhas principais e das netas foi calculada segundo o algoritmo proposto pelos autores referidos. Com estes dados obtivemos a área foliar do sarmento.

$$\text{Área foliar do sarmento} = AF (\text{sarmento principal}) + AF (\text{netas})$$

Para calcular a área foliar por videira usámos a seguinte equação sugerida pelos mesmos autores.

$$\text{Área foliar da videira} = AF (\text{sarmento}) \times \text{número de sarmentos}$$

Foram realizadas três determinações de área foliar ao longo do desenvolvimento vegetativo. Com os resultados obtidos foi estabelecida uma relação entre o número de folhas e a quantidade de frutos, tendo como valor de referência 12-16 cm<sup>2</sup> por grama de fruto com a relação que conduz a resultados qualitativos mais convenientes (Smart & Robinson, 1991).



Figura 16 Medição das nervuras das folhas para cálculo da área foliar. Quinta da Cabreira, agosto de 2015.

### 3.2.3.2 Porosidade do coberto e número de camada de folhas (NCF)

Aplicando o método "Point Quadrat", descrito por Smart e Robinson (1991) obtivemos a porosidade do coberto vegetal. Este método baseia-se na inserção de uma vara metálica rígido, horizontal e perpendicularmente à vegetação, de forma aleatória. As inserções são feitas em distâncias regulares, medidas com uma fita métrica.

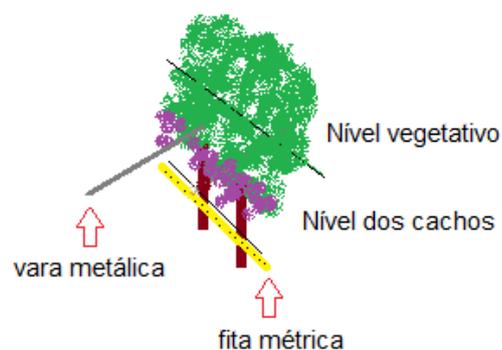


Figura 17 Representação esquemática do Método Point Quadrat

Registaram-se os contactos com cachos (C), folhas (F) ou buraco (O) quando não intercetada nada. As inserções foram feitas ao nível dos cachos e ao nível vegetativo.

Aplicámos este método em duas videiras de cada modalidade. A partir dos dados recolhidos calculámos:

- a) O número de camadas de folhas (NCF)

$$\text{Número de camadas de folhas (NCF)} = \frac{\text{número total de folhas intercetadas}}{\text{número de inserções}}$$

- b) Percentagem de folhas interiores (PFI)

$$\text{Percentagem de folhas} = \frac{\text{número total de folhas interiores}}{\text{número total de folhas intercetadas}} \times 100$$

- c) Percentagem de cachos interiores (PCI)

$$\text{Percentagem de cachos} = \frac{\text{número total de cachos interiores}}{\text{número total de cachos intercetados}} \times 100$$

- d) Porosidade do coberto ou percentagem de buracos (PB)

$$\text{Porosidade do coberto ou percentagem de buracos} = \frac{\text{número total de buracos}}{\text{número total de inserções}}$$

Considerámos como folha ou cacho interior sempre que havia outro elemento em seguida, tal como o proposto por Smart e Robinson (1991).

### 3.2.4 Cálculo da evapotranspiração e das necessidades de rega

A evapotranspiração obtém-se pela aplicação da equação

$$ET_c = ET_0 \times K_c$$

sendo que  $ET_c$  representa a evapotranspiração da planta,  $ET_0$  representa a evapotranspiração de referência (representa as condições ambientais através da evapotranspiração de uma cultura padrão, a relva) e  $K_c$  é o coeficiente cultural da vinha (Magalhães, 2008). Os valores da evapotranspiração base ( $ET_0$ ) foram recolhidos a partir da estação meteorológica que está instalada na Quinta da Cabreira.

As regas iniciaram-se no final do mês de junho e prolongaram-se ao longo dos meses de julho e agosto.

Tendo em conta os meses em que a rega seria aplicada e as características da vinha, escolhemos usar um Kc igual a 0,8, baseando-nos nas orientações presentes na Tabela 3 e nos valores descritos por Terry Prichard e Paul Verdegel, para a Califórnia (cf.

Tabela 4).

Tabela 3 Tabelas da FAO por Kc para a vinha. Tabela reproduzida de Magalhães, 2008.

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Vinhas adultas cultivadas em zonas com geadas fortes; 1 <sup>as</sup> folhas no início de Maio, vindima em meados de Setembro; cobertura do solo 40-50% a meia estação.											
---	---	---	---	0,45 0,5	0,65 0,75	0,75 0,9	0,8 0,95	0,75 0,90	0,6 0,75	---	---
Vinhas adultas cultivadas em zonas com geadas ligeiras; 1 <sup>as</sup> folhas início de Abril, vindima em fim de Agosto,/início de Set.; cobertura do solo 30-35% a meia estação.											
---	---	---	0,45- 0,5	0,55 0,65	0,6 0,75	0,6 0,75	0,6 0,75	0,6 0,75	0,5 0,65	0,35 0,4	---
Vinhas adultas cultivadas quentes e secas com Inverno ameno; 1 <sup>as</sup> folhas no fim de Fev./início de Mar., vindima fim de Julho; cobertura do solo 30-35% a meia estação.											
---	---	---	0,25	0,45	0,6 0,65	0,7 0,75	0,7 0,75	0,65 0,70	0,55	0,35	---

Tabela 4 Tabela do Kc segundo Terry Prichard e Paul Verdegel para a Califórnia. Tabela adaptada de Magalhães, 2008.

Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
0,11	0,26- 0,39	0,51- 0,61	0,69- 0,75	0,8- 0,84	0,84- 0,86	0,76- 0,81	0,61- 0,69	0,52

Para o cálculo das necessidades de rega foram usados os dados de precipitação e evapotranspiração, recolhidos ao longo do período de tempo desde a última rega pela estação meteorológica da quinta. Esta estação é do modelo iMETOS®, fabricada pela PESSL Instruments e está munida de diversos sensores que monitorizam vários fatores ambientais, entre eles a radiação solar, a humidade relativa, a temperatura do ar, a precipitação, a velocidade do vento e a evapotranspiração de referência. Os dados são fornecidos continuamente e armazenados *online* numa base de dados.

Para determinarmos quanta água seria necessário aplicar usamos a fórmula  $Rega = ET_0 \times \%Evapotranspiração$ , onde  $ET_0$  é a soma da evapotranspiração de base dos sete dias anteriores à data de rega e a  $\%Evapotranspiração$  representa a variação da evapotranspiração de acordo com as modalidades de rega podendo ser 0.25 ( $R_{25}$ ), 0.5 ( $R_{50}$ ) ou 0.75 ( $R_{75}$ ).

O número de horas de rega é definida em função da quantidade de água a fornecer e do débito do gotejador conforme equação seguinte:

$$N.º \text{ de horas de rega} = \frac{\text{Litros de água a fornecer}}{\text{débito do gotejador}}$$

### 3.2.5 Medições ecofisiológicas

#### 3.2.5.1 Potencial hídrico foliar de base

O potencial hídrico foliar de base foi medido com recurso a uma câmara de pressão, segundo a metodologia descrita por Scholander *et al.* (1965), representada na Figura 18. Este método é de simples utilização e permite aferir o estado hídrico de uma folha e da própria planta, no local do ensaio. A câmara é constituída por um compartimento para colocação da folha e onde é injetado azoto. A técnica consiste em colocar uma folha acabada de cortar da videira no interior da câmara de pressão, pelo que é preferível que esta esteja perto do local das medições. Para otimizar a operação de medição, esta tarefa foi sempre realizada por um grupo de investigadores de forma a minimizar o tempo entre o corte da folha e a leitura na câmara.

Após a colheita introduz-se a folha no interior da câmara de modo a que o pecíolo fique exposto através do orifício existente na tampa. O azoto sobre pressão entra na câmara até que seja visível com lupa, o aparecimento de fluxo xilémico no pecíolo, o que nos indica que o equilíbrio entre as forças de retenção de água na folha e a pressão do gás foi atingido. Neste instante interrompe-se a entrada do gás na câmara e regista-se o valor de pressão marcado no manómetro. Este valor indica-nos o valor do potencial hídrico foliar, expresso em MPa, precedido de um sinal negativo, caracterizando as forças de retenção de água.



*Figura 18 Câmara de pressão de Scholander. Quinta da Cabreira, julho de 2015.*

No estudo foram utilizadas 2 folhas adultas de cada modalidade e bloco, em bom estado sanitário e bem expostas, uma de cada bardo totalizando 24 folhas. As medições efetuaram-se antes do nascer do sol, quando os estomas ainda não estavam abertos, para o cálculo do potencial hídrico de base ( $\Psi_b$ ), a meio da manhã (por volta das 10h), por volta das 14h para determinar o potencial hídrico foliar mínimo ( $\Psi_{\min}$ ) e às 17h.

Após o início da rega as medições de  $\Psi_b$  foram realizadas sempre na madrugada anterior à rega.

### 3.2.5.2 Trocas gasosas ao nível dos estomas

As trocas gasosas ao nível dos estomas foram monitorizadas diretamente na vinha com o auxílio de um IRGA (Infrared Gas Analyser) do modelo LCA – 4 (Analytical Development Company). Este aparelho é constituído por um analisador de  $\text{CO}_2$  por infravermelhos, uma unidade de fornecimento de ar com um medidor de fluxo e um exsicador, uma câmara de Parkinson onde se insere uma parte da folha, com 6,25 cm (PLC-B) e uma unidade de armazenamento e tratamento de dados (DL-4). A câmara de Parkinson (Figura 19) possui ainda dois sensores que permitem a medição da temperatura do ar e da folha no seu interior e um sensor PAR (Photosynthetically Active Radiation) colocado na parte superior. O analisador de  $\text{CO}_2$  opera em circuito aberto e em modo diferencial no tempo (Lopes, 1994), isto é, analisa alternadamente o ar captado diretamente da atmosfera através de uma vara com cerca de 3 metros de altura

e o ar proveniente da câmara foliar de Parkinson (PLC-B), onde se introduziu a folha a analisar.



*Figura 19 Câmara de Parkinson. Quinta da Cabreira, agosto de 2015.*

Com este equipamento obtivemos os valores da temperatura do ar e da folha, da fotossíntese líquida (A), da taxa de respiração e da condutância estomática ( $g_s$ ).

As medições foram realizadas em cada modalidade nos mesmos dias e horas que as medições o potencial hídrico foliar, ou seja, às 10h, 14h e 17h. Escolheu-se uma folha situada no terço superior de um sarmento com cachos, numa videira de cada modalidade, tanto no bardo interior como no bardo exterior.

Para cada medição a câmara foi colocada na folha a medir, respeitando a posição original, durante 1 ou 2 minutos até se estabilizar a medição. Sempre que a estabilização ultrapassou aquele período de tempo fez-se uma nova medição, noutra zona da folha. Quando mesmo assim a estabilização não aconteceu escolheu-se outra folha com características e posição semelhantes.

### 3.2.6 Evolução da maturação e qualidade da vindima

A maturação das uvas começou a ser controlada a 22 de julho de 2015 e prolongou-se até à data da vindima. Numa fase inicial cada amostragem foi feita com 150 bagos, colhemos 50 bagos de cada modalidade nos 3 blocos, sem haver distinção entre bardo

interior e bardo exterior nem diferenciação de blocos, de modo a obter os dados acerca de cada modalidade de rega.

Na primeira semana de setembro, no dia 3, fizemos uma colheita de amostras para caracterização qualitativa da vindima porque se previa que a vindima pudesse ocorrer em breve. Para esse efeito colhemos 150 bagos em videiras de cada modalidade, diferenciando bardos interior e exterior e blocos o que se traduziu num total de 24 amostras (8 amostras por bloco, 4 modalidades no bardo interior e exterior recolhidas em 3 blocos).

Para cada amostra foi determinado o peso da amostra, o peso médio do bago, a % de álcool provável, o pH, a acidez total, o ácido acético, ácido málico, antocianas, teor em açúcares e polifenóis.

### 3.2.7 Registo dos componentes do rendimento à vindima

A vindima foi marcada de acordo com os resultados das amostras compósitas e das condições atmosféricas, tendo a ocorrência de chuvas intensas nos dias 15 e 16 de setembro que provocaram o adiamento da vindima para o dia 28 de setembro de 2015. Durante a colheita foi registado de forma individualizada o número de cachos e o seu peso total, de 10 videiras de cada modalidade (as mesmas 10 videiras que foram acompanhadas ao longo do ensaio). Foram ainda recolhidas amostras de cada modalidade para se proceder à análise da acidez, teor em açúcares e taninos, antocianas e polifenóis extraíveis, que foram realizadas nos laboratórios da ADVID.

## 3.3 Análise estatística dos resultados

O tratamento estatístico dos dados foi efetuado com recurso ao programa SPSS 23.0, tendo sido submetidos a uma análise de variância das médias (ANOVA). Os parâmetros não significativos estão identificados com n.s. e os significativos com \* para  $p < 0,05$ , \*\* para  $p < 0,01$  e \*\*\* para  $p < 0,001$ . Sempre que a análise mostrou haver significância estatística procedeu-se à comparação das médias através do teste da mínima diferença significativa - LSD.

## 4. Resultados e discussão

Neste capítulo apresentamos os dados recolhidos ao longo do ano vitícola 2014/2015 e a sua análise estatística.

### 4.1 Caracterização do clima

O conhecimento do clima da região onde se localiza a vinha tem especial importância uma vez que os mecanismos fisiológicos da videira são influenciados pelo clima e isso reflete-se na qualidade e quantidade da produção vitivinícola (Magalhães, 2008).

A caracterização das condições climáticas na Quinta da Cabreira foi feita com base nos dados recolhidos pela estação meteorológica que está instalada na propriedade. Os valores de temperatura e precipitação de Janeiro a Outubro de 2015 foram comparados com a Normal Climatológica de 1931 a 1960, calculada a partir do registo de dados climáticos recolhidos no Vale da Vilariça, por ser a estação meteorológica mais próxima da quinta, com este registo temporal. Os dados da Normal Climatológica foram gentilmente cedidos pela Associação para o Desenvolvimento da Viticultura Duriense – ADVID.

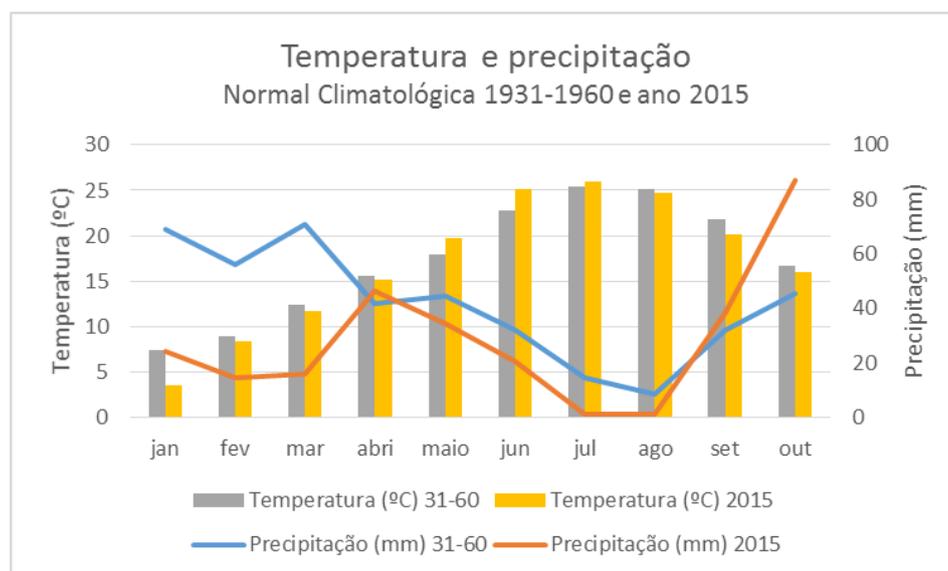


Figura 20 Climatograma com a temperatura média e precipitação de Janeiro e Outubro de 2015 e valores da Normal Climatológica de 1931-1960, registados no Vale da Vilariça.

O ano vitícola 2014/2015 foi um ano anómalo em termos climáticos, pelo gráfico da Figura 20 pode constatar-se que se verificou pouca precipitação ao longo da maior parte do ano. O inverno foi frio e seco e tanto a primavera como o verão foram anormalmente quentes, mantendo-se a escassez de precipitação sem qualquer registo de ocorrência relevante nos meses de julho e agosto.

Nos meses de fevereiro e março verificou-se uma acentuada diminuição de precipitação, estando os valores abaixo da Normal entre 50 a 60%. No verão, em junho e julho as temperaturas médias do ar foram superiores aos da Normal Climatológica. Em agosto as temperaturas médias desceram e foram inferiores às da Normal Climatológica para esse mês.

Ao longo do ano de 2015 a quantidade de precipitação no Douro Superior foi bastante inferior à Normal Climatológica, o que levou a uma situação de défice hídrico bastante acentuado. Segundo dados da ADVID (2015), a nível hídrico, o ano de 2015 foi o segundo ano mais seco desde 2002.

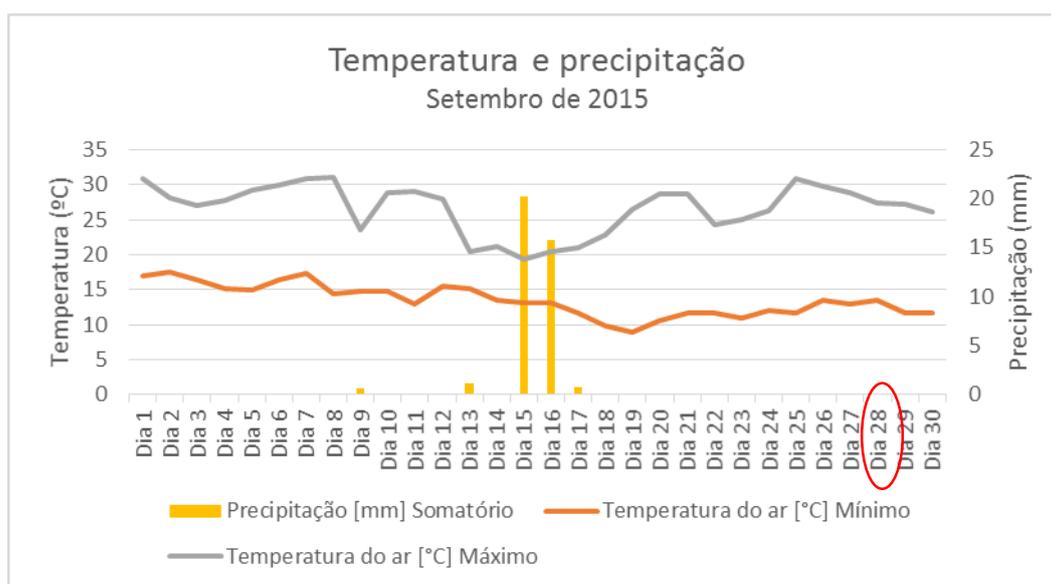


Figura 21 Climatograma do mês de Setembro, registados na Quinta da Cabreira. O dia da vindima encontra-se assinalado com um círculo vermelho.

No mês de Setembro, o mês das vindimas por excelência, a situação climática alterou-se. A temperatura média do ar rondou os 20°C, cerca de 1,8°C menor que o esperado segundo a Normal e por outro lado, os valores de precipitação foram superiores, com um aumento de aproximadamente 6mm em relação aos valores esperados. Importa esclarecer contudo que cerca de 90% da precipitação verificou-se em dois dias, 15 e 16 de Setembro (cf. Figura 21).

A temperatura mínima do mês de janeiro não passou, em média, os 0,3°C e a máxima ficou-se pelos 9°C. No que respeita à precipitação verificaram-se apenas cerca de 24 mm. Em fevereiro, as temperaturas foram mais elevadas, registando-se ainda menos precipitação que no mês anterior.

Em março, o panorama climático começou a modificar-se. O mês de abril foi o mês com mais precipitação, cerca de 46mm. Os meses de junho e julho tiveram temperaturas muito altas, com a média das temperaturas máximas a rondar os 40°C. Entre julho e agosto não se verificou ocorrência de precipitação significativa. No mês de setembro, último mês de maturação e mês da colheita – a 28 de setembro- houve dois dias com registo de muita precipitação, que fizeram disparar a média de precipitação do mês. As temperaturas mínimas atingiram valores semelhantes ao mês de junho e as temperaturas máximas rondaram os 30°C (ver Figura 22).

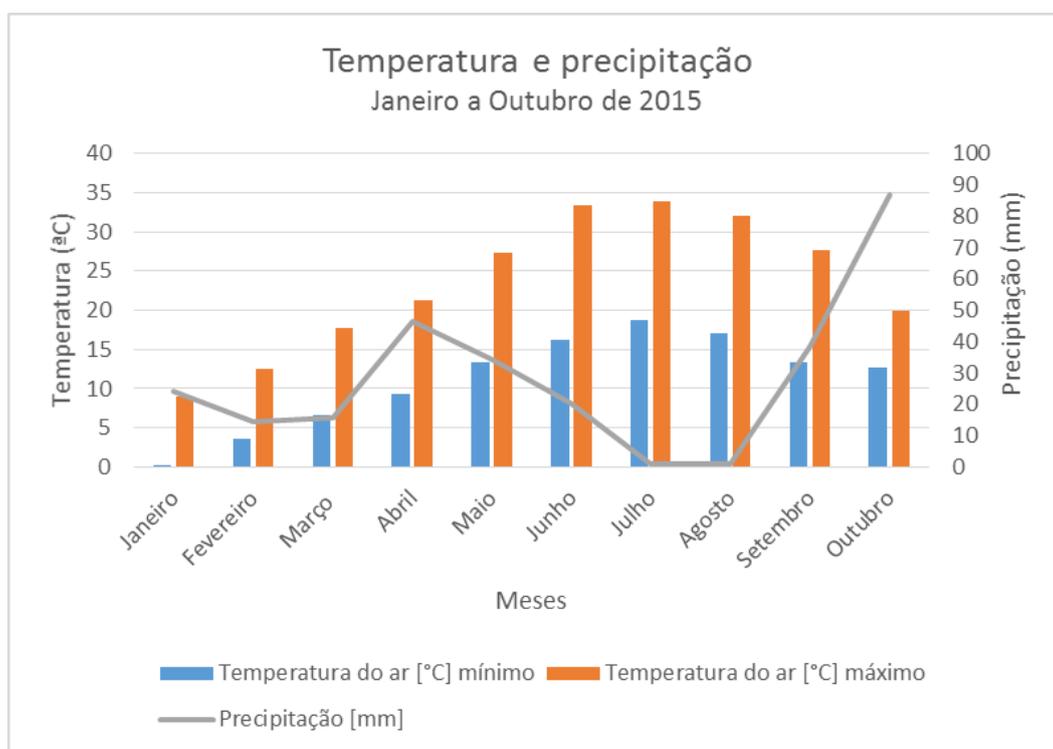


Figura 22 Gráfico da Temperatura máxima, mínima e precipitação de janeiro a outubro de 2015, na Quinta da Cabreira.

No gráfico da Figura 23 pode ver-se que a linha de tendência da média das temperaturas vem subindo desde 2013. O ano de 2015 quando comparado com os dois anteriores foi um ano com temperaturas mais baixas nos meses de verão.

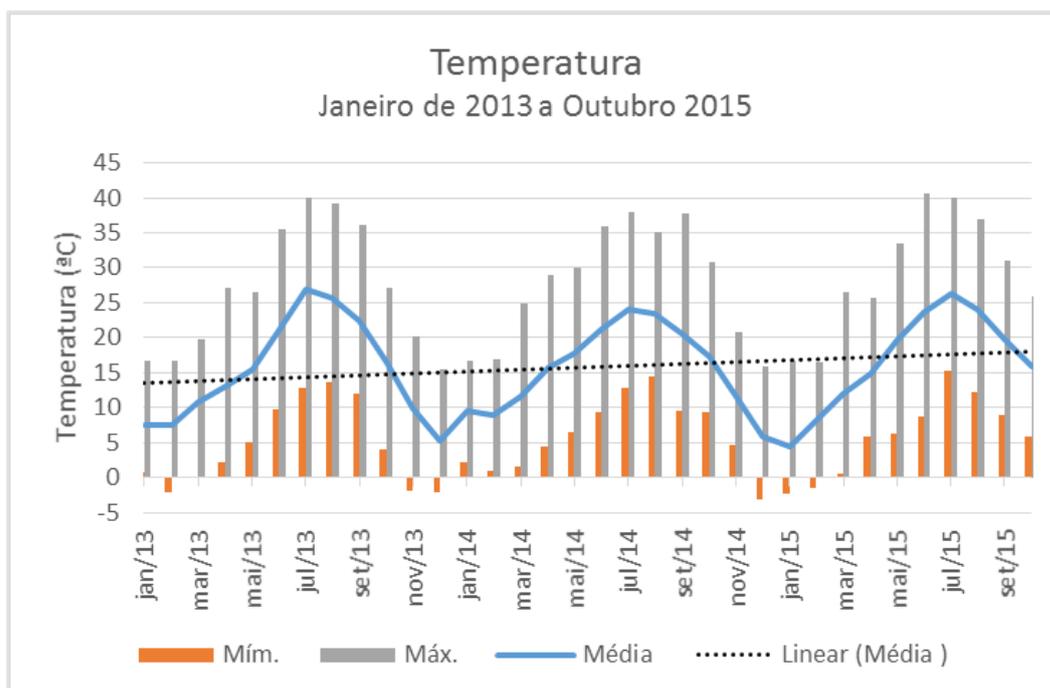


Figura 23 Gráfico das temperaturas mínima, máxima e média ao longo dos anos, de Janeiro de 2013 a Outubro de 2015, na Quinta da Cabreira.

No gráfico da Figura 24 verificamos que tanto a % de humidade relativa no ar como da precipitação têm vindo a diminuir desde que 2013.

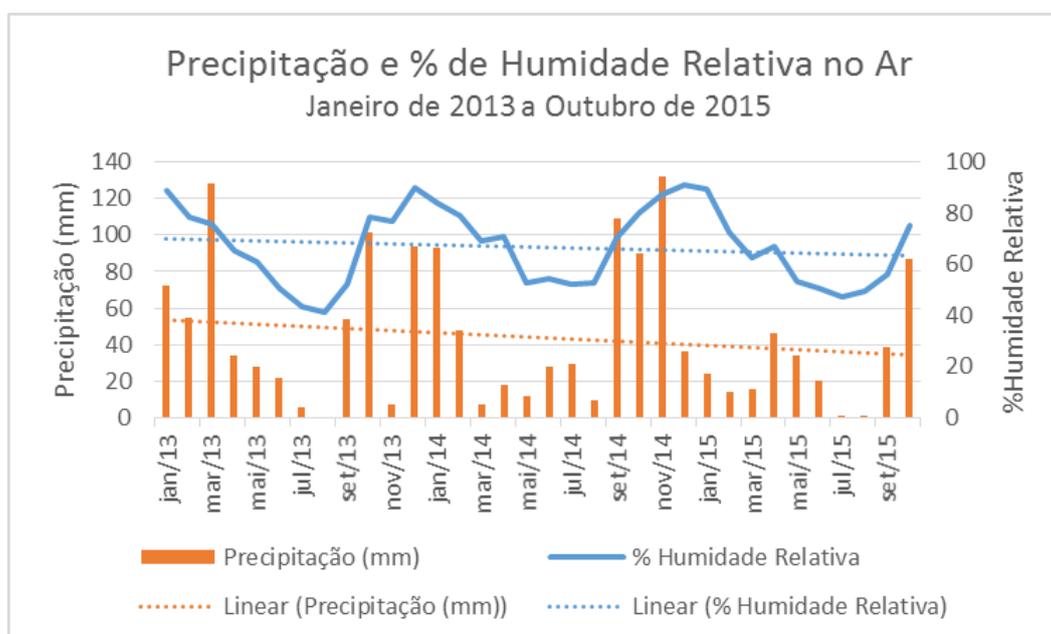


Figura 24 Gráfico da precipitação e % de humidade relativa no ar, registados desde Janeiro de 2013 até Outubro de 2015, na Quinta da Cabreira.

Estes dois gráficos espelham a realidade climática verificada na Quinta da Cabreira e justificam a necessidade de regar a vinha.

## 4.2 Evolução Fenológica

Na Figura 25 está representada a cronologia que reflete a evolução dos estados fenológicos no presente ano, para várias parcelas de referência e várias castas, nas três sub-regiões do Douro. A escala utilizada foi a proposta por Baggiolini).

Com base nas observações feitas no campo estima-se que o abrolhamento (estado fenológico C) tenha ocorrido na segunda semana de Março entre 8 e 14 de Março, à semelhança de toda a região do Douro. A primavera quente levou a um pequeno avanço do ciclo e a floração (estado fenológico I) aconteceu uma semana mais cedo, durante um período de tempo limitado em todas as sub-regiões, concentrando-se nos últimos 15 dias de maio, mais especificamente entre os dias 11 e 22, contrariando a tendência verificada no ano de 2014.

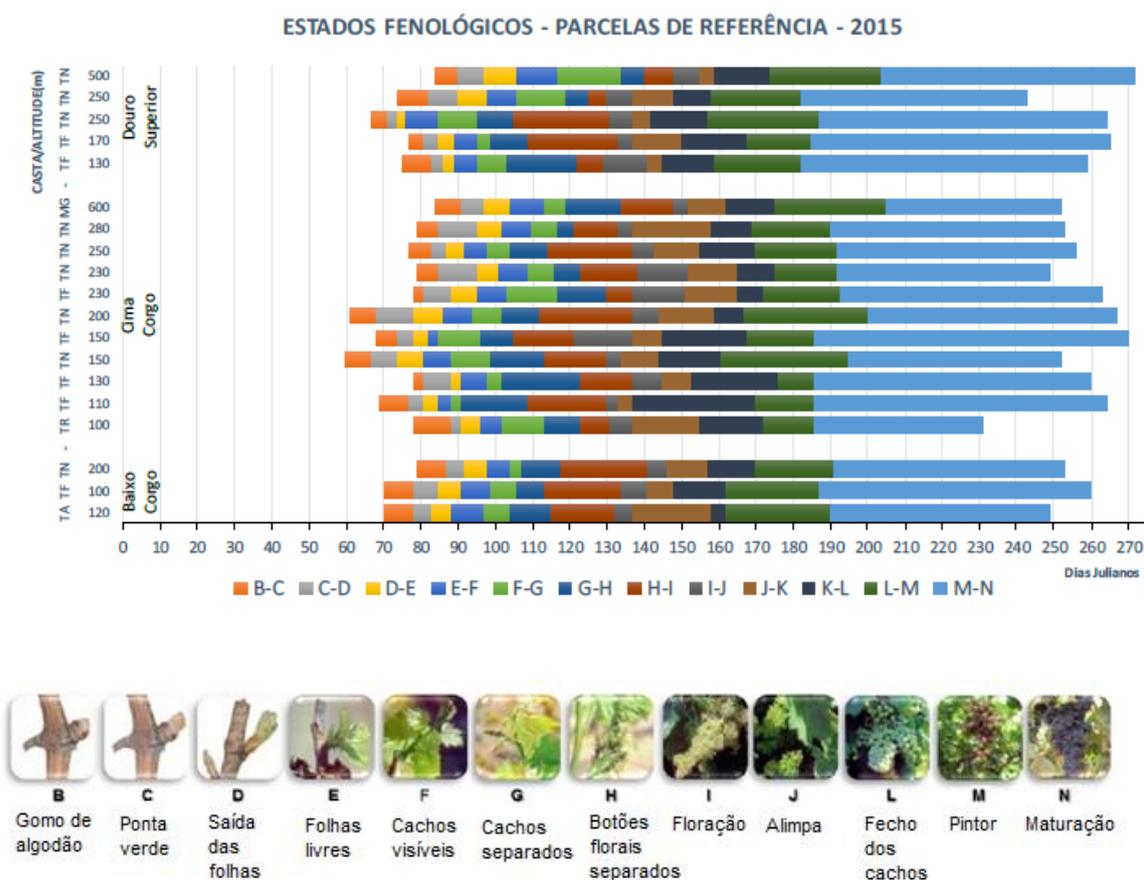


Figura 25 Datas dos Estados Fenológicos registados em 2015, nas várias sub-regiões do Douro e Escala de Baggiolini. Fonte: ADVID.

O pintor (estado fenológico M, segundo Baggiolini) começou a ser observado na primeira semana de Julho, mantendo a tendência de antecipação verificado aquando da floração e começando uma semana mais cedo do que no ano anterior.

Nos meses de Julho e Agosto verificou-se que a precipitação foi muito reduzida e as temperaturas médias estiveram acima da Normal, tais condições levaram a uma antecipação da maturação mas esse adiantamento acabou por abrandar nos meses de Setembro e Outubro.

### 4.3 Componentes de fertilidade

O número de olhos, pâmpanos e cachos de 240 videiras do ensaio foram recolhidos no dia 19 de maio de 2015, cerca de dois meses depois do abrolhamento, em plena floração (estado fenológico I).

#### 4.3.1 Carga à poda, número médio de inflorescências e pâmpanos

##### **Carga à poda**

A carga à poda é um dos fatores fundamentais que influencia o número e o crescimento dos sarmentos, a área foliar, o microclima do coberto, o número de cachos e respetivo peso (Castro *et al.*, 2006).

A carga ideal deixada à poda deve variar entre 15 a 20 olhos por metro linear, segundo Smart e Robinson (1991). Já Lopes (1994) defende que a carga ótima é aquela que proporciona o melhor equilíbrio entre o vigor, a produção e a maturação, bem como a manutenção desse potencial ao longo da vida da planta.

No Douro as características do clima e do solo obrigam a que a vinha seja naturalmente conduzida com poda curta a média, traduzindo-se numa pequena expressão na vegetação e produtividade unitária. Nas diferentes sub-regiões existem diferenças no número de olhos deixados na poda e essas diferenças parecem ter relação com a quantidade de precipitação anual. No Douro Superior, onde o clima é mais árido o podador não deixa mais do que 8 a 10 olhos por videira (Magalhães, 1989).

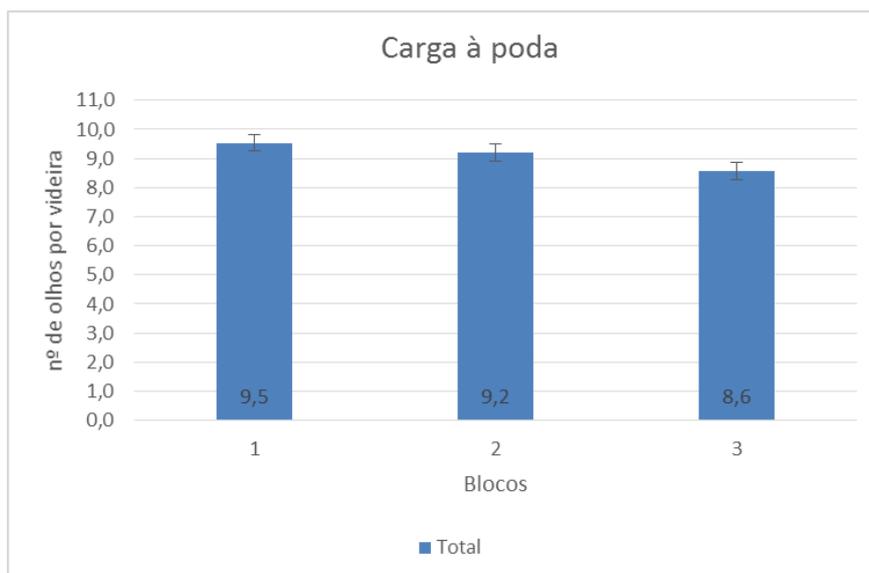


Figura 26 Carga deixada à poda em cada bloco. Dados não analisados estatisticamente.

Como podemos ver no gráfico da Figura 26 o número de olhos nas videiras dos três blocos do ensaio variam entre 8 e 10 olhos e os blocos são uniformes entre si, uma vez que os valores não variam muito.

### Número médio de inflorescências

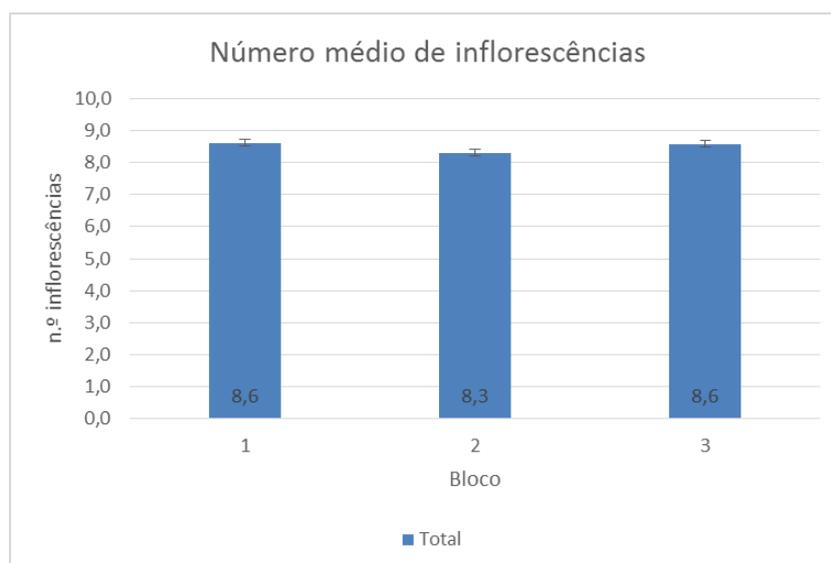


Figura 27 Número médio de inflorescências por videira. Dados não analisados estatisticamente.

Na parcela do ensaio, as videiras escolhidas têm em média 8 inflorescências e esta característica é também uniforme em todos os blocos (cf. Figura 27).

### Número médio de pânpanos por videira

O número médio de pânpanos também não é muito variável, sendo notório que no bloco 2 as videira têm, em média, mais pânpanos (cf. Figura 28)

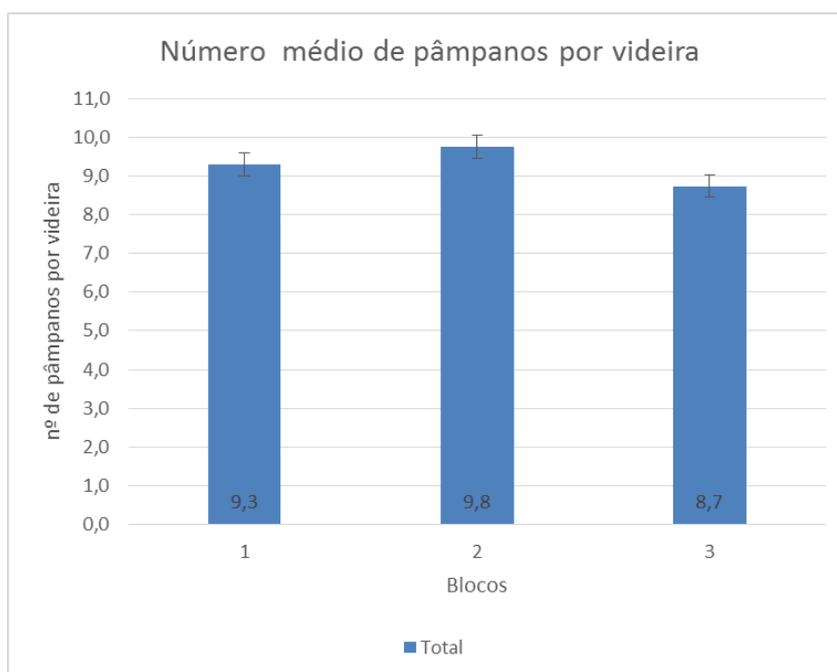


Figura 28 Número médio de pânpanos por videira. Dados não analisados estatisticamente.

Como nenhum dos blocos apresenta diferenças relevantes entre si concluímos que o ensaio era homogéneo e que os bardos não apresentavam grandes diferenças entre si, o que é um bom principio para a instalação das repetições das diferentes modalidades de rega.

### 4.3.2 Taxa de abrolhamento (TA)

A Taxa de Abrolhamento calcula-se a partir da razão entre o número de olhos abrolhados e o número de olhos deixados à poda e, segundo Fonseca (2010), deve situar-se entre os 85 e os 95% para que se possa considerar que a videira está

equilibrada, devendo ser esperado o aparecimento de um pequeno número de ladrões nas sebes.

A % de abrolhamento verificada nos diversos blocos do ensaio é em média superior a 100% nos blocos 2 e 3 e muito próxima desse valor no bloco 1 (Figura 29). Tal facto pode dever-se à ocorrência de rebentos múltiplos que ocorrem com alguma frequência.

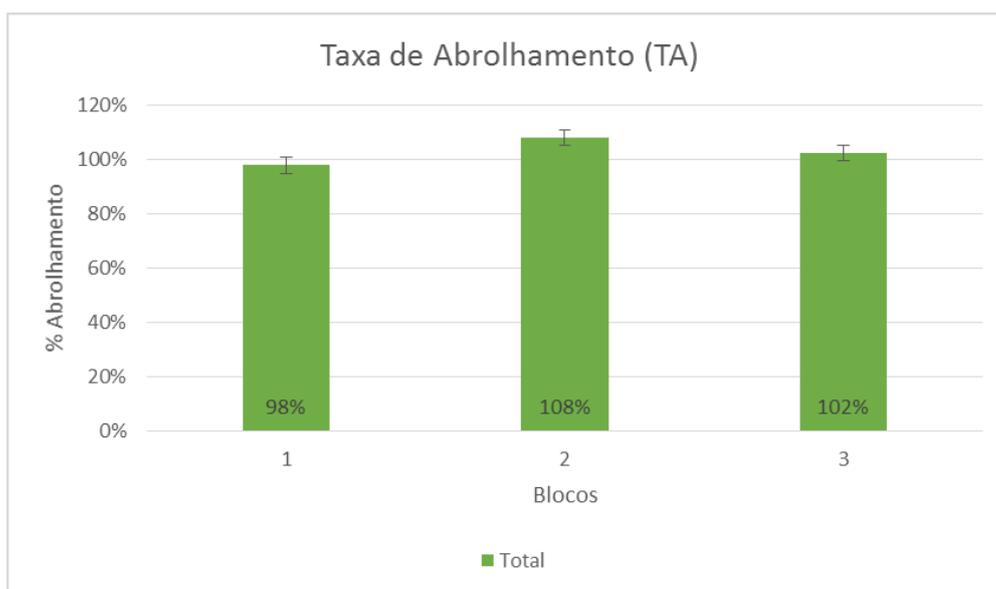


Figura 29 Taxa de abrolhamento média por bloco. Dados não analisados estatisticamente.

### 4.3.3 Índice de Fertilidade Potencial (IFP)

O Índice de Fertilidade Potencial foi calculado com base na divisão do número de inflorescências pelo número de olhos abrolhados. A Touriga Franca é uma casta que apresenta um índice de fertilidade baixo-médio, em média possui 1,5 a 1,7 inflorescências por gomo abrolhado (IVV, 2011). Os valores obtidos na nossa parcela são inferiores aos sugeridos pela bibliografia, apresentando os valores de 0,94 no bloco 1, 0,86 no bloco 2 e 1,00 no bloco 3 (cf. Figura 30). Os valores de IFP obtidos são baixos, tendo em conta que foi um ano de fertilidade razoável. Tal facto faz-nos crer que este parâmetro pode ter sido afetado pela intempérie de 4 de Maio de 2015, que danificou bastante as plantas.

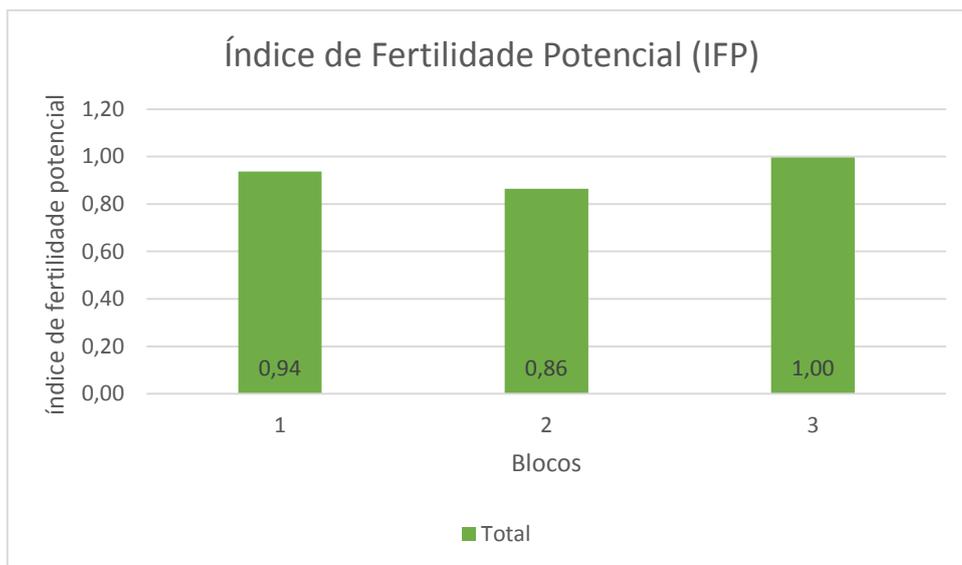


Figura 30 Índice de fertilidade potencial por bloco. Dados não analisados estatisticamente.

## 4.4 Caracterização do coberto vegetal

Para a caracterização do coberto vegetal utilizámos duas metodologias: o cálculo da área foliar e a determinação da densidade do coberto vegetal através do método de Point Quadrat.

### 4.4.1 Área foliar

A quantificação da área foliar representa uma análise de grande importância pois é considerada a expressão essencial do vigor, pois reflete a velocidade e duração do crescimento, em relação à capacidade de síntese de substâncias metabólicas (Champagnol, 1984; Smart & Robinson, 1991)

Ao longo do ensaio foram recolhidos dados para a determinação da área foliar, seguindo a metodologia proposta por Lopes e Pinto (2005), em três momentos distintos: 19 de maio (estado fenológico I – Floração), 22 de julho (estado fenológico M – Pintor) e 10 de setembro (estado fenológico N – Maturação), sendo que apenas nos dois últimos as plantas estavam sujeitas a diferentes modalidades de rega.

## Área foliar total

A área foliar total refere-se à área de folhas da videira na globalidade.

A média de área foliar total por videira é cerca de 2,240 m<sup>2</sup>, nas modalidades regadas e 1,64m<sup>2</sup> nas videiras sem rega.

A partir dos dados da análise estatística podemos ver que a rega não teve impacto na área total das videiras, uma vez que os resultados não apresentaram diferenças estatisticamente consideráveis.

Quando analisámos cada modalidade em particular constatámos que a modalidade com a área foliar total mais elevada é a R<sub>25</sub>, seguida da R<sub>75</sub> e por último a R<sub>50</sub>. Como seria de esperar a modalidade R<sub>0</sub> é a que apresenta a área foliar total mais baixa, uma vez que se verifica a queda das folhas (provocada pela falta de água) ao longo do tempo.

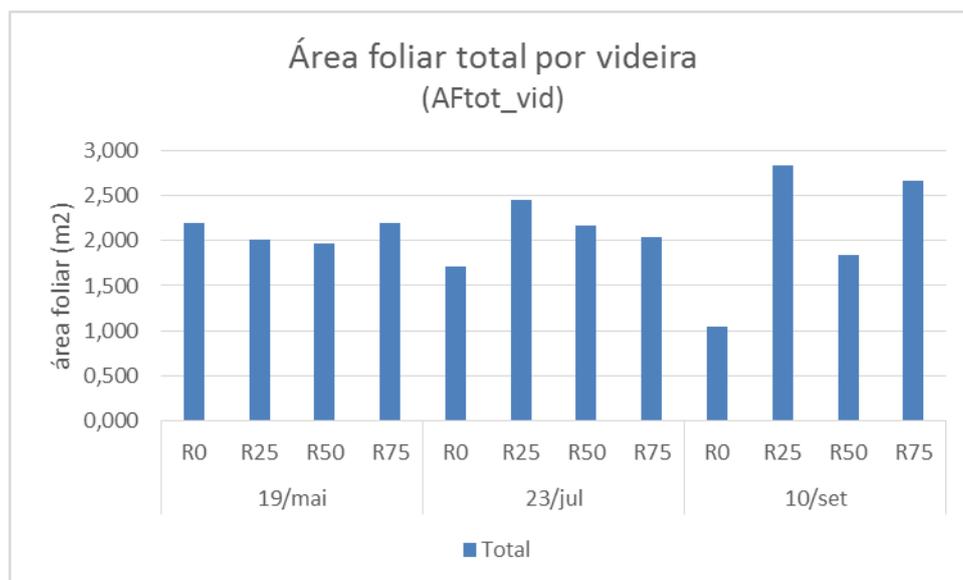


Figura 31 Valor médio da área foliar total por videira, nas quatro modalidades de rega, medidas a 19 de Maio, 23 de Julho e 10 de Setembro. Nível de significância:n.s.

Observa-se que a 19 de maio a área foliar total por videira (ver Figura 31) era semelhante em todas as modalidades, verificando-se que ao longo do ciclo a área foliar da modalidade R<sub>0</sub> decresce significativamente enquanto as modalidades R<sub>25</sub> e R<sub>75</sub> aumentaram a sua área foliar, principalmente à custa do desenvolvimento das folhas netas, como se verá mais à frente. À maturação R<sub>0</sub> apresenta um valor extremamente baixo com uma área de cerca de 1m<sup>2</sup> por videira enquanto outras modalidades têm áreas 2 a 3 vezes superiores.

As videiras envolvidas no ensaio sujeitas a modalidades de rega têm em média valores de área foliar principal superior às videiras não regadas, 1,25m<sup>2</sup> e 0,97m<sup>2</sup>.

A modalidade de rega não é um fator influenciador da área foliar total das videiras. Neste caso, o único fator que parece ter impacte na área foliar principal é o bardo, uma vez que as diferenças entre as videiras do bardo interior e exterior são estatisticamente significativas, tal facto pode dever-se ao posicionamento no campo experimental e como não mostra relação direta com a rega não será abordado.

### Área foliar principal

No que concerne à área foliar principal a modalidade de rega que apresenta um valor médio mais alto é a R<sub>25</sub>, seguida da R<sub>75</sub>, R<sub>50</sub> e por último a R<sub>0</sub>.

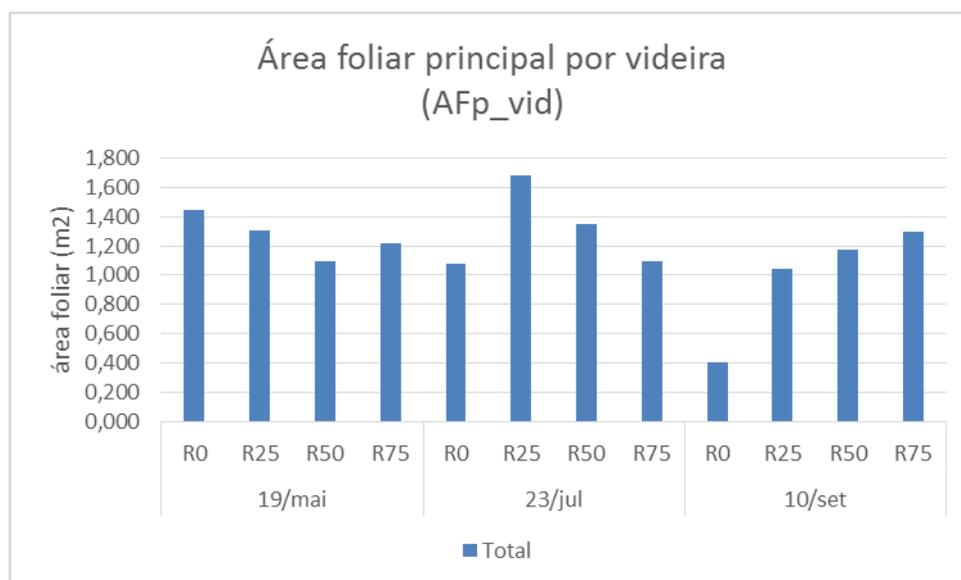


Figura 32 Valor médio da área foliar principal por videira, nas quatro modalidades de rega. Nível de significância: n.s.

A área principal por videira (cf. Figura 32) representa variações significativas entre todas as medições, mas a análise estatística não demonstra que a rega teve influência na quantidade de folhas principais. Ainda assim, a modalidade R<sub>0</sub> é a que apresenta a redução mais acentuada. As modalidades regadas R<sub>25</sub> e R<sub>50</sub> aumentaram a área principal entre a primeira e a segunda medição mas sofreram uma quebra visível da medição de julho para setembro. A modalidade R<sub>75</sub> reduziu a área foliar principal entre a medição de abril e julho e, contrariando a tendência das demais modalidades regadas, à maturação apresentava uma área foliar principal mais alta do que a registada ao pintor.

## Área Foliar das netas

Pela análise estatística, a área foliar das netas é influenciada pela modalidade de rega. A modalidade com maior área foliar das netas é a R<sub>75</sub>, seguida da R<sub>25</sub>, R<sub>50</sub> e mais uma vez R<sub>0</sub> (cf. Figura 33).

Depois de uma quebra verificada em todas as modalidades entre a primeira e a segunda medição, na avaliação da área foliar das netas feita à maturação era bastante visível que R<sub>25</sub> e R<sub>75</sub> aumentaram bastante, R<sub>0</sub> manteve-se praticamente igual e R<sub>50</sub> diminuiu.

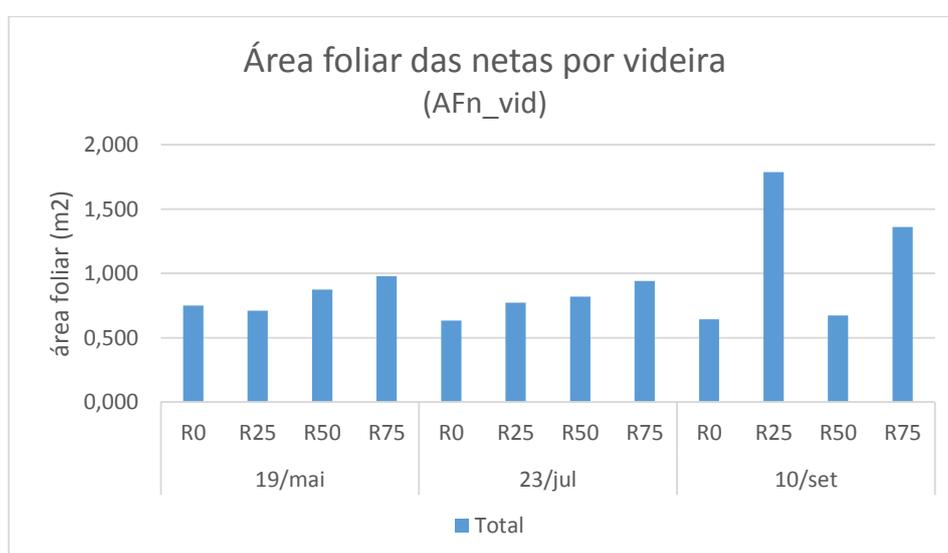


Figura 33 Valor médio da área foliar das netas por videira nas quatro modalidades de rega.

A área foliar das netas nas modalidades regadas é aproximadamente 0,989 cm<sup>2</sup>, um pouco superior às modalidades não regadas onde em média cada videira tem 0,672 cm<sup>2</sup> de área das netas (Tabela 5).

Tabela 5 Média dos valores de área foliar das netas por videira, em cada modalidade. Valores com letras diferentes pertencem a diferentes grupos de significância segundo o teste LSD ( $p < 0,05$ ). Nível de significância:  $*0,01 < p < 0,05$ .

R <sub>0</sub>	R <sub>25</sub>	R <sub>50</sub>	R <sub>75</sub>	Sig.
0,672±0,137 b	1,078±0,137 ab	0,794±0,137 ab	1,094±0,137 a	0,017*

## % Área foliar das netas

A % de área foliar das netas é próximo tanto nas modalidades sujeitas a rega como nas videiras não regadas (ver Figura 34).

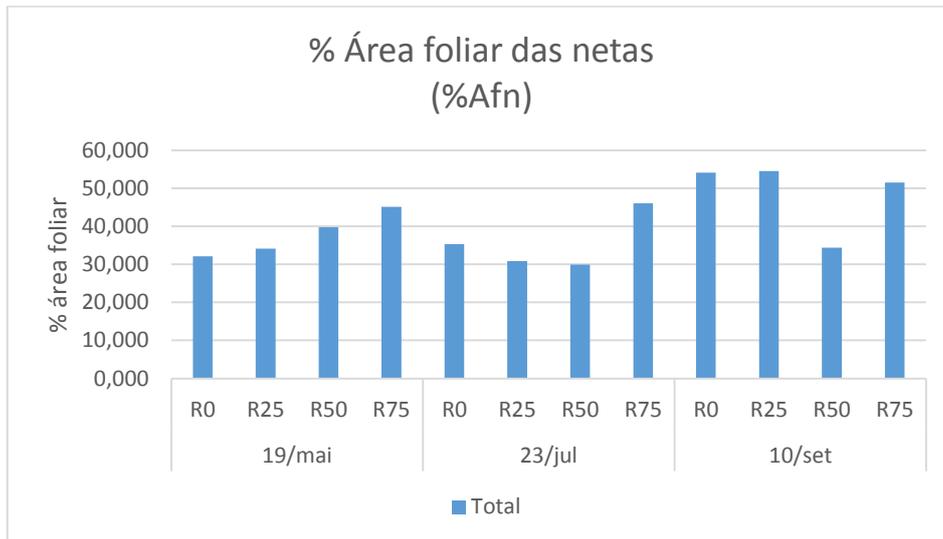


Figura 34 Valor médio da % área foliar das netas por videira, nas quatro modalidades de rega

A modalidade R<sub>75</sub> destaca-se das demais, com cerca de 48% de área foliar de netas. A seguir temos R<sub>0</sub> com aproximadamente 41%, R<sub>25</sub> com 40% e por último R<sub>50</sub>, com cerca de 35% (Tabela 6).

Tabela 6 Média dos valores de % AFn por videira, em cada modalidade. Valores com letras diferentes pertencem a diferentes grupos de significância segundo o teste LSD ( $p < 0,05$ ). Nível de significância: \*\*\*  $p < 0,001$ .

R <sub>0</sub>	R <sub>25</sub>	R <sub>50</sub>	R <sub>75</sub>	Sig.
40,16±3,236 a	39,83±3,236 ab	34,73±3,236 b	47,58±3,236 ab	0,000***

### 4.4.2 Densidade do coberto vegetal

A densidade do coberto vegetal das videiras foi aferida aplicando o método "Point Quadrat", descrito por Smart e Robinson (1991). Este método ajuda a descrever a distribuição de folhas e frutos no espaço e fornece uma descrição quantitativa da canópis.

Esta medição foi feita no dia 22 de julho de 2015, ao início do pintor (estado fenológico M) e cerca de um mês depois do início da rega, o que significa que até esta altura tinham ocorrido dois momentos de rega. A partir dos dados recolhidos conseguimos determinar o (1) Número de camadas de folhas (NCF), a (2) Percentagem de folhas interiores (%PFI), a (3) Percentagem de cachos interiores (%PCI) e a (4) Porosidade do coberto ou percentagem de buracos (%PB).

Em cada modalidade de rega foram selecionadas duas videiras do bardo interior e duas videiras do bardo exterior, num total de 48 videiras. A vareta foi colocada a dois níveis, ao nível dos cachos e ao nível vegetativo, resultando 96 inserções aleatórias na canópia.

### Número de Camadas de Folhas (NCF)

Segundo os valores de referência sugeridos por Smart e Robinson (1991), o valor máximo do número de camadas de folhas deve estar entre 1,0 e 1,5.

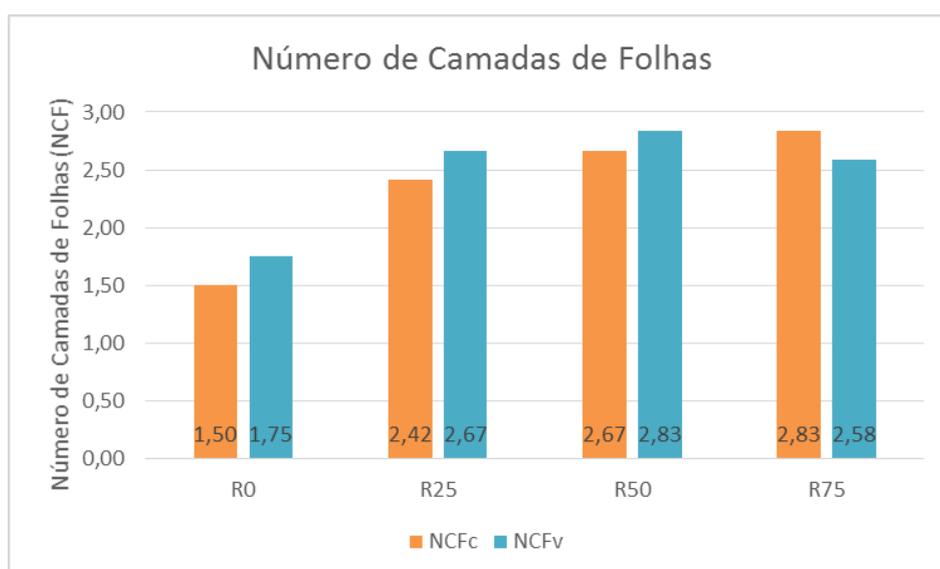


Figura 35 do Número de Camadas de Folhas nas diversas modalidades, quantificados ao nível dos cachos (NCFc) e ao nível vegetativo (NCFv). Dados não analisados estatisticamente

O gráfico da Figura 35 mostra-nos que o número de camadas de folhas ao nível dos cachos não varia muito em relação ao valor do nível vegetativo, sendo que merecem destaque os valores mais baixos observados na modalidade R<sub>0</sub>, enquanto as restantes modalidades apresentam todos valores muito próximos.

## Percentagem de Folhas Interiores (%PFI)

Atendendo ao gráfico da Figura 36 verificamos que a modalidade não regada apresenta as percentagens mais reduzidas no que toca à %PFI, tanto ao nível dos cachos como no nível vegetativo, o que significa que a canópia das videiras que não receberam água ao longo do seu desenvolvimento é muito menos compacta do que a das videiras regadas. Nas restantes modalidades podemos ver que a constituição das canópias é equilibrada, com valores aproximados de folhas interiores nos dois níveis, exceto no caso da modalidade R<sub>25</sub> que apresenta uma %PFI mais elevada ao nível vegetativo do que ao nível dos cachos.

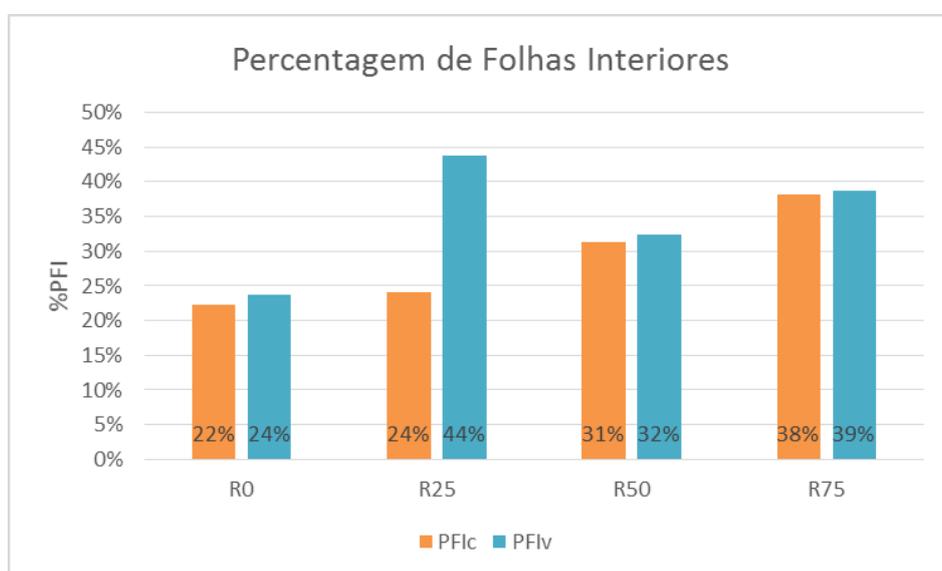


Figura 36 Percentagem de folhas interiores das modalidades de rega, ao nível dos cachos (PFIc) e ao nível vegetativo (PFIv). Dados não analisados estatisticamente.

## Percentagem de Cachos Interiores (PCI)

Como se pode ver no gráfico da Figura 37, a modalidade R0 tem uma percentagem de cachos interiores muito mais reduzida que as restantes, reflexo também do facto de ter menos camadas de folhas. As modalidades R25 e R50 têm aproximadamente a mesma % de cachos interiores, acima dos 85%. A modalidade R75 tem uma % ligeiramente mais baixa.

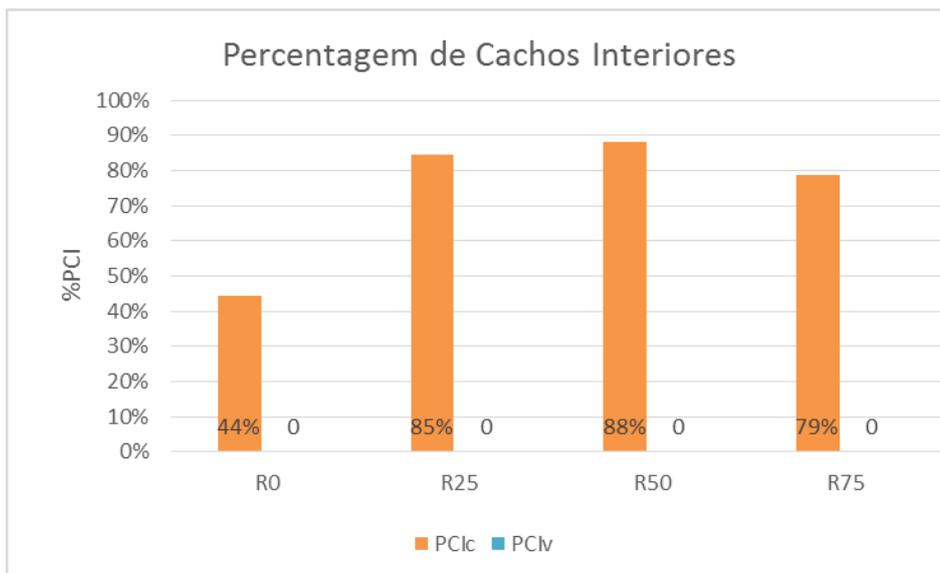


Figura 37 Percentagem de cachos interiores das modalidades de rega, ao nível dos cachos (PFic) e ao nível vegetativo (PFiv). Dados não analisados estatisticamente.

### Percentagem de Buracos (PB)

No que respeita à % de buracos (Figura 38), constatámos que a sebe é mais compacta no nível dos cachos, não se registando qualquer buraco. O mesmo não se verifica no nível vegetativo, onde as modalidades R<sub>25</sub> e R<sub>75</sub> têm 17% de buracos e na modalidade não regada 25%, o valor mais elevado. A modalidade R<sub>50</sub> não tem percentagem de buracos o que indica que de todas as modalidades de rega é a que mantém uma canópia mais vigorosa.

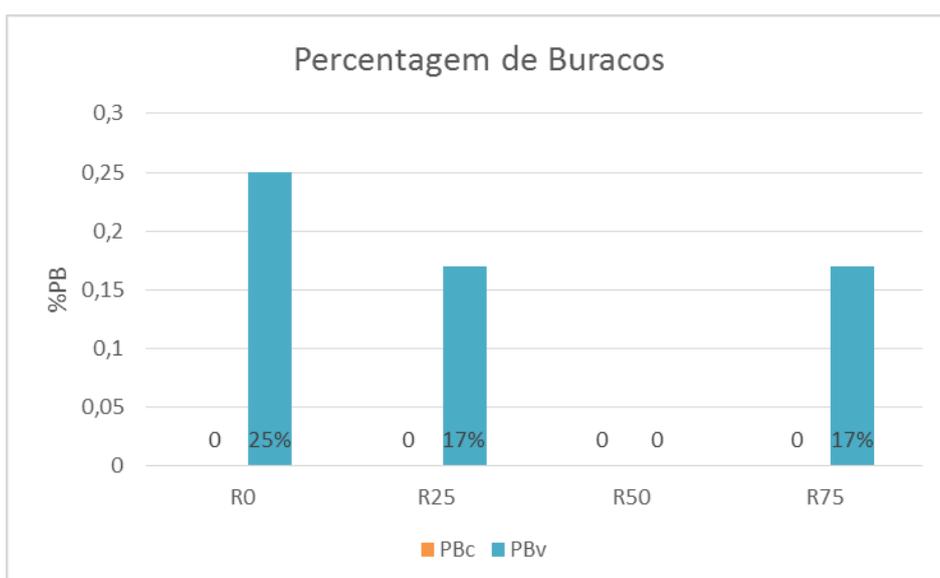


Figura 38 Percentagem de buracos das modalidades de rega, ao nível dos cachos (PFic) e ao nível vegetativo (PFiv), com as barras de erro padrão associado. Dados não analisados estatisticamente.

Os valores que obtivemos no nosso ensaio são bastante diferentes aos obtidos por Queiroz (2002) para a casta Touriga Nacional, no Douro. Neste ensaio os valores de NCF variaram entre 2,4 e 2,9, a %PFI variou entre 19% e 40%, a %PCI entre 0 e 21% e por fim, a %PB não ultrapassou os 6% na sebe com maior porosidade.

Oliveira (1996) refere que sempre que o número de camadas de folhas foi inferior a 2 ou que a percentagem de buracos ultrapassou os 10% verificou-se a ocorrência de elevadas percentagens de cachos murchos ou secos por escaldão, podendo concluir-se que os valores destes parâmetros e respetivas condições de equilíbrio são inferiores aos desejáveis para regiões de temperaturas e irradiâncias muito elevadas como o Douro, desejando-se que apresentem valores de NCF superiores e %PB inferiores.

A tabela com os valores de NCF, %PFI, %PCI e %PB calculados para cada modalidade, ao nível dos cachos e ao nível vegetativo podem ser consultados nos Anexos, bem como as fotografias da canóia das videiras das várias modalidades.

#### 4.5 Cálculo da evapotranspiração e das necessidades de rega

Os valores de evapotranspiração foram obtidos pela aplicação da equação de Hargreaves-Samani e desta forma foi possível estudar a demanda evaporativa, a partir dos dados meteorológicos registados pela estação meteorológica existente na Quinta da Cabreira (cf. Figura 39).

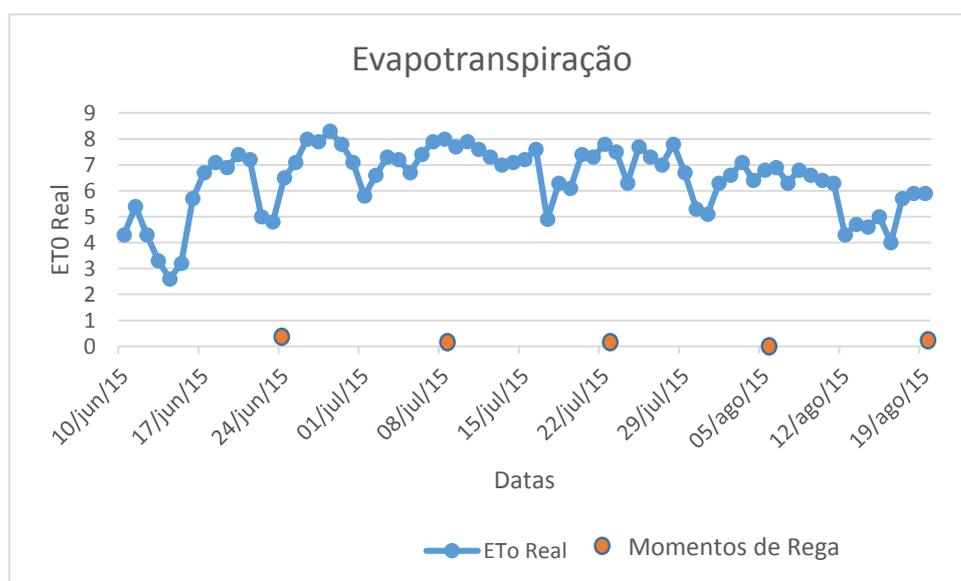


Figura 39 Registo da ETo, recolhida pela Estação Meteorológica da Quinta da Cabreira, ao longo do ensaio de rega.

A evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ) foi calculada a partir da equação supra referida, usando os valores de  $ET_0$  e um valor de  $K_c$  de 0,8. As necessidades reais de rega foram determinadas a partir dos seguintes cálculos:

$$ET_c (\text{últimos 15 dias}) = ET_0 \times K_c,$$

$$ET_0 \text{ obtido pela Equação Hargreaver – Samani}$$

$$ET_c (\text{a satisfazer}) = ET_c (\text{últimos 15 dias}) \times K_s (\%ET \text{ Modalidade})$$

$$\text{Rega} = ET_c (\text{a satisfazer}) - \text{precipitação (mm)}$$

O ensaio de rega comparou quatro modalidades de rega diferentes: (1)  $R_0$  ou modalidade não regada, (2)  $R_{25}$  ou rega com ET a 25%, (3)  $R_{50}$  ou rega com ET a 50% e (4)  $R_{75}$  ou rega com ET a 75%. A decisão de iniciar a rega baseou-se também nos valores de  $\Psi_0$  e começou assim que se atingiram valores na ordem dos -0,4MPa. Os momentos de rega aconteceram com uma periodicidade de 15 dias, como usualmente feito na quinta nas outras vinhas

Tabela 7 Registo de dados para o cálculo das necessidades de rega.

Data	Precipitação	$ET_c$	$R_{25}$	$R_{50}$	$R_{75}$	Tempo de rega
24/25 junho	12,6 mm	76,1mm	12,7 l	25,4 l	38,1l	6h21min
8/9 julho	0 mm	103,1mm	20,6 l	41,2 l	61,9 l	10h19min
22/23 julho	0 mm	99,2 mm	19,8 l	39,7 l	59,5 l	9h55min
5/6 agosto	0,2 mm	93,9 mm	18,7 l	37,5 l	56,2 l	9h22min
20/21 agosto	0,2 mm	79,4 mm	15,8 l	31,7 l	47,5 l	7h55 min

Com base nos dados da estação meteorológica da quinta, da dotação a aplicar e do débito dos gotejadores foram calculados os tempos de rega a aplicar em cada modalidade (ver Tabela 7). A última rega aconteceu na madrugada de 20 para 21 de agosto, após essa data até à colheita não se voltou a regar porque as condições climáticas começaram a alterar-se e deixou de ser necessário regar.

## 4.6 Medições ecofisiológicas

Ao longo do ensaio foram caracterizados alguns parâmetros ecofisiológicos como o potencial hídrico foliar de base, a taxa de fotossíntese e a condutância estomática.

### 4.6.1 Potencial hídrico foliar de base ( $\Psi_b$ )

O potencial hídrico de base é medido antes do nascer do sol porque se considera que a esta hora existe um equilíbrio entre os potenciais hídricos nas folhas e no solo, nas zonas de absorção, uma vez que na ausência de luz solar não ocorre transpiração e, deste modo, a quantidade de água existente na videira é equivalente à água disponível no solo.

O estado hídrico da videira foi determinado a partir da medição do potencial hídrico foliar de base ( $\Psi_b$ ), tal permitiu conhecer a condição hídrica das plantas antes da rega, bem como perceber qual o impacto da mesma no decurso do ensaio. No total foram realizadas 8 medições, 2 antes de começar a rega e 6 durante o período em que a vinha estava a ser regada (cf. Tabela 8).

*Tabela 8 Datas das monitorizações do Potencial Hídrico Foliar de Base.*

<b>Potencial Hídrico Foliar de Base</b>
9 de Junho
23 de Junho
9 de Julho
23 de Julho
5 de Agosto
10 de Agosto*
20 de Agosto
3 de Setembro

Os valores resultantes destas medições serviram de base à decisão de início da rega e auxiliaram a monitorização do estado hídrico das plantas ao longo do tempo. Por norma, estas medições foram sempre realizadas na madrugada do dia em que as plantas seriam regadas, com a exceção do dia 10 de Agosto cujos dados foram recolhidos para

desenhar a curva do potencial hídrico foliar diário e os valores relatam o estado hídrico da videira poucos dias depois de ser regada.

A rega começou a ser administrada por base em critérios como o estado fenológico da videira, as condições climáticas (temperatura, precipitação e ETc) e o estado hídrico da planta, tendo por isso sido decidido começar a regar quando a média de valores obtidos atingiu os -0,4MPa. Como a casta estudada é uma casta tinta o *stress* hídrico promove algumas características de qualidade e como tal só se começou a regar quando o nível de stress era considerável.

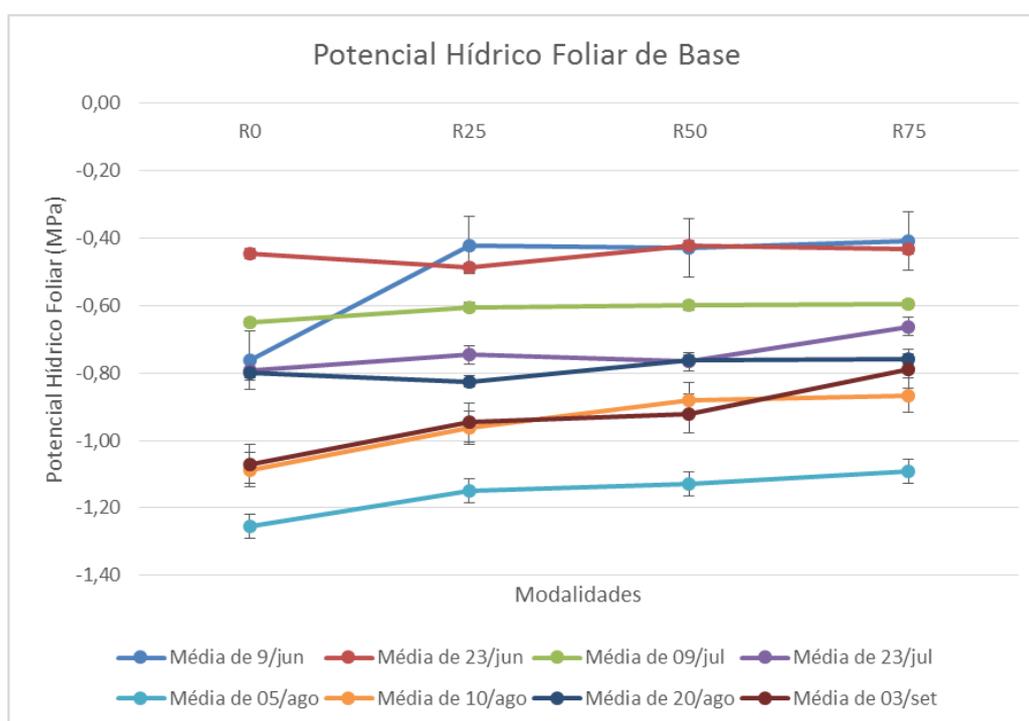


Figura 40 Registos dos valores médios de Potencial Hídrico Foliar de Base de cada modalidade, ao longo do tempo.

A Figura 40 apresenta os valores de  $\Psi_b$  medidos para cada modalidade e datas. No dia 9 de junho, antes de se iniciar a rega, o valor de  $\Psi_b$  da modalidade R<sub>0</sub> difere muito do valor obtido nas outras modalidades, o que atribuímos a um erro experimental uma vez que nesta data ainda não havia qualquer fator diferenciador das modalidades. Tal facto confirma-se quando se analisam os valores obtidos na segunda medição, a 23 de junho, data em que todas as modalidades apresentavam valores semelhantes, perto de -0,4MPa.

A 9 de Julho os valores médios das modalidades baixaram em todas para cerca de 0,6MPa, o que indica que as reservas de água começavam a escassear. Apesar de

ainda não ser muito significativo a modalidade não regada – R<sub>0</sub> – já apresenta sinais de estar numa situação de mais *stress* do que as videiras regadas.

Daí em diante manteve-se a tendência de diminuição dos valores de potencial hídrico foliar de base, com valores cada vez mais negativos e atingindo o máximo a 5 de Agosto, coincidindo com um período de muito calor e sem ocorrência de precipitação, nesta data os valores atingidos são muito negativos com valores médios entre -1,25MPa (na modalidade R<sub>0</sub>) e -1,13MPa (modalidade R<sub>50</sub>). Os valores de 10 de Agosto são menos negativos pois como foi explicado anteriormente, referem-se a um dia muito próximo da data de rega. Uma ressalva para o facto de a partir de 23 de Julho a modalidade R<sub>75</sub> ser sempre a modalidade que apresenta os valores mais altos de potencial hídrico, o que significa que de todas era a que se encontrava com melhor condição hídrica. Depois de iniciadas as regas a modalidade R<sub>0</sub> foi sempre a que apresentou níveis mais negativos de potencial hídrico.

A análise estatística dos resultados mostrou que há significância estatística na relação entre o potencial hídrico de base, as médias dos valores registados ao longo dos meses de estudo mostram que as videiras da modalidade R<sub>0</sub> atingiram valores mais negativos e as da modalidade R<sub>75</sub> o valor mais alto, indicando menor *stress* hídrico (cf. Tabela 9).

*Tabela 9 Média dos valores de Potencial Hídrico Foliar de base, em cada modalidade. Valores com letras diferentes pertencem a diferentes grupos de significância segundo o teste LSD ( $p < 0,05$ ). Nível de significância: \*\*\*  $p < 0,001$ .*

R <sub>0</sub>	R <sub>25</sub>	R <sub>50</sub>	R <sub>75</sub>	Sig.
-7,71±0,145 b	-7,31±0,145 ab	-7,27±0,145 ab	-6,72±0,145 a	0,00***

#### 4.6.2 Potencial Hídrico Foliar e trocas gasosas ao nível dos estomas

##### Potencial hídrico foliar

As trocas gasosas ao nível dos estomas foram monitorizadas em dois momentos, a 5 de Agosto que correspondeu ao final de um ciclo de rega (antes da rega de 6 para 7 de Agosto) e no dia 10 de Agosto, poucos dias depois da vinha ser regada.

Baseando-nos nos resultados obtidos nas medições com o IRGA e a câmara de pressão calculámos os coeficientes de correlação existentes entre a fotossíntese líquida (A) e a condutância estomática (g<sub>s</sub>), a fotossíntese líquida (A) e a temperatura da folha (T<sub>leaf</sub>) e a fotossíntese líquida (A) e condutância estomática (g<sub>s</sub>) com o potencial hídrico foliar (Ψ<sub>f</sub>).

Na Figura 41 estão representadas as curvas de potencial hídrico foliar, desenhadas com base em valores obtidos nos dois dias e refletem a evolução deste parâmetro ao longo do dia, a diferentes horas e expostas a diferentes temperaturas e intensidades de radiação solar.

A evolução das curvas apresenta um comportamento que Pereira (1997) refere como clássica, isto é com valores de potencial hídrico foliar mais elevado medido antes do nascer do sol e que caem rapidamente ao amanhecer, devido a um aumento de transpiração e consequentemente as perdas de água excedem a capacidade de absorção radicular (Lopes, 1994). Ao final da tarde a radiação solar diminui e inicia-se, normalmente, uma rehidratação dos tecidos (Pereira, 1997).

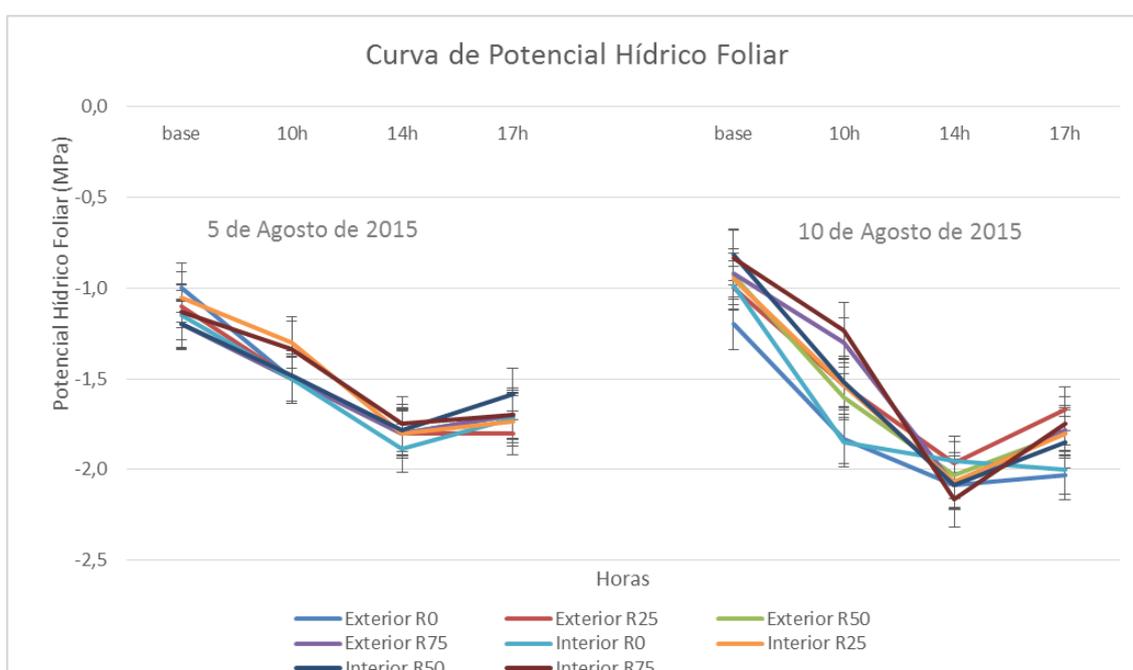


Figura 41 Curva do Potencial Hídrico Foliar, medido em quatro momentos: base, 10h, 14h e às 17h.

Na curva do dia 5 de agosto, antes da rega, observámos que todas as modalidades apresentavam valores de  $\Psi_0$  muito semelhantes e que depois, com o passar das horas também mantinham o mesmo padrão, atingindo o valor mais negativo pelas 14h e começando a recuperar ao longo da tarde. A modalidade com os valores de potencial hídrico mais negativos foi a R<sub>0</sub> do bardo interior e as modalidades que apresentam as curvas com valores indicativos de menor *stress* são a R<sub>25</sub> e R<sub>50</sub>, ambas do bardo interior.

A 10 de agosto as modalidades de rega distinguem-se por terem valores significativamente mais elevados no momento da medição do potencial hídrico foliar de

base, com valores diferentes entre elas. Ao longo do dia também foram visíveis diferenças, mas sempre com as curvas de valores mais negativos a corresponder à modalidade não regada, com exceção à medição das 14h em que a modalidade R<sub>75</sub> atingiu valores abaixo dos -2,0MPa. Na última medição do dia, às 17h, todas as modalidades de rega estavam a recuperar, ou seja o potencial hídrico foliar estava a diminuir (tornar-se menos negativo), sendo a R<sub>0</sub> a exceção na qual não se verifica a existência de recuperação uma vez que ainda apresentava valores aproximados aos obtidos cerca de 3 horas antes.

### Trocas gasosas ao nível dos estomas

Em relação aos parâmetros quantificados pelo IRGA, para cada data fizemos uma análise de correlação de Pearson entre os parâmetros, uma vez que as condições os dois momentos de medição diferiram na condição hídrica.

Nas análises de correlação verificámos que há alguma dependência da fotossíntese líquida (A) em relação à condutância estomática (g<sub>s</sub>), no dia 5 de Agosto (cf. Figura 42), com um valor de  $r^2=0,339$ , o que significa que aproximadamente 34% do total da condutância estomática se correlaciona com a taxa de fotossíntese líquida.

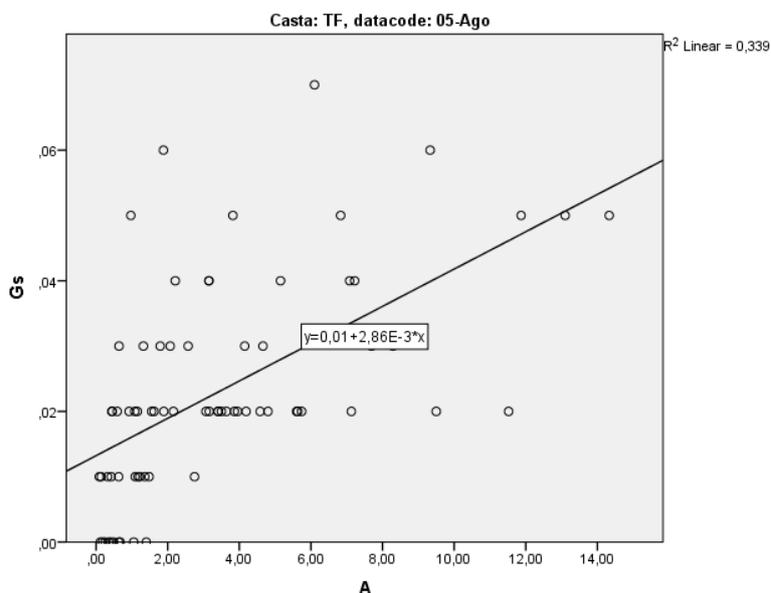


Figura 42 Relação entre a condutância estomática (g<sub>s</sub>) e a fotossíntese líquida (A). Valores das medições realizadas no dia 5 de Agosto. Nível de significância: \*\* p<0,01.

A mesma relação medida a 10 de agosto, alguns dias após a rega, mostra uma correlação ainda mais forte, com  $r^2=0,657$ . Este valor aproxima-se dos valores descritos por Queiroz (2002) para a casta Touriga Nacional, na região do Douro.

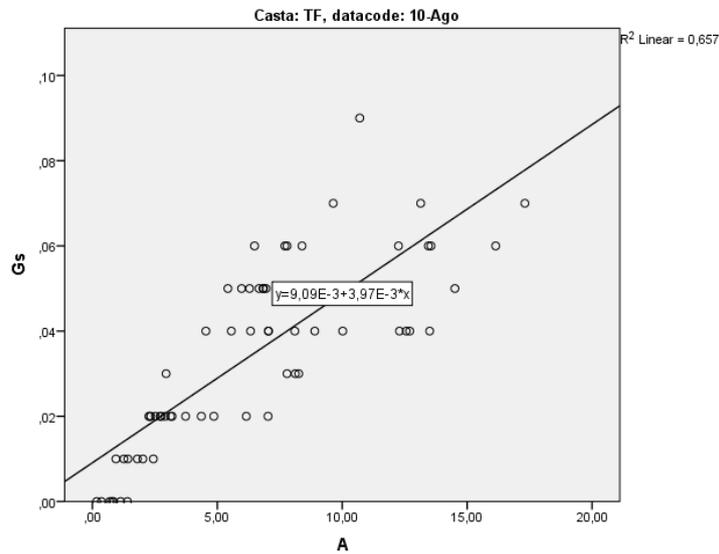


Figura 43 Relação entre condutância estomática ( $g_s$ ) e a fotossíntese líquida ( $A$ ). Valores das medições realizadas no dia 10 de Agosto. Nível de significância: \*\*  $p < 0,01$ .

Na Figura 44 está representada a correlação entre a condutância estomática e o potencial hídrico foliar e como se pode constatar pelos valores baixos de  $r^2$  a correlação entre estes dois pontos é muito baixa, tanto antes da rega como depois, uma vez que os valores de  $r^2$  são, respetivamente, 0,104 e 0,096.

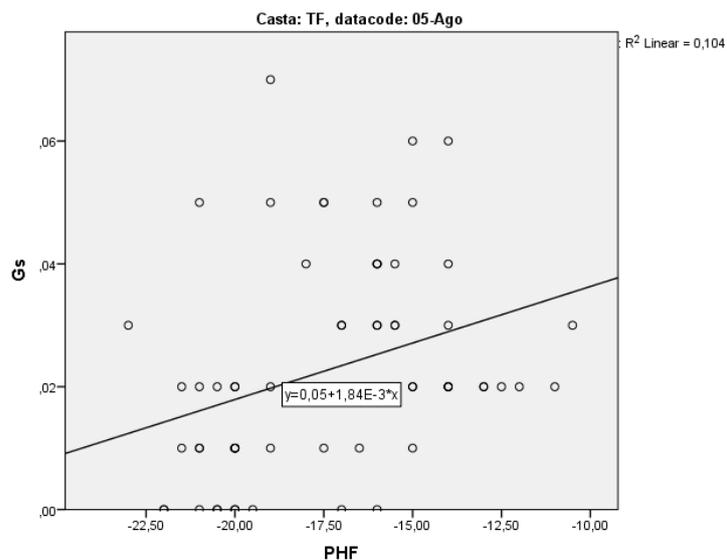


Figura 44 Gráfico da correlação de Pearson entre a condutância estomática ( $g_s$ ) em função do potencial hídrico foliar (PHF), no dia 5 de agosto. Nível de significância: \*\*  $p < 0,01$ .

À semelhança do que se passa com a condutância estomática, o valor de fotossíntese líquida também tem uma correlação baixa com a condição hídrica das videiras (Figura 45 e Figura 46). Lopes (1994) verificou a dependência entre estes dois parâmetros.

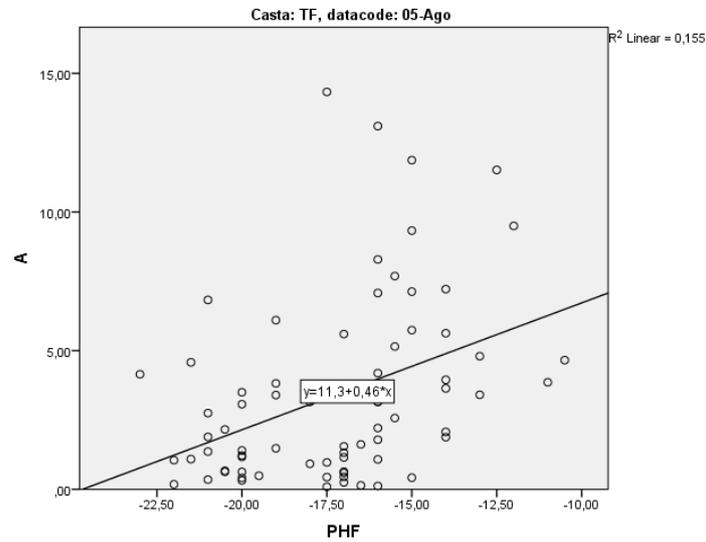


Figura 45 Gráfico da correlação de Pearson entre a fotossíntese líquida (A) em função do potencial hídrico foliar (PHF), no dia 5 de agosto. Nível de significância: \*\*  $p < 0,01$ .

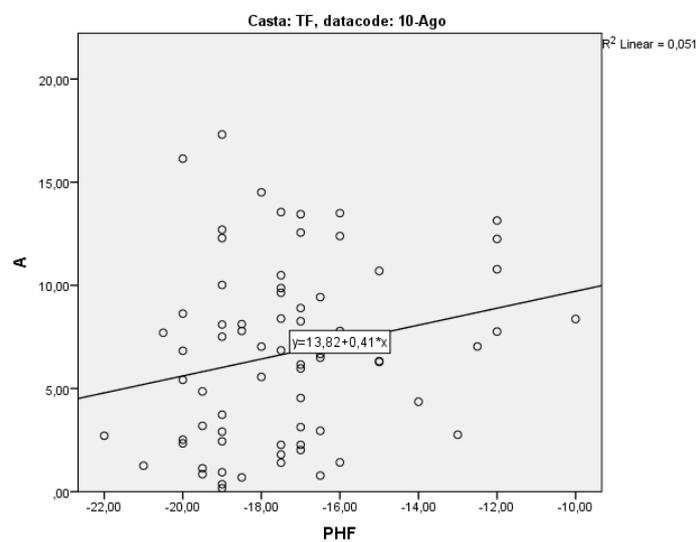


Figura 46 Gráfico da correlação de Pearson entre a fotossíntese líquida (A) em função do potencial hídrico foliar (PHF), no dia 10 de agosto. Nível de significância: \*\*  $p < 0,01$ .

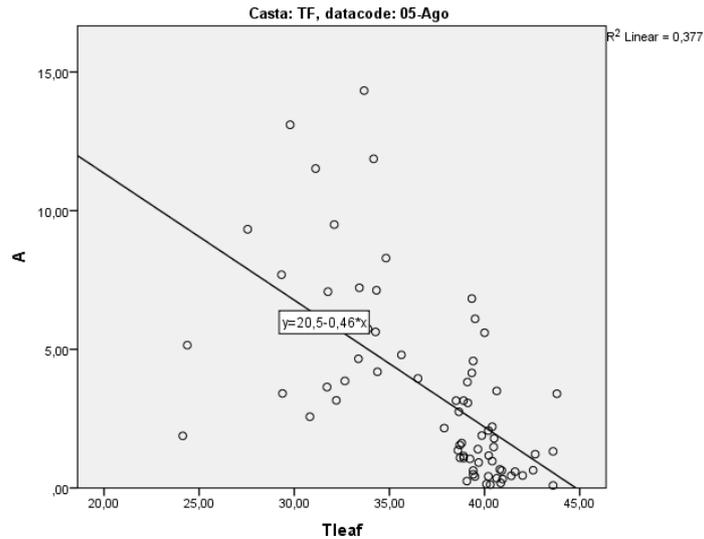


Figura 47 Gráfico da correlação de Pearson entre a fotossíntese líquida (A) em função da temperatura da folha ( $T_{leaf}$ ), no dia 5 de agosto. Nível de significância: \*\*  $p < 0,01$ .

Os gráficos da Figura 47 e da Figura 48 mostram que há correlação entre a fotossíntese líquida e a temperatura da folha, sendo visível que com temperaturas na ordem dos 40°C ao nível das folhas ainda há folhas fotossinteticamente ativas, ainda que com taxas fotossintéticas muito reduzidas.

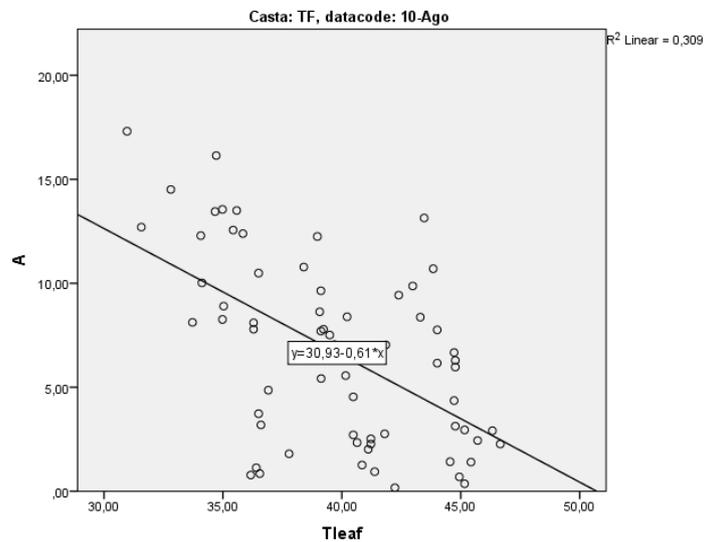


Figura 48 Gráfico da correlação de Pearson entre a fotossíntese líquida (A) em função da temperatura da folha ( $T_{leaf}$ ), no dia 10 de agosto. Nível de significância: \*\*  $p < 0,01$ .

## 4.7 Impacte da disponibilidade hídrica na qualidade e produção

As condições de défice hídrico combinadas com temperaturas elevadas aumentam a síntese de compostos aromáticos mas também se torna mais rápida a sua destruição por oxidação, dando origem a vinhos mais pesados e menos florais (Magalhães, 2008).

A partir do momento em que se iniciou a maturação a vinha passou a ser sujeita a controlos da maturação quinzenais para estimar qual a fase de desenvolvimento em que se encontrava. O primeiro controlo de maturação foi feito em julho e foram repetidos regularmente até perto da data de vindima. Os valores destes controlos de maturação não foram fornecidos pelos laboratórios da empresa, pelo que não se apresentam, tivemos apenas acesso aos resultados da análise final dos bagos recolhidos no dia da vindima, a 28 de setembro de 2015.

Também durante a vindima procedemos à contagem e pesagem da produção de cada videira, dentro das 240 selecionadas para serem seguidas durante o ensaio. A partir destes dados determinamos o número de cachos produzidos, a produção média de cada videira, em Kg, e o peso médio dos cachos.

### 4.7.1 Número médio de cachos, peso médio dos cachos, número médio dos bagos e produção média por videira

#### **Número médio de cachos**

Em todas as modalidades o número de cachos não foi inferior a 7 cachos/cepa nem superior a 9 cachos/cepa. Uma vez mais a modalidade R<sub>25</sub> destaca-se, sendo a modalidade que mais produz em todos os blocos, mantendo sempre uma média igual ou muito próxima a 9 cachos por videira (cf. Figura 49).

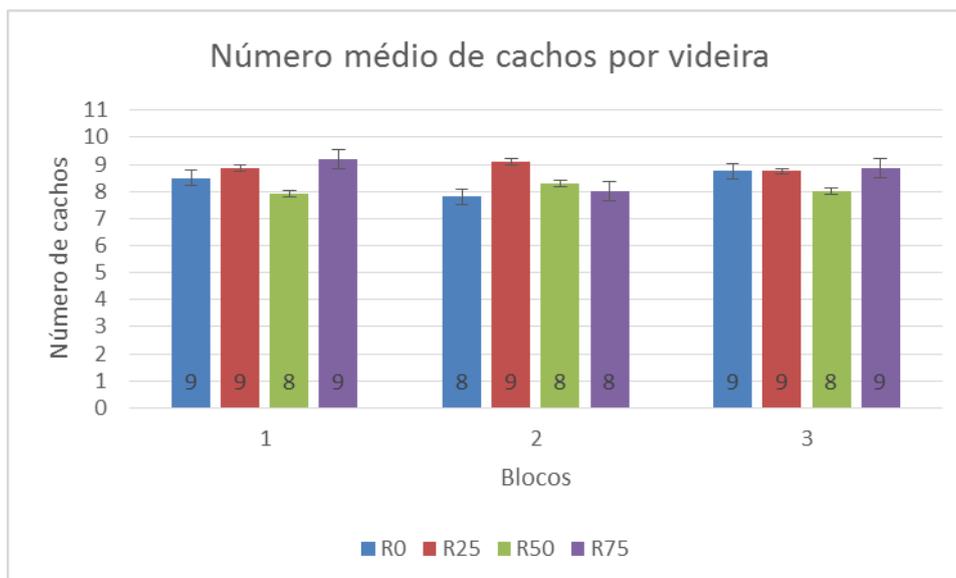


Figura 49 Número médio de cachos por videira, em cada modalidade. Nível de significância: n.s.

A análise estatística mostrou-nos que o número de cachos não foi influenciado pela rega, o que faz sentido uma vez que a rega iniciou-se já depois da formação do cacho. Verifica-se ainda que a modalidade R<sub>25</sub> parece ter mais cachos em todos os blocos todavia deve ter-se em conta que era também a modalidade que apresentava valores mais elevados de IFP, não se podendo atribuir nenhum significado diretamente relacionado com a rega.

No Balanço do ano agrícola de 2015, publicado pela ADVID, o número médio de cachos por videira na casta Touriga Franca, no Douro Superior foi ligeiramente elevada, sendo em média 10 cachos por videira (ADVID, 2015).

### Peso médio do cacho

Quanto ao peso médio do cacho, a modalidade que apresentou os cachos mais pesados foi a R<sub>50</sub>. Por outro lado, R<sub>0</sub> produziu os cachos mais leves, pesando em média 233g, tal como seria de esperar uma vez que se trata da modalidade não regada e eram visíveis bastantes cachos secos, à data de vindima. A modalidade R<sub>75</sub> não seguiu o padrão esperado, atingindo pesos superiores a R<sub>0</sub> mas inferiores aos valores obtidos pelas demais modalidades irrigadas. Perante isto acreditámos que a água em abundância tenha promovido o crescimento vegetativo em detrimento do desenvolvimento dos frutos.

Tabela 10 Média do peso dos cachos, em cada modalidade. Valores com letras diferentes pertencem a diferentes grupos de significância segundo o teste LSD ( $p < 0,05$ ). Nível de significância:  $*0,01 < p < 0,05$ .

R <sub>0</sub>	R <sub>25</sub>	R <sub>50</sub>	R <sub>75</sub>	Sig.
233g±0,007 b	259g±0,007 ab	262g±0,007 a	246g±0,007 ab	0,035*

Os valores médios do peso de um cacho de Touriga Franca, no Douro Superior foi de 224,45g. No nosso ensaio de rega os valores médios são superiores aos da ADVID, em todas as modalidades.

### Peso médio do bago

O peso médio do bago está obviamente relacionado com o peso dos cachos e como podemos constatar a partir da Tabela 11 a modalidade com os bagos mais pesados é a R<sub>25</sub>, o que já era esperado uma vez que também já apresentava a maior taxa de produção por videira. Nas parcelas de referência da ADVID os bagos de Touriga Franca pesavam, em média, 1,64g. No nosso ensaio a modalidade R<sub>0</sub> apresenta valores desta ordem, as restantes modalidades tiveram bagos com peso mais alto. O peso dos bagos é superior na modalidade R<sub>25</sub> com 1,85g de peso médio, seguida da modalidade R<sub>50</sub> com 1,82g e por último R<sub>75</sub> e R<sub>0</sub> com 1,8g e 1,64g, respetivamente.

Tabela 11 Média do peso dos bagos, em cada modalidade. Valores com letras diferentes pertencem a diferentes grupos de significância segundo o teste LSD ( $p < 0,05$ ). Nível de significância:  $* p < 0,05$ .

R <sub>0</sub>	R <sub>25</sub>	R <sub>50</sub>	R <sub>75</sub>	Sig.
1,643±0,045 b	1,853±0,045 a	1,815±0,045 ab	1,803±0,045 ab	0,05*

Num estudo desenvolvido por Roby e Matthews (2004) com Cabernet Sauvignon, onde as videiras estiveram expostas a três condições hídricas diferentes (alto défice, baixo défice e testemunha) durante o crescimento dos bagos, verificou-se que o défice hídrico promoveu o aumento da massa dos bagos, tal como o verificado por nós na Touriga Franca.

## Produção média por videira

A produção média por videira foi calculada a partir do peso dos cachos colhidos em cada uma das 20 videiras selecionadas para estudo, em cada modalidade, em cada bloco. No total foi contabilizada a produção de 240 plantas e todos os seus frutos foram contados e pesados.

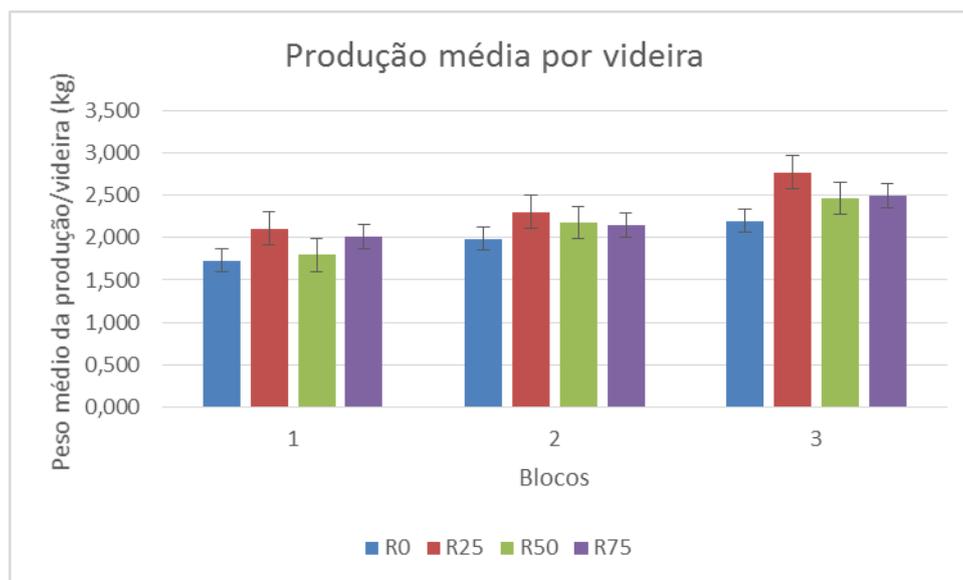


Figura 50 Gráfico da produção média por videira, de acordo com a modalidade de rega. Nível de significância: n.s.

Vemos no gráfico da Figura 50 que apesar da produção em Kg não ser muito diferente entre as modalidades dentro de cada bloco, quando comparamos cada modalidade com a sua repetição num bloco diferente ela produziu mais do que a anterior, isto pode dever-se a fatores ambientais mais favoráveis no bloco 3.

A modalidade que produziu mais uvas por videira foi R<sub>25</sub> e no oposto, a modalidade cujas plantas tiveram menos produção foi a modalidade R<sub>0</sub>. Os resultados não apresentaram diferenças estatisticamente significativas.

Segundo o balanço do ano agrícola publicado pela ADVID (2015), no ano agrícola 2014/2015 a Touriga Franca foi a casta que mais produziu em toda a região do Douro, Na sub-região do Douro Superior, estima-se que a produção média tenha rondados os 2,300Kg por videira. Os nossos valores aproximam-se desta realidade, R<sub>25</sub> foi a modalidade que apresentou a produção mais elevada, com 2,390Kg/videira, seguida da modalidade R<sub>75</sub> com 2,218Kg, R<sub>50</sub> com 2,144Kg e por último R<sub>0</sub> com apenas 1,969Kg,

Verificámos que uma das nossas modalidades de rega induziu uma produção mais elevada em relação à média registada na sub-região.

#### 4.7.2 Acidez total (g de ácido tartárico/litro), pH e ácido málico (g/L)

Os valores da acidez total, pH e ácido málico não apresentaram significância estatística. Para melhor leitura dos dados optámos por apresentar os valores em tabelas.

##### **Acidez total (g de ácido tartárico/l)**

A modalidade com a acidez total mais alta é a R<sub>50</sub>, como se constata pelos valores apresentados na Tabela 12.

*Tabela 12 Média da acidez total (g de ácido tartárico/litro), em cada modalidade.*

	<b>R<sub>0</sub></b>	<b>R<sub>25</sub></b>	<b>R<sub>50</sub></b>	<b>R<sub>75</sub></b>
<b>Bloco 1</b>	4,01	4,32	4,10	4,02
<b>Bloco 2</b>	4,29	4,13	4,33	4,06
<b>Bloco 3</b>	4,23	4,20	4,63	4,49
<b>Total/Modalidade</b>	4,17	4,22	4,35	4,19

##### **pH**

O pH foi mais baixo (mais ácido) na modalidade R<sub>50</sub> e mais alto na R<sub>25</sub> (cf. Tabela 13).

*Tabela 13 pH médio em cada modalidade*

	<b>R<sub>0</sub></b>	<b>R<sub>25</sub></b>	<b>R<sub>50</sub></b>	<b>R<sub>75</sub></b>
<b>Bloco 1</b>	3,85	3,87	3,84	3,96
<b>Bloco 2</b>	3,85	3,88	3,78	3,92
<b>Bloco 3</b>	3,82	3,96	3,87	3,79
<b>Total/Modalidade</b>	3,84	3,90	3,83	3,88

De la Fuente *et al.* (2007), num estudo desenvolvido em Toledo, concluiu que à medida que a disponibilidade hídrica aumenta pode haver aumento de rendimento e de vigor mas tal facto não se reflete no pH, em que as diferenças não são significativas, ainda que a acidez total tenda a aumentar, como verificámos quando comparámos os valores de acidez total entre modalidade, onde R<sub>0</sub> apresenta o valor mais baixo e R<sub>50</sub> o valor mais alto. A modalidade R<sub>75</sub> não apresenta este padrão e, ao contrário do expectável atingiu um valor de acidez total próximo da modalidade não regada.

### Ácido málico

Quanto ao ácido málico podemos ver que a modalidade que apresentou valores mais elevados durante a maturação foi a R<sub>25</sub>, seguida da modalidade R<sub>75</sub>. A concentração mais baixa verificou-se na modalidade não regada.

Tabela 14 Valores médios de ácido málico em cada modalidade.

	R <sub>0</sub>	R <sub>25</sub>	R <sub>50</sub>	R <sub>75</sub>
<b>Bloco 1</b>	0,97	1,26	0,91	1,4
<b>Bloco 2</b>	1,27	1,43	1,15	1,34
<b>Bloco 3</b>	1,19	1,90	1,57	1,32
<b>Total/Modalidade</b>	1,14	1,53	1,21	1,35

### 4.7.3 Teor de Álcool Provável (TAP)

Segundo a análise estatística aos nossos resultados, o Teor de Álcool Provável é afetado pela rega (Tabela 15).

Tabela 15 Percentagem média de Álcool Provável, em cada modalidade. Valores com letras diferentes pertencem a diferentes grupos de significância segundo o teste LSD ( $p < 0,05$ ). Nível de significância:  $p < 0,01^{**}$ .

R <sub>0</sub>	R <sub>25</sub>	R <sub>50</sub>	R <sub>75</sub>	Sig.
11,47±0,219 a	12,00±0,219 ab	12,27±0,219 b	12,22±0,219 ab	0,003 <sup>**</sup>

Todas as modalidades apresentam valores relativamente próximos no que respeita à média do álcool provável (Tabela 15) contudo é possível distingui-las. A modalidade

com a % mais baixa é a R<sub>0</sub> enquanto a modalidade com a % mais alta é a R<sub>50</sub>. Na modalidade mais regada este valor é mais baixo do que na modalidade R<sub>50</sub> isto pode explicar-se ao facto de a água em excesso ter um efeito negativo no que se refere à concentração de álcool.

Tabela 16 Valores médios de teor de álcool provável (% Vol) em cada modalidade.

	R <sub>0</sub>	R <sub>25</sub>	R <sub>50</sub>	R <sub>75</sub>
<b>Bloco 1</b>	10,55%	11,90%	12,75%	12,45%
<b>Bloco 2</b>	11,80%	11,60%	11,55%	12,05%
<b>Bloco 3</b>	12,05%	12,50%	12,50%	12,15%
<b>Total/Modalidade</b>	11,47%	12,00%	12,27%	12,22%

#### 4.7.4 Teor em polifenóis, taninos e antocianinas extraíveis

##### Polifenóis extraíveis

Os polifenóis podem ser classificados em compostos flavonóides ou não flavonoides. Dos compostos flavonoides fazem parte as flavanas, os flavonóis e as antocianinas. Ao segundo grupo pertencem os ácidos benzoicos e os ésteres tartáricos dos ácidos da série cinâmica (Cabrita *et al.*, 2003). Como se observa a partir da Tabela 17 as modalidades R<sub>0</sub> e R<sub>25</sub> atingiram valores médios iguais, R<sub>50</sub> apresenta o valor médio mais alto e R<sub>75</sub> o mais baixo.

Tabela 17 Polifenóis extraíveis, valores à vindima.

	R <sub>0</sub>	R <sub>25</sub>	R <sub>50</sub>	R <sub>75</sub>
<b>Bloco 1</b>	29,4	29,2	25,9	28,7
<b>Bloco 2</b>	26,6	29,2	28,3	27,8
<b>Bloco 3</b>	27,4	25,0	29,5	26,6
<b>Total/Modalidade</b>	27,8	27,8	28,0	27,1

## Taninos extraíveis

Os taninos são compostos fenólicos, naturalmente presentes na película e nas grainhas das uvas, com a capacidade de se combinarem com proteínas e outros polissacarídeos, provocando a sensação de adstringência e secura. (Cabrita *et al.*, 2003)

Tabela 18 Taninos extraíveis, valores à vindima.

	R <sub>0</sub>	R <sub>25</sub>	R <sub>50</sub>	R <sub>75</sub>
<b>Bloco 1</b>	1,58	1,54	1,52	1,61
<b>Bloco 2</b>	1,38	1,55	1,35	1,41
<b>Bloco 3</b>	1,40	1,42	1,56	1,36
<b>Total/Modalidade</b>	1,45	1,50	1,48	1,46

As diferenças entre as modalidades, representada na Tabela 18 não é muito pronunciada, ainda assim há a oscilação de 0,5 entre a modalidade com o valor mais baixo, modalidade R<sub>0</sub> e a modalidade que apresenta um número médio de taninos extraíveis mais alto à vindima, a R<sub>25</sub>.

## Antocianas extraíveis

As antocianas são os compostos mais importantes no que diz respeito à cor das uvas e dos vinhos tintos. Representam uma fatia muito significativa quer em quantidade quer em qualidade dos flavonoides das uvas de castas tintas. Estão presentes nas películas e também na polpa das castas tintureiras (Cabrita *et al.*, 2003).

Tabela 19 Antocianas extraíveis, valores à vindima.

	R <sub>0</sub>	R <sub>25</sub>	R <sub>50</sub>	R <sub>75</sub>
<b>Bloco 1</b>	0,34	0,36	0,30	0,33
<b>Bloco 2</b>	0,31	0,34	0,34	0,33
<b>Bloco 3</b>	0,34	0,30	0,36	0,32
<b>Total/Modalidade</b>	0,33	0,33	0,33	0,32

A Tabela 19 apresenta os valores médios de antocianas extraíveis, quantificadas à vindima. Os valores são muito idênticos, R<sub>25</sub> e R<sub>50</sub> obtiveram valores médios semelhantes aos da testemunha não regada. A modalidade com a concentração média de antocianas mais baixa foi R<sub>75</sub>.

## 5. Conclusões

O estudo debruçou-se sobre o efeito de diferentes modalidades de rega no rendimento e qualidade da casta Touriga Franca. A rega é um tema que está cada vez mais na ordem do dia em viticultura, por representar uma ferramenta que pode ajudar o viticultor a potenciar a produção ou controlar o vigor vegetativo das plantas.

O ensaio de rega foi instalado numa parcela de vinha no Douro Superior, uma sub-região do Douro onde as condições climáticas são especialmente áridas, com verões muito quentes e precipitação escassa durante todo o ano. Os resultados apresentados referem-se, portanto, a uma sub-região vinícola única e os resultados obtidos espelham a realidade desta região, não devendo ser extrapolados para outras zonas. Por outro lado, apresentámos dados relativos a um ciclo vegetativo apenas, o que pode claramente não representar o efeito das modalidades de rega testadas e os resultados podem ter sido influenciados por fatores externos à rega.

Ao longo do ensaio foram avaliados parâmetros ecofisiológicos, componentes do rendimento e da qualidade para perceber qual a modalidade de rega mais adequada.

A carga à poda, o número de pâmpanos e de inflorescências foram aferidos antes do início da aplicação de rega. Estes dados não foram analisados estatisticamente (uma vez que foram aferidos antes de se iniciar a rega) mas uma breve análise aos resultados destes parâmetros fez-nos concluir que a parcela era homogénea. Este é um pormenor importante, deste modo reduzimos potenciais fontes de perturbação do estudo. A taxa de abrolhamento apresenta valores superiores a 100%, facto que se deve atribuir à ocorrência de rebentamentos múltiplos, já o Índice de Fertilidade Potencial apresentou valores inferiores aos descritos na bibliografia para esta casta.

A área foliar foi medida em três momentos, um antes de iniciar a rega e dois já durante a rega. Concluímos que a área foliar foi influenciada pela rega, tendo sido visíveis alterações na área foliar das netas e % área foliar das netas. A área foliar das netas foi superior na modalidade R<sub>75</sub>, seguida da R<sub>25</sub>, R<sub>50</sub> e por fim R<sub>0</sub>. A % de área foliar das netas foi aproximado em quase todas as modalidades, sendo que a modalidade R<sub>75</sub> foi a modalidade com maior %AFn, cerca de 48%.

Quanto à porosidade do coberto vegetal vimos que o número de camadas de folhas ao nível dos cachos não variou muito em relação ao valor do nível vegetativo, ainda que mereçam destaque os valores mais baixos observados na modalidade R<sub>0</sub>, enquanto as restantes modalidades apresentaram todos valores muito próximos. A modalidade R<sub>0</sub>

teve uma percentagem de cachos interiores muito mais reduzida que as restantes, reflexo também do facto de ter menos camadas de folhas. As modalidades R<sub>25</sub> e R<sub>50</sub> tiveram aproximadamente a mesma % de cachos interiores, acima dos 85%.

No que respeita à % de buracos, constatámos que a sebe era mais compacta no nível dos cachos, onde não se verificou qualquer buraco. O mesmo não se aconteceu no nível vegetativo, onde as modalidades R<sub>25</sub> e R<sub>75</sub> tinham 17% de buracos e R<sub>0</sub> 25% de buracos. A modalidade R<sub>50</sub> não tem percentagem de buracos o que indica que de todas as modalidades de rega é a que mantém uma canópia mais vigorosa.

A análise estatística dos resultados mostrou que o potencial hídrico foliar de base varia de acordo com a modalidade de rega a que está sujeito, sendo que as videiras da modalidade R<sub>0</sub> apresentaram valores mais negativos enquanto R<sub>75</sub> mostrou dados coincidentes com uma situação de menor carência hídrica.

Atendendo aos resultados e aos valores de  $\Psi_f$  obtidos durante o ensaio (onde algumas plantas chegaram a atingir valores próximos de -2,0MPa) podemos afirmar que a Touriga Franca é uma casta com elevada resistência ao calor e à escassez hídrica.

Nas medições realizadas com o auxílio do IRGA verificámos que há alguma dependência da fotossíntese líquida (A) em relação à condutância estomática ( $g_s$ ), no dia 5 de Agosto o que significa que aproximadamente 34% do total da condutância estomática se correlaciona com a taxa de fotossíntese líquida. A correlação entre a condutância estomática e o potencial hídrico foliar é muito baixa, do mesmo modo a correlação entre a condutância estomática e o potencial hídrico foliar é igualmente reduzida. Quando analisada a correlação entre a fotossíntese líquida e a temperatura da folha constatámos que as folhas se mantêm fotossinteticamente ativas até temperaturas muito altas, cerca de 40°C.

À vindima foram determinadas as componentes de rendimento e de qualidade. O número de cachos variou entre 7 e 9 cachos/cepa, em todas as modalidades. O peso médio dos cachos é estatisticamente significativo e isso implica que a rega teve influência no seu desenvolvimento. O peso do bago também é significativo, com a modalidade R<sub>25</sub> a destacar-se como sendo a modalidade com os bagos mais pesados.

A modalidade com a produção por videira mais elevada foi R<sub>25</sub> e no oposto, a modalidade cujas plantas tiveram menos produção foi a modalidade R<sub>0</sub>. Na modalidade R<sub>0</sub> a média de produção por videira foi 1,969Kg, R<sub>25</sub> foi a modalidade com a produção mais alta com 2,390Kg/videira, as videiras de R<sub>50</sub> produziram 2,144Kg e R<sub>75</sub> 2,218Kg.

Quanto à qualidade, verificámos que o pH, o ácido málico e a acidez total não foram influenciados pela rega, todavia o teor de álcool provável mostrou significância estatística, isto é, a modalidade de rega influenciou a quantidade de álcool das uvas. Todas as modalidades apresentaram valores relativamente próximos no que respeita à média de álcool provável contudo é possível distingui-las. A modalidade com a % mais baixa é a R<sub>0</sub> e a modalidade com a % mais alta é a R<sub>50</sub>, R<sub>25</sub> apresenta um valor muito próximo. Na modalidade mais regada este valor é mais baixo do que na modalidade R<sub>50</sub> isto pode explicar-se ao facto de a água em excesso ter um efeito negativo no que se refere à concentração alcoólica.

Os dados apresentados sobre os componentes de qualidade das uvas referem-se apenas a valores determinados à vindima. Teria sido importante avaliar a evolução da maturação das uvas ao longo do tempo mas, devido a decisões internas da empresa, os resultados destas análises não nos foram fornecidos.

Pelos resultados que obtivemos sugerimos a adoção da modalidade R<sub>25</sub>, porque concilia ganhos na produção, sem afetar negativamente a qualidade e permitindo a administração de quantidades de água relativamente pequenas esta modalidade de rega deve ser eleita em detrimento de outras. Fica também comprovado o efeito positivo que a rega deficitária pode ter sobre as videiras.

Por fim, consideramos que seria interessante repetir o ensaio, no mesmo local e com a mesma casta para corroborar os resultados obtidos no ano vitícola 2014/2015 e corrigir possíveis erros, assim será possível confirmar ou excluir as conclusões que tirámos. No caso de se repetir este ensaio, consideramos que a periodicidade da rega deveria ser repensada, devido às pequenas diferenças de potencial hídrico registadas durante o estudo, apesar das dotações de rega serem bastante diferentes.

## Referências

- Acevedo-Opazo, C.; Ortega-Farias, S.; Fuentes, S. (2010). Effects of grapevine (*Vitis vinifera* L.) water status on water consumption, vegetative growth and grape quality: an irrigation scheduling application to achieve regulated deficit irrigation. *Agricultural Water management*. 97: 956-964.
- ADVID. (2015). Ano Vitícola 2015 - Balanço Final.
- Andresen, T. (2006). A paisagem do Alto Douro Vinhateiro: Evolução e Sustentabilidade.
- Aquagri. (n.d.). Sonda EnviroSCAN [HTML]. Retirado de: <http://www.aquagri.com/site/index.php/pt/equipamentos/sentek-sensor-technologies/150-sonda-enviroscan> [consultado no dia 7/09/2015, às 16h53min]
- Arnold, R. (2001). Effect of irrigation on wine quality. *Central Coast Viticulture and Enology Issues Conference*
- Baeza, P.; Sanchez-De-Miguel, P.; Centeno, A.; Junquera, P.; Linares, R.; Lissarrague, J. (2007). Water relations between leaf water potential, photosynthesis and agronomic vine response as a tool for establishing thresholds in irrigation scheduling. *Scientia Horticulturae*, 114 (3): 151-158.
- Begg, J.E.; Turner, N.C. (1970). Water potential gradients in field tobacco. *Plant Physiol*. 46: 343–346.
- Cabrita, M.J.; Ricardo-da-Silva, J.M. & Laureano, O. (2003). Os compostos polifenólicos das uvas e dos vinhos. *I Seminário Internacional de Viticultura*. Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa.
- Castro, R.; Cruz, A.; Botelho, M. (2006). Tecnologia vitícola. Ministério da Agricultura, Pescas e Florestas – Direção Geral de Agricultura da Beira Litoral – Comissão Vitivinícola da Bairrada, Coimbra, 160 p.
- Champagnol, F. (1984). Elements de physiologie de la vigne et de viticulture general. *Ed. auteur*, Montpellier, 354 p.
- Chaves, M.; Santos, T.P.; Souza, C.R.; Ortuno, 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 (2): 237-252

Chaves, M.; Zarrouk, O.; Francisco, R.; Costa, J.M.; Santos, T.; Regalado, A.P.; Rodrigues, M.L.; Lopes, C.M. (2010). Deficit irrigation in Mediterranean environment. What lessons have we learn from grapevine studies? *Libro de Actas - X Simposium Hispano Português de Relaciones Hidricas*.

Choné, X.; Van Leeuwen, C.; Dubourdieu, D.; Gaudillère, J. P. (2001). Stem water potential is a sensitive indicator of grapevine water status, *Ann. Bot.*, 87: 477-483.

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

Coombe, B.G.; McCarthy, M.G. (2000). Dynamics of grape berry growth and physiology of ripening. *Aust. J. Grape Wine Res.*, 6 (2): 131-135.

Crasto, Q. d. (2015). História [HTML]. Retirado de: <http://www.quintadocrasto.pt/historia/> [consultado no dia 3/09/2015, às 10h37min]

De la Fuente, M. Jiménez; L., Sebastian, B.; Hernández, M. & Baeza, P. (2007). Efecto de Diferentes Dosis e Freqüências de Riego sobre el Estado Hídrico, La Productividad y la Composición del Mosto en Viñedos Cultivados en Suelos Arcillosos. *7.º Simpósio de Viticultura do Alentejo*. Évora.

Deloire, A., Vaudour, E., Carey, V., Bonnardot, V., & Van Leeuwen, C. (2005). Grapevine responses to terroir: A global approach *J. Int. Sci. Vigne Vin*, 39, nº4: 149-162.

DRAP. (2011). Estados Fenológicos da Vinha (segundo Baggiolini): Direção Regional da Agricultura e Pescas do Algarve.

Dry, P.R. (2005). Use of irrigation strategies for maximization of water use efficiency and wine quality in Australia. *International Symposium on Irrigation Management in Wine and Table Grape Vineyards*, INIA, Santiago, Chile: 15–22.

Dry, P.R.; Loveys, B.R. (1998). Factors influencing grapevine vigour and the potential for control with partial rootzone drying. *Aust. J. Grape and Wine Res.*, 4:140-148.

Dry, P.R.; Loveys, B.R.; McCarthy, M.G.; Stoll, M. (2001). Strategic irrigation management in Australian vineyards. *J. Int. Sci. Vigne Vin*, 35: 129-139.

FAO. (2012). Crop yield response to water.

Ferreyra, R.E.; Sellés, G.; Peralta, J.; Burgos, L.; Velenzuela, J. (2002). Efectos de la restricción del riego en distintos períodos de desarrollo de la vid cv. Cabernet Sauvignon sobre producción y calidad del vino. *Agricultura técnica*, 62 (3): 406-417.

Flexas, J.; Bota, J.; Escalona, J.M.; Sampol, B.; Medrano, H. (2002). Effects of drought on photosynthesis in grapevines under field conditions: an evaluation of stomatal and mesophyll limitations. *Functional Plant Biology*, 29: 461-471.

Flexas, J.; Bota, J.; Cifre, J.; Escalona, J.M.; Galmés, J.; Gulías, J.; Lefi, E.K.; Martínez-Cañellas, S.F.; Moreno, M.T.; Ribas-Carbó, M.; Riera, D.; Sampol, B.; Medrano, H. (2004). Understanding down-regulation of photosynthesis under water stress: future prospects and searching for physiological tools for irrigation management. *Ann. appl. Biol.*, 144: 273-283.

Flexas, J.; Medrano, H.; Escalona, J.M. (2007). Indicadores integradores del estado hídrico de la planta. *Fundamentos, aplicación y consecuencias del riego en la vid*, Editorial Agrícola Española S.A., Madrid: 15-34.

Fonseca, A. (2010). *Condução de Videiras em Patamares Estreitos na Região do Douro: Casta Touriga Franca*. Porto. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agronómica da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto;

Goodwin, I. (2002). Managing water stress in grape vines in greater Victoria. ISSN 1329-8062. Published and Authorised by: Department of Environment and Primary Industries.

Gurovich, L.; Páez, C.I. (2004). Influencia del riego deficitario controlado sobre el desarrollo de las bayas y la composición química de los mostos y vinos. *Ciencia e Investigacion Agraria*, 32(3): 175-186.

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 Invesstigaciones Agropecuarias. 30p.

Henderson, J.P. & Rex, D. (2012) *About Wine*. Delmar Ed., 2.<sup>a</sup> Edição. Clifton Park. Nova Iorque.

INE (2014). Instituto Nacional de Estatística, I.P., Estatísticas Oficiais. Estatísticas agrícolas 2013, Edição 2014. ISBN: 978-989-25-0265-6

Intrigliolo, D. S.; Castel, J. R. (2009). Response of *Vitis vinifera* cv. 'Tempranillo' to partial rootzone drying in the field: water relations, growth, yield and fruit and wine quality. *Agricultural water management*. 96: 282-292.

- IPMA. (n.d.). Normais Climatológicas [HTML]. Retirado de:  
<http://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/> [consultado no dia 17/09/2015, às 00h05min]
- IVDP. (2009a). Vinho do Porto - Introdução [HTML]. Retirado de:  
<http://www.ivdp.pt/pagina.asp?codPag=64&codSeccao=2&idioma=0> [consultado no dia 15/05/2015, às 16h43min]
- IVDP. (2009b). Vinhos [HTML]. Retirado de:  
<http://www.ivdp.pt/pagina.asp?codPag=81&codSeccao=2&idioma=0> [consultado no dia 15/05/2015, às 17h33min]
- IVDP. (2010). Região [HTML]. Retirado de:  
<http://www.ivdp.pt/pagina.asp?codPag=16#b> [consultado no dia 15/05/2015, às 18h00min]
- IVDP. (2012). Cultura da Vinha [HTML]. Retirado de:  
<http://www.ivdp.pt/pagina.asp?codPag=17&codSeccao=4&idioma=0> [consultado no dia 15/05/2015, às 18h25min]
- IVV. (2011). Catálogo das castas para vinho cultivadas em Portugal. Coordenação de Rolando Faustino e coordenação técnico-científica de Rogério de Castro. 1.<sup>a</sup> Edição (vol.1). Chaves Ferreira- Publicações SA. Lisboa
- IVV. (2014). Vinhos e aguardentes de Portugal – Anuário 2014. Edição IVV.
- Jones, G. (2013). Uma avaliação do clima para a região demarcada do douro: uma análise das condições climáticas do passado, presente e futuro para a produção de vinho. EUA, Departamento de Estudos ambientais, Universidade South Oregon: Associação para o Desenvolvimento da Viticultura Duriense;
- Jordão, A. M.; Ricardo-da-silva, J. M.; Laureano, O. (1998). Influência da rega na composição fenólica das uvas tintas da casta Touriga Francesa (*Vitis vinífera* L.). *Cienc. Technol. Aliment.* 2(2): 60-73.
- Keller, M. 2005. Irrigation strategies of white and red grapes. *Vinidea.net, wine technical journal*, nº.7.
- Lopes, C. (1994). Influência do sistema de condução no microclima do coberto, vigor e produtividade da videira (*Vitis vinifera* L.). Dissertação de Doutoramento, Instituto Superior de Agronomia, UTL, 205 pp.

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*, col. 1, ATEVA\_CVRA (ed.), Évora, 97-102.

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

Lopes, C. M.; Santos, T. P.; Monteiro, A.; Rodrigues, M. L.; Costa, J. M.; Chaves, M.M. (2011). Combining cover cropping with deficit irrigation in a Mediterranean low vigor vineyard. *Scientia Horticulturae*. 129: 603-612.

Lopes, C. (2008). Rega da vinha. *I Conferências da Tapada*. Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior de Agronomia, 13 p.

Machado, J. (2011). Desfolha precoce à floração na casta loureiro (*Vitis vinífera* L.): efeitos nas componentes de rendimento e características físico-químicas dos mostos. Dissertação de mestrado em viticultura e enologia. FCUP/ISA.

Magalhães, N. (1989). Aspetos do vingamento em *Vitis vinífera* L. - Var. Touriga Nacional. *Dissertação de Doutoramento*, U.T.A.D., Vila Real, 167p.

Magalhães, N. (2008) Tratado de Viticultura. A videira, a vinha e o *terroir*. Chaves Ferreira Publicações, S.A. ISBN: 978-972-8987-15-2.

Magalhães, N. P. (2003). Caracterização e condução de castas tintas na Região Demarcada do Douro *Douro - Estudos & Documentos*. Vol. VIII (15): 163-174.

Moyer, M., Peters, R. & Hamman, R. (2013). Irrigation Basics for Eastern Washington Vineyards.

OIV. (2013). *Statistical report on world vitiviniculture*. Retirado de: <http://www.oiv.int/oiv/files/2013%20Report.pdf> [consultado no dia 2/09/2015, às 9h30min]

Ojeda, H.; Deloire, A.; Carbonneau, A. (2001). Influence of water deficits on grape berry growth. *Vitis*, 40(3): 141-145

Ojeda, H. (2001). Ecophysiologic bases and technical approach in water management of argentinean vineyards. 12 èmes Journées GESCO, *Journée professionnelle: gestion de l'eau dans le vignoble*. Montpellier, 3 au 7 juillet. Editeur: AGROMontpellier, école nationale supérieure agronomique de Montpellier. ISBN: 2-900792-17-7.

Ojeda, H.; Andary, C.; Kraeva, E.; Carbonneau, A.; Deloire, A. (2002). Influence of pre- and postveraison water deficit on synthesis and concentration of skin phenolic

compounds during berry growth of *Vitis vinifera* cv. Shiraz. *Am. J. Enol. Vitic.*, 53(4): 261-267.

Oliveira, A. A. R. C. (1996). Influência da estrutura da vegetação, rega e despona na produtividade e qualidade em *Vitis vinifera* L. Var. Touriga Nacional na Região Demarcada do Douro. *Dissertação de Mestrado*, U.T.A.D., Vila Real, 150 p.

Payan, J.C.; García de Cortázar Atauri, I.; Seguin, B. (2006). Ressource en eau et changement climatique: une problématique? *Les Entretiens Viti-Vinicoles Rhône-Méditerranée 2006*, Gruissan, France.

Pellegrino, A.; Gozé, E.; Lebon E.; Wery, J. (2006). A model-based diagnosis tool to evaluate the water stress experienced by grapevine in field sites. *Europ. J. Agronomy*. 25: 49-59.

Pereira, P. (1997). Influência da Cultivar e do Ambiente na Maturação da Uva e na Produtividade da Videira (*Vitis vinifera* L.). *Dissertação de Doutoramento*, Instituto Superior de Agronomia. Lisboa.

Pereira, J. (2000). Caracterização Fisiológica e Agronómica de Diferentes Estratégias Culturais Para Minimizar o Stress Estival em *Vitis vinifera* L., na Região Demarcada do Douro. *Tese de Doutoramento*, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

Pereira, C., Abade, E., Guerra, J. & Sousa, M. (2007). Caracterização de castas cultivadas na região vitivinícola de Trás-os-Montes, Sub-regiões de Chaves, Planalto Mirandês e Valpaços. *Direção Geral de Agricultura e Pescas do Norte. Núcleo de Documentação de Relações Públicas (NDRP)*.

Prichard, T. L. (1992). Water relations of vine grapes. In *Viticultural Practices*. Ed. M. A. Walker & W. M. Kliwer, W. M. instructeurs. U. California. Davies. Spring: 12-23.

Prichard, T. L. (n.d.). *Winegrape irrigation scheduling using deficit irrigation techniques*. Retirado de <http://cesanjoaquin.ucanr.edu/files/35706.pdf>

Queiroz, J. (2002). *Condução e relações rendimento qualidade de castas nobres do Douro*. Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. Porto

Quevedo. (2014). Hou the Port Wine beneficio system works [HTML]. Retirado de: <http://quevedoportwine.com/pt/how-the-port-wine-beneficio-system-works/> [consultado no dia 10/09/2015, às 19h20min]

Ribeiro, J. (2000). Caracterização genérica da região do Alto Douro. Douro – Estudos & Documentos. Vol. 10: 11-29.

- Rizza, F.; Badeck, F. W.; cattivelli, O.; Lidestri, O.; Di Fonzo, N.; Stanca, A. M. (2004). Use of a water stress index to identify barley genotypes adapted to rainfed and irrigated conditions. *Crop. Sci.* 44: 2127-2137.
- Roby, G.; Harbertson, J.F.; Adams, D.A.; Matthews, M.A. (2004) Berry size and vine water deficits as factors in winegrape composition: Anthocyanin and tannins. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 10: 100–107.
- Santesteban, L.G.; Royo, J.B. (2006). Water status, leaf area and fruit load influence on berry weight and sugar accumulation of cv. ‘Tempranillo’ under semiarid conditions. *Scientia Horticulturae*. 109: 60-65.
- Santesteban, L.G.; Miranda, C.; Royo, J.B. (2011). Regulated deficit irrigation effects on growth, yield, grape quality and individual anthocyanin composition in *Vitis vinifera* L. cv. ‘Tempranillo’. *Agricultural Water Management* 98, 1171–1179.
- Santos, T.P.; Lopes, C.M.; Rodrigues, M.L.; Souza, C.R.; Maroco, J.P.; Pereira, J.S.; Silva, J.R.; Chaves, M.M. (2003). Partial rootzone drying: effects on growth and fruit quality of field-grown grapevines (*Vitis vinifera*). *Functional Plant Biology* 30:663 - 671.
- Santos, T. P.; Lopes, C. M.; Rodrigues, M. L.; Souza, C. R.; Ricardo-da-Silva, J. M.; Maroco, J. P.; Pereira, J. S.; Chaves, M.M. (2005). Effects of partial root-zone drying irrigation on cluster microclimate and fruit composition of field-grown Castelão grapevines. *Vitis*. 44(3): 117-125.
- Santos, T. P.; Lopes, C. M.; Rodrigues, M. L.; Souza, C. R.; Ricardo-da-Silva, J. M.; Maroco, J. P.; Pereira, J. S.; Chaves, M.M. (2007). Effects of deficit irrigation strategies on cluster microclimate for improving fruit composition of Moscatel field-grown grapevines. *Scientia Horticulturae*. 112:321-330
- Scholander, P.; Hammel, H., Bradstreet, E. & Hemmingen, A. (1965). Sap pressure in vascular plants. *Science*, 148 (3668), 339-346.
- Silvestre, J.; Ferreira, I.; Pacheco, C.A.; Malheiro, A. 2007. Gestão da rega em vinha. Uma ferramenta para a optimização da qualidade e controle do crescimento vegetativo. *Enologia*, 49/50: 8-12.
- Smart, R.E.; Coombe, B.G. (1982). Water relations of grapevines, p.137-196. In: T.T.Kozlowski (ed.). Water deficit and plant growth. Vol. 7. Academic Press, New York.
- Smart, R. & Robinson, M. (1991). A handbook for winegrape canopy’s management. MAF, Austrália. 96pg. ISBN: 9781875130108.

- Smart, R. & Robinson, M. (1991). Sunlight into wine. A handbook for Winegrape Canopy management. Winetitles. Adelaide.
- Spayd, S.; Tarara, J.; Mee, D. & Ferguson, J. (2002). Separation of sunlight and temperature effects on the composition of *Vitis vinifera* cv. Merlot berries. *Am. J. Enol. Vitic.* 53: pp 171-182.
- Spiegel-Roy e Bravdo, B. (1964). Le régime hydrique de la vigne. *Bull. de l'O.I.V.* 397: 232- 246.
- Trambouze, W.; Voltz, M. (2001). Measurement and modelling of the transpiration of a Mediterranean vineyard. *Agricultural and Forest Meteorology*, 107: 153–166.
- Van Leeuwen, C.; Gaudillère, J. P.; Ollat., N. (2002). Carbon isotope composition of sugars in grapevines, an integrated indicator of vineyard water status. *Journal of Experimental Botany* 369: 757-763.
- Van Leeuwen, C.; Trégoat, O.; Choné, X.; Bois, B.; Pernet, D.; Gaudillere, 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 des Sciences de la Vigne et du Vin* 43: 121-134.
- Van Leeuwen, C. & Vivin, P. (2008). Alimentation hydrique de la vigne et qualité des raisins. *Innovations Agronomiques* 2: 159-167.
- Williams, L.E. (2001). The effect of trellis type and canopy size on grapevine water requirements. 2001 *Central Coast Viticulture and Enology Issues Conference*: 77-83.
- Williams, L.E.; Baeza, P. (2007). Relationships among ambient temperature and vapor pressure deficit and leaf and stem water potentials of fully irrigated, field-grown grapevines. *American Journal of Enology and Viticulture* 58: 173–181.
- Williams, L.E.; Trout, T.J. (2005). Relationships among vine- and soil-based measures of water status in a Thompson Seedless vineyard in response to high-frequency drip irrigation. *Am. J. Enol. Vitic.* 56 (4): 357-366.
- Williams, L.E. & Ayars, J.E. (2005). Grapevine water use and the crop coefficient are linear functions of the shaded area beneath the canopy. *Agricultural and Forest Meteorology*. 152: 201-211.

# Anexos

## Anexo 1 - Registo dos estados fenológicos

Tabela 20 Registo dos principais estados fenológicos da vinha.

Estados Fenológicos	Data
Abrolhamento	Entre 8 e 14 de Março*
Floração	19 de Maio
Formação do Cacho	23 de Junho
Pintor	8 de Julho
Maturação	22 de Julho

## Anexo 2 - Registo das datas e das dotações de rega

Tabela 21 Datas de rega e respetivas dotações.

Data	Modalidade	Duração da rega	Quantidade de água
25 para 26 de Junho	R <sub>0</sub>	Sem rega	0 L
	R <sub>25</sub>	6h21min	12,42L
	R <sub>50</sub>	6h21min	24,84L
	R <sub>75</sub>	6h21min	37,26L
9 para 10 de Julho	R <sub>0</sub>	Sem rega	0 L
	R <sub>25</sub>	10h19min	20,38L
	R <sub>50</sub>	10h19min	40,76L
	R <sub>75</sub>	10h19min	61,14L
23 para 24 de Julho	R <sub>0</sub>	Sem rega	0 L
	R <sub>25</sub>	9h55min	19,1L
	R <sub>50</sub>	9h55min	38,2L
	R <sub>75</sub>	9h55min	57,3L
6 para 7 de Julho	R <sub>0</sub>	Sem rega	0 L
	R <sub>25</sub>	9h22min	18,44L
	R <sub>50</sub>	9h22min	36,88L
	R <sub>75</sub>	9h22min	55,32L
20 para 21 de Agosto	R <sub>0</sub>	Sem rega	0 L
	R <sub>25</sub>	9h22min	18,44L
	R <sub>50</sub>	9h22min	36,88L
	R <sub>75</sub>	9h22min	55,32L

## Anexo 3 - Registo de dados do método "Point Quadrat"

Tabela 22 Registo dos parâmetros do Método Point Quadrat das modalidades  $R_0$ ,  $R_{25}$ ,  $R_{50}$  e  $R_{75}$ .

	<b>NCFc</b>	<b>NCFv</b>	<b>%PF1c</b>	<b>%PF1v</b>	<b>%PC1c</b>	<b>%PC1v</b>	<b>%PBC</b>	<b>%PBv</b>
<b>R<sub>0</sub></b>	1,50	1,75	22%	24%	44%	0%	0%	25%
<b>R<sub>25</sub></b>	2,42	2,67	24%	44%	85%	0%	0%	17%
<b>R<sub>50</sub></b>	2,67	2,83	31%	32%	88%	0%	0%	0%
<b>R<sub>75</sub></b>	2,83	2,58	38%	39%	79%	0%	0%	17%



Figura 51 Aspeto da canópia das videiras das várias modalidades de rega. Quinta da Cabreira, setembro de 2015