

Tiago Pinho Alves de Sousa

EFEITOS DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA NA
FISIOLOGIA E PRODUÇÃO DE *VITIS VINIFERA* L.
NA REGIÃO DEMARCADA DO DOURO

Tese apresentada para o efeito de obtenção do grau de Doutor em Ciências Agronómicas, de acordo com o disposto no nº 2 do artigo 8 do Decreto-Lei nº388/70 (Decreto-Lei nº 216/92, de 13 de Outubro).

Orientador: Doutor Manuel João Teles de Oliveira, Professor Catedrático da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Co-Orientador: Doutor Nuno Pizarro Magalhães, Professor Associado Jubilado da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Vila Real, 2010

Tiago Pinho Alves de Sousa beneficiou de uma Bolsa de Doutoramento, durante o período de Setembro de 2003 a Agosto de 2007, atribuída pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia – FCT (bolsa com a referência SFRH/BD/13654/2003), no âmbito do POCI 2010 – Formar e Qualificar – Medida I.1 e do Fundo Social Europeu (FSE).

FCT Fundação para a Ciência e a Tecnologia
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E ENSINO SUPERIOR

Os trabalhos desenvolvidos nesta tese foram realizados no enquadramento do projecto SAPIENS 37626 intitulado “Efeito da Rega na Qualidade e Produtividade da Vinha na Região Demarcada do Douro”.



Agradecimentos

O presente trabalho apenas foi possível graças ao envolvimento e apoio de várias pessoas e instituições, aos quais o autor apresenta um sincero agradecimento:

Ao Professor Doutor Teles de Oliveira pela orientação, disponibilidade e apoio nas várias vertentes do trabalho.

Ao Professor Doutor Moutinho Pereira, por todo o apoio prestado ao longo de todo o trabalho, revisões e sugestões efectuadas.

Ao Professor Doutor Nuno Magalhães, pelas revisões e sugestões efectuadas.

Um agradecimento especial ao Professor Doutor Fernando Martins, por todo o apoio, incentivo e amizade.

À Fundação para a Ciência e Tecnologia, pela bolsa de doutoramento concedida.

À Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD), pelas condições e meios disponibilizados para a realização do presente trabalho.

À Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, na pessoa do Professor Doutor Victor Freitas, pela colaboração na determinação dos compostos fenólicos das uvas.

À Escola Superior de Biotecnologia da Universidade Católica do Porto, na pessoa da Professora Doutora Paula Guedes, pela colaboração na determinação dos carotenóides das uvas.

À empresa Francisco Olazabal e Filhos, pela disponibilização do campo experimental e por todo o apoio logístico e simpatia durante todo o período de realização de registos de campo.

Ao Eng.º Pedro Barbosa da Quinta do Vale Meão, pelo apoio logístico no campo experimental.

À Eng.ª Maria José, ao técnico Rui Costa e ao Doutor Richard Bennet da UTAD, pelo apoio e auxílio na realização das análises laboratoriais.

A todos os estagiários das licenciaturas em Enologia e Engenharia Agrícola da UTAD que colaboraram na recolha dos dados experimentais (Ana, Carla Susel, Marisa Lucas, Teresa Batista, Carlos Gonçalves, Carlos Madureira e Pedro Botelho).

À minha família, e em especial à minha esposa, pela compreensão, apoio e incentivo ao longo de todo este percurso.

A todos o meu muito obrigado.

Resumo

A temática das relações hídricas na vinha e sobretudo o seu impacto na produção não é consensual. Embora a rega seja uma prática agronómica comum em muitas zonas vitícolas do Globo, continuam a ser levantadas questões acerca das vantagens/inconvenientes que poderão advir da sua utilização. O presente trabalho pretende contribuir para a clarificação do tema e contextualizá-lo nas condições particulares da Região Demarcada do Douro (RDD).

Em 2003 foi assim estabelecido um campo experimental na sub-região do Douro Superior numa parcela de *Vitis vinífera* L. cv. *Tinta Roriz* enxertada em 1103P, com o objectivo de avaliar o impacto de diferentes regimes hídricos no comportamento fisiológico da videira e as suas consequências no rendimento e composição dos mostos da RDD. Os tratamentos experimentais definidos diferiam quer na quantidade de água aplicada à vinha, quer no período da sua aplicação: não regado (NR), regado da floração ao pintor a 50% da ET (FP1), regado da floração ao pintor a 100% da ET (FP2), regado do pintor à maturação a 50% da ET (PM1), regado do pintor à maturação a 100% da ET (PM2) e regado da floração à maturação a 100% da ET (FM2).

Foram utilizados vários métodos de avaliação do estado hídrico da videira, destacando-se pela positiva a medição da velocidade do fluxo de seiva, do potencial hídrico foliar de base e das trocas gasosas através do IRGA. Por sua vez a estimativa do teor de clorofilas das folhas através do SPAD e os registos da fluorescência da clorofila *a* não se revelaram bons indicadores do estado hídrico da videira.

Ao longo dos três anos de trabalhos, as modalidades definidas resultaram em diferenças significativas no teor de água no solo e consequentemente no comportamento fisiológico, vegetativo e produtivo das videiras.

As modalidades regadas no período dos registos apresentaram taxas mais elevadas de transpiração, condutância estomática, fotossíntese e fluxo de seiva, resultando em geral (excepto na PM1) maiores áreas foliares e uma continuação do crescimento vegetativo após o pintor.

Em termos de produção, as videiras não regadas registaram as menores quantidades, sobretudo devido a um menor peso dos bagos, e apresentaram um desempenho qualitativo inconstante, com grandes variações dos açúcares e carotenóides ao longo dos três anos, motivadas sobretudo por efeitos de concentração pelo reduzido tamanho dos bago, e em geral

baixos teores de compostos fenólicos nas películas das uvas. A modalidade mais regada (FM2) apresentou os rendimentos mais elevados, devido a um maior peso dos seus cachos e bagos, mas uma menor qualidade geral, apresentando teores de açúcar, compostos fenólicos e carotenóides baixos. O desempenho produtivo mais equilibrado resultou da manutenção das videiras sob uma carência hídrica leve até ao pintor e média durante o período da maturação, condições atingidas neste caso através da rega com uma dotação de 50% da ET apenas da floração ao pintor, com vantagens quer no rendimento, quer na qualidade. Deve-se contudo ter em conta que poderão existir diferentes opções de regime hídrico consoante os objectivos de produção, as condições ambientais e os recursos disponíveis, não se podendo tampouco descurar o efeito do factor “Ano”, que se verificou ter uma influência significativa na maioria dos parâmetros de produção avaliados.

Abstract

The discussion regarding vineyard's water relations and especially its impact on production is not consensual. Although irrigation is a common agronomic practice in many wine-growing areas of the world, there are still questions about the advantages / disadvantages that may result from its use. The research presented in this thesis aims to contribute to the clarification of this issue and contextualize it in the particular conditions of the Douro Region (RDD).

In 2003 an experimental site was established in the sub-region of Douro Superior, in a part of a vineyard of *Vitis vinifera* L. cv. *Tinta Roriz* grafted onto 1103P, with the aim of assessing the impact of different water regimes on the physiological behaviour of the vine and its effect in the yield and composition of the musts in RDD. The experimental treatments differed either in the amount of water supplied to the vineyard and in the timing of its application: non-irrigated (NR), irrigated from flowering to véraison with 50% of ET (FP1), irrigated from flowering to véraison with 100% of ET (FP2), irrigated from véraison to harvest with 50% of ET (PM1), irrigated from véraison to harvest with 100% of ET (PM2) and), irrigated from flowering to harvest with 100% of ET (FM2).

Different methods for assessing vine water status were used, with the best results obtained using sap flow measurements, pre-dawn leaf water potential and gas exchanges with an IRGA. SPAD's chlorophyll content estimate on leaves and chlorophyll fluorescence were found to be unreliable indicators of vine water status.

Over the three years of work, the established treatments resulted in significant differences in the water content of the soil and consequently on the vines physiological, vegetative and productive behaviours.

The treatments which were being irrigated on the moment of the records lead to higher rates of transpiration, stomatal conductance, photosynthesis and sap flow, resulting in general (except for PM1) greater leaf area and a continuation of vegetative growth after véraison.

Non-irrigated vines showed the lowest production, mainly due to lower berry weights, and had an inconsistent quality performance, with large variations in sugars and carotenoids contents over the three years, driven mainly by concentration effects due to the small size of the berries, and generally low levels of phenolic compounds in the grapes skins. The highest irrigation level treatment (FM2) showed the highest yields, due to the increased weight in

grapes and berries, but a lower overall quality, with low contents of sugars, phenolics and carotenoids. The most balanced production results were achieved by keeping vines under a mild water deficit until flowering and a medium water deficit during maturation, which were obtained using the irrigation with 50% of ET from flowering to véraison, showing clear advantages in both quantity and quality. One should however bear in mind that there may be different options depending on variety/cultivar, production targets, environmental conditions and available resources, not neglecting the effect of the “Year”, which was found to have a significant influence on most of the production parameters measured.

Índice

Agradecimentos	V
Resumo	VII
Abstract	IX
Índice de figuras	XV
Índice de quadros	XIX
Lista de abreviaturas	XXI

1. INTRODUÇÃO GERAL	1
----------------------------------	---

2. ESTADO ACTUAL DOS CONHECIMENTOS	5
---	---

2.1. Introdução.....	5
2.2. O estado hídrico da videira.....	5
2.2.1. Relações hídricas e a fisiologia da videira	7
2.2.1.1. Transpiração e fotossíntese: a eficiência do uso da água	7
2.2.1.2. Actividade vegetativa e disponibilidade hídrica	9
2.2.1.3. Impacto da disponibilidade de água em outros processos fisiológicos.....	9
2.2.1.4. Mecanismos de adaptação da videira ao défice hídrico	10
2.2.2. Factores que influenciam as necessidades hídricas da vinha	13
2.2.2.1. Factores ambientais	13
2.2.2.1.1. Solo.....	13
2.2.2.1.2. Clima	16
2.2.2.2. Factores internos da videira.....	20
2.2.2.2.1. Factores genéticos	20

2.2.2.2.2. Fase do ciclo vegetativo	22
2.2.2.2.3. Idade e estado sanitário da vinha.....	26
2.2.2.3. Factores antropogénicos	27
2.2.2.3.1. Práticas culturais	27
2.2.2.3.2. Objectivos produtivos	34
2.2.3. Gestão e monitorização do estado hídrico da videira.....	34
2.2.3.1. Determinação das necessidades hídricas de uma vinha	35
2.2.3.2. Monitorização do estado hídrico da videira	37
2.2.3.2.1. Métodos de avaliação do estado hídrico do solo.....	38
2.2.3.2.2. Métodos de avaliação do estado hídrico da videira.....	41
2.3. Impacto da disponibilidade hídrica na produção.....	51
2.3.1. Rendimento	53
2.3.2. Composição do mosto	56
3. MATERIAIS E MÉTODOS	61
3.1. Materiais.....	61
3.1.1. Campo experimental	61
3.1.1.1. Solo.....	61
3.1.1.2. Clima	62
3.1.1.3. Material vegetal.....	63
3.1.1.4. Delineamento experimental.....	64
3.2. Métodos.....	65
3.2.1. Registos ambientais.....	65
3.2.2. Determinações Fisiológicas.....	65
3.2.2.1. Trocas gasosas das folhas.....	65
3.2.2.2. Potencial hídrico foliar	66
3.2.2.3. Área foliar total	66

3.2.2.4. Fluxo de Seiva.....	67
3.2.2.5. Fluorescência da clorofila <i>a in vivo</i>	67
3.2.2.6. Pigmentos clorofilinos das folhas	68
3.2.3. Avaliação da Produção.....	69
3.2.3.1. Registos de campo.....	69
3.2.3.2. Análises laboratoriais	69
3.2.3.2.1. Peso e volume de 100 bagos	70
3.2.3.2.2. Açúcares	70
3.2.3.2.3. Ácidos orgânicos	70
3.2.3.2.4. pH do Mosto.....	70
3.2.3.2.5. Compostos fenólicos (flavonóides).....	71
3.2.3.2.6. Precursores aromáticos (carotenóides).....	72
3.3. Análise estatística dos dados	72
4. RESULTADOS.....	73
4.1. Registos ambientais.....	73
4.2. Determinações Fisiológicas.....	79
4.2.1. Trocas gasosas das folhas.....	80
4.2.2. Potencial hídrico foliar	86
4.2.3. Área foliar total	87
4.2.4. Fluxo de Seiva.....	89
4.2.5. Fluorescência da clorofila <i>a in vivo</i>	90
4.2.6. Pigmentos clorofilinos das folhas	91
4.2.7. Relação entre os registos fisiológicos e a água no solo.....	92
4.3. Avaliação da Produção.....	94
4.3.1. Avaliação quantitativa.....	94
4.3.2. Avaliação qualitativa.....	103

4.3.2.1. Açúcares	103
4.3.2.2. Ácidos orgânicos	106
4.3.2.4. Compostos fenólicos (flavonóides).....	114
4.3.2.5. Precursores aromáticos (carotenóides).....	121
4.3.2.6. Relação entre a produção e a água no solo.....	125
5. DISCUSSÃO	127
5.1. Impacto do regime hídrico na fisiologia da videira.....	127
5.2. Desempenho dos métodos de avaliação do estado hídrico da videira.....	129
5.3. Impacto do regime hídrico na produção da videira.....	133
6. CONCLUSÕES	145
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	153
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	155
ANEXOS	179

Índice de figuras

Figura 2.1 – Necessidades hídricas da videira: factores condicionantes e impacto na produção	6
Figura 2.2 – Variação da humidade em relação à porosidade, pressão de sucção e pF em solos arenosos, francos e argilosos.....	14
Figura 2.3 – Consumo de água e parâmetros afectados pela disponibilidade hídrica ao longo do ciclo vegetativo da videira, no Hemisfério Norte	23
Figura 2.4 – Relação entre a intensidade da rega e a produção	32
Figura 2.5 – Itinerários hídricos de A a D definidos ao longo do ciclo vegetativo da videira segundo umbrais de Ψ de base (Ψ_b), Ψ do sarmento (Ψ_s) e Ψ mínimo (Ψ_m) em função de diferentes objectivos produtivos.....	43
Figura 2.6 – Exemplo de uma imagem termográfica de uma vinha no sul de Portugal	48
Figura 2.7 – Fases de crescimento dos bagos	55
Figura 4.1 – Médias mensais das temperaturas mínimas, médias e máximas diárias e precipitação total mensal de Janeiro de 2004 a Dezembro de 2006 no campo experimental..	73
Figura 4.2 – Precipitação (P) nos períodos compreendidos entre o mês de Janeiro e o abrolhamento, entre o abrolhamento e a floração, entre a floração e o pintor, entre o pintor e a maturação e no período completo de Janeiro à maturação em 2004, 2005 e 2006 no campo experimental.....	74
Figura 4.3 – Médias das temperaturas (T) mínima, média e máxima diárias nos períodos compreendidos entre o mês de Janeiro (Jan) e o abrolhamento (Abr), entre o abrolhamento e a floração (Flor), entre a floração e o pintor (Pint) e entre o pintor e a maturação (Mat) no campo experimental em 2004 (04), 2005 (05) e 2006 (06).....	75
Figura 4.4 – Somatório de temperaturas activas (TA) e índice de Winkler (IW) nos períodos compreendidos entre o abrolhamento (Abr) e a floração (Flor), entre a floração e o pintor (Pint) e entre o pintor e a maturação (Mat) no campo experimental em 2004 (04), 2005 (05) e 2006 (06).	76
Figura 4.5 – Médias das leituras de água no solo ($m^3.m^{-3}$) registadas da floração ao pintor e do pintor à maturação nos anos 2004, 2005 e 2006 nas modalidades em estudo	77
Figura 4.6 – Datas da floração (Flor.), do pintor, da vindima (Matur.) e dos principais registos fisiológicos efectuados (R), e precipitação diária ocorrida durante esse período nos 3 anos em estudo.....	79

Figura 4.7 – Transpiração (E) a meio da manhã (10h) e ao meio-dia solar (14h) nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006 em três períodos distintos – entre a floração e o pintor (pré-pintor), cerca de duas semanas após o pintor (pós-pintor) e poucos dias antes da vindima (pré-vindima).....	80
Figura 4.8 – Condutância estomática (g_s) a meio da manhã (10h) e ao meio-dia solar (14h) nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006 em três períodos distintos – entre a floração e o pintor (pré-pintor), cerca de duas semanas após o pintor (pós-pintor) e poucos dias antes da vindima (pré-vindima)	81
Figura 4.9 – Fotossíntese, expressa como a taxa de assimilação líquida de CO_2 (A), a meio da manhã (10h) e ao meio-dia solar (14h) nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006 em três períodos distintos – entre a floração e o pintor (pré-pintor), cerca de duas semanas após o pintor (pós-pintor) e poucos dias antes da vindima (pré-vindima)	82
Figura 4.10 – Eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s) a meio da manhã (10h) e ao meio-dia solar (14h) nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006 em três períodos distintos – entre a floração e o pintor (pré-pintor), cerca de duas semanas após o pintor (pós-pintor) e poucos dias antes da vindima (pré-vindima).....	83
Figura 4.11 – Concentração de CO_2 nos espaços intercelulares (C_i) a meio da manhã (10h) e ao meio-dia solar (14h) nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006 em três períodos distintos – entre a floração e o pintor (pré-pintor), cerca de duas semanas após o pintor (pós-pintor) e poucos dias antes da vindima (pré-vindima)	84
Figura 4.12 – Evolução diurna do potencial hídrico foliar antes do pintor, após o pintor e antes da vindima em 2004, 2005 e 2006 nas modalidades em estudo	86
Figura 4.13 – Área foliar total por metro de comprimento de linha (cm^2). Média dos 3 anos (2004, 2005 e 2006) para cada modalidade em estudo da floração à maturação.	88
Figura 4.14 – Variação ao longo das horas do dia da velocidade do fluxo de seiva ($l.planta^{-1}.h^{-1}$) nas modalidades FM2 e NR à floração, ao pintor e à maturação em 2004.	89
Figura 4.15 – Médias diárias da velocidade do fluxo de seiva ($l.planta^{-1}.h^{-1}$) de cada modalidade em estudo da floração à maturação em 2004, 2005 e 2006.....	90
Figura 4.16 – Quantificação das clorofilas das folhas através do SPAD em 2005 e 2006	91
Figura 4.17 – Coeficientes de correlação de <i>Pearson</i> entre o teor de água no solo e os seguintes parâmetros fisiológicos: potencial hídrico foliar (Ψ_f , medido às 6:00, 10:00, 14:00 e 18:00), SPAD, fluxo de seiva (FS, médias diárias), trocas gasosas (E , g_s , A , C_i e A/g_s , medidos às 10:00 e às 14:00) e a eficiência quântica para a fotossíntese (F_v/F_m , medida às 6:00, 10:00 e 14:00).	92
Figura 4.18 – Nível de carência hídrica (C.H.) das videiras em função dos registos de Ψ_f de base e condutância estomática (g_s) nos períodos floração-pintor (F-P) e pintor-maturação (P-M) segundo valores de referência de Flexas <i>et al.</i> (2002), Medrano <i>et al.</i> (2002), Cifre <i>et al.</i> (2005) e Ojeda (2007).	93

Figura 4.19 – Produção (kg) por videira nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006.	94
Figura 4.20 – Número de cachos por videira nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006.....	96
Figura 4.21 – Relação entre a produção por videira e, respectivamente, o número de cachos por videira e o peso por cacho, para uma mesma modalidade, no conjunto dos 3 anos de ensaios (2004, 2005 e 2006).....	97
Figura 4.22 – Peso médio por cacho nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006.....	98
Figura 4.23 - Peso de 100 bagos nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006.....	99
Figura 4.24 - Expressão vegetativa (peso da lenha de poda por videira) nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006.....	100
Figura 4.25 – Vigor (peso por lançamento) nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006.....	100
Figura 4.26 – Índice de fertilidade potencial nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006.....	101
Figura 4.27 – Índice de <i>Ravaz</i> nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006.....	102
Figura 4.28 – Evolução do teor de álcool provável das uvas nas modalidades em estudo em 2004.....	104
Figura 4.29 – Evolução do teor de álcool provável das uvas nas modalidades em estudo em 2005.....	105
Figura 4.30 – Evolução do teor de álcool provável das uvas nas modalidades em estudo em 2006.....	105
Figura 4.31 – Evolução da acidez total das uvas (expressa em g.l ⁻¹ de ácido tartárico) nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006.....	107
Figura 4.32 – Evolução da concentração de ácido málico das uvas nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006.....	109
Figura 4.33 – Evolução da concentração de ácido tartárico das uvas nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006.....	110
Figura 4.34 – Relação entre a acidez total das uvas (expressa em g.l ⁻¹ de ácido tartárico) e, respectivamente, o seu teor em ácido tartárico e em ácido málico, para uma mesma modalidade, no conjunto dos 3 anos de ensaios (2004, 2005 e 2006).....	111
Figura 4.35 – Evolução do pH do mosto nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006.	112

Figura 4.36 – Relação entre o pH dos mostos e, respectivamente, o seu teor em ácido tartárico, em ácido málico e acidez total, para uma mesma modalidade, no conjunto dos 3 anos de ensaios (2004, 2005 e 2006).....	113
Figura 4.37 – Índice de fenóis totais das películas e grainhas à colheita nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006.....	114
Figura 4.38 – Taninos proantociânicos totais das películas (g.kg^{-1}) e grainhas à colheita nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006.....	115
Figura 4.39 – Taninos proantociânicos totais das películas (mg.bago^{-1}) e grainhas à colheita nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006	116
Figura 4.40 – Catequinas ((+)-catequina, (-)-epicatequina, (-)-epicatequina galhato)) e procianidinas oligoméricas (B1 a B8, B2-galhato, C1) das grainhas (mg.kg^{-1}) à colheita nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006.....	117
Figura 4.41 – Antocianinas livres totais (mg.kg^{-1}) à colheita nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006.	118
Figura 4.42 – Intensidade corante (IC) à colheita nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006	119
Figura 4.43 – Carotenóides das uvas ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) à colheita nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006	121
Figura 4.44 – Carotenóides das uvas ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) num período entre o pintor e a colheita nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006.....	122
Figura 4.45 – Evolução dos carotenóides totais das uvas ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) na fase final da maturação (entre os dias 23 de Agosto e 11 de Setembro) nas modalidades em estudo em 2006.	123
Figura 4.46 – Coeficientes de correlação de <i>Pearson</i> entre o teor de água no solo médio (nos períodos floração-pintor e pintor-maturação) e os seguintes parâmetros de produção: nº cachos / videira, produção / videira, peso / cacho, peso / bago, expressão vegetativa (EV), vigor, índice de <i>Ravaz</i> (IR), álcool provável, acidez total, ácido tartárico, ácido málico, antocianinas livres totais (ALT), índice de fenóis totais (IFT) da película e grainha, taninos proantociânicos totais (TPA) da película e grainha, neoxantina, luteína, β -caroteno e carotenóides totais.	125

Índice de quadros

Quadro 2.1 – Classes de porta-enxertos em função da resistência ao déficit hídrico	21
Quadro 2.2 – Valores de K_c da FAO para a cultura da vinha no Hemisfério Norte	36
Quadro 2.3 – Variação da g_s consoante o nível de carência hídrica e impacto na fotossíntese na videira	44
Quadro 2.4 – Impacto do estado hídrico da videira ao longo do ciclo vegetativo na sua produção.	52
Quadro 3.1 – Resumo das modalidades regadas definidas	64
Quadro 4.1 – Variação da água no solo ($m^3.m^{-3}$) com o ano	78
Quadro 4.2 – Variação dos parâmetros de rendimento com o ano	103
Quadro 4.3 – Variação do álcool provável com o ano	106
Quadro 4.4 – Variação do pH, acidez total, ácido tartárico e ácido málico com o ano	113
Quadro 4.5 – Variação do índice de fenóis totais das grainhas e películas, intensidade corante, índice de cor vermelha, antocianinas livres totais e taninos proantocianínicos totais das grainhas e películas com o ano	120
Quadro 4.6 – Variação dos principais carotenóides das uvas com o ano	124

Lista de abreviaturas

<i>A</i>	fotossíntese aparente (taxa de assimilação líquida de CO ₂)
<i>A/g_s</i>	eficiência intrínseca do uso da água
ABA	ácido abscísico
AF	área foliar total
ALT	antocianinas livres totais
AP	teor em álcool provável
AS	água no solo
CC	capacidade de campo
<i>C_i</i>	concentração de CO ₂ nos espaços intercelulares
¹³ C/ ¹² C	discriminação isotópica do carbono
DOC	Denominação de Origem Controlada
DPV	deficit de pressão de vapor
DT	dissipação térmica
IC	intensidade corante
IC	índice de cor vermelha
IFP	índice de fertilidade potencial
IFT	índice de fenóis totais
IR	índice de Ravaz
<i>E</i>	taxa de transpiração
ET	evapotranspiração
<i>F₀</i>	fluorescência basal
FC	fluorescência da clorofila
<i>F_m</i>	fluorescência máxima
<i>F_s</i>	fluorescência estacionária
FDR	“frequency domain reflectometry”
FML	fermentação maloláctica
FS	fluxo de seiva
<i>F_v</i>	fluorescência variável
<i>F_v/F_m</i>	eficiência fotoquímica do PSII
<i>g_s</i>	condutância estomática

IC.....intensidade corante
IRGA.....analisador de gás por radiação infravermelha
IVV.....Instituto da Vinha e do Vinho
K_c.....coeficiente cultural
MCD.....máxima contracção diária
NDVI.....“normalized difference vegetation index”
OIV.....Organização Internacional da Vinha e do Vinho
PEP.....ponto de emurchecimento permanente
PRD.....“partial rootzone drying”
PRI.....“photochemical reflectance index”
PSII.....fotossistema II
Ψ_f.....potencial hídrico foliar
Ψ_s.....potencial hídrico do sarmento
RDI.....“regulated deficit irrigation”
RDD.....Região Demarcada do Douro
Rubisco.....ribulose 1,5-bisfosfato carboxilase oxigenase
SPAD.....“Soil Plant Analysis Development”
t_{1/2}.....tempo médio entre F₀ e F_m
TC.....taxa de crescimento
TDR.....“time domain reflectometry”
TPA.....taninos proantociânicos totais

1. INTRODUÇÃO GERAL

A cultura da vinha (*Vitis vinifera* L.) enfrenta actualmente grandes desafios. Após uma sucessão de anos de grandes avanços no domínio da viticultura e da enologia, novas questões se levantam. O mercado é hoje cada vez mais global e, a par das novas oportunidades de negócio, a competição alargou as suas fronteiras muito para além da esfera regional. A entrada em cena de novos “actores” – o “Novo Mundo” vitícola – impulsionou uma adesão massiva a novos procedimentos vitícolas e enológicos e uma conquista dos principais mercados internacionais. Vinhos de boa qualidade, preços competitivos e abundante disponibilidade chegam diariamente aos principais pontos de venda, levando a que o sector, que até recentemente se regia por algum tradicionalismo, se passasse a voltar muito mais para o consumidor, que entretanto se foi tornando cada vez mais exigente. A globalização e os avanços tecnológicos a que se assistem nas adegas e nas vinhas podem ter contudo um revés: o risco de se cair na padronização de um dos poucos produtos com verdadeira identidade geográfica e cultural. Simultaneamente, existe na viticultura, e na agricultura em geral, uma cada vez maior preocupação ambiental, no sentido de uma melhor preservação dos recursos naturais. É assim necessário produzir de forma a garantir vinhos mais competitivos, mas sem perderem as características que os diferenciam e que sejam “amigos do ambiente”. A questão é complexa. E entre os vários elementos e ferramentas relacionadas com tal questão pode-se destacar um factor em comum: a água.

O papel da água nas mais variadas etapas da vida da vinha, desde o seu estabelecimento até às uvas produzidas, leva a que a compreensão das relações hídricas das videiras seja essencial para a obtenção de colheitas consistentes em quantidade e qualidade (Wample, 2001a), desempenhando um papel crucial na tipicidade dos vinhos (Seguin, 1983; Koundouras *et al.*, 1999).

O estender da cultura da vinha pelas mais diversas partes do globo, algumas delas não dispendo à partida dos recursos hídricos naturais para o seu bom desenvolvimento, contribuiu para a introdução da rega no calendário vitícola (Smart e Coombe, 1983; Jordão *et al.*, 1998). Embora o “Velho Mundo” por vezes não permita ou condicione a prática da rega (como é o caso de Espanha, França, Itália ou Portugal), esta é comum na Califórnia, Argentina, Austrália e em outras zonas produtoras emergentes. Na Argentina, na região de Mendonza, 76% da água utilizada é empregue exclusivamente na rega das vinhas (Ojeda, 2007). A aleatoriedade

da disponibilidade contínua de água (Fregoni, 1999) e as diversas previsões climáticas que apontam no sentido de uma cada vez maior escassez hídrica (Jones *et al.*, 2005; Payan *et al.*, 2008) reavivaram a discussão em torno da necessidade de um uso mais eficiente e racional da água.

A Organização Internacional da Vinha e do Vinho (OIV) há muito que se debruça sobre as relações hídricas da vinha. Por um lado, alertando para o papel primordial da água no rendimento e na qualidade da produção vitivinícola e para os potenciais malefícios de condições de seca extrema, preconizando a prática da rega, nomeadamente em zonas de encosta (OIV, 1963; OIV, 1998; OIV, 2000; OIV, 2006). Por outro lado, a OIV manifesta uma preocupação crescente no sentido de reduzir a utilização deste recurso, cada vez mais limitado, ao mínimo indispensável, incentivando e dando mesmo prioridade a outras estratégias de cultivo que permitam um menor dispêndio de água (OIV, 2000; OIV, 2003; OIV, 2008). Em todo o caso, a decisão final é sempre remetida para o governo de cada país. Em Portugal assim sucede, sendo a rega uma das poucas práticas culturais reguladas pela legislação, fazendo parte dos estatutos das várias Denominações de Origem, publicados em Diário da República.

Para a quase totalidade das regiões e zonas vitivinícolas portuguesas, citando a legislação, *“a rega da vinha só pode ser efectuada em condições excepcionais reconhecidas pelo Instituto da Vinha e do Vinho (IVV) e sob autorização prévia, caso a caso, da entidade competente, à qual incumbe velar pelo cumprimento das normas que para o efeito vierem a ser definidas”*. A entidade competente a que se refere é a respectiva Comissão Vitivinícola Regional. Na prática isto significa que, embora exista uma regulação e controlo da rega, poderão ser várias as justificações para a sua utilização (quantidade, qualidade, etc.) sendo que, em regiões como o Alentejo, apesar da premissa *“apenas em condições excepcionais”* a prática está efectivamente vulgarizada e inserida no seu calendário vitícola. Contudo, exclusivamente para a Região Demarcada do Douro (RDD), o Decreto-Lei n.º 254/98 de 11/08/1998 estabelece que, para além das condições previstas nas restantes regiões, a rega apenas poderá ser utilizada *“... para obstar a situações extremas de défice hídrico, reconhecidas pelo IVV, que possam pôr em causa o normal desenvolvimento fisiológico da videira”*. Ou seja, a RDD é neste momento a região nacional com a legislação mais rígida no domínio da rega da vinha.

As condições ambientais da RDD são contudo particularmente complexas. As cadeias montanhosas que rodeiam a região constituem verdadeiras barreiras que impedem a passagem dos ventos húmidos do Atlântico, conduzindo a períodos estivais de precipitação escassa,

temperaturas do ar elevadas e a uma carência hídrica acentuada nas camadas superiores do solo (S.M.N., 1965; Sampayo, 1991). A fase de maiores necessidades hídricas da vinha na RDD coincide com uma época de precipitação escassa, o que, a par da interdição da rega, faz das reservas da água do solo um recurso fundamental para a produção e subsistência da videira (Moutinho-Pereira, 2000). Daqui resultam variações anuais de grande amplitude na quantidade e qualidade da produção da região (Oliveira, 1995). Estas são contudo as mesmas condições por muitos consideradas como fundamentais para a singularidade dos vinhos produzidos, sobretudo do Vinho do Porto (Pereira, 1991).

A temática da rega da vinha na RDD não é assim consensual, existindo acérrimos defensores e detractores da sua implementação como prática cultural autorizada pelos organismos reguladores. Dada a grande importância da Denominação de Origem Controlada (DOC) Porto e a crescente afirmação da DOC Douro no panorama vinícola nacional e internacional, é fundamental o estudo das implicações que esta prática cultural poderá ter na quantidade e qualidade dos mostos durienses e consequentemente dos seus vinhos.

Apesar de regionalmente a informação sobre as questões hídricas da vinha ser parca, existem vários estudos e publicações internacionais e nacionais sobre o assunto. Contudo, o vasto e complexo espectro de acção da água na cultura da vinha leva a que a generalidade dos trabalhos se debruce apenas sobre uma fracção do problema, avaliando individualmente parâmetros bastante específicos e geralmente com uma separação das componentes fisiológica e produtiva. Sabendo-se que os mecanismos estão de facto interligados, a integração e o seu estudo conjunto sob as mesmas condições experimentais poderão constituir uma mais valia considerável para a sua compreensão.

Este enquadramento constituiu o ponto de partida para uma reflexão sobre as questões hídricas da vinha na RDD, conduzindo ao desenvolvimento do presente trabalho. Para tal foi criado um grupo de trabalho multidisciplinar envolvendo diversas instituições, entre os quais a Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD), a Escola Superior de Biotecnologia da Universidade Católica do Porto e a Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, estabelecendo-se igualmente ligações próximas com os produtores e técnicos da região. Em 2003, no âmbito de um projecto financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia, foi estabelecido um campo experimental na sub-região do Douro Superior, com o objectivo de avaliar o impacto de diferentes regimes hídricos no comportamento fisiológico da videira e as suas consequências no rendimento e composição dos mostos da RDD.

O presente trabalho recapitula os vários conceitos envolvidos na problemática da nutrição hídrica da videira e os principais avanços que têm resultado da sua pesquisa, para

partir em seguida para a apresentação e discussão dos dados obtidos no campo experimental no Douro Superior. Espera-se assim contribuir para a clarificação do tema e contextualizá-lo nas condições particulares da RDD, na expectativa de constituir uma fonte de informação e apoio para os viticultores na gestão da disponibilidade hídrica das suas vinhas.

2. ESTADO ACTUAL DOS CONHECIMENTOS

2.1. Introdução

A água é um elemento fundamental da actividade biológica. Nas plantas, além de ser o constituinte mais abundante dos órgãos lenhosos e herbáceos, assegura e condiciona algumas das suas mais importantes funções, tais como a transpiração, a fotossíntese e, conseqüentemente, um vasto número de processos com estas relacionados (Hidalgo, 2002; Huglin e Schneider, 1998). A videira (*Vitis vinifera* L.) não é excepção. Apesar de ser uma planta com diversos mecanismos fisiológicos e vegetativos que permitem, até uma certa extensão, a sua adaptação a um fornecimento limitado de água (Carrante, 1963; Grimes e Williams, 1990), o regime hídrico de uma vinha influencia fortemente o seu potencial produtivo e enológico (Koundouras *et al.*, 1999; Van Leeuwen e Seguin, 1994).

Na grande maioria das espécies agrícolas, as relações hídricas são geralmente abordadas de uma forma relativamente simples: se a uma maior disponibilidade hídrica corresponderá uma maior produção da planta, então, não existindo água em quantidade suficiente naturalmente disponível, há que fornecê-la. A rega é assim uma prática rotineira e muitas vezes imprescindível para maximizar a produtividade da cultura. Em viticultura, e concretamente na produção de uvas para vinho, os objectivos são contudo mais complexos. A quantidade produzida é sem dúvida importante, mas a composição dos bagos e o impacto que esta poderá ter na qualidade dos vinhos resultantes podem ser parâmetros de avaliação de ainda maior relevância (Matthews e Anderson, 1988).

2.2. O estado hídrico da videira

A videira é geralmente considerada uma espécie pouco exigente em necessidades de água (Hidalgo, 2002). Existem, ainda assim, momentos em que a disponibilidade hídrica pode não ser suficiente para assegurar as suas funções normais, dizendo-se que se encontra em situação de “défice hídrico” (Fregoni, 1999). A carência hídrica é frequente em diversas regiões vitícolas, onde tradicionalmente era considerada condição para uma melhor qualidade

das uvas (Gaudillère *et al.*, 2002). No entanto, vários autores referem que condições de déficit hídrico intenso podem ser prejudiciais para a actividade fotossintética, crescimento e produção da videira (Smart, 1974; Sweet *et al.*, 1990; Flexas *et al.*, 1999a; Chaves *et al.*, 2002). É assim necessário encontrar o ponto de equilíbrio que nos permita atingir os nossos objectivos produtivos, pelo que há que compreender os mecanismos fisiológicos envolvidos na definição do estado hídrico da videira e os vários factores que condicionam o seu desempenho (figura 2.1).

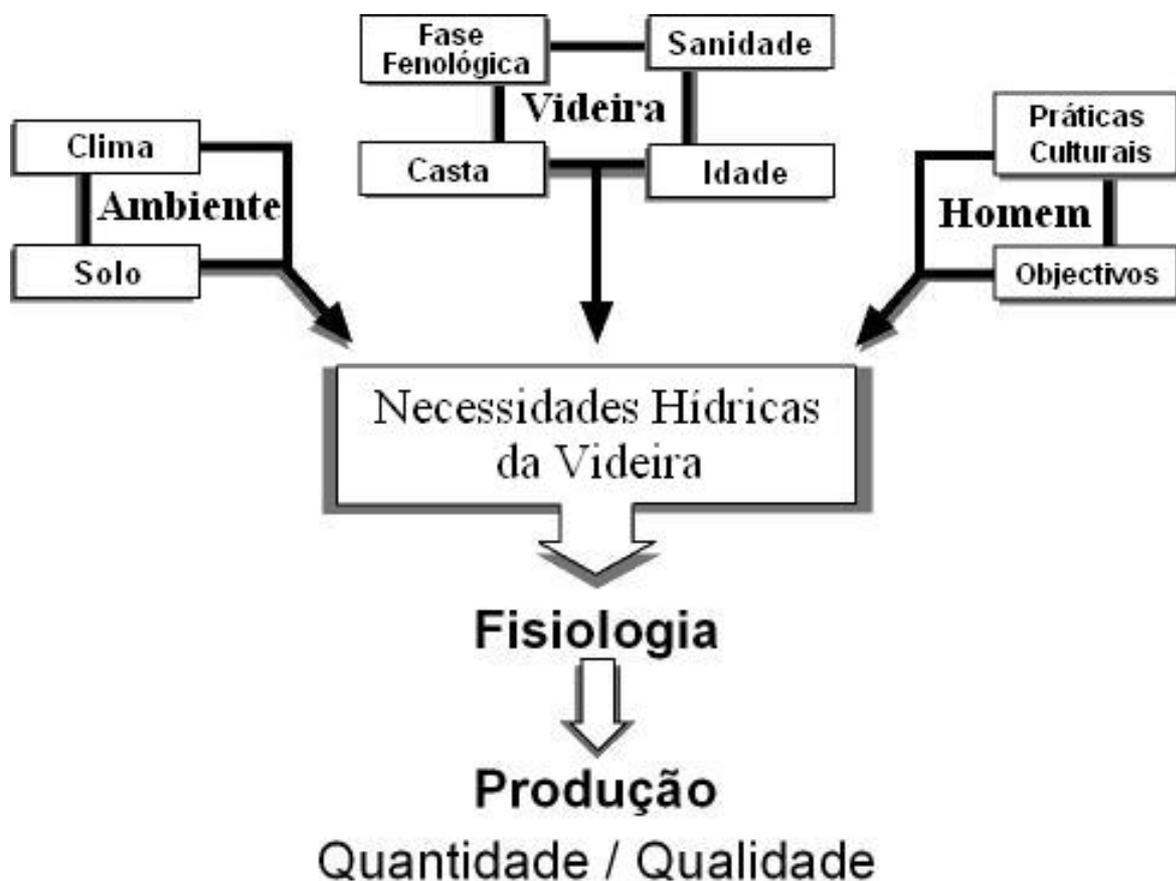


Figura 2.1 – Necessidades hídricas da videira: factores condicionantes e impacto na produção (adaptado de Smart e Robinson, 1992).

2.2.1. Relações hídricas e a fisiologia da videira

O princípio do movimento da água no sistema solo-planta-atmosfera foi descrito há mais de cem anos por Böhm na sua teoria da coesão-tensão (Steudle, 2001). Trata-se de um sistema hidráulico contínuo em que, face a uma determinada solicitação evaporativa por parte da atmosfera, resulta um gradiente de potencial hídrico entre o solo e a atmosfera, passando pela planta, que impulsionará a deslocação da água disponível no solo para as raízes e, em coluna através do xilema, até às folhas, onde será evaporada para os espaços intercelulares e, por difusão, destes para a atmosfera.

O potencial hídrico é na verdade uma medida do estado energético da água, dependendo da sua concentração. O ponto de referência é a água pura à temperatura e pressão ambiente, a que se atribui o valor zero. Uma redução da concentração da água corresponderá uma diminuição do potencial hídrico que, por conseguinte, se tornará negativo. Sabendo-se que as moléculas se movem das altas para as baixas concentrações, então o movimento da água será no sentido dos potenciais hídricos mais negativos (Taiz e Zeiger, 2006). É o que sucede no sistema solo-planta-atmosfera. A concentração de moléculas de água no ar é menor do que na planta (e tanto mais baixa quanto menor a humidade relativa do ar), provocando a sua evaporação a partir das folhas, levando por sua vez à diminuição do seu potencial hídrico e a que a água se mova sucessivamente através dos tecidos da planta segundo este gradiente. Da mesma forma existe uma diferença de potencial hídrico entre o solo e as raízes da planta, uma vez que as células vegetais são soluções complexas, levando à entrada de água nas raízes, que se move sucessivamente para os vários órgãos da planta. O estado hídrico da planta dependerá assim da relação entre as entradas e as saídas de água do sistema (Wample, 2001a) e pode ser avaliado pelo potencial hídrico foliar, expresso em unidades de pressão, que será tanto mais negativo quanto maior for o défice hídrico a que a planta está sujeita (Hsiao, 1973).

2.2.1.1. Transpiração e fotossíntese: a eficiência do uso da água

A transpiração é um dos mais importantes processos envolvidos no sistema solo-planta-atmosfera, podendo mesmo ser considerada o seu “motor”, representando cerca de 95 a 99,9% do uso de água por uma planta em climas áridos (Krauter, 2001a). As condições que

afectam a transpiração, nomeadamente o potencial hídrico do ar, dos tecidos e do solo, a condutividade e densidade estomática e a resistência ao movimento da água do solo para a planta e nos tecidos da planta, assumem um importante papel na definição do estado hídrico da planta, (Gil e Pszczółkowski, 2007).

A capacidade de adaptação da videira a condições de carência hídrica resulta em grande parte da sua capacidade para regular as perdas por transpiração, através de um aumento da resistência estomática (Climaco *et al.*, 1991). Em condições de déficit hídrico as raízes sintetizam sinais químicos, sob a forma de ácido abscísico (ABA), que são transportados até às folhas, conduzindo à diminuição da abertura estomática (Loveys, 1984). As perdas de água são assim diminuídas, mas inevitavelmente também as entradas de CO₂ (Downton *et al.*, 1988). A limitação da fotossíntese resultante de condições de déficit hídrico tem assim origem sobretudo na regulação da abertura dos estomas, mas existem também limitações não estomáticas que ocorrem ao nível do mesófilo clorofilino (Flexas *et al.*, 2002; Cifre *et al.*, 2005; Souza *et al.*, 2005a). Estas ocorrem geralmente em situações de déficit hídrico mais severo e resultam da desidratação das células do mesófilo (com consequente aumento da concentração de solutos) e da diminuição da actividade das enzimas dos cloroplastos, em particular da Rubisco (Chaves, 1991; Osório, 1994; Escalona *et al.*, 1999; Maroco *et al.*, 2002; Flexas *et al.*, 2004; Souza *et al.*, 2005a). Foi igualmente reportada, ao nível da fase luminosa da fotossíntese, uma diminuição na eficiência do fotossistema II (PSII) em videiras (Flexas *et al.*, 1998; Escalona *et al.*, 1999), mas esta apenas seria significativa se além de um déficit hídrico severo se registasse simultaneamente elevada radiação solar (Osório, 1994). Certos trabalhos referem que a fotoinibição permanente raramente ocorre em videiras em climas áridos (Flexas *et al.*, 1999b; Santos *et al.*, 2003).

A transpiração e a fotossíntese estão portanto intrinsecamente ligadas. Se por um lado o complexo mecanismo que regula as trocas gasosas das plantas é importante na adaptação a condições de aridez, através da diminuição da transpiração, este mesmo mecanismo poderá conduzir também a uma menor taxa fotossintética, com consequências no crescimento e produção (Krauter, 2001a). A solução para este problema passa por uma melhor eficiência do uso da água pelas plantas, geralmente avaliada pela razão entre a fotossíntese e a transpiração (A/E) ou entre a fotossíntese e a condutância estomática (A/g_s) (Düring, 1994; Flexas *et al.*, 1998).

2.2.1.2. Actividade vegetativa e disponibilidade hídrica

O crescimento sustentado das células vegetais requer uma expansão irreversível da parede celular, com a entrada de água e a síntese de novos componentes da parede (Sweet *et al.*, 1990). A influência da água na manutenção da turgescência das células é assim fundamental não apenas para a acção dos estomas como também para o crescimento dos tecidos vegetais (Wample, 2001a; Thomas *et al.*, 2006). Em condições de carência hídrica existe uma menor expansão celular devido à falta de turgidez (Magalhães, 2008) o que afectará, em diferentes fases, o crescimento das raízes, dos troncos, dos lançamentos, das folhas e dos bagos (Van Zyl, 1984; Thomas *et al.*, 2006). A diminuição da área foliar com a carência hídrica afectará também a fotossíntese, produzindo-se menos fotoassimilados, com potenciais efeitos negativos no crescimento e na produção das videiras (Fregoni, 1999; Hidalgo, 2002). Na situação oposta, a uma maior disponibilidade hídrica corresponderá um maior potencial vegetativo (Garcia-Escudero *et al.*, 1994) com mais e maiores lançamentos e uma maior área foliar (Liu *et al.*, 1978; Reynolds e Naylor, 1994; Van Leeuwen e Seguin, 1994). Este aumento do vigor poderá contudo tornar o ciclo vegetativo mais longo, diminuindo e atrasando o período de maturação e desviando para o crescimento açúcares que se deveriam acumular nos bagos (Hepner *et al.*, 1985; Jackson e Lombard, 1993; Van Leeuwen e Seguin, 1994; Gaudillère *et al.*, 2002; Deloire *et al.*, 2005).

O crescimento vegetativo e o vigor da videira podem assim ser regulados através da gestão da disponibilidade hídrica, por via de diferentes estratégias de rega (Bravdo e Hepner, 1987; Ferreyra *et al.*, 2002; Souza *et al.*, 2005a) ou, caso não exista essa possibilidade, adaptando a estrutura vegetativa às necessidades hídricas expectáveis da vinha, através, nomeadamente, do sistema de condução, da densidade de plantação, entre outras práticas culturais (Gaudillère *et al.*, 2002; Yuste, 2007; Yuste *et al.*, 2007).

2.2.1.3. Impacto da disponibilidade de água em outros processos fisiológicos

A nutrição hídrica tem igualmente impacto nos fenómenos reprodutivos das videiras, influenciando a diferenciação floral e a fertilidade dos gomos. Um excesso de água durante a floração pode promover a competição com os ápices vegetativos em rápido crescimento,

prejudicando a diferenciação e vingamento do fruto, com a ocorrência de desavinho e bagoinha (Magalhães, 2008). O decorrer das diferentes fases do ciclo vegetativo será afectado, com reflexos marcados na quantidade e na qualidade das uvas produzidas (Grimes e Williams, 1990).

A respiração é também afectada pela disponibilidade hídrica. Constitui uma espécie de processo reverso da fotossíntese, em que açúcares e outros compostos, como o ácido málico, interactuam e juntamente com água e CO₂ produzem a energia para o crescimento e para a produção de moléculas químicas complexas (Smart e Robinson, 1992). Uma maior disponibilidade de água poderá reduzir a temperatura das folhas, por via da maior transpiração, e também a temperatura na zona dos cachos, pelo efeito de sombreamento que a área foliar acrescida providencia. A redução de temperatura obtida por ambas as vias poderá desacelerar a taxa de respiração e conseqüentemente também a intensidade do metabolismo do ácido málico, com impacto na acidez dos mostos (Kliewer e Lider, 1968; Kobriger *et al.*, 1984; Baeza *et al.*, 2007).

2.2.1.4. Mecanismos de adaptação da videira ao défice hídrico

Schultz (2003) identificou na videira, e pela primeira vez nas plantas, a existência de comportamentos isohídricos e anisohídricos dentro de uma mesma espécie. A expansão do cultivo da vinha pelas mais diversas partes do globo resultou em diferentes níveis de adaptação ao défice hídrico, levando à divisão das diferentes castas nas duas classes fisiológicas (Schultz, 2003). As variedades isohídricas serão capazes de modificar o seu crescimento e fisiologia de forma a preservar os recursos actuais e controlar as suas necessidades futuras, ao passo que as anisohídricas usam todos os recursos disponíveis independentemente das condições que venham a encontrar. O “conservadorismo” das isohídricas, que fecham os estomas quando é atingido um potencial hídrico limite, de forma a este não ser ultrapassado, em contraste com a postura mais “tolerante” das anisohídricas, que permanecem com os estomas abertos para além desse limite, já havia levado anteriormente Jones (1980) a classificá-las respectivamente como “pessimistas” e “optimistas”.

A regulação estomática parece estar na origem das diferenças entre as classes referidas, atribuindo-se geralmente o papel regulador ao ABA (Loveys, 1984). Poderão contudo existir também reacções de natureza hidráulica envolvidas nesse mecanismo.

Lovisoló e Shubert (1998) verificaram uma redução da condutividade hidráulica em lançamentos de videiras sujeitas a diversos níveis de déficit hídrico, sendo esta, numa primeira fase de carência ainda moderada, resultante da diminuição do diâmetro dos vasos xilémicos ou, numa fase de déficit já mais severo, derivada sobretudo da ocorrência de embolismos. O embolismo, também conhecido por cavitação, ocorre quando, por aumento da resistência hidráulica, a coluna de água se quebra por ser sujeita a uma tensão que supera a sua coesão, interrompendo o transporte da água no sistema solo-planta-atmosfera, com consequências negativas nos processos fisiológicos da planta (Sperry *et al.*, 1987). A diminuição do diâmetro dos vasos xilémicos, observada quando o *stress* é ainda moderado, poderá ser na verdade uma forma de adaptação a défices hídricos severos, uma vez que os vasos xilémicos mais pequenos, além de reduzirem por si só as perdas de água, evitam também a evolução para condições susceptíveis de provocar embolismos (Salleo *et al.*, 1985; Lovisoló e Shubert, 1998).

Ao nível celular, o movimento da água através da membrana plasmática é facilitado por “canais” proteicos, designados por aquaporinas, que desempenham um importante papel no controlo da água das células e dos tecidos vegetais (Fouquet *et al.*, 2008). Chaves *et al.* (2003), além de referirem a capacidade das aquaporinas para aumentar a permeabilidade celular, acrescentaram o facto de a expressão dos genes desta família de proteínas poder ser afectada pelo *stress* hídrico. A activação de tais genes poderia resultar da acumulação de ABA, representando uma forma de adaptação ao *stress*. O envolvimento das aquaporinas na diminuição da condutância hidráulica das raízes como forma de limitar as perdas de água em resposta ao déficit hídrico foi recentemente alvo de um estudo de Vandeleur *et al.* (2009) em que foram evidenciados os diferentes níveis de variação diurna da permeabilidade membranal em função da casta. Variedades anisohídricas como o Chardonnay, que quando sujeitas a déficit hídrico registavam uma redução menos acentuada da condutância hidráulica, apresentaram uma maior expressão dos genes responsáveis pela actividade das aquaporinas, em comparação com variedades isohídricas como a Grenache. Consoante a casta existem portanto diferentes desempenhos das aquaporinas podendo esta variação representar diferentes níveis de adaptação ao déficit hídrico.

Outro mecanismo celular geralmente associado à tolerância à secura é o ajustamento osmótico, que consiste num aumento de solutos nas células, diminuindo o potencial osmótico e permitindo a manutenção da turgescência em condições de carência hídrica (Patakas e Noitsakis, 1999). Entre os resultados positivos deste processo encontra-se uma menor limitação estomática da fotossíntese, a manutenção do crescimento celular e o aumento do

gradiente do potencial hídrico entre as folhas e o solo, com conseqüente aumento da capacidade de absorção da água pelo sistema radicular em solos com baixa disponibilidade hídrica e acelerando a recuperação após rehidratação (Turner e Jones, 1980; Bowman e Roberts, 1985; Taiz e Zeiger, 2006). Se o ajustamento osmótico consiste, por si só, numa forma de aclimatação ao déficit hídrico, Patakas *et al.* (2002) verificaram que na videira este ocorre maioritariamente por acumulação de iões inorgânicos (K^+ , Ca^{2+} , NO_3^-) e, como tal, o custo energético é muito mais baixo do que a acumulação de moléculas orgânicas, cuja síntese celular consome carbono que poderia ser utilizado para o crescimento. Esta poupança energética representa um contributo adicional para a viabilidade da videira em condições desfavoráveis.

A manutenção da turgescência em condições de carência hídrica pode também ser conseguida por alterações estruturais ao nível das paredes celulares (Moutinho-Pereira, 2000). O acréscimo de rigidez das células, verificado em videiras sujeitas a déficit hídrico, torna-as mais estáveis e com uma maior capacidade para manter a sua integridade face à acumulação de solutos durante o ajustamento osmótico e ajuda a manter um potencial hídrico mais baixo, aumentando também por esta via o gradiente de potenciais hídricos entre o solo e a planta (Schultz e Matthews, 1993; Patakas *et al.*, 2002). A videira parece assim poder adaptar-se ao déficit hídrico através de um efeito conjunto de ajustamento osmótico e aumento da rigidez da parede celular, permitindo uma melhor absorção de água e a manutenção da sua actividade fisiológica (Patakas *et al.*, 2002).

Para além dos mecanismos já referidos, existem também outras adaptações morfológicas e fisiológicas que permitem à videira, por um lado, melhorar a capacidade de absorção de água e, por outro, diminuir as suas perdas (Moutinho-Pereira, 2000). O crescimento da raiz define o volume de solo que a planta poderá explorar em busca de água e nutrientes minerais (Hsiao e Xu, 2000). Condições de carência hídrica nas camadas superiores do solo levaram ao longo dos tempos ao desenvolvimento de sistemas radiculares mais profundos e expandidos, com vasos lenhosos pequenos e baixa condutibilidade hidráulica, aumentando a resistência à secura (Fregoni, 1999). A raiz desempenha também um importante papel no controlo das perdas de água por transpiração, uma vez que é nela que é sintetizado o sinal químico (ABA) envolvido na regulação estomática (Iacono *et al.*, 1998). A videira possui também mecanismos de economia de água ao nível do seu copado. Em condições de baixa disponibilidade hídrica existe uma redução do crescimento vegetativo e a senescência ou mesmo abscisão de folhas, diminuindo conseqüentemente a superfície evaporativa e as perdas de água por transpiração (Gil e Pszczółkowski, 2007). O mesmo

sucedem em castas cujas folhas têm menos estomas e de menor tamanho, ou que suportam concentrações mais elevadas de ABA antes de os encerrar (Fregoni, 1999). Por outro lado, uma cutícula foliar mais espessa e uma orientação das folhas que reduza a incidência da radiação solar poderão também favorecer uma maior tolerância ao déficit hídrico (Boyer *et al.*, 1997; Karabourniotis *et al.*, 1999). Os crescimentos radicular e foliar estão portanto coordenados e dependem da interação do genótipo com o ambiente onde está inserido, sendo que, um aumento da proporção de raiz em relação à parte aérea permitirá uma melhor gestão dos recursos hídricos disponíveis (Wilson, 1988; Kozłowski *et al.*, 1991; Pastori e Foyer, 2002).

2.2.2. Factores que influenciam as necessidades hídricas da vinha

Um dos termos mais usuais do léxico vitivinícola é o “terroir”, conceito que está na base das DOC e estabelece a importância do trinómio Natureza, Planta e Homem na expressão e na tipicidade dos vinhos produzidos numa dada região (Barbeau, 2004). Este conceito é particularmente relevante ao nível do estado hídrico da videira, não apenas por a água ser um dos mais importantes elementos do “terroir” (Van Leeuwen e Seguin, 1994; Trambouze *et al.*, 1998; Koundouras *et al.*, 1999) mas também pela influência exercida por factores ambientais, genéticos e humanos sobre as necessidades hídricas de uma vinha.

2.2.2.1. Factores ambientais

2.2.2.1.1. Solo

O solo, do ponto de vista hidrológico, pode ser considerado como um “reservatório” de água que será disponibilizada às plantas a um ritmo e quantidade que dependerão da capacidade de retenção de água do solo, da fracção dessa água que será de facto utilizável pela planta, do sistema radicular e das necessidades hídricas da planta (Montero *et al.*, 1999; Brase, 2001; Payan *et al.*, 2006).

Após uma chuva ou rega abundantes a água ocupa todos os poros do solo, ficando este saturado. Durante 1 a 2 dias o excesso de água perde-se por gravidade, drenando para as

camadas inferiores, dizendo-se que o solo se encontra à capacidade de campo (CC). A partir desse ponto o teor de água do solo vai diminuindo progressivamente por evaporação e absorção das plantas, até atingir, caso não haja uma reposição de água, um valor de humidade conhecido como ponto de emurchecimento permanente (PEP), do qual as plantas não recuperam. A diferença entre a CC e o PEP expressa a água utilizável pelas plantas, sendo estes parâmetros função sobretudo da textura do solo (Hidalgo, 2002). A água dos espaços intersticiais sofre uma atracção electrostática por parte das partículas coloidais do solo formando uma espécie de película à sua superfície. No caso da água que se encontra mais afastada das partículas, essa força de atracção não conseguirá vencer a força da gravidade, perdendo-se em profundidade (Botelho-da-Costa, 1995). Solos com texturas mais finas são compostos por partículas mais pequenas e os espaços entre elas serão também mais pequenos, retendo assim mais água após a drenagem gravitacional (Figura 2.2). A acumulação de água será maior e esta irá sendo disponibilizada de uma forma mais gradual, por oposição a um solo arenoso, em que rapidamente se esgotam os recursos hídricos (Krauter, 2001a).

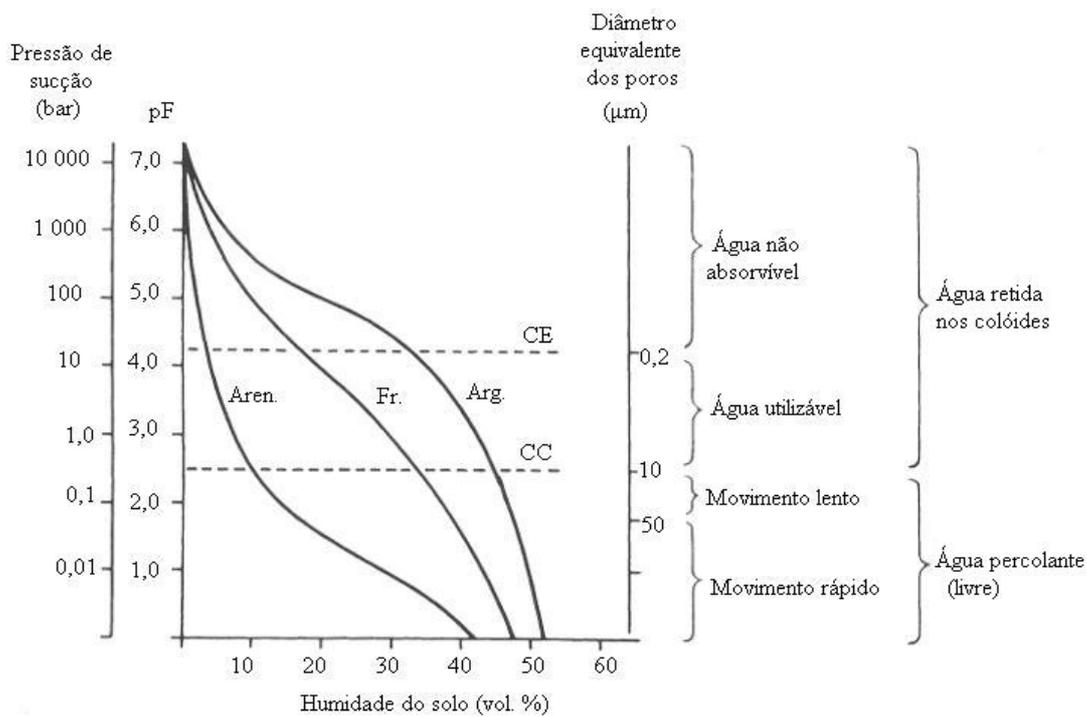


Figura 2.2 – Variação da humidade em relação à porosidade, pressão de sucção e pF em solos arenosos, francos e argilosos (adaptado de Fregoni, 1999).

As forças que regulam a retenção e distribuição da água no solo não são, no entanto, selectivas e da mesma forma que a força de atracção das partículas do solo contraria as perdas em profundidade, exige também às raízes uma maior capacidade de extracção da água do solo. Poros demasiado pequenos e cheios de água limitam também a disponibilidade de oxigénio para a respiração das raízes (Krauter, 2001b). Sendo assim, embora as texturas finas retenham mais água, as texturas médias (solos francos) são aquelas que asseguram uma maior quantidade de água utilizável pelas plantas, como se encontra ilustrado na figura 2.2.

A profundidade do solo é igualmente importante, uma vez que definirá o volume potencial a ser explorado pela raiz. Embora a extracção de água pela videira ocorra quase totalmente nos primeiros 1 a 2 metros de profundidade, a raiz pode atingir mais de 3 metros, dependendo das características genéticas da videira e das condições do solo. Solos compactados ou com camadas impermeáveis inibirão o desenvolvimento radicular e o movimento da água (Liu *et al.*, 1978; Doorenbos *et al.*, 1986). Situações em que o sistema radicular se possa desenvolver livremente em profundidade, podendo encontrar água em camadas mais profundas, são particularmente benéficas para a resistência da videira à secura estival dos climas mediterrânicos (Carbonneau, 1998). É o que sucede em parte na RDD em que, embora a profundidade do solo seja função da surribeira, as raízes conseguem desenvolver-se através das fissuras do xisto, permitindo um fornecimento hídrico suplementar durante o período estival, em que a água disponível nas camadas superiores é escassa (Magalhães, 2008). Aqui reside um dos pontos de maior discórdia relativamente à prática da rega da vinha. Uma maior disponibilidade de água nas camadas superiores do solo poderá levar a que o sistema radicular não necessite de se desenvolver tanto em profundidade, ficando restringido a um volume de solo menor e mais superficial. Neste caso a vinha ficará muito mais dependente da rega e de fertilizações, exigindo uma disponibilidade contínua de tais recursos e um acompanhamento muito mais atento. Mas, por outro lado, possibilitará também um melhor controlo do vigor e a utilização de solos com uma menor capacidade natural para a cultura da vinha (Araujo *et al.*, 1995a; Brase, 2001).

A par da textura e da profundidade, também a fertilidade do solo condiciona as necessidades hídricas da videira. Deficiências nutritivas poderão limitar a condutividade hidráulica das raízes, aumentando a susceptibilidade ao défice hídrico (Magalhães, 2008). Os elementos minerais distribuem-se de modo desigual no perfil do solo, encontrando-se maiores quantidades de fósforo e potássio nas camadas superficiais (10 a 40 cm), enquanto o cálcio e o magnésio se acumulam a maior profundidade. Se existir um défice de água ou de potássio nas camadas superficiais, serão as raízes mais profundas as mais funcionais, mas, como existe

ainda menos potássio em profundidade, poderá resultar em carência deste importante macronutriente, com problemas ao nível da regulação estomática, ocorrência de cloroses foliares e dificuldades na maturação das uvas (Fregoni, 1999). Os efeitos sobre nutrientes serão também abordados no ponto referente ao impacto das fertilizações (2.2.2.3. Práticas culturais).

Do ponto de vista da gestão da disponibilidade hídrica é importante não apenas a capacidade de retenção de água do solo mas também a sua uniformidade ao longo do terreno, questão particularmente relevante tanto na definição de estratégias de rega como nas decisões de mobilizações e correcções. Surribas a diferentes profundidades consoante a textura, aumentos da matéria orgânica por via de adubos, estrumes ou enrelvamentos, e fertilizações à base de cálcio poderão melhorar a capacidade de retenção de água do solo e a sua uniformidade (Brase, 2001; Hidalgo, 2002; Ramos e Martínez-Casasnovas, 2006; Wheaton *et al.*, 2008). A procura de um melhor aproveitamento da água do solo tem sido objecto de estudo de diversos autores. Sepaskhah e Fooladmand (2004) propuseram um sistema de recolha da água de escoamento superficial da chuva em encostas, para diminuir as perdas de água por escoamento superficial derivadas do declive ou da baixa permeabilidade. Os resultados obtidos no Irão, no norte da Jordânia e na semi-árida província do Noroeste da China revelaram ganhos significativos no armazenamento de água no solo e nos rendimentos dos cultivos.

2.2.2.1.2. Clima

O clima é fundamental na definição do estado hídrico das videiras. O papel de factores como a temperatura, radiação e humidade não se resume apenas ao seu envolvimento no processo evaporativo (Smart, 1974), tendo um forte impacto na fisiologia e produção da videira. Van Leeuwen *et al.* (2004) consideraram o clima como o principal elemento diferenciador da produção de uma determinada região, com um peso equivalente à soma de todos os outros factores (solo, práticas culturais e casta), um nível semelhante ao preconizado muito antes por Moreira-da-Fonseca em 1949, no trabalho que estabeleceu o sistema de pontuação das vinhas para produção de vinho do Porto, ainda hoje vigente na RDD.

O parâmetro climático com um impacto porventura mais evidente na disponibilidade hídrica de uma vinha é a precipitação, uma vez que constitui a fonte natural de água para as

plantas. A sua intensidade e distribuição ao longo do ano, com variações inter-anuais irregulares, determinam a quantidade de água disponível de forma natural durante as diversas fases do ciclo anual da videira, com grande impacto na produção e no estado fitossanitário da cultura (Ramos, 2005; Ramos e Martínez-Casasnovas, 2006). Nos climas mediterrânicos os valores mínimos anuais situam-se entre os 380 e os 550 mm e é geralmente escassa no período estival, tornando a videira mais dependente das reservas do solo e/ou de suplementos externos por via da rega (Carbonneau, 1998; Cuevas *et al.*, 1998; Hidalgo, 2002). Por outro lado, a concentração de grande parte da precipitação durante um período relativamente curto entre o Outono e o Inverno pode saturar os solos e originar perdas de água por escoamento superficial, acarretando também problemas de erosão e perda de nutrientes do solo, em especial em zonas declivosas (Martínez-Casasnovas *et al.*, 2002).

Outro parâmetro climático importante para as necessidades hídricas da videira é a temperatura do ar, influenciando as perdas de água por transpiração pelo seu efeito no deficit de pressão de vapor (DPV) e conseqüentemente no gradiente de concentrações do sistema solo-planta-atmosfera (Krauter, 2001a; Wample, 2001a). Quanto maior for a temperatura do ar, maior será o DPV, aumentando as perdas de água das plantas por transpiração. É igualmente conhecido o efeito que a transpiração tem na regulação da temperatura foliar. Tal facto faz da temperatura das folhas (ou do copado completo) um indicador do estado hídrico da videira, estando nos últimos anos a ser estudada e desenvolvida tecnologia nesse sentido (Cifre *et al.*, 2005; Grant *et al.*, 2007).

A temperatura influencia as relações hídricas da videira não só pelo seu efeito na transpiração mas também pelo seu efeito na fotossíntese. As taxas fotossintéticas máximas da videira são atingidas entre os 20 e os 25°C, variando consoante a casta, fase do ciclo vegetativo e as condições do meio (Lopes, 1994; Huglin e Schneider, 1998). Abaixo ou acima desses valores existirá uma menor actividade fotossintética devido a limitações estomáticas e não estomáticas, que serão mais ou menos reversíveis consoante a severidade do calor ou do frio (Flexas *et al.*, 1999a; Hendrickson *et al.*, 2004). Este impacto na fotossíntese terá associada uma diminuição das perdas de água por transpiração, como visto anteriormente, tanto por via das limitações estomáticas como também pelo menor crescimento da planta, com conseqüente diminuição da sua superfície foliar e evaporativa. Importa no entanto não esquecer que, apesar da importância das temperaturas médias no estado hídrico da planta, a intensidade e frequência de valores extremos são também relevantes (ADVID, 2007). Temperaturas demasiado baixas poderão aumentar a viscosidade da água, reduzindo o seu fluxo no xilema (Flexas *et al.*, 1999a). Por sua vez, temperaturas demasiado elevadas (acima

dos 40-45°C) poderão provocar a morte dos tecidos foliares, com as consequências já referidas na área foliar e na transpiração (Magalhães, 2008). As altas temperaturas estivais provocam frequentemente desfolha nas videiras, o que ocorre com alguma frequência na RDD.

As diferenças de altitude que caracterizam regiões montanhosas têm um grande impacto na temperatura do ar, havendo uma diminuição progressiva das temperaturas à medida que se vai subindo para cotas mais altas (Huglin e Schneider, 1998).

A temperatura do ar desempenha também um importante papel no controlo do ritmo e na duração do ciclo vegetativo, pelo que um avanço mais ou menos rápido em função da temperatura pode desajustar a disponibilidade de água no solo face às necessidades do estado fenológico (Lopes *et al.*, 2008). Existe ainda uma relação estreita entre a temperatura e a água do solo. Por um lado, as células radiculares são menos permeáveis à água a temperaturas mais baixas, aumentando a resistência hidráulica das raízes (Flexas *et al.*, 1999a) e por outro, a temperatura afecta a actividade das moléculas de água e a passagem de estado líquido a gasoso, condicionando a distribuição da água no solo (Wample, 2001a).

A acção que a temperatura tem sobre o estado hídrico da videira é por vezes difícil de dissociar da acção da radiação solar, uma vez que a influência de ambas se exerce em simultâneo, de forma interligada e através de mecanismos semelhantes. A radiação solar é a fonte de energia para a fotossíntese, mas apenas uma pequena parte é utilizada para esse fim, sendo que a restante aquece tanto os tecidos vegetais, como a massa de ar em volta do copado e a superfície do solo, com efeitos directos sobre as perdas de água por transpiração da planta e por evaporação do solo (Krauter, 2001a). O papel da radiação solar na fotossíntese e no crescimento tem um impacto indirecto nas relações hídricas da videira, à semelhança do efeito da temperatura (Moutinho-Pereira, 2000). Os extremos poderão igualmente ser lesivos para a videira, tal como no caso da temperatura. Valores de energia radiante acima dos necessários para a fotossíntese poderão provocar fenómenos de fotoinibição ou de regulação negativa, com decréscimo da actividade fotossintética durante um período mais ou menos longo consoante a severidade do *stress* (Bertamini *et al.*, 2007). A forma como a radiação solar afectará a vegetação pode ser condicionada pela topografia de terreno, o que é particularmente relevante em regiões declivosas como a RDD. No Hemisfério Norte, uma vinha de encosta exposta a Sul terá uma maior intercepção da radiação solar, em comparação com uma vinha plana ou em encosta exposta a Norte, como resultado do movimento de rotação do nosso planeta sobre o seu eixo inclinado e do ângulo dos raios solares em relação à superfície do terreno. A menor energia radiante nas encostas viradas a Norte conduz, para além de a uma

menor taxa fotossintética das videiras, a menores temperaturas e maior humidade relativa do ar, havendo portanto uma menor transpiração (Krauter, 2001a).

Outro factor climático importante para o estado hídrico das plantas, cuja acção também é condicionada pela topografia, é o vento. Os diferentes acidentes geográficos interferem com a passagem das massas de ar, facto reconhecido por Moreira-da-Fonseca (1949) ao introduzir o parâmetro “Abrigo” no sistema de pontuação das vinhas para produção de vinho do Porto na RDD, pelo efeito de protecção que os vales profundos e estreitos oferecem relativamente aos ventos. A renovação da massa de ar em torno do copado por acção do vento tem claras implicações no gradiente de potenciais hídricos do sistema solo-planta-atmosfera (Chavarria *et al.*, 2008). Ventos que transportem massas de ar mais quentes e secas diminuem a humidade do ar em torno do copado, aumentando a diferença entre os potenciais hídricos das folhas e da atmosfera e consequentemente as taxas de transpiração (Krauter, 2001a; Chavarria *et al.*, 2008). O inverso sucede quando a renovação do ar é feita por ventos mais frios e húmidos, reduzindo-se a condutância estomática e a transpiração, mas inevitavelmente também a fotossíntese e o crescimento (Kobriger *et al.*, 1984; Smart e Robinson, 1992). Um exemplo interessante é relatado por Bonnardot *et al.* (2005), em que é demonstrado o efeito dos ventos atlânticos no aumento da humidade relativa e na diminuição da temperatura do ar (em alguns casos variando até 6°C) na área vitícola de Stellenbosch na África do Sul, o que, apesar de afectar a fotossíntese, atenua consideravelmente a duração e intensidade do *stress* térmico, com o efeito já referido no estado hídrico das videiras. Esta acção dos ventos atlânticos poderá constituir uma das principais causas das grandes diferenças climáticas existentes entre a RDD e a região vitícola dos Vinhos Verdes no Noroeste do país, apesar da curta distância que as separa. Contrariamente à região dos Vinhos Verdes, de forte influência Atlântica, na RDD os ventos atlânticos são barrados pelas cadeias montanhosas circundantes, resultando a acumulação de calor referida por Moreira-da-Fonseca (1949) como favorável para a melhor maturação das uvas para vinho do Porto.

2.2.2.2. Factores internos da videira

2.2.2.2.1. Factores genéticos

A expansão da videira por várias partes do globo originou diferentes tipos de respostas morfológicas e fisiológicas resultantes da interação entre as condições ambientais encontradas (nomeadamente a disponibilidade hídrica) e a informação contida nos seus génotipos (Pastori e Foyer, 2002).

Quando se abordaram os mecanismos de adaptação da videira ao défice hídrico foi já referida a existência de comportamentos isohídricos e anisohídricos consoante a casta (Schultz, 2003). Além desta variação de comportamento, as castas e porta-enxertos possuem diferentes características morfológicas e fisiológicas que permitem uma melhor ou pior adaptação a condições de carência hídrica. É fácil de compreender que castas mais vigorosas e com uma estrutura vegetativa mais desenvolvida têm potencialmente uma maior exigência hídrica para suprir a actividade metabólica e transpiração acrescidas. No outro extremo, castas com sebes vegetativas menos desenvolvidas, com folhas mais espessas e orientadas de modo a reduzir a incidência da radiação solar, com mais tricomas (diminuem o movimento do ar na superfície foliar e logo a transpiração), com menor densidade estomática, estomas mais pequenos e uma maior capacidade de acumulação de ABA e de manter potenciais hídricos mais baixos, terão uma maior predisposição natural para resistir a períodos de seca (Fregoni, 1999; Gaudillère, 2002).

Grande parte da susceptibilidade das videiras à carência hídrica é contudo determinada a nível radicular. A absorção de água e minerais pelas raízes e o seu envolvimento na regulação estomática fazem do porta-enxerto um elemento chave na definição do estado hídrico da videira, com impacto não apenas nas entradas e saídas de água da planta, mas também em outros processos fundamentais como a fotossíntese, o crescimento de lançamentos e folhas e a própria produção (Iacono *et al.*, 1998; Paranychiakis *et al.*, 2004). Tal como na parte aérea, existem ao nível do sistema radicular características morfológicas e fisiológicas que permitem uma melhor gestão da água disponível, tais como sistemas radiculares carnudos, mais expandidos e profundos, com vasos lenhosos pequenos e baixa condutibilidade hídrica (Fregoni, 1999; Hsiao e Xu, 2000). Para Carbonneau (1985), o contributo mais importante do porta-enxerto para a resistência ao défice hídrico reside na capacidade de extracção e absorção de água das suas raízes. O mesmo autor, em função dos

resultados experimentais que obteve, ordenou os porta-enxertos em cinco classes de resistência ao déficit hídrico, que vão desde o altamente resistente 110 Richter ao altamente sensível Vialla (Quadro 2.1).

Quadro 2.1 – Classes de porta-enxertos em função da resistência ao déficit hídrico. Dentro de cada classe os porta-enxertos estão ordenados por ordem decrescente da resistência ao déficit hídrico (Carbonneau, 1985).

Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
Altamente resistente	Resistente	Menos resistente	Sensível	Altamente sensível
110 R	1103 P	3309 C	Riparia Gloire	7542
140 Ru	196-17 CI	7405	EM 333	Vialla
44-53 M	1447 P	7903	7924	
	SO4	420 A	Rotundifolia Yuga	
	99 R	Fercal		
	7383	RSB1		
		7921		
		5 BB		
		161-49 C		
		41 B		
		Rupestris du Lot		
		101-14 Mg		

O crescimento radicular está coordenado com o crescimento da parte aérea da planta, quer pelo seu relacionamento morfológico e fisiológico, quer pela competição entre ambas as partes pelos assimilados produzidos nas folhas, pela água e pelos minerais absorvidos pelas raízes (Hsiao e Xu, 2000). Uma menor razão tronco/raízes permitirá uma maior exploração do volume de solo com menos perdas de água por transpiração (Fregoni, 1999). Pode depreender-se que, não apenas a casta e o porta-enxerto individualmente, mas também as suas múltiplas combinações tenham respostas diferentes à humidade do solo, facto referido e estudado por vários autores (Yunusa *et al.*, 1997; Iacono *et al.*, 1998; Padgett-Johnson *et al.*, 2001; Paranychianakis *et al.*, 2004). Um mesmo porta-enxerto pode ter diferentes níveis de resposta hídrica consoante a casta que lhe está associada e vice-versa (Iacono *et al.*, 1998).

Alguns destes autores chamam também a atenção para as diferenças de comportamento hídrico entre videiras enxertadas e não enxertadas (porta-enxerto vs pé-franco). Yunusa *et al.* (1997) observaram um maior crescimento vegetativo e conseqüentemente uma maior transpiração na casta Sultana enxertada no porta-enxerto Ramsey comparativamente à mesma casta em pé-franco. Resultados contrários foram obtidos por Padgett-Johnson *et al.* (2001), registando maiores trocas gasosas na modalidade da casta Carignan em pé-franco em comparação com a mesma enxertada em *Vitis riparia* e, por sua vez, esta combinação não apresentou diferenças significativas face à *Vitis riparia* não enxertada. Excluindo as questões fitossanitárias inerentes ao uso de porta-enxertos, estes resultados contraditórios parecem apontar que as diferenças não residem propriamente no facto de ser ou não enxertada, mas antes no grau de aptidão genética das raízes das diferentes variedades de videira (castas ou porta-enxertos) para lidar com as questões hídricas.

2.2.2.2.2. Fase do ciclo vegetativo

Ao longo do ciclo vegetativo da videira existem momentos chave em que é necessária uma disponibilidade de água adequada para se atingirem os objectivos de produção (Matthews *et al.*, 1990; Handley, 2001; Acevedo *et al.*, 2005; Girona, 2005; Koundouras *et al.*, 2006; Santos *et al.*, 2007). A figura 2.3 representa a proporção do consumo médio de água nas diferentes fases fenológicas da videira e resume os parâmetros fisiológicos e produtivos afectados pela disponibilidade hídrica ao longo do seu ciclo vegetativo.

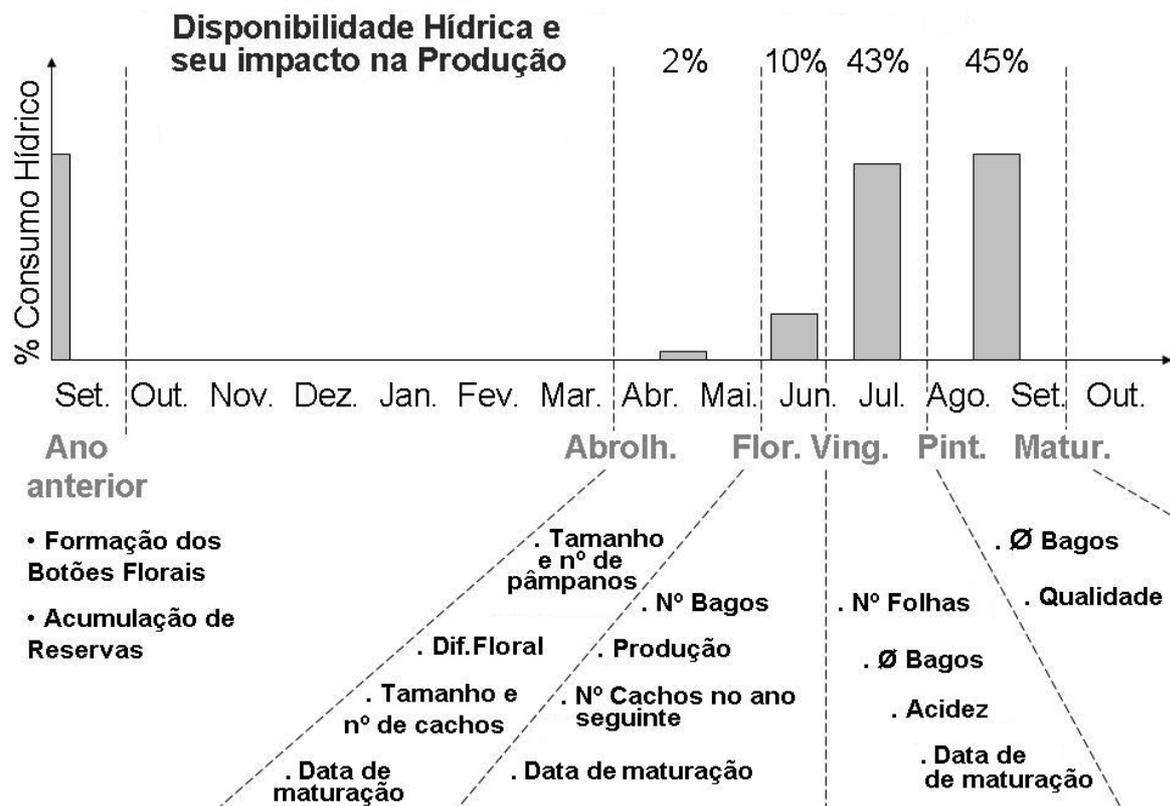


Figura 2.3 – Consumo de água e parâmetros afectados pela disponibilidade hídrica ao longo do ciclo vegetativo da videira, no Hemisfério Norte (adaptado de Fregoni, 1999).

Em videiras cultivadas em climas temperados o período desde a iniciação dos primórdios dos cachos e dos lançamentos primários até à sua maturação abrange duas estações de crescimento. A formação dos botões florais responsáveis pela produção de um ano ocorre no final da Primavera / início do Verão do ano anterior. Nesta fase, uma carência hídrica moderada aliada a altas temperaturas e radiação são condições favoráveis à formação dos botões florais (Carbonneau e Pasteran, 1979; Doorenbos *et al.*, 1986; Fregoni, 1999). O número de cachos de um ano depende assim das condições do ano anterior serem ou não favoráveis para o desenvolvimento reprodutivo (Matthews e Anderson, 1989).

No período que se segue à vindima a videira adapta-se à escassez de água, uma vez que normalmente não há crescimento adicional. No entanto, algumas folhas permanecem e os lançamentos estão atempados, logo há vantagem em ter alguma água disponível para manter uma folhagem saudável e prevenir a queda prematura das folhas (Doorenbos *et al.*, 1986), uma vez que este prolongamento da actividade fotossintética aumentará consideravelmente a acumulação de reservas de hidratos de carbono e azoto nas partes perenes das videiras (Hidalgo, 2002). Uma carência hídrica durante este período pode afectar também a renovação

e crescimento das raízes e, conseqüentemente, a absorção de nutrientes, podendo resultar em carências nutritivas na Primavera seguinte (Wample, 2001b; Hidalgo, 2002). Por estes factos, Magalhães (2008) considera que poderá ser vantajoso recorrer à rega durante este período, mas outros autores discordam da relevância de tal prática. Matthews e Anderson (1989), não encontraram diferenças na taxa de crescimento dos lançamentos no início da estação, nem nas datas de abrolhamento e floração que pudessem denotar uma acumulação de reservas diferenciada, concluindo que em geral as videiras não necessitam de um fornecimento suplementar de água após a colheita, até porque em regiões com clima mediterrânico a estação de chuvas se inicia geralmente nesta fase, colocando as videiras em condições de igualdade em termos de disponibilidade hídrica. Wample (2001b) acrescenta que, se após um período em que as videiras estiveram sob carência hídrica, como é costume durante a maturação, se decide começar a regar após a colheita, pode-se comprometer a capacidade de aclimação das videiras e a aumentar o risco de danos provocados pelas baixas temperaturas invernais, nomeadamente ao nível das raízes, afectando a viabilidade de botões florais, dos futuros lançamentos e das partes perenes da videira. Myburgh (2003) relançou a discussão sobre esta temática quando, ao avaliar videiras com ou sem rega após a colheita, e mesmo com a continuação do crescimento dos lançamentos destas videiras durante esse período, não registou diferenças na acumulação de reservas de amido na lenha de poda. Durante 3 dos 4 anos do mesmo estudo, Myburgh também não observou diferenças no abrolhamento e posterior crescimento de lançamentos, nem na quantidade de uvas produzidas. No entanto, num dos anos, caracterizado por uma anormalmente baixa humidade relativa do ar entre a poda e o abrolhamento, registaram-se não só diferenças no abrolhamento, mas também na fertilidade dos botões florais e conseqüentemente no número de cachos e rendimento resultantes, com vantagem considerável para as videiras com mais água disponível após a colheita. Tal constatação reforça não só a noção do entrosamento existente entre a disponibilidade hídrica e os restantes elementos ambientais, mas também a ausência de uma regra absoluta, havendo necessidade de adequação dos procedimentos culturais, e neste caso concreto da prática da rega, às condições dos diversos períodos do ano.

Avançando o período de repouso vegetativo invernal é chegada a primeira fase de crescimento, compreendida entre o abrolhamento e a floração. É importante que haja um bom crescimento vegetativo nesta fase para se obter uma boa produção, não devendo portanto existir déficit hídrico (Doorenbos *et al.*, 1986). Geralmente, em climas tipicamente mediterrânicos, as reservas de água do solo nesta fase são suficientes (Wample 2001b). Contudo, uma eventual carência hídrica intensa conduziria a um abrolhamento irregular,

pâmpanos curtos, uma menor diferenciação floral e à produção de menos cachos e de menor tamanho (Buttrose, 1974; Matthews *et al.*, 1987; Myburgh, 2003). Um excesso de água é igualmente prejudicial, pois potencializaria a continuação do crescimento vegetativo e não a sua desaceleração para ocorrência da floração, atrasando as fases fenológicas subsequentes, incluindo a maturação (Hidalgo, 2002).

O período entre a floração e o vingamento tem habitualmente a duração de uma a duas semanas, com paragem ou redução significativa do crescimento vegetativo, de forma a que os hidratos de carbono provenientes da fotossíntese sejam canalizados essencialmente para os fenómenos reprodutivos de diferenciação das inflorescências e vingamento dos bagos (Magalhães, 2008). É uma fase particularmente importante, com impacto directo na quantidade de uvas obtidas no final da campanha (Kliewer *et al.*, 1983; Matthews e Anderson, 1988; Morlat *et al.*, 1992; Riou, 1994). Uma situação de défice de água severo neste momento atrasa o desenvolvimento da flor e leva a um vingamento deficiente (desavinho e bagoinha), com a produção de menos bagos e de menor tamanho (Kliewer *et al.*, 1983; Doorenbos *et al.*, 1986; Matthews e Anderson, 1989; Morlat *et al.*, 1992; Riou, 1994 ; Myburgh, 2003). No extremo oposto, um excesso de água é igualmente prejudicial, ao privilegiar o crescimento vegetativo e desviar para os ápices vegetativos a fracção de fotoassimilados que estaria destinada aos fenómenos reprodutivos, potenciando, tal como na situação de défice severo, a ocorrência de desavinho e bagoinha (Magalhães, 2008). O excesso de água pode levar também à lixiviação de nutrientes, que são particularmente necessários nesta fase, ou, em solos com má drenagem levar a encharcamento e asfíxia radicular, o que afectará o desenvolvimento da raízes e a absorção de nutrientes minerais, resultando em lançamentos curtos, cloroses e necroses foliares (Hidalgo, 2002; Magalhães, 2008). A situação ideal para esta fase parece estar numa carência hídrica moderada que possibilite a paragem vegetativa (e possivelmente melhore a penetração da luz solar), privilegiando os fenómenos reprodutivos e podendo resultar portanto uma maior produção (Carbonneau e Casteran, 1979; Bravdo *et al.*, 1985; Myburgh, 2003). O impacto deste período na produção não se fica apenas pelo ano em curso, afectando também a produção do ano seguinte, uma vez que é também nesta fase que ocorre a iniciação floral para o ano seguinte (Carbonneau e Casteran, 1979; Matthews e Anderson, 1989; Wample, 2001b). Segundo alguns autores, um aspecto particularmente relevante reside no facto de se poder neste período, com o regime hídrico adequado, promover uma maior produção sem o potencial impacto negativo na qualidade, uma vez que se estará sobretudo a aumentar o número de cachos e de bagos, minimizando o impacto negativo de um

maior tamanho dos bagos na concentração em compostos solúveis (Liu *et al.*, 1978; Barroso *et al.*, 2001).

Após o vingamento inicia-se uma fase de crescimento de rebentos e bagos que se prolonga até ao pintor, momento em que a área foliar atingirá desejavelmente o seu máximo para poder corresponder às necessidades em fotoassimilados da maturação que se avizinha. Trata-se por isso do período de maior exigência e consumo de água (Doorenbos *et al.*, 1986; Hidalgo, 2002; Magalhães, 2008). Um défice hídrico severo nesta fase teria graves consequências no desenvolvimento da folhagem e na colheita, conduzindo a um menor tamanho dos bagos, devido a um menor número de divisões das células do pericarpo, e provocando um atraso da maturação e uma desidratação parcial ou total dos cachos (Doorenbos *et al.*, 1986; Matthews e Anderson, 1989; Wample, 2001b; Gaudillère *et al.*, 2002; Myburgh, 2003). Magalhães (2008) refere contudo que, quando se pretende uma produção de qualidade, a água utilizável não deve exceder em 50% o défice máximo aceitável, impondo assim uma carência hídrica moderada que não conduza a um crescimento exagerado dos bagos e que permita também uma paragem marcada do crescimento dos lançamentos ao pintor. Esta desejável paragem ao pintor faz dos bagos os receptores prioritários dos fotoassimilados, evitando os atrasos na maturação que resultam da continuação do crescimento vegetativo nesta fase (Castellarin *et al.*, 2007; Garcia-Escudero, 2007).

Entre o pintor e a vindima decorre o período da maturação, em que se formam os compostos nobres que mais influenciam a qualidade das uvas e consequentemente do vinho. Logo, as condições em que se desenrola a maturação, bem como a sua duração, terão um grande impacto na qualidade (Ferreira *et al.*, 2002 ; Hidalgo, 2002; Acevedo *et al.*, 2005 ; Koundouras, *et al.*, 2006 ; Santos *et al.*, 2007). O efeito da disponibilidade hídrica na produção será abordado novamente mais adiante.

2.2.2.2.3. Idade e estado sanitário da vinha

Com o avançar da idade da videira, as suas necessidades hídricas vão sofrendo algumas alterações. Nos primeiros anos de vida (até aproximadamente aos 5 anos de idade) as raízes ainda estão em desenvolvimento e portanto com uma menor capacidade de exploração radial e em profundidade, o que implica a necessidade de uma maior disponibilidade hídrica nas camadas superiores do solo (Zufferey e Maigre, 2007). Ao atingir a maturidade, por volta

dos 10 anos, em plena actividade metabólica, os consumos de água pela videira serão por sua vez mais elevados em função da estrutura vegetativa desenvolvida, mas o seu sistema radicular permitirá também explorar um maior volume de solo (Zufferey e Maigre, 2007). Cerca dos 30 anos de idade o vigor começa naturalmente a decrescer e, embora as necessidades hídricas possam diminuir face à menor expressão vegetativa resultante, existe também alguma degradação do sistema radicular e é possível que a eficiência metabólica e fisiológica vão progressivamente diminuindo (Huglin e Schneider, 1998; Hidalgo, 2002; Gil e Pszczółkowski, 2007). De forma semelhante, também o estado sanitário da vinha influenciará o seu estado hídrico. Entre os vários problemas possíveis podem-se destacar, a título de exemplo, casos de raízes danificadas por fungos, insectos ou nemátodos, que terão por isso uma menor capacidade de absorção de água, devendo existir, para compensar, uma maior disponibilidade hídrica no volume de solo explorável pela videira (Hidalgo, 2002; Magalhães, 2008).

2.2.2.3. Factores antropogénicos

Os factores naturais ligados ao ambiente e à própria planta são responsáveis em grande parte pela definição das necessidades hídricas da videira. No entanto, a intervenção humana não pode ser descurada. As práticas culturais, as opções tomadas pelos viticultores e os objectivos produtivos a que se propõem influenciam também o estado hídrico das videiras e a eficiência do uso da água disponível (Krauter, 2001a; Paranychianakis *et al.*, 2004).

2.2.2.3.1. Práticas culturais

O impacto de determinadas práticas culturais sobre o estado hídrico da videira tem sido abordado por vários autores (Carbonneau, 1991; Yunusa *et al.*, 1997; Williams, 2001; Gaudillère *et al.*, 2002; Ramos, 2005; Rubio *et al.*, 2007; Yuste, 2007; Yuste *et al.*, 2007; Wheaton *et al.*, 2008).

A rega será porventura a mais óbvia, mas existem muitas outras práticas culturais com forte influência nas relações hídricas da videira. Como referem Gaudillère *et al.* (2002), embora o défice hídrico em viticultura de sequeiro não possa ser controlado de uma forma tão

directa como em regadio, existem várias práticas culturais que permitem, até determinada extensão, adequar as necessidades hídricas das videiras às condições ambientais a que estão sujeitas.

i. Trabalhos de preparação do terreno para implantação da vinha

A preparação do terreno para implantação de uma vinha desempenha um importante papel, sobretudo em regiões com solos pouco permeáveis ou delgados e de elevada pedregosidade, como a RDD, uma vez que define em grande parte o seu potencial de armazenamento de água e qual será o volume de solo mais facilmente explorável pelas raízes (Malheiro, 2005). Uma surriba mais superficial pode limitar a capacidade de armazenamento de água do solo e o desenvolvimento radicular (Ramos, 2005). Wheaton *et al.* (2008) referem vários trabalhos em que se verificaram aumentos consideráveis do desenvolvimento radicular, vegetativo e do rendimento de produção ao melhorar a profundidade e as propriedades hidráulicas do solo. A forma de armação do terreno influencia também as capacidades hídricas do solo. Oliveira (2001), em trabalhos realizados na RDD, verificou um aumento das reservas de água no solo em vinhas ao alto (plantadas segundo as linhas de maior declive), comparativamente a vinhas plantadas em patamares, tal parecendo resultar dos movimentos superficiais e sub-superficiais da água ao longo da encosta. No entanto, segundo Moutinho-Pereira (2000), as vinhas ao alto estão por sua vez mais sujeitas à acção erosiva dos agentes meteorológicos, conduzindo a um empobrecimento gradual em elementos argilo-húmicos do solo da cota mais elevada, com um impacto negativo na sua capacidade de armazenamento de água. Nestas condições deve existir um reajustamento das práticas culturais ao longo da parcela, pelo que o autor propõe uma redução da carga à poda nas videiras plantadas nas zonas da parcela que manifestem uma menor capacidade de armazenamento de água, promovendo assim uma redução da superfície foliar total, o que verificou ser favorável para o estado hídrico da videira.

ii. Densidade de plantação

Quando se planta um maior número de videiras por unidade de área, o volume de solo disponível por videira será menor o que, segundo Huglin e Schneider (1998), leva a uma colonização radicular mais densa e vertical do solo, com uma maior exploração das camadas mais profundas, ideia igualmente apoiada pelos trabalhos de Jackson e Lombard (1993) e de Yuste *et al.* (2007). Por outro lado, Wample (2001a) registou uma diminuição das perdas de água por transpiração por videira e um aumento da eficiência do uso da água em vinhas com

maior densidade de plantação como resultado do efeito de sombra que os copados exercem uns sobre os outros, diminuindo o número de folhas expostas directamente a uma atmosfera com humidade relativa mais baixa. Yuste *et al.* (2007), analisando a questão não por videira mas por hectare, verificaram que a situação se inverte, ou seja, nas densidades de plantação mais elevadas, apesar de individualmente as videiras apresentarem uma menor expressão vegetativa, por hectare existe uma maior superfície foliar total e uma maior superfície foliar externa, conduzindo na prática a uma maior perda de água por transpiração. Há contudo que ter também em consideração a contribuição da evaporação do solo no consumo de água de uma vinha. Um solo com uma menor densidade de plantação, e portanto com menor sombreamento por parte das videiras, está mais sujeito à incidência de radiação solar directa, acrescendo as perdas de água por evaporação do solo (Yunusa *et al.*, 1997; Yuste, 2007), o que é particularmente relevante tendo em conta os resultados obtidos por Malheiro (2005), em que a evaporação do solo poderia representar até 80% das perdas totais de água por evapotranspiração numa vinha da RDD.

iii. Sistema de condução

Um sistema de condução com maior expansão vegetativa e mais produtivo terá maiores exigências hídricas, uma vez que será necessária mais água para produzir uma maior quantidade de matéria seca (Fregoni, 1999; Moutinho-Pereira, 2000; Hidalgo, 2002; Yuste, 2007). Por outro lado, tal como foi referido relativamente à densidade de plantação, apesar de um sistema de condução com uma maior área foliar ter à partida uma maior exigência de água e maiores perdas por transpiração, o efeito de sombreamento que exerce sobre o solo diminuirá as perdas por evaporação do solo. Os gastos globais de água do solo podem na verdade ser equivalentes, embora com variações, em função da área foliar, das proporções de evaporação e de transpiração no conjunto das perdas de água (Yunusa *et al.*, 1997). No entanto, para Williams (2001) não é propriamente a área foliar total que determina as necessidades hídricas da videira mas antes a superfície foliar exposta. Sistemas de condução que mantenham mais folhas expostas durante as horas de radiação solar mais intensa implicam taxas mais altas de transpiração (Wample 2001a; Wample, 2001b; Yuste, 2007). Lopes (1994) verificou que a menor superfície foliar exposta de videiras conduzidas em Guyot, comparativamente com a condução em Royat, resultava em Ψ_f de base menos negativos e consequentemente um melhor desempenho fotossintético ao longo do dia. Lissarrague *et al.* (1991) referem por sua vez que as diferenças de comportamento hídrico verificadas entre diferentes sistemas de condução se devem sobretudo às diferentes alturas do

tronco, sendo que uma menor altura facilita a ascensão da seiva, tornando a videira mais resistente a condições de déficit hídrico. Independentemente das diferentes justificações, existe um consenso quanto à importância do sistema de condução no estado hídrico da videira. Autores como Wample (2001a) e Williams (2001) defendem mesmo, em condições de regadio, a criação de coeficientes culturais ajustados às necessidades hídricas determinadas por cada sistema de condução.

iv. Fertilização do solo

A importância da fertilidade do solo nas necessidades hídricas da videira foi já abordada no ponto 2.2.2.1.1. Um déficit de nutrientes minerais pode levar a uma diminuição da condutividade hidráulica das raízes (Hidalgo, 2002). Carências de cálcio, e magnésio poderão resultar na debilitação das membranas celulares, ao passo que elementos químicos como o alumínio, cobalto, molibdênio, cobre, manganês, zinco e boro são referidos como benéficos para a resistência a situações de seca (Fregoni, 1999; Hidalgo, 2002). No entanto, os nutrientes geralmente mais associados ao estado hídrico são o azoto e o potássio. Um aumento pronunciado de azoto poderá conduzir a uma diminuição do ABA, com o consequente aumento das perdas de água por transpiração (Champagnol, 1984). O potássio é por sua vez um ião muito importante para a regulação osmótica e consequente mecanismo de abertura e fecho dos estomas (Loué *et al.*, 1986; Hidalgo, 2002).

v. Técnicas de manutenção do solo

A utilização de coberturas vegetais tem prosperado em viticultura e entre as vantagens referidas encontram-se melhorias assinaláveis na gestão da água, através sobretudo de um aumento da infiltração de água no solo (Loenard e Andrieux, 1998; Wheaton *et al.*, 2008). Wheaton *et al.* (2008), num trabalho em que foi utilizada uma cobertura vegetal composta por azevém, registaram também efeitos positivos ao nível da macroporosidade do solo, com melhorias na capacidade de armazenamento e transporte de água no solo e no desenvolvimento vertical das raízes. Monteiro e Lopes (2007) já haviam observado comportamentos radiculares semelhantes, atribuindo-os ao consumo de água nas camadas superiores do solo por parte da cobertura vegetal, o que levaria à morte das raízes mais superficiais e consequentemente ao desenvolvimento de um sistema radicular capaz de explorar as camadas mais profundas. Os mesmos autores verificaram também os benefícios já referidos de um solo “coberto” na redução das perdas de água por evaporação.

Por sua vez, Wheaton *et al.* (2008) verificaram que a aplicação superficial de gesso (natural, 84% CaSO₄), na dose de 12 toneladas por hectare, numa vinha em Victoria, Austrália, conduziram a uma melhoria das propriedades físicas e hidrológicas de um solo maioritariamente franco-arenoso, com pH entre 6 e 7, e do desenvolvimento vertical das raízes.

vi. Tratamentos químicos e hormonais

Além das práticas culturais referidas, existem também outras, não tão usuais na produção de uvas para vinho, mas já testadas experimentalmente ou utilizadas mais vulgarmente em uva de mesa, com potencial efeito nas relações hídricas da videira. É o caso da aplicação de compostos químicos que possam aumentar a resistência à secura, nomeadamente anti-transpirantes que criem um “filme” impermeável à água ou anti-metabolitos que inibam a transpiração (Fregoni, 1999). O papel de certas hormonas, tais como o ABA (Cantín *et al.*, 2007), o ácido giberélico (Williams e Ayars, 2005) ou a glicinebetaína (Mickelbart *et al.*, 2006) nas relações hídricas tem sido igualmente objecto de estudo, na tentativa de desenvolvimento de novos tipos de tratamentos. Podem-se referir a título de exemplo os resultados de Hardie *et al.* (1981) numa vinha da casta Zinfandel na Califórnia, em que, ao promover um aumento de etileno com um tratamento à base de ácido 2-cloroetilfosfónico, se verificou uma diminuição dos impactos negativos do défice hídrico na maturação, tamanho dos bagos e qualidade.

Existem contudo também alguns tratamentos mais convencionais que poderão ser igualmente benéficos face a condições ambientais exigentes. No caso concreto da RDD é vulgar os viticultores atribuírem, de uma forma empírica, um efeito “refrescante” ao tradicional tratamento fitossanitário com calda bordalesa (mistura de sulfato de cobre e leite de cal). Moutinho-Pereira (2000), em trabalhos realizados na RDD, verificou que de facto a aplicação de calda bordalesa aumenta o poder reflector das folhas, conduzindo a uma diminuição do seu aquecimento que poderá ir até aos 3°C, melhorando as trocas gasosas em videiras sujeitas a uma acção combinada de *stress* térmico, luminoso e hídrico.

vii. Rega

Os efeitos de uma menor ou maior disponibilidade hídrica na fisiologia da videira e consequentemente na sua produção foram já referidos. A possibilidade de com a rega se poder interferir de uma forma tão directa no estado hídrico das videiras faz desta uma prática tão apetecível quanto controversa (Kliewer *et al.*, 1983; Matthews e Anderson, 1988; Girona,

2005). Em ambas as situações de forte carência ou de abundância hídrica poderão resultar uvas de qualidade global medíocre ou má, com reflexos nos vinhos produzidos (Figura 2.4). O equilíbrio parece estar na gestão de um déficit hídrico moderado em períodos chave do ciclo vegetativo (Winkler *et al.*, 1974; Koundouras *et al.*, 1999). Nesta perspectiva, a utilização criteriosa da rega poderá constituir um contributo para a concretização dos objectivos produtivos (Escalona *et al.*, 1999; Cabrita *et al.*, 2001; Gaudillère *et al.*, 2002)

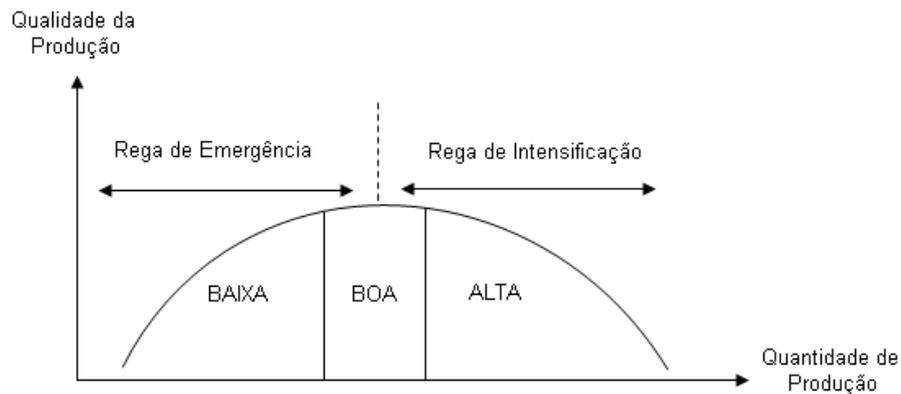


Figura 2.4 – Relação entre a intensidade da rega e a produção (adaptado de Fregoni, 1999)

Existem vários métodos de rega, nomeadamente a rega por escoamento controlado, por sulcos ou por aspersão, mas aquele que mais tem crescido em viticultura é a rega gota-a-gota. Apesar de requerer um maior nível de especialização, quer a nível de instalação, como de utilização, são várias as vantagens referenciadas da rega gota-a-gota face aos restantes métodos (Doorenbos *et al.*, 1986; Wample, 2001b; Hidalgo, 2002). A redução das perdas de água por evaporação do solo e a maior eficiência do uso da água relatadas por Araujo *et al.* (1995a,b) representam uma grande economia dos recursos hídricos. Existem também ganhos operacionais consideráveis, uma vez que, com os acessórios adequados, é possível utilizar o sistema de rega gota-a-gota para aplicar fertilizantes (Bravdo e Hepner, 1987). No entanto, Araujo *et al.* (1995a), ao comparar diferentes métodos de rega, aperceberam-se de diferenças na distribuição da água no solo. A rega gota-a-gota promove uma distribuição mais lateral e localizada da água, levando a uma maior concentração radicular próxima da superfície e do gotejador e limitando a exploração das camadas mais profundas. Neste caso pode estar a criar-se uma dependência ainda maior da rega e de fertilizações, mas, vários autores encaram tal facto como uma oportunidade, uma vez que dispendo de tais recursos se poderá ter um melhor controlo do vigor e uma maior estabilidade do estado hídrico das videiras (Bravdo e Hepner, 1987; Araujo *et al.*, 1995a,b; Ferreyra *et al.*, 2002; Gaudillère *et al.*, 2002; Souza *et*

al., 2005a). A água não deixa contudo de ser um recurso limitado e que se poderá tornar cada vez mais escasso no futuro, face às actuais previsões de evolução climática (Jones *et al.*, 2005; Payan *et al.*, 2008).

A ideia de se poder usar a rega como uma ferramenta de controlo e gestão do estado hídrico das videiras em função dos objectivos de produção, com o menor consumo de água possível, conduziu ao desenvolvimento de novas estratégias de regadio. Técnicas como o RDI (“regulated deficit irrigation”) e o PRD (“partial rootzone drying”) têm sido alvo de vários trabalhos e encontram-se em franca expansão em explorações comerciais (Stoll *et al.*, 2000; Girona, 2005; Souza *et al.*, 2005a; Collins, 2006; Chaves *et al.*, 2007; Santos *et al.*, 2007; Intrigliolo e Castel, 2009). O RDI consiste em induzir um défice hídrico moderado em períodos chave do ciclo vegetativo da videira através da redução ou supressão do fornecimento de água de rega, melhorando o controlo do vigor vegetativo (Keller, 2005; Souza *et al.*, 2005b). O efeito mais frequentemente referido é a redução do tamanho dos bagos, o que poderá aumentar a concentração de alguns compostos nobres que se encontram maioritariamente na película (Stoll *et al.*, 2000). No entanto, tal afectaria a quantidade produzida e exigiria uma monitorização atenta do estado hídrico da videira, nem sempre fácil de conseguir em explorações comerciais (Chaves *et al.*, 2007). A tentativa de tirar partido das vantagens deste tipo de défice hídrico induzido, mas de uma forma mais controlada e sustentável, levou ao desenvolvimento do PRD (Stoll *et al.*, 2000). Esta técnica utiliza não um, mas dois tubos de rega, de forma a manter, de forma alternada, um dos lados da raiz sem água. Pretende-se que essa parte do sistema radicular seja levada a “pensar” que está em situação de défice hídrico, desencadeando a produção de ABA e os consequentes efeitos no mecanismo estomático, enquanto que o outro lado é humedecido, mantendo a planta num estado hídrico favorável ao desenvolvimento e maturação dos bagos (Keller, 2005; Girona, 2005; Santos *et al.*, 2007). Geralmente o RDI e o PRD são encarados como estratégias promotoras da qualidade da produção. Santos *et al.* (2007) referem ganhos ao nível da composição fenólica e do potencial aromático em videiras sujeitas a PRD. No entanto, são vários os trabalhos a não assinalarem diferenças produtivas entre estas estratégias e a rega gota-a-gota convencional, com Intrigliolo e Castel (2009) a desaconselharem mesmo o PRD dados os custos de instalação acrescidos que implicam. A vantagem destas estratégias de rega parece residir unicamente na economia de água conseguida (que pode ir até aos 50%) para a obtenção de um mesmo objectivo produtivo (Gu *et al.*, 2000; Santos *et al.*, 2003; Keller, 2005; Girona, 2005; Souza *et al.*, 2005a; Collins, 2006).

2.2.2.3.2. Objectivos produtivos

As várias decisões técnicas e opções a tomar na vinha deverão ser sempre definidas em função dos objectivos produtivos (Wample, 2001a). Considerando que a produção de uvas de uma videira é proporcional à quantidade de matéria seca por ela sintetizada, pode-se esperar que uma vinha conduzida no sentido de ser mais produtiva seja também mais exigente em água e elementos minerais (Fregoni, 1999). No caso da uva de mesa, por exemplo, o mercado valoriza sobretudo, por ordem de importância, o seu aspecto exterior, sabor e aroma, o que levou à vulgarização desde muito cedo de práticas como a rega, no sentido de obter maiores produções e ir de encontro ao gosto do consumidor (Hidalgo, 2002). Na produção de uvas para vinho tais práticas são encaradas com cautela acrescida, face à maior complexidade da noção de qualidade e à sua susceptibilidade em relação às questões hídricas (Matthews e Anderson, 1988; Girona, 2005). Vários autores têm trabalho na definição de “itinerários hídricos” óptimos, determinando os limites máximos e mínimos de disponibilidade hídrica acima ou abaixo dos quais os objectivos de produção poderão estar comprometidos (Doorenbos *et al.*, 1986; Satti e Jacobs, 2004; Payan *et al.*, 2006; Ojeda, 2007).

2.2.3. Gestão e monitorização do estado hídrico da videira

Os mecanismos que regulam o estado hídrico de uma videira são extremamente complexos, mas na prática, tentando sintetizar várias das questões abordadas até aqui, o equilíbrio hídrico que se pretende atingir depende essencialmente de uma adequação da quantidade de água disponível para ser utilizada pela planta face às necessidades hídricas efectivas que esta apresentará para concretizar os objectivos produtivos (Huglin e Scheider, 1998). Wample (2001a) utiliza uma metáfora interessante comparando o sistema solo-planta-atmosfera a uma “conta bancária”, onde são feitos “depósitos” e “levantamentos”. A decisão de quando e como actuar requer um profundo conhecimento deste fluxo de entradas e saídas de água, assim como do conjunto dos factores ambientais, videira e Homem que os poderão condicionar (Wample, 2001b).

2.2.3.1. Determinação das necessidades hídricas de uma vinha

O consumo de água de uma cultura traduz-se geralmente pela sua evapotranspiração (ET), que integra em si as componentes da evaporação do solo e transpiração das plantas (Malheiro, 2005). Existem várias formas de estimar a ET de uma cultura. Geralmente, para efeitos de rega, a determinação da ET é feita através do recurso a modelos matemáticos, baseados em dados climáticos, que determinam a ET de uma cultura de referência (ET_0), a qual será sujeita a um coeficiente cultural (K_c), entre 0 e 1, para se obter a ET da cultura em causa. Ou seja,

$$ET_c = ET_0 \times K_c$$

Entre estes encontram-se o método da tina classe A, o método de Blaney-Criddle e o método de Penman-Monteith, sendo este último aquele que é geralmente utilizado pela FAO (Allen *et al.*, 1998; Hidalgo, 2002). Os coeficientes culturais utilizados deverão ter em conta não apenas a cultura mas também todo o conjunto de factores ambientais, genéticos e humanos referidos anteriormente, devendo desejavelmente ir evoluindo ao longo das diferentes fases do ciclo vegetativo (Doorenbos *et al.*, 1986; Williams, 2001). No quadro 2.2 encontram-se os valores de K_c definidos pela FAO para a vinha. No entanto, segundo Malheiro (2005), este não será porventura o método mais directo para culturas com a altura da vegetação e descontinuidade característicos da vinha, nem tampouco para as condições encontradas nas encostas do Douro, aconselhando à determinação local do K_c a empregar.

Quadro 2.2 – Valores de K_c da FAO para a cultura da vinha no Hemisfério Norte (Doorenbos *et al.*, 1986).

	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
A	–	–	–	–	0,45 a 0,50	0,65 a 0,75	0,75 a 0,90	0,80 a 0,95	0,75 a 0,90	0,65 a 0,75	–	–
B	–	–	–	0,45 a 0,50	0,22 a 0,65	0,60 a 0,75	0,60 a 0,75	0,60 a 0,75	0,60 a 0,75	0,50 a 0,65	0,35 a 0,40	–
C	–	–	0,25	0,45	0,60 a 0,65	0,70 a 0,75	0,70 a 0,75	0,65 a 0,70	0,55	0,45	0,35	–

(A) Vinhas adultas em zonas com geadas severas ; primeiras folhas no início de Maio e vindima em meados de Setembro; 40-50% de cobertura do solo a meio da estação;

(B) Vinhas adultas em zonas com geadas ligeiras ; primeiras folhas no início de Abril e vindima no final de Agosto – início de Setembro; 30-35% de cobertura do solo a meio da estação;

(C) Vinhas adultas em zonas quentes e secas com Inverno ameno ; primeiras folhas no final de Fevereiro – início de Março e vindima no final de Julho; 30-35% de cobertura do solo a meio da estação

Outro método vulgarmente utilizado e de aparentemente simples implementação baseia-se no balanço hídrico do solo (Payan *et al.*, 2006). Relembrando a imagem da “conta bancária” citada anteriormente, o balanço hídrico de uma vinha é composto pelo conjunto de entradas e saídas de água do solo. Do lado das entradas tem-se a água já armazenada no solo disponível para a planta, a precipitação (P) e os possíveis suplementos de água por via da rega (R). Em termos de saídas, além das eventuais perdas de água por escoamento superficial (ES) e percolação (D), tem-se a ET (Yunusa *et al.*, 1997). Ou seja,

$$ET = \Delta AFU + P + R - ES - D,$$

com ΔAFU correspondendo à variação de água facilmente utilizável pela planta no solo registada nesse período. E é precisamente na ΔAFU que se encontra a principal limitação deste método. Apesar de existirem actualmente várias formas de determinar a água no solo (como se refere no ponto 2.2.3.2.), a sua precisão é dificultada em alguns tipos de solos, nomeadamente quando são pedregosos, além de não ser igualmente fácil de estimar a profundidade à qual se encontrará a água facilmente utilizável pela videira, dada a heterogeneidade na distribuição lateral e vertical das suas raízes (Trambouze *et al.*, 1998; Lebon *et al.*, 2003).

Continuam a ser desenvolvidos e aprofundados novos métodos de determinação da ET. É o caso da utilização de dados micrometeorológicos, nomeadamente no método do balanço energético, que, apesar dos relatos dos avanços na sua pesquisa, continua ainda sem aplicação à escala comercial (Malheiro, 2005). Começa também a ser explorada a relação entre a ET e certos índices de reflectância da vegetação (a qual será abordada no ponto 2.2.3.2.1).

Em todas as abordagens até agora referidas determina-se conjuntamente a transpiração das plantas e a evaporação do solo sob a forma da ET, dada a difícil dissociação das duas componentes (Yunusa *et al.*, 2000). Mas existem formas de as medir separadamente. A evaporação do solo poderá ser obtida utilizando-se mini-lisímetros (Trambouze *et al.*, 1998). A transpiração das videiras pode ser medida *in situ* através de equipamentos portáteis como o porómetro (Smart, 1974; Reynolds *et al.*, 2007) e o analisador de gás por radiação infravermelha (IRGA) (Moutinho-Pereira, 2000), ou por via de sensores instalados no tronco das plantas que medem a velocidade do fluxo de seiva no xilema (Yunusa *et al.*, 2000; Patakas *et al.*, 2005; Intrigliolo *et al.*, 2009). Apesar de estes métodos de medição da transpiração e da evaporação separadamente terem também as suas limitações (que serão abordadas mais adiante), para Trambouze e Voltz (2001) esta é a forma mais precisa de determinar a ET.

2.2.3.2. Monitorização do estado hídrico da videira

O acompanhamento do estado hídrico da videira ao longo do seu ciclo vegetativo poderá permitir ao técnico e viticultor decidir quando e como actuar. Da determinação das necessidades e momentos de rega, à decisão de efectuar uma despona ou desfolha para diminuir a área transpirante, até à definição da própria data de vindima, as possibilidades de acção no domínio das relações hídricas são variadas (Bernard *et al.*, 2004). É portanto necessário dispor-se em tempo útil de informação fidedigna que permita tomar a melhor opção técnica para a concretização dos objectivos produtivos (Payan *et al.*, 2006). Entre as várias ferramentas actualmente disponíveis, encontram-se métodos baseados na avaliação do estado hídrico do solo ou das plantas (Williams, 2001; Intrigliolo *et al.*, 2007; Zufferey e Murisier, 2007).

2.2.3.2.1. Métodos de avaliação do estado hídrico do solo

O solo, ao armazenar a água que será utilizada pelas plantas, é não só uma das peças chave das relações hídricas das videiras, como pode constituir também uma fonte de informação para a monitorização do estado hídrico de uma vinha (Payan *et al.*, 2006). Apesar das limitações impostas pela heterogeneidade dos solos e da distribuição lateral e vertical das raízes da videira (Lebon *et al.*, 2003), a avaliação baseada no estado hídrico do solo é frequentemente utilizada, existindo actualmente várias formas de a realizar (Williams, 2001). O único método directo de determinação da humidade do solo é a gravimetria, sendo que os restantes métodos medem outras propriedades do solo que variam com o seu conteúdo em água (Charlesworth, 2005).

i. Gravimetria

É o método de referência, sendo a humidade do solo obtida através da diferença de peso de um dado volume de amostra do solo antes e depois da sua desidratação em estufa. A sua principal limitação é o facto de não indicar a tensão de retenção da água no solo, ou seja, quantifica a água do solo mas não permite saber qual será a fracção facilmente utilizável pela planta (Magalhães, 2008).

ii. Potencial hídrico do solo

O potencial hídrico do solo é a força com que a água está retida no solo, sendo portanto aquela que o sistema radicular terá de vencer para absorver a água. O instrumento de medição mais usado é o tensiómetro. É um método simples e relativamente económico (cerca de 100€ a unidade). No entanto apenas funciona satisfatoriamente para tensões menos negativas que -80 kPa, ou seja, em solos de textura ligeira e em condições de baixa carência hídrica. Além disso, dada a heterogeneidade natural dos solos e da distribuição das raízes é difícil que cubra verdadeiramente a zona de extracção de água pelas plantas. Para melhores e mais representativos resultados seria necessária a instalação de um elevado número de tensiómetros o que, aliado à manutenção frequente que estes requerem, aumentaria consideravelmente os seus custos (Intrigliolo *et al.*, 2007).

iii. Blocos de resistência eléctrica

Outra forma de medir a tensão da água no solo, mas de uma forma indirecta, é através de blocos de resistência eléctrica. Estes são compostos por dois eléctrodos introduzidos num bloco de um material poroso enterrado no solo. À medida que o solo é humedecido ou seca, a água entra ou sai do bloco. A resistência eléctrica medida entre os dois eléctrodos do bloco é inversamente proporcional ao seu conteúdo em água. Essa resistência será convertida, mediante equações de calibração, num valor de tensão da água do solo. O material poroso é geralmente gesso, tendo surgido mais recentemente sensores de um material de matriz granular mais resistente (Watermark®). A sua gama de acção é bastante mais ampla que os tensiómetros, podendo no caso dos Watermark ir dos -10 aos -200 kPa. A sua instalação é simples, económica (cerca de 30€ por unidade + 200€ para o leitor) e praticamente não requerem manutenção durante a sua vida útil (5 a 7 anos para os Watermark), podendo o seu registo ser automatizado. No entanto existem também algumas limitações, sendo pouco precisos em solos de textura arenosa, além do facto das leituras da resistência serem afectadas não apenas pela humidade mas também por outros factores, como a temperatura e salinidade elevada e, comparativamente com outros métodos, terem um tempo de resposta maior às variações do estado hídrico do solo (Hanson, 2001; Charlesworth, 2005; Intrigliolo *et al.*, 2007).

iv. Sonda de neutrões

A sonda de neutrões consiste num equipamento que se introduz no solo através de tubos de acesso de alumínio previamente instalados, composto por um emissor e um detector de neutrões. A fonte radioactiva emite neutrões rápidos que ao chocarem com átomos de igual massa, fundamentalmente o hidrogénio das moléculas de água do solo, se tornam neutrões lentos que são contados por um detector. Esse valor será convertido, através de uma equação de calibração, num teor de humidade do solo. Trata-se de um equipamento bastante preciso, motivando a sua ampla utilização nos anos 80 e 90, quer em trabalhos de investigação como em algumas explorações comerciais, nomeadamente na Austrália. No entanto, além de dispendioso, requer um manuseamento muito cuidado, devido ao efeito deletério das radiações emitidas (Intrigliolo *et al.*, 2007)

v. Propriedades dieléctricas do solo (TDR e FDR)

A constante dieléctrica (ϵ) expressa a capacidade de transmissão de um impulso electromagnético através de um determinado meio. Uma vez que as partículas de solo e o ar contido nos seus poros têm uma ϵ muito baixa comparativamente à água (respectivamente cerca de 1, 2 a 5 e 80), quando se mede a ϵ do solo no seu conjunto, as variações encontradas são praticamente função da sua humidade. Esse valor será portanto convertido, através de uma equação de calibração, num teor de humidade do solo. Existem duas classes de instrumentos que utilizam este método: os TDR e os FDR (Charlesworth, 2005; Hanson, 2001; Magalhães, 2008).

As sondas TDR (“Time Domain Reflectometry”) medem a ϵ através do registo da velocidade de passagem de um sinal electromagnético através do solo (que é função da ϵ). Nos equipamentos mais vulgares, essa velocidade (e conseqüentemente a ϵ e a humidade do solo na zona coberta pela sonda) é obtida através do tempo decorrido entre a emissão de uma onda electromagnética por um conjunto de varetas de aço ligadas a um gerador introduzidas no solo e a sua recepção por uma unidade de controlo. São instrumentos precisos e com poucas necessidades de recalibração entre diferentes locais, mas também bastante dispendiosos, requerendo uma instalação fixa para medidas em profundidade e podendo implicar ainda o uso de alguns acessórios electrónicos adicionais (Charlesworth, 2005; Hanson, 2001; Magalhães, 2008).

As sondas FDR (“Frequency Domain Reflectometry”) medem a ϵ pela colocação do solo entre dois discos eléctricos formando um capacitor (ou condensador), motivo pelo qual são também conhecidas como “sondas de capacitância”. Ao aplicar-se uma diferença de potencial entre os dois discos eléctricos obtém-se uma determinada frequência, que varia com a ϵ e conseqüentemente com o teor de humidade do solo. É a tecnologia que mais se tem expandido no domínio da monitorização da água do solo, com vantagens consideráveis ao nível da facilidade de manuseamento e preço, nomeadamente em relação à sonda de neutrões. Consoante os modelos, o equipamento pode realizar medições simultaneamente a várias profundidades (podendo ir além dos 1,5 m), ser fixo com registos automatizados ou portátil podendo efectuar medições em diferentes pontos, mediante a instalação prévia de tubos de acesso no solo. Apesar de geralmente trazerem uma calibração de fabrico, para uma melhor precisão é recomendada a calibração para cada local com o auxílio do método gravimétrico. Em todo o caso são geralmente menos precisos que os TDR e bastante dependentes de uma correcta instalação dos tubos de acesso (Charlesworth, 2005; Hanson, 2001; Magalhães, 2008).

2.2.3.2.2. Métodos de avaliação do estado hídrico da videira

A planta integra em si todo o conjunto de factores a que está sujeita (solo, clima, práticas culturais, etc.) sendo portanto passível de fornecer uma informação mais directa e real da sua condição (Choné *et al.*, 2001, Cifre *et al.*, 2005; Patakas *et al.*, 2005; Intrigliolo e Castel, 2007). Os indicadores baseados em parâmetros fisiológicos da videira são particularmente úteis na monitorização do seu estado hídrico, sendo também cada vez mais utilizados na definição de itinerários hídricos que permitam atingir os objectivos produtivos da vinha (Handley, 2001; Deloire *et al.*, 2005; Girona, 2006; Shellie, 2006).

i. Potencial hídrico foliar

A medição do potencial hídrico foliar (Ψ_f) através do recurso à câmara de pressão (Scholander *et al.*, 1965) é por muitos considerado o método de referência de monitorização do estado hídrico de uma vinha (Choné *et al.*, 2001; Ferreyra *et al.* 2002; Deloire *et al.* 2005; Patakas *et al.*, 2005; Girona *et al.*, 2006; Baeza *et al.*, 2007). Este método consiste em cortar uma folha pelo pecíolo e submetê-la, no interior de uma câmara estanque, a uma pressão crescente (por injeção de azoto ou ar comprimido) até se observar a saída de seiva pelo corte. A pressão (em -MPa) registada no manómetro da câmara nesse momento corresponde ao Ψ_f (Linares *et al.*, 2007). Quanto menos água livre existir na planta, em resultado de uma menor disponibilidade hídrica, maior será a pressão necessária para provocar a sua saída pelo pecíolo, ou seja, mais negativo será o Ψ_f (Smart, 1974; Deloire *et al.*, 2005). Apesar das reconhecidas potencialidades deste método, não existe ainda consenso quanto ao melhor período do dia para se efectuar a medição (Baeza *et al.*, 2007). Os valores menos negativos são atingidos antes do amanhecer, quando os estomas estão fechados, assumindo-se assim que o potencial hídrico da planta estará em equilíbrio com o potencial hídrico do solo, sendo este conhecido como Ψ_f de base (Deloire *et al.*, 2005). Vários autores consideram que este facto, a par de uma boa correspondência com a taxa fotossintética em condições de défice hídrico, fazem do Ψ_f de base um bom indicador do estado hídrico da videira (Carbonneau, 1998; Lopes *et al.*, 1999; Choné *et al.*, 2001; Cifre *et al.*, 2005; Malheiro, 2005). Outros autores defendem precisamente o contrário (Donovan *et al.*, 2001; Gaudillère *et al.*, 2002), sugerindo em alternativa a medição do Ψ_f ao meio-dia solar (Ψ_f mínimo), momento em que este atinge os seus valores mais negativos, reflectindo portanto o nível máximo de carência hídrica atingido pelas plantas (Williams, 2001; Kennedy *et al.*, 2002; Girona *et al.*, 2006; Shellie, 2006; Baeza *et al.*, 2007; Linares *et al.*, 2007). O Ψ_f mínimo é por sua vez contestado pelos

defensores do Ψ_f de base. É o caso de Medrano *et al.* (2007), que referem que nem sempre existe uma correspondência entre o Ψ_f medido ao meio-dia solar e a condutância estomática, podendo-se observar valores semelhantes de Ψ_f face a níveis diferentes de carência hídrica, possivelmente devido ao comportamento isohídrico de algumas castas. Mais consenso parece reunir por enquanto a medição do potencial hídrico do sarmento (Ψ_s), visto parecer apresentar uma maior sensibilidade às variações de disponibilidade hídrica relativamente ao Ψ_f , fruto da correlação encontrada com a transpiração (Choné *et al.*, 2001; Ferreyra *et al.* 2002; Deloire *et al.*, 2005; Patakas *et al.*, 2005; Zufferey e Murisier, 2007). O Ψ_s é medido normalmente ao meio-dia solar em folhas tapadas cerca de duas horas antes (com uma folha de papel de alumínio ou plástico) de forma a anular a transpiração da folha, o que leva a que o Ψ_f se equilibre com o potencial hídrico de todo o sarmento (Deloire *et al.*, 2005). A medição do Ψ_f é já utilizada à escala comercial na definição de umbrais que permitam a gestão do estado hídrico da vinha ao longo do seu ciclo vegetativo. A figura 2.5 retrata um exemplo deste tipo de estratégia. Há que ter contudo em conta que a medição do Ψ_f nas suas várias vertentes é um método destrutivo, trabalhoso, sem possibilidade de automação e que requer uma ampla amostragem para ser representativo (Greenspan e Matthews, 1995; Strever, 2005).

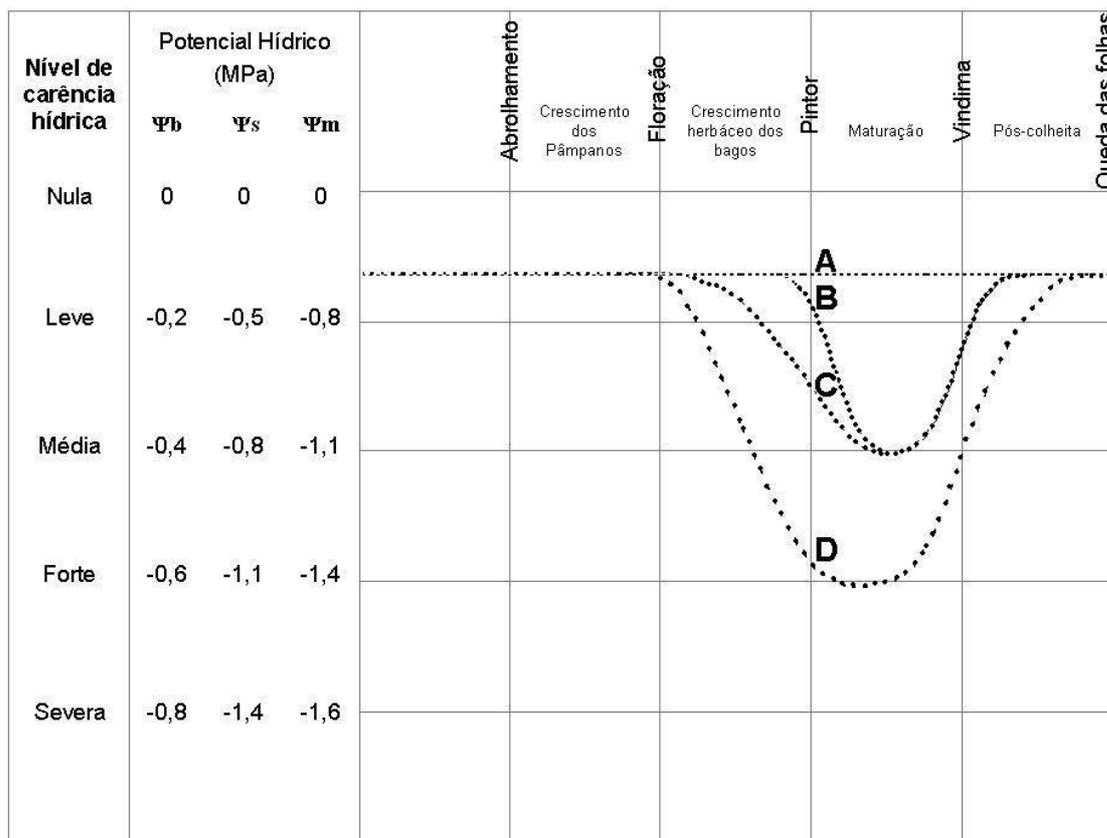


Figura 2.5 – Itinerários hídricos (adaptado de Ojeda, 2007) de A a D definidos ao longo do ciclo vegetativo da videira segundo umbrais de Ψ de base (Ψ_b), Ψ do sarmento (Ψ_s) e Ψ mínimo (Ψ_m) em função de diferentes objectivos produtivos:

- (A) mosto concentrado, sumo de uva, vinhos básicos e jovens, vinhas em formação;
- (B) vinhos básicos, ligeiros, frutados;
- (C) vinhos de qualidade, equilibrados, mas com predominância de fruta sobre a estrutura;
- (D) vinhos de qualidade, concentrados, equilibrados e aptos para guarda.

ii. Trocas gasosas

Uma das primeiras reacções da planta a uma situação de baixa disponibilidade hídrica consiste na diminuição da abertura estomática (Loveys, 1984; Cifre *et al.*, 2005).

As trocas gasosas poderão ser assim um importante indicador de carência hídrica (Naor e Wample, 1995; Flexas *et al.*, 2004 ; Cifre *et al.*, 2005; Medrano *et al.*, 2007). Flexas *et al.* (2004) consideram a condutância estomática (g_s) um parâmetro integrador dos vários sinais associados à resposta da planta ao défice hídrico. A grande correlação encontrada entre a g_s e a fotossíntese levou inclusive um grupo de investigadores a definir diferentes níveis de défice hídrico e expectável impacto na actividade fotossintética, com potencial utilização na monitorização do estado hídrico de uma vinha (Quadro 2.3). É importante contudo recordar que na resposta da fotossíntese à carência hídrica podem estar também envolvidas limitações não estomáticas, sobretudo em situações de maior severidade (como referido no ponto 2.2.1),

pelo que a avaliação da g_s deve ser complementada com a taxa fotossintética (A). A razão A/g_s (eficiência intrínseca do uso da água) permitirá avaliar o tipo de limitações envolvidas na resposta da fotossíntese à carência hídrica (Naor e Wample, 1995; Flexas *et al.*, 2004).

Quadro 2.3 – Variação da g_s consoante o nível de carência hídrica e impacto na fotossíntese na videira (Flexas *et al.*, 2002; Medrano *et al.*, 2002; Cifre *et al.*, 2005)

Condutância estomática (g_s) (mol H ₂ O.m ⁻² .s ⁻¹)	Nível de carência hídrica	A	A/ g_s	C _i	ETR	ε	Tipo de limitação da fotossíntese
0,50 > g_s > 0,15	Leve	-	+	-	-	=	Limitação estomática
0,15 > g_s > 0,05	Médio	-	+	-	-	-	Limitação estomática dominante e início de não estomáticas.
g_s < 0,05	Severo	-	-	+	-	-	Limitações não estomáticas dominantes

(-) diminui, (+) aumenta, (=) não varia;

(A) Fotossíntese, (A/ g_s) Eficiência intrínseca do uso da água, (C_i) Concentração de CO₂ nos espaços intercelulares, (ETR) Taxa de transporte de electrões da tilacóide, (ε) Eficiência de carboxilação.

Certos autores defendem que apenas se deve regar a cultura da vinha quando a condutância estomática desce abaixo do nível de carência hídrica médio (0,15 > g_s > 0,05), uma vez que este nível permite uma razão A/g_s máxima, uma rápida recuperação da fotossíntese após rega e uma melhor qualidade das uvas, com perdas reduzidas de rendimento comparativamente a uma rega intensiva (Flexas *et al.*, 2002; Medrano *et al.*, 2002; Cifre *et al.*, 2005).

A medição da condutância estomática, entre outros parâmetros relacionados com as trocas gasosas, é feita com recurso a equipamentos portáteis como o porómetro e o IRGA. Apesar de Intrigliolo *et al.* (2009) considerarem o IRGA extremamente fiável para este fim e da vantagem de se tratar de um método não destrutivo (Smart, 1974), tais equipamentos continuam a ser mais utilizados para fins científicos do que em explorações comerciais, facto a que não é alheio o seu elevado custo e a especialização exigida para o seu manuseamento (Intrigliolo *et al.*, 2007). Além disso, tratando-se de medições em folhas individuais, a

amostragem é sempre complexa, não sendo igualmente possível uma monitorização em contínuo (Lu *et al.*, 2003).

iii. Fluxo de seiva

Nos últimos anos tem aumentado o interesse na determinação da taxa de transpiração através da medição da velocidade do fluxo de seiva no xilema (Yunusa *et al.*, 2000; Trambouze e Voltz, 2001; Lu *et al.*, 2003; Cifre *et al.*, 2005; Malheiro, 2005; Patakas *et al.*, 2005; Intrigliolo *et al.*, 2009). Este método parte do princípio que o fluxo de seiva ao longo do tronco de uma planta equivale à sua transpiração total (Trambouze *et al.*, 1998). Existem três metodologias diferentes: (1) o “pulso de calor” determina o fluxo de seiva através do tempo necessário para um pulso de calor aplicado num dado ponto do tronco ser transferido para um outro ponto (Cohen *et al.*, 1981); (2) as sondas de dissipação térmica, nas quais se assume que a descida de temperatura de uma “agulha” aquecida inserida no tronco resulta da transferência por convecção do calor para a seiva que flui nessa secção (Granier, 1985); (3) o “balanço de calor” baseia-se no pressuposto de que ao fornecer uma quantidade conhecida de calor numa parte do tronco, este será dissipado transversal e longitudinalmente pelo fluxo de seiva ao longo do tronco, sendo, segundo Medrano *et al.* (2007), o método mais directo. Patakas *et al.* (2005) sugeriram já a sua utilização na definição de estratégias de rega em tempo real, passível inclusive de total automatização, baseando-se na razão (FS_i/FS_r) entre as médias diárias do fluxo de seiva da videira a avaliar (FS_i) e de uma videira “de referência” regada a 100% da ET_c (FS_r). Os trabalhos realizados com cv. Malagouzia enxertada em 110 R em Epanomi (Grécia) levam os autores a aconselharem a manutenção das vinhas a uma razão FS_i/FS_r acima de 0,8, uma vez que abaixo deste valor as quedas na taxa fotossintética são mais acentuadas.

A medição da velocidade do fluxo de seiva no xilema é portanto um método extremamente funcional e que fornece muita informação, possibilitando uma monitorização contínua das perdas de água da planta e das suas necessidades em resposta às variáveis ambientais (Lu *et al.*, 2003; Cifre *et al.*, 2005; Patakas *et al.*, 2005; Medrano *et al.*, 2007). Embora vários autores defendam a fiabilidade deste método na gestão do estado hídrico da vinha (Ginestar *et al.*, 1998; Trambouze *et al.*, 1998; Lu *et al.*, 2003; Patakas *et al.*, 2005; Medrano *et al.*, 2007), outros põem em causa a sua precisão, referindo a necessidade de calibração para cada local com recurso a outros métodos e que, ainda assim, os seus resultados ficariam aquém de equipamentos alternativos, como o IRGA (Yunusa *et al.*, 2000; Intrigliolo *et al.*, 2009). Há que ter ainda em conta que, sendo uma técnica intrusiva, pode

implicar alguma interferência com o desempenho natural da planta, além de se tratar de uma instalação fixa e portanto menos flexível (Cifre *et al.*, 2005). Os custos de implantação são elevados, facto que poderá também, por sua vez, limitar a amostragem.

iv. Micrometria

O efeito da disponibilidade hídrica na actividade fotossintética e conseqüentemente no crescimento das plantas foi já por diversas vezes abordado. A possibilidade de se poder aproveitar este reconhecido efeito no crescimento como um indicador do estado hídrico da planta era já referida por Smart (1974), associando a redução no diâmetro do tronco da videira a condições de carência hídrica severa. As variações diárias do diâmetro do tronco dependem sobretudo do grau de hidratação dos tecidos da planta. A utilização de sensores conhecidos como dendrómetros permite o registo contínuo dessas variações, a fim de as relacionar com o estado hídrico da planta (Cifre *et al.*, 2005; Intrigliolo e Castel, 2007). Tratando-se de equipamentos relativamente económicos, podem ser instalados em grande número, possibilitando uma maior amostragem (Cifre *et al.*, 2005). A boa correlação com o fluxo de seiva registada por Escalona *et al.* (2002) levou os autores a estabelecerem correspondências com a taxa fotossintética e com a condutância estomática passíveis de serem utilizadas na gestão do estado hídrico de uma vinha. No entanto, os resultados obtidos por Intrigliolo e Castel (2007) mostram que a máxima contracção diária (MCD, diferença entre o diâmetro máximo e o mínimo registados num mesmo dia) e a taxa de crescimento (TC, diferença entre os diâmetros máximos registados em dois dias consecutivos) apenas se correlacionam com o estado hídrico da videira até ao pintor. Tal, segundo os autores, parece dever-se à mudança nas relações “source-sink” que ocorre ao pintor, em que passam a ser os bagos o destino principal e dominante dos fotoassimilados, o que coincide também com um envelhecimento e perda de elasticidade dos tecidos neste mesmo período, deixando assim de existir diferenças significativas nas variações do diâmetro do tronco em função do estado hídrico da videira. A TC apresentou ainda assim melhores resultados que a MCD, mas ambos os registos apresentaram uma elevada variabilidade e a sua utilidade parece limitar-se ao período que antecede o pintor.

v. Temperatura da folha

O papel da transpiração no sistema de regulação térmica das plantas está na base desta abordagem. Numa situação de carência hídrica a planta encerra os seus estomas para diminuir as perdas de água por transpiração, existindo portanto um menor dispêndio de energia

calorífica para a evaporação das moléculas de água e conseqüentemente um aquecimento das folhas (Smart e Robinson, 1992; Bernard *et al.*, 2004). A temperatura das folhas pode assim ser usada como um indicador do estado hídrico das plantas (Jones *et al.*, 2002; Bernard *et al.*, 2004; Grant *et al.*, 2007). De uma forma muito empírica, a própria palpação das folhas pode dar alguma indicação da sua temperatura (Magalhães, 2008). Mas uma avaliação rigorosa requer instrumentação adequada, pelo que ao longo dos anos se foi recorrendo cada vez mais à termometria de infravermelhos, pela sua capacidade de automação e monitorização contínua, carácter não invasivo, não afectando o comportamento natural das folhas, e pela amplitude do seu campo de visão, indo desde folhas individuais até vários hectares (Cifre *et al.*, 2005; Jones *et al.*, 2002; Grant *et al.*, 2007). As primeiras abordagens neste domínio fazem uso de um termómetro de infravermelhos apontado à vegetação, através do qual se determina o índice “crop water stress index”,

$$\text{CWSI} = (T_f - T_{\text{hum}}) / (T_{\text{sec}} - T_{\text{hum}}),$$

em que “ T_f ” é a temperatura da vegetação em questão, “ T_{hum} ” é a temperatura da vegetação de uma cultura semelhante mas em condições de total disponibilidade hídrica e “ T_{sec} ” é a temperatura da vegetação de uma cultura semelhante mas sem transpiração (Jones *et al.*, 2002). No entanto, o facto das medições da generalidade dos termómetros de infravermelhos disponíveis serem na realidade uma média de toda a área coberta pode introduzir erros, uma vez que não se diferenciam folhas expostas das folhas sombreadas, nem mesmo do tronco, postes, solo, céu ou outros elementos externos que possam inadvertidamente ter sido incluídos na leitura (Jones *et al.*, 2002; Grant *et al.*, 2007). O advento da captura de imagens termográficas abriu novas perspectivas, ultrapassando-se as limitações apresentadas pelos termómetros de infravermelhos, através da possibilidade de correcção das imagens (eliminação dos pixéis de elementos externos à vegetação). Trabalhos recentes introduziram melhorias nos métodos de captura e tratamento das imagens e nos índices resultantes, podendo-se destacar os realizados por um grupo de investigadores em vinhas do sul de Portugal (Jones *et al.*, 2002; Grant *et al.*, 2007). Grant *et al.* (2007) foram mesmo capazes de distinguir não só videiras com ou sem défice hídrico, como também de distinguir diferentes tratamentos de rega através das imagens termográficas e encontraram uma boa correlação com outros indicadores fisiológicos (condutância estomática e potencial hídrico foliar). Um exemplo deste tipo de análise pode ser observado na figura 2.6. Trata-se contudo de uma tecnologia cara, que requer um suporte informático sofisticado, de análise complexa e cuja

adaptação a uma escala regional por via de imagens de satélite é dificultada pela forte absorção da radiação infravermelha pela atmosfera (Medrano *et al.*, 2007).

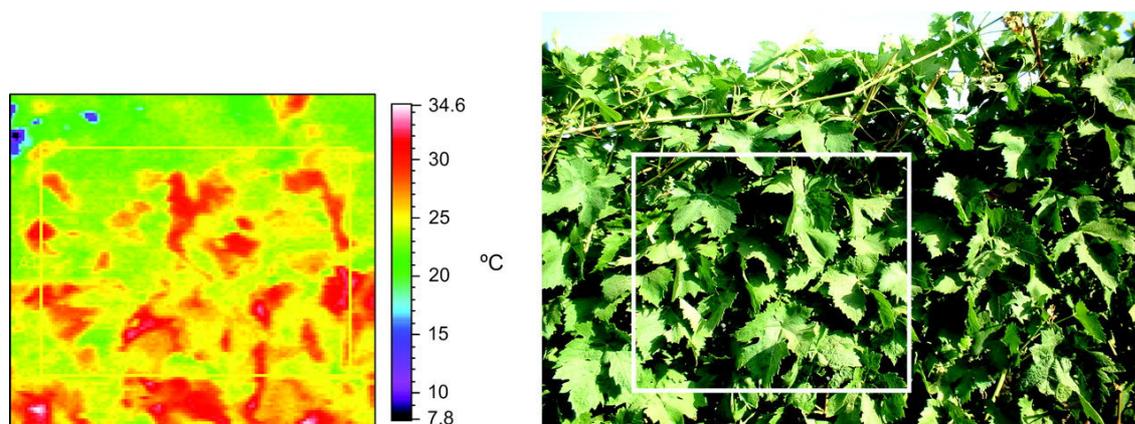


Figura 2.6 – Exemplo de uma imagem termográfica de uma vinha no sul de Portugal (Grant *et al.*, 2007).

vi. Discriminação isotópica do carbono ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$)

Grande parte dos indicadores referidos reflecte o estado hídrico apresentado pela videira no momento específico em que os dados são colhidos. Seria contudo importante dispor de um indicador capaz de integrar em si as constantes variações a que as videiras estão sujeitas ao longo do seu ciclo vegetativo (Gaudillère *et al.*, 2002; Chaves *et al.*, 2007). Esse indicador poderá ser a discriminação isotópica do carbono ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$). Durante a fotossíntese existe uma incorporação preferencial do isótopo ^{12}C em relação ao ^{13}C . Todos os factores que afectem a condutância estomática e/ou a actividade fotossintética, como a carência hídrica, radiação ou deficit de pressão de vapor, afectarão também a discriminação isotópica do carbono. A razão $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ nos tecidos vegetais é assim por muitos considerada uma espécie de assinatura da acção destes factores ao longo da estação de crescimento (Farquhar *et al.*, 1989; Gaudillère *et al.*, 2002; Souza *et al.*, 2003; Badeck *et al.*, 2005; Souza *et al.*, 2005b). É medida por espectrometria de massa, apresentando uma correlação elevada com a eficiência intrínseca do uso da água da planta (A/g_s) e com a razão entre as concentrações de CO_2 intercelular e atmosférico (Farquhar *et al.*, 1989; Badeck *et al.*, 2005). Embora possa ser realizada em vários tecidos vegetais, no caso concreto da sua potencial utilização como indicador do estado hídrico da videira a discriminação é mais evidente nos bagos do que nas folhas (Souza *et al.*, 2003) e ainda mais particularmente na polpa (Souza *et al.*, 2005b; Chaves *et al.*, 2007) e nos açúcares dos bagos (Gaudillère *et al.*, 2002; Guix-Hébrard *et al.*, 2007; Zufferey e Murisier, 2007). A razão $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ na polpa ou nos açúcares dos bagos poderá portanto ser utilizada como um indicador do estado hídrico da videira, integrando em si as

condições de disponibilidade de água, não apenas no momento da sua medição, mas ao longo de todo o período da maturação (Souza *et al.*, 2003; Gaudillère *et al.*, 2002; Gachons *et al.*, 2005; Souza *et al.*, 2005b; Chaves *et al.*, 2007; Guix-Hébrard *et al.*, 2007; Zufferey e Murisier, 2007). Para Deloire *et al.* (2005) este método apresenta vantagens operacionais pelo facto de não requerer medições de campo (as amostras são colhidas e analisadas num laboratório especializado), o que poderá permitir uma maior amostragem e com melhor representatividade espacial. A variabilidade genética exibida pela razão $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ poderá, segundo Gaudillère *et al.* (2002), ser ainda utilizada para aferir a resistência das diferentes castas ao défice hídrico, associando valores mais negativos de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ a uma maior tolerância a condições de baixa disponibilidade de água.

vii. Fluorescência da clorofila

A energia recebida pelas plantas que excede as suas necessidades fotossintéticas é dissipada maioritariamente pelas clorofilas do PSII sob a forma de fluorescência. A sensibilidade que o PSII apresenta a vários tipos de *stress* ambiental, entre os quais a carência de água, levou ao desenvolvimento de procedimentos de análise dos sinais de fluorescência (FC) e à possibilidade destes serem utilizados como indicadores do estado hídrico das plantas (Moutinho-Pereira, 2000; Evain *et al.*, 2004; Dobrowski *et al.*, 2005). Entre os vários parâmetros de FC existentes, a fluorescência estacionária (F_s) é aquele que oferece maiores potencialidades, uma vez que, ao contrário dos outros, o seu sinal não necessita de ser induzido com flashes ou lasers, podendo assim ser avaliado a distâncias maiores (Cifre *et al.*, 2005; Evain *et al.*, 2004; Dobrowski *et al.*, 2005). A amplitude de avaliação neste momento vai de folhas a escassos centímetros através de fluorómetros portáteis, até à sua captura em grande escala por sensores espectrais colocados em aviões, estando ainda em estudo a possibilidade da detecção por satélite (Cifre *et al.*, 2005; Dobrowski *et al.*, 2005). As boas correlações que a F_s apresenta com a taxa fotossintética e com a condutância estomática, aliadas ao facto de se tratar de um método não invasivo, não destrutivo e passível de detecção remota abrem boas possibilidades para a integração num futuro próximo da análise dos sinais de FC em sistemas de monitorização do estado hídrico de vinhas (Flexas *et al.*, 2000; Evain *et al.*, 2004; Dobrowski *et al.*, 2005).

viii. Reflectância da vegetação

O vigor e o crescimento vegetativo são parâmetros a ter em consideração na gestão do estado hídrico da vinha, não só pela sua importância na produção resultante, mas também pela

informação que poderão fornecer (Best *et al.*, 2005). A determinação da área foliar há muito que é realizada através de medição directa de folhas cortadas, tratando-se de uma metodologia bastante precisa, mas extremamente morosa e destrutiva, sendo geralmente mais utilizada para fins científicos do que propriamente em explorações comerciais (Johnson *et al.*, 2003a). A relação encontrada entre a área foliar e a reflectância da vegetação a diferentes comprimentos de onda abriu caminho ao desenvolvimento de tecnologia de detecção remota através de fotografias aéreas ou captadas por satélite para uma possível monitorização do vigor (e consequentemente dos factores que o influenciam, como a disponibilidade de água) em grande escala (Montero *et al.*, 1999; Cifre *et al.*, 2005; Strever, 2005). Entre os vários índices de reflectância da vegetação desenvolvidos, o mais conhecido é porventura o NDVI (“normalized difference vegetation index”), obtido segundo a seguinte expressão:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R})/(\text{NIR} + \text{R}),$$

em que “NIR” e “R” são respectivamente as reflectâncias registadas na gama do infravermelho próximo e do vermelho. A boa correlação verificada entre o NDVI e o índice de área foliar leva a prever igualmente uma boa correspondência com o comportamento fisiológico e com a produção resultante (Montero *et al.*, 1999; Johnson *et al.*, 2003a; Best *et al.*, 2005). Existem já exemplos da sua aplicação na definição de estratégias de rega em vinhas comerciais na Califórnia, em que a ET usada num modelo de balanço hídrico é extrapolada a partir do NDVI (Johnson *et al.*, 2003b). O projecto europeu DEMETER (“Demonstration of Earth observation technologies in routine irrigation advisory services”) apresenta uma abordagem semelhante com o objectivo de criar um sistema de avisos que auxilie os agricultores a fazerem uma gestão adequada da água, estando já a ser adaptado para a cultura da vinha no Alentejo por parte das entidades oficiais (Jochum *et al.*, 2006; Fabião *et al.*, 2009). No entanto, certos autores revelam algumas reservas em relação ao NDVI, visto não verificarem na prática uma ligação directa com o desempenho fisiológico da videira em tempo-real (nomeadamente com a fotossíntese). Este índice parece reflectir sobretudo alterações ao nível da arquitectura da vegetação (i.e., ângulo das folhas) e da concentração de pigmentos que, apesar de integrarem em si um efeito cumulativo das condições ambientais ao longo de um dado período, são mais estáticos, não evidenciando as variações de uma forma suficientemente rápida e directa que permita, na sua opinião, uma utilização em tempo-real (Evain *et al.*, 2004; Cifre *et al.*, 2005; Dobrowski *et al.*, 2005; Strever, 2005). É proposto em

alternativa um outro índice, conhecido pela sigla PRI (“photochemical reflectance index”), obtido segundo a seguinte expressão:

$$\text{PRI} = (\text{R531} - \text{R570}) / (\text{R531} + \text{R570}),$$

em que “R531” e “R570” são respectivamente a reflectância a um comprimento de onda de 531 nm e 570 nm) que, pela sua ligação ao estado de de-epoxidação dos carotenóides xantofílicos, seria mais sensível a variações fotossintéticas rápidas em videiras sujeitas a regime hídricos diferenciados (Evain *et al.*, 2004; Dobrowski *et al.*, 2005). Para Dobrowski *et al.* (2005) os resultados do PRI, embora melhores que o NDVI, continuam a ficar aquém dos de outros métodos de detecção remota, como a análise dos sinais de FC.

2.3. Impacto da disponibilidade hídrica na produção

Os objectivos na produção de uva para vinho são complexos, com a qualidade tendo muitas vezes prioridade sobre a quantidade produzida (Matthews e Anderson, 1988). O estado hídrico da videira afecta ambas as vertentes da produção (quantidade e qualidade), sendo o seu efeito variável não apenas com a quantidade de água disponível mas também com a fase de desenvolvimento da videira (Bravdo e Hepner, 1987; Van Leeuwen e Seguin, 1994; Roby e Matthews, 2004; Matthews e Kriedemann, 2006; Shellie, 2006). Os traços gerais da relação entre o estado hídrico da videira e a sua produção foram já abordados no ponto 2.2.2.2.2, encontrando-se resumidos no quadro 2.4. Será agora analisado em maior pormenor o impacto da disponibilidade hídrica em alguns componentes concretos da produção.

Quadro 2.4 – Impacto do estado hídrico da videira ao longo do ciclo vegetativo na sua produção.

	Défi ce hídrico intenso	Disponibilidade hídrica excessiva
<u>Abrolhamento</u>		
↓	<ul style="list-style-type: none"> . Abrolhamento irregular . Pâmpanos curtos . Menor diferenciação floral . Menos cachos e de menor tamanho 	<ul style="list-style-type: none"> . Maior crescimento vegetativo . Afecta a floração . Alonga o ciclo vegetativo . Atraso da maturação
<u>Floração</u>		
↓	<ul style="list-style-type: none"> . Atrasa o desenvolvimento da flor . Vingamento deficiente . Desavinho e bagoinha . Menos bagos e de menor tamanho . Ano seguinte: menos cachos e bagos 	<ul style="list-style-type: none"> . Desvio para os ápices vegetativos da fracção energética destinada aos fenómenos reprodutivos, podendo provocar desavinho e bagoinha
<u>Vingamento</u>		
↓	<ul style="list-style-type: none"> . Menor área foliar . Atraso da maturação . Menor tamanho dos bagos . Secagem dos cachos 	<ul style="list-style-type: none"> . Crescimento exagerado dos bagos . Privilegia o crescimento vegetativo . Atraso da maturação
<u>Pintor</u>		
↓	<ul style="list-style-type: none"> . Desfolha prematura . Menos fotossíntese . Atrasos na maturação, maturações incompletas ou sobrematuração (desidrataç ão dos bagos, menos rendimento, mostos desequilibrados). 	<ul style="list-style-type: none"> . Maior tamanho bagos . Maior rendimento . Diluição dos compostos solúveis
<u>Vindima</u>		
Após a vindima	<p>Vantagem em haver alguma água disponível para:</p> <ul style="list-style-type: none"> . Prolongamento da actividade fotossintética (maior acumulação de reservas) . Permitir a renovação e crescimento das raízes 	

Fonte: Buttrose, 1974; Carbonneau e Pasteran, 1979; Kliewer *et al.*, 1983; Bravdo *et al.*, 1985; Doorenbos *et al.*, 1986; Matthews *et al.*, 1987; Matthews e Anderson, 1988; Matthews e Anderson, 1989; Morlat *et al.*, 1992; Lopes, 1994; Reynolds e Naylor, 1994; Riou, 1994; Van Leeuwen e Seguin, 1994; Fregoni, 1999; Vicente-Paulo *et al.*, 2001; Wample, 2001b; Gaudillère *et al.*, 2002; Hidalgo, 2002; Myburgh, 2003; Magalhães, 2008.

2.3.1. Rendimento

O impacto da disponibilidade hídrica na quantidade de uvas produzidas pelas videiras tem sido ao longo dos anos alvo de inúmeros estudos. O senso comum aponta geralmente para que a uma maior disponibilidade de água corresponda uma maior produção. No entanto, a necessidade de um uso mais racional de um recurso escasso como é a água e a preocupação com a qualidade das uvas produzidas exigem um conhecimento mais profundo da relação entre a água e a produção.

Vários trabalhos apresentam uma relação proporcional entre a produção das videiras e a dotação de rega (Creasy e Lombard, 1993; Arnold e Williams, 2001; Esteban *et al.*, 2001; Nadal e Lampreave, 2007). Outros autores, como Garcia-Escudero *et al.* (1994) e Intrigliolo e Castel (2009), apesar de verificarem também um aumento de produção face ao tratamento não regado, não encontraram diferenças significativas entre diferentes dotações de rega. Santos *et al.* (2003; 2007) não encontraram igualmente diferenças nas quantidades produzidas entre tratamentos regados com 50% da ETc ou com 100% da ETc. Tal facto pode implicar uma economia considerável de água, uma vez que, com metade da dotação se conseguiu produzir quantidades equiparáveis. Resultados semelhantes foram obtidos por Kennedy *et al.* (2002).

Por sua vez, o momento em que a água está disponível poderá ter porventura um impacto ainda maior no rendimento. Hardie e Considine (1976) apontavam já para um impacto mais negativo no rendimento quando a carência hídrica ocorria nas fases iniciais do desenvolvimento. Ao longo dos anos vários trabalhos reforçaram esta ideia, parecendo estabelecer o período anterior ao pintor como o mais sensível, em termos de rendimento, às questões hídricas (Morris e Cawthon, 1982; Matthews *et al.*, 1990; Myburgh, 2003; Reynolds, *et al.*, 2007). Segundo Matthews e Anderson (1989), apesar do défice hídrico ser geralmente mais acentuado no final da estação, o rendimento parece depender mais da disponibilidade hídrica antes do pintor.

Para melhor compreender as variações do rendimento da videira, é importante decompô-lo nos seus diferentes componentes. Este é assim função do número de cachos produzidos e do peso dos cachos, ambos correlacionados com a disponibilidade de água no solo (Matthews e Anderson, 1989).

O número de cachos depende em primeiro lugar das condições do ano anterior, sendo a formação dos botões florais favorecida por um final de Primavera / início de Verão com uma carência hídrica moderada aliada a altas temperaturas e alta radiação (Carbonneau e

Pasteran, 1979; Doorenbos *et al.*, 1986; Matthews e Anderson, 1989; Fregoni, 1999). Já no período compreendido entre o abrolhamento e a floração não deve existir déficit hídrico de forma a permitir um abrolhamento regular, uma boa diferenciação floral e a obtenção de um maior número de cachos (Buttrose, 1974; Matthews *et al.*, 1987; Myburgh, 2003). Embora não exista um consenso absoluto, vários autores registraram um maior número de cachos em videiras regadas, sobretudo antes do pintor (Matthews e Anderson, 1989; Ferreyra *et al.*, 2002; Shellie, 2006; Garcia-Escudero, 2007; Nadal e Lampreave, 2007).

O peso dos cachos é por sua vez função do número e peso dos bagos. Segundo diversos autores, o número de bagos é favorecido por uma carência hídrica moderada no período compreendido entre a floração e o vingamento, de modo a possibilitar uma paragem vegetativa e privilegiar os fenómenos reprodutivos (Carbonneau e Casteran, 1979; Bravdo *et al.*, 1985; Myburgh, 2003). No entanto, tal como no número de cachos, alguns autores referem também um maior número de bagos em videiras regadas, sobretudo antes do pintor (Matthews e Anderson, 1989; Ferreyra *et al.*, 2002).

Apesar da importância dos vários componentes do rendimento, para diversos autores as grandes diferenças de produção entre videiras com diferentes disponibilidades hídricas devem-se sobretudo ao tamanho dos bagos (Creasy e Lombard, 1993; Garcia-Escudero *et al.*, 1994; Baeza *et al.*, 2007; Reynolds *et al.*, 2007; Intrigliolo e Castel, 2009). O padrão de crescimentos dos bagos segue uma curva duplo-sigmóide (Figura 2.7) que pode ser dividida em três fases: (I) 1ª fase de crescimento por divisão e expansão celular entre o vingamento e o pintor; (II) fase estacionária durante o pintor; (II) 2ª fase de crescimento por expansão celular entre o pintor e a maturação, motivada pela acumulação de açúcares (Hardie e Considine, 1976; Shellie, 2006; Thomas *et al.*, 2006; Castellarin *et al.*, 2007; Fouquet *et al.*, 2008).

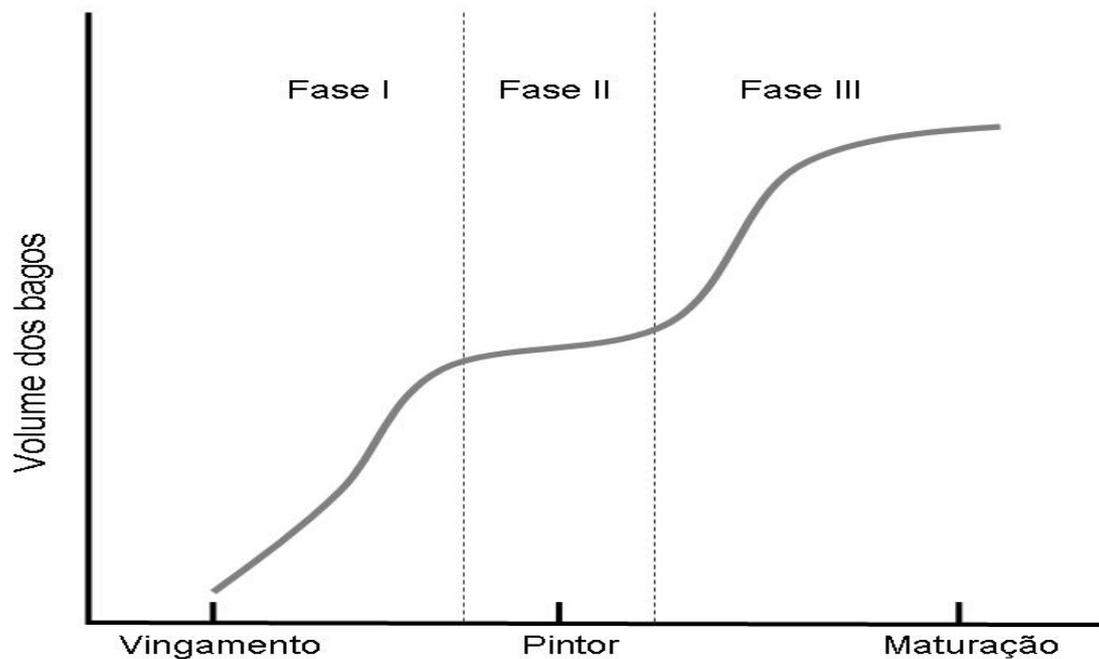


Figura 2.7 – Fases de crescimento dos bagos (adaptado de Hardie e Considine, 1976)

Estas três fases estão correlacionadas com o estado hídrico da videira (Deloire *et al.*, 2005). Muitos trabalhos referem um aumento do tamanho dos bagos com a disponibilidade hídrica (Freeman e Kliewer, 1983; Hepner *et al.*, 1985; Creasy e Lombard, 1993; Arnold e Williams, 2001; Esteban *et al.*, 2001; Kennedy *et al.*, 2002; Ojeda *et al.*, 2002; Gachons *et al.*, 2005; Bindon *et al.*, 2007; Garcia-Escudero, 2007; Nadal e Lampreave, 2007; Santos *et al.*, 2007; Payan *et al.*, 2008; Intrigliolo e Castel, 2009). Outros autores, aprofundando um pouco mais a questão, referem que é na primeira fase de crescimentos dos bagos que a água mais afectará o seu tamanho, sendo que uma maior disponibilidade hídrica nesta fase resulta em bagos maiores (Matthews e Anderson, 1988; Matthews e Anderson, 1989; Greenspan *et al.*, 1994; Ferreyra *et al.*, 2002; Shellie, 2006; Castellarin *et al.*, 2007). Já na segunda fase de crescimento, que geralmente se considera ser também afectada pelo estado hídrico da videira, mesmo que em menor grau (Vicente-Paulo *et al.*, 2001; Thomas *et al.*, 2006; Baeza *et al.*, 2007), para alguns autores esse impacto não é suficiente para gerar diferenças significativas no tamanho dos bagos (Greenspan *et al.*, 1994; Santos *et al.*, 2003; Koundouras *et al.*, 2006). Esta hipotética diferença de sensibilidade das duas fases de crescimento dos bagos à disponibilidade hídrica julgava-se ser devida à ocorrência de uma ruptura parcial dos vasos xilémicos do pedicelo após o pintor, o que levaria a que o fluxo de seiva para o bago, que até aí se fazia através do xilema (e como tal em ambos os sentidos), passasse a ser feito preferencialmente pelo floema, limitando como tal as saídas de água do bago, numa espécie

de mecanismo de defesa dos bagos à desidratação durante a maturação (Greenspan *et al.*, 1994; Fouquet *et al.*, 2008). Contudo, estudos recentes referem que os vasos xilémicos permanecem intactos após o pintor, podendo efectivamente verificar-se um fluxo de água dos bagos para a videira durante a maturação, caso exista um gradiente de potenciais hídricos que o motive (Dai *et al.*, 2010)

2.3.2. Composição do mosto

A grande discussão em torno da disponibilidade hídrica na cultura da vinha prende-se sobretudo com o potencial impacto que esta poderá ter na qualidade dos vinhos produzidos. Tradicionalmente a rega da vinha era considerada uma prática lesiva para a qualidade. Actualmente é aceite que, tanto condições de abundância, como de carência hídrica, poderão ter um impacto negativo na qualidade das uvas produzidas e dos vinhos resultantes (Kliwer *et al.*, 1983; Doorenbos *et al.*, 1986; Jackson e Lombard, 1993; Lopes, 1994; Reynolds e Naylor, 1994; Van Leewen e Seguin, 1994; Vicente-Paulo *et al.*, 2001; Acevedo *et al.*, 2005; Gachons *et al.*, 2005; Girona, 2005; Koundouras *et al.*, 2006; Santos *et al.*, 2007; Intrigliolo e Castel, 2009). A procura do ponto de equilíbrio implica a compreensão dos diferentes mecanismos através dos quais a disponibilidade hídrica poderá afectar a qualidade das uvas (Ginestar *et al.*, 1998; Roby e Matthews, 2004).

A relação entre o estado hídrico da videira e o crescimento vegetativo da videira poderá explicar algumas das potenciais variações qualitativas da produção. Para Koundouras *et al.* (2006) esta é na verdade a principal forma de acção da disponibilidade hídrica sobre a qualidade. Como foi já referido anteriormente, a fase do pintor representa um ponto de viragem na repartição dos fotoassimilados e as videiras deverão então estar sujeitas a uma carência hídrica moderada capaz de provocar a desejável paragem do crescimento vegetativo que fará dos bagos os novos receptores prioritários dos fotoassimilados (Castellarin *et al.*, 2007; Garcia-Escudero, 2007). No entanto, caso exista demasiada água disponível durante este período, o crescimento vegetativo poderá não ser interrompido, o que por um lado desviará fotoassimilados que estariam destinados aos bagos, e por outro lado aumentará a área foliar, podendo provocar um sombreamento excessivo dos cachos. Tal poderá conduzir a atrasos de maturação ou mesmo a maturações incompletas (Hepner *et al.*, 1985; Doorenbos, 1986; Lopes, 1994; Ginestar *et al.*, 1998; Ferreyra *et al.*, 2002; Souza *et al.*, 2005a;

Koundouras *et al.*, 2006; Intrigliolo e Castel, 2009). Poderá igualmente originar uma maior incidência de problemas fitossanitários, nomeadamente de *Botrytis cinerea*, dado o menor arejamento que existirá na zona dos cachos (Doorenbos, 1986; Arnold e Williams, 2001). Estes tipos de problemas fitossanitários são igualmente potenciados pela ocorrência de precipitação próxima à colheita, não só pela humidade acrescida, mas também pelo aumento súbito de volume dos bagos, provocando fissuras nas películas. O viticultor é colocado perante o dilema entre ter de colher as suas uvas mais cedo, e portanto não totalmente maduras, para não comprometer o seu estado sanitário, ou tentar aguardar por uma maturação mais completa mas com risco qualitativos e fitossanitários associados (Jackson e Lombard, 1993).

Passando para o extremo oposto, uma situação de carência hídrica intensa após o pintor conduz a uma diminuição da taxa fotossintética e da própria superfície fotossintetizante, em resultado da senescência prematura e queda precoce das folhas da base dos lançamentos. O processo de acumulação de fotoassimilados é assim afectado, originando, tal como na situação de excesso de água, atrasos na maturação ou maturações incompletas (Hardie e Considine, 1976; Doorenbos *et al.*, 1986; Lopes, 1994; Handley, 2001; Wample, 2001b). Por sua vez, os cachos poderão ficar demasiado expostos à radiação solar, resultando um microclima menos favorável para a sua correcta maturação, com o aparecimento de escaldões ou um emurchecimento dos bagos e conseqüente excessiva concentração de compostos solúveis, o que poderá resultar em mostos desequilibrados, com alto teor em açúcares mas deficientes em acidez e possíveis problemas na condução da fermentação (Smart, 1974; Doorenbos, 1986; Vicente-Paulo *et al.*, 2001). Ou seja, embora os mecanismos sejam diferentes, o impacto da abundância ou carência hídrica excessivas na qualidade poderá ser igualmente negativo. O ideal seria manter as videiras sujeitas a um défice hídrico moderado de modo a reduzir o crescimento vegetativo e permitir a acumulação de compostos orgânicos nobres no bago, salvaguardando a qualidade do vinho (Winkler *et al.*, 1974; Hepner *et al.*, 1985; Koundouras *et al.*, 1999; Oliveira, 2001; Ferreyra *et al.*, 2002; Souza *et al.*, 2005a; Santos *et al.*, 2007; Intrigliolo e Castel, 2009).

É vulgar a consideração, geralmente empírica, de que se a uma maior disponibilidade hídrica corresponde uma maior produção, então a qualidade será menor. Embora tal associação quantidade/qualidade seja frequente, esta ideia carece de exactidão. Uma maior disponibilidade de água durante o período desejável de crescimento dos lançamentos (do abrolhamento ao pintor, com a excepção de cerca de duas semanas em torno da floração) poderá permitir o desenvolvimento de uma estrutura fotossintética mais robusta, mantendo ou

mesmo aumentando a razão área foliar/produção, o que poderá compensar qualitativamente os aumentos na quantidade produzida (Matthews *et al.*, 1987; Iacono *et al.*, 1994; Lopes, 1994; Garcia-Escudero, 2007; Intrigliolo e Castel, 2009).

Continuando na óptica da relação quantidade/qualidade, o tamanho dos bagos, tal como muitos consideram ser o parâmetro de produção mais importante para as variações do rendimento total com o estado hídrico da videira (Creasy e Lombard, 1993; Garcia-Escudero *et al.*, 1994; Baeza *et al.*, 2007; Reynolds, *et al.*, 2007; Intrigliolo e Castel, 2009), é igualmente apontado como um dos principais responsáveis pelas diferenças qualitativas resultantes. Geralmente considera-se que o maior tamanho dos bagos, em resultado de uma maior disponibilidade hídrica, poderá levar a uma diluição dos seus constituintes e a uma diminuição da razão película/polpa, afectando o conteúdo em componentes tão importantes para a qualidade como os açúcares, aromas e compostos fenólicos (Kliewer *et al.*, 1983; Hepner *et al.*, 1985; Doorenbos, 1986; Reynolds e Naylor, 1994; Van Leeuwen e Seguin, 1994; Koundouras *et al.*, 1999; Ferreyra *et al.*, 2002; Gaudillère *et al.*, 2002; Deloire *et al.*, 2005; Intrigliolo e Castel, 2009). No entanto, diversos autores consideram que o cerne da questão não está no tamanho do bago isoladamente, mas sim no factor que provoca a sua variação (Matthews e Anderson, 1988; Matthews e Anderson, 1989; Matthews *et al.*, 1990; Greenspan *et al.*, 1994; Roby e Matthews, 2004; Matthews e Kriedemann, 2006). Se é verdade que bagos mais pequenos derivados de um défice hídrico moderado poderão de facto apresentar uma maior concentração de compostos solúveis e uma maior qualidade, o mesmo poderá não ocorrer se a diminuição de tamanho resultar de variações no desenvolvimento reprodutivo dos bagos (Matthews e Kriedemann, 2006). Roby e Matthews (2004) e Matthews e Kriedemann (2006) referem que, na verdade, a razão massa de película/ massa de polpa não é afectada de uma forma consistente pelo tamanho dos bagos, sendo que o seu aumento em bagos de videiras sujeitas a uma carência hídrica moderada resulta sobretudo de um aumento da espessura da película (independentemente do tamanho), devido possivelmente a uma menor sensibilidade do crescimento das células da película ao défice hídrico relativamente às células do mesocarpo, cujo crescimento é mais afectado. É assim de esperar que os bagos de videiras sujeitas a uma carência hídrica moderada apresentem uma maior quantidade dos compostos que estão presentes na película (tais como taninos e antocianinas), estando estes geralmente associados a um melhor potencial qualitativo (Roby e Matthews, 2004; Matthews e Kriedemann, 2006). Os mesmos investigadores verificaram também que a massa total de grainhas aumenta com o tamanho dos bagos, devido a um aumento da massa por grainha e do número de grainhas por bago. Embora a massa de cada grainha não apresente diferenças

consistentes em função da disponibilidade hídrica, as videiras com menos água disponível exibiam um maior número de grainhas por bago, aumentando assim a massa total das grainhas em relação a bagos de igual tamanho de videiras com uma maior disponibilidade hídrica. Uma maior massa total das grainhas significará uma maior quantidade dos seus constituintes por bago, nomeadamente de taninos (Roby e Matthews, 2004; Matthews e Kriedemann, 2006).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Materiais

3.1.1. Campo experimental

Em 2003, no âmbito de um projecto financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia, foi estabelecido um campo experimental na sub-região do Douro Superior para recolha de informação que permitisse avaliar o impacto de regimes hídricos diferenciados nas vinhas e mostos da RDD. O presente trabalho reporta-se aos registos efectuados nos anos de 2004, 2005 e 2006.

A escolha da sub-região do Douro Superior para a realização deste trabalho prende-se com o facto de esta ser a mais seca e quente durante o período estival das três sub-regiões da RDD (Anexo I – Temperatura e precipitação na RDD). Por esse facto é também aquela em que existem já algumas explorações vitícolas em regime de regadio. As condições edafoclimáticas existentes, a par da disponibilidade e interesse manifestados pelos proprietários, levaram à implantação do nosso ensaio numa vinha em exploração comercial de 2,5 hectares da Quinta do Vale Meão no concelho de Vila Nova de Foz Côa (41° 08' Norte, 7° 08' Oeste) com sete anos de idade em 2003. A parcela tem um declive entre os 0 e os 8% e cada bardo possui uma linha de rega gota a gota com gotejadores auto compensantes espaçados 0,30 m e que debitam 2,3 litros por hora.

3.1.1.1. Solo

Geologicamente, a RDD assenta quase na totalidade num complexo xisto-grauváquico, embora existam também algumas manchas graníticas (Anexo II – Litologia da RDD). Os solos originais da RDD consistem numa associação de *Litossolos* e *Cambiosolos distrícos*, apresentando uma espessura de tal forma pequena (10-25 cm) que dificilmente permite o estabelecimento da videira. Como tal, houve necessidade de uma grande intervenção do Homem, com desagregação da rocha-mãe e armação do terreno,

constituindo-se os *Antrossolos* em que as vinhas da RDD estão implantadas (Martins, 1985; COBA, 1987; Oliveira, 2001). É o caso do solo da parcela escolhida, sendo derivado de xisto e apresentando as características de alteração antropogénica referidas.

3.1.1.2. Clima

O clima da RDD caracteriza-se por temperaturas médias anuais entre os 10 e os 16°C (Anexo I) e insere-se, quase na sua totalidade, no grupo climático *Quente*, o que significa que o seu potencial heliotérmico ultrapassa as necessidade para amadurecer as uvas, mesmo em castas mais tardias, existindo mesmo algum risco de ocorrência de *stress* térmico. Existem contudo partes da sub-região do Douro Superior, nomeadamente a zona onde se insere o nosso campo de ensaio, que passam já para a classe climática *Muito Quente*, na qual geralmente se considera que as temperaturas são de tal forma altas que a maturação já não consegue ocorrer correctamente (Tonietto e Carbonneau, 2004; Magalhães, 2008). A título de exemplo, entre 97 regiões vitícolas analisadas por Tonietto e Carbonneau em 2004, apenas 8 se enquadravam na classe climática *Muito Quente*, todas elas com pouca tradição na produção de vinhos de qualidade visto tratarem-se maioritariamente de climas intertropicais, com possibilidade de mais de uma colheita anual, como Petrolina no Brasil ou Ludihana na Índia.

As variações da precipitação na RDD são consideráveis, começando abaixo dos 400 mm em partes da sub-região do Douro Superior e ultrapassando os 1200 mm no limite ocidental da sub-região do Baixo Corgo (Anexo I). O défice hídrico estival é moderado no Baixo Corgo e intenso no Cima Corgo e no Douro Superior (Moutinho-Pereira, 2000). Na zona do Douro Superior onde se insere o nosso campo de ensaio a precipitação é de cerca de 400 mm por ano, com 100 mm de Maio a Setembro, e pode ser tão baixa quanto 7 mm ou 0 mm em Agosto, valores típicos de climas semi-áridos (Magalhães, 2008).

A evaporação obtida em Tina da Classe A excede os 1460 mm por ano, dos quais 950 mm ocorrem de Maio a Setembro, com média superior a 6 mm por dia (Mendes, 1991).

3.1.1.3. Material vegetal

A parcela seleccionada apresenta um encepamento de *Vitis vinífera* L. cv. *Tinta Roriz* enxertada em 1103P com 7 anos de idade em 2003. A vinha está conduzida em cordão *Royat* unilateral e com um compasso de 2 metros de distância na entrelinha e 1 metro de distância entre videiras na linha. Quando a vegetação está totalmente desenvolvida, a sebe é mantida por despona a uma altura ao solo de 1,6 m e largura entre 0,6 e 0,8 m. As infestantes são controladas por aplicação de herbicida (glifosato).

A casta *Tinta Roriz* é uma das mais representativas de Portugal, bem como de toda a Península Ibérica, adoptando por vezes diferentes nomes consoante a região. Em Espanha são várias as sinónimas: *Tempranillo* (La Rioja), *Cencibel* (La Mancha), *Jacivera*, *Tinta de Toro*, *Tinta del Pais* (Ribera del Duero), *Tinto Fino*, *Ull de Llebre* (Catalunha) e *Tinto de Madrid*. Já em Portugal podemos encontrá-la como *Tinta Roriz* no Douro e Dão e como *Aragonês* no Alentejo (OIV, 2010; Martinez-de-Toda e Sancha, 2007). A casta é bastante sensível a doenças, sobretudo ao oídio, e tem um ciclo curto, com pintor e maturação precoces, daí a designação espanhola *Tempranillo* de “uva temprana”, em português “uva precoce” (Martinez-de-Toda e Sancha, 2007). Em termos enológicos é bastante versátil, carácter ilustrado pelos diferentes vinhos que dela podem resultar, indo dos clássicos “Gran Reservas” de *La Rioja*, até aos Vinhos do Porto, onde representa geralmente um importante papel nos melhores lotes (Viniportugal, 2010).

A escolha da casta para este estudo deveu-se a três razões fundamentais:

- 1º - É uma das castas mais importantes da RDD – está entre as cinco variedades recomendadas actualmente pelas entidades oficiais e é a segunda casta mais plantada na RDD, com cerca de 5500 hectares, representando 8% do encepamento regional (IVV, 2003);
- 2º - É uma casta particularmente sensível à disponibilidade hídrica – tradicionalmente inconstante, produz por vezes excessivamente em anos mais húmidos, com prejuízo na qualidade, e nos anos mais secos tem quebras geralmente mais acentuadas que outras castas (Martinez-de-Toda e Sancha, 2007);
- 3º - Alargamento do espectro de relevância do estudo – é uma casta que não se encontra exclusivamente no Douro, estando bem representada em várias regiões vitícolas de Portugal, como o Dão e o Alentejo, e do Mundo. Em Espanha, país que possui actualmente a maior área de vinha plantada do mundo (cerca de 1.200.000 hectares) e que ocupa o terceiro lugar na produção global de vinhos (com uma quota de cerca de 13%), a casta é uma das mais

importantes em termos vitícolas e enológicos (OIV, 2010). Esta importância e expressão alargada da variedade permite assim comparar e cruzar os resultados obtidos com outros trabalhos realizados nas demais regiões e aumentar a relevância do presente trabalho que, não se confinando unicamente ao contexto regional, poderá revestir-se de um interesse acrescido.

3.1.1.4. Delineamento experimental

A disponibilidade hídrica afecta a produção (quantidade e qualidade) da videira, não apenas em função da quantidade de água que terá à disposição, mas também do momento em que essa mesma água se encontra disponível (Matthews *et al.*, 1990; Ferreyra *et al.*, 2002; Roby e Matthews, 2004; Girona *et al.*, 2006; Matthews e Kriedemann, 2006). Foram assim definidos seis tratamentos experimentais, com 120 plantas cada, localizadas em três bardos distintos numa disposição completamente aleatória: não regado (NR), regado da floração ao pintor à taxa de 4 mm por dia (FP1), regado da floração ao pintor à taxa de 8 mm por dia (FP2); regado do pintor à maturação à taxa de 4 mm por dia (PM1), regado do pintor à maturação à taxa de 8 mm por dia (PM2) e regado da floração à maturação à taxa de 8 mm por dia (FM2). Os 4 e 8 mm correspondem, respectivamente, a 50 e 100% da evapotranspiração potencial (ET).

Quadro 3.1 – Resumo das modalidades regadas definidas. A estas junta-se a testemunha não regada (NR).

Dotação de rega Período de rega	50% ET (4 mm.dia ⁻¹)	100% ET (8 mm.dia ⁻¹)
Floração – Pintor	FP1	FP2
Pintor – Maturação	PM1	PM2
Floração – Maturação	–	FM2

3.2. Métodos

3.2.1. Registos ambientais

Foi colocada uma estação meteorológica (*Delta-T Devices LTD.*) no campo experimental, registando a precipitação e a temperatura do ar em intervalos de uma hora. A quantidade de água no solo ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) foi medida semanalmente da floração até à maturação comercial através do recurso a uma sonda FDR (*Delta-T Devices LTD.*) desde os 0,1 m até aos 0,9 m de profundidade em 3 tubos de acesso colocados aleatoriamente no bardo do meio de cada tratamento.

3.2.2. Determinações Fisiológicas

Na avaliação do impacto dos diferentes regimes hídricos na actividade fisiológica das videiras foram utilizados diversos métodos de determinação do estado hídrico da planta, além de se ter medido também outros parâmetros que pudessem ser, de alguma forma, afectados pela variável em estudo. Foram assim medidos e analisados diversos parâmetros no decurso das diferentes fases do ciclo vegetativo da videira abrangidas pelo período do tratamento. O interesse da utilização de vários métodos prendeu-se igualmente com o desejo de encontrar formas expeditas de diagnóstico do estado hídrico da videira que pudessem ser implementadas por técnicos e viticultores.

Alguns dos métodos foram já descritos no ponto 2.2.3.2.1. (*Métodos de avaliação do estado hídrico da videira*).

3.2.2.1. Trocas gasosas das folhas

As trocas gasosas das folhas foram acompanhadas através de um IRGA, funcionando em modo diferencial e em circuito aberto (mod. LCA-3, *Analytical Development Co.Ltd.*). Efectuaram-se leituras em dois períodos do dia: meio da manhã (10:00-11:00) e meio-dia solar (14:00-15:00). As leituras foram realizadas em 6 videiras por tratamento, em uma folha por videira, todas elas expostas directamente à radiação solar, localizadas no terço superior

de lançamentos de vigor médio (Moutinho-Pereira, 2000). Segundo as equações propostas por von Caemmerer e Farquhar (1981) e por Flexas *et al.* (1998) foi possível determinar a fotossíntese aparente (A), a taxa de transpiração (E), a condutância estomática (g_s), a concentração de CO_2 nos espaços intercelulares (C_i) e a eficiência intrínseca do uso da água (expressa como A/g_s).

3.2.2.2. Potencial hídrico foliar

O potencial hídrico foliar foi determinado com uma câmara de pressão (*ELE International*, UK) segundo o método descrito por Sholander *et al.* (1965). As medições foram efectuadas em 6 videiras por tratamento (uma folha por videira), em 3 períodos distintos do dia: antes de amanhecer (cerca das 6:00), ao meio da manhã (10:00-11:00), ao meio-dia solar (14:00-15:00) e ao fim da tarde (18:00-19:00).

3.2.2.3. Área foliar total

A área foliar total (cm^2) por metro de comprimento do bardo foi medida em quatro repetições por tratamento utilizando o método da redução da intensidade da radiação solar (Oliveira e Santos, 1995). Este é um método extremamente simples, rápido, não destrutivo e, de acordo com resultados obtidos pelos seus autores, bastante fiável comparativamente aos métodos mais convencionais, como os equipamentos de bancada de integração da área. O método da redução da intensidade da radiação solar baseia-se na lei de Beer, estabelecendo uma correlação entre a intercepção da radiação solar pela folhagem da videira, medida com um ceptómetro (*Delta-T Devices LTD.*) e a sua área foliar total. A natureza do procedimento implicou que as leituras tivessem que ser realizadas apenas em dias de céu limpo.

3.2.2.4. Fluxo de Seiva

A velocidade do fluxo de seiva obteve-se através do recurso a sondas de dissipação térmica (DT). Para esse efeito, seleccionou-se um conjunto de videiras sãs e com um diâmetro de tronco de aproximadamente 5 cm. Deste conjunto foram escolhidas ao acaso duas videiras por tratamento nas quais se instalaram as sondas DT (*Dynamax Inc.*, Houston; Lu *et al.*, 2004) cerca de 5 cm abaixo da inserção do lançamento principal inferior. Os registos do fluxo de seiva foram realizados num período de 5 dias em torno de cada uma das datas das medições do potencial hídrico e trocas gasosas, sendo desligadas no restante período para minimizar os danos nos tecidos. Durante estes 5 dias o fluxo de seiva foi medido em intervalos de 60 segundos, armazenando-se a média de cada 60 minutos.

3.2.2.5. Fluorescência da clorofila *a in vivo*

A fluorescência da clorofila *a* foi medida através de um fluorímetro portátil, comercialmente designado por PSM (*Plant Stress Meter*) (*Biomonitor AB S.C.I.*, Suécia; Öquist e Wass, 1988). Este equipamento permitiu o registo da fluorescência basal (F_0), medida na ausência de qualquer luminosidade, correspondendo à situação em que todos os centros de reacção do PSII estão oxidados, e da fluorescência máxima (F_m), obtida mediante a saturação dos centros de reacção do PSII com um flash luminoso de forte intensidade capaz de reduzir completamente o aceitador primário de electrões (Moutinho-Pereira, 2000). Foi igualmente registado o tempo médio entre F_0 e F_m ($t_{1/2}$) e calcularam-se a fluorescência variável ($F_v = F_m - F_0$) e a razão F_v/F_m . Efectuaram-se leituras em 3 períodos do dia (6:00, 10:00 e 14:00), incidindo-se em 6 folhas (uma por videira) do terço superior de lançamentos de vigor médio por tratamento, previamente escurecidas (através da colocação de “molas” protectoras fornecidas pelo fabricante do equipamento) por um período de 30 a 45 minutos.

3.2.2.6. Pigmentos clorofilinos das folhas

A quantidade de clorofilas presentes nas folhas constitui um importante indicador do estado fisiológico de uma planta, dado o papel destes pigmentos na fotossíntese (Jesus e Marengo, 2008; Steele *et al.*, 2008a). A sua quantificação pelo tradicional procedimento de extracção e análise laboratorial é contudo morosa, destrutiva e dispendiosa. A avaliação de clorofilas das folhas entrou numa nova etapa com o advento de aparelho portáteis, como o SPAD (“Soil Plant Analysis Development”) (*Minolta Co., Ltd.*, Japão), que permitem uma medição rápida e não destrutiva das clorofilas (Bavaresco, 1995; Fanizza *et al.*, 2001a; Fanizza *et al.*, 2001b; Jesus e Marengo, 2008). A quantificação das clorofilas é neste caso realizada através da correlação com o valor lido no aparelho, que resulta da medição da transmissão na gama dos 650 nm (luz vermelha), à qual a clorofila absorve luz, e na gama dos 940 nm (radiação infravermelha) à qual a absorvância das clorofilas é desprezível (Hoel e Solhaug, 1998; Jesus e Marengo, 2008).

Este método tem sido cada vez mais utilizado na videira (Bavaresco, 1995; Fanizza *et al.*, 2001a; Zulini *et al.*, 2007; Cortell *et al.*, 2005; Steele *et al.*, 2008a) e, apesar de não estar entre os métodos mais usuais de diagnóstico do estado hídrico das plantas (motivo pelo qual não foi incluído no ponto 2.2.3.2.1. *Métodos de avaliação do estado hídrico da videira*), alguns autores já o utilizaram com essa finalidade (Fanizza *et al.*, 2001b; Rogiers *et al.*, 2009). Tal motivou a inclusão do SPAD no presente trabalho, a par da facilidade e rapidez da sua utilização e do facto do equipamento (SPAD-502, *Minolta Co., Ltd.*, Japão) se encontrar já disponível num dos departamentos envolvidos no projecto.

Efectuaram-se 2 leituras por folha, das quais se registou a média, em 15 folhas sãs por tratamento.

3.2.3. Avaliação da Produção

3.2.3.1. Registos de campo

Na data assumida como a correspondente à maturação comercial foi realizada uma avaliação quantitativa da produção através do registo do número de cachos e seu respectivo peso em 5 videiras por tratamento.

Em Janeiro, ao realizar-se a poda, registaram-se também o número de lançamentos principais, secundários e ladrões, a carga à poda, os olhos dormentes e o peso da lenha de poda, calculando-se assim o peso médio de cada lançamento. O peso da lenha de poda e peso médio de cada lançamento, segundo Champagnol (1978), reflectem respectivamente a expressão vegetativa e o vigor.

A combinação dos dados obtidos na vindima e na poda permitiu calcular o índice de fertilidade potencial (n.º de inflorescências / olhos abrolhados) e o índice de *Ravaz* (produção / lenha de poda).

3.2.3.2. Análises laboratoriais

No período compreendido entre o pintor e a vindima foram colhidas aleatoriamente amostras de 250 bagos com três repetições dos diferentes tratamentos de rega em 3 datas: ao pintor, à maturação comercial e numa data intermédia. Os bagos colhidos foram congelados a -20°C , conservando-se assim para posterior utilização. Estes bagos foram mais tarde sujeitos a uma avaliação quantitativa e qualitativa, com particular incidência nos parâmetros hoje aceites como diferenciadores do potencial enológico das uvas, nomeadamente: açúcares, acidez, pH, compostos fenólicos e precursores aromáticos. Todos os registos e análises foram efectuados com 3 repetições por cada tratamento.

3.2.3.2.1. Peso e volume de 100 bagos

Para cada amostra registou-se o peso de 100 bagos e esmagaram-se os mesmos para uma proveta de 100 ml, de forma a obter-se o seu volume em mosto. A razão entre os dois valores (peso / volume) corresponde ao rendimento das uvas.

3.2.3.2.2. Açúcares

A concentração de açúcares das uvas foi determinada por refractometria (OIV, 2000), com um refractómetro de campo (ATAGO, *Leo Kübler GmbH*, Alemanha). A partir desse valor obteve-se o correspondente teor de álcool provável do mosto.

3.2.3.2.3. Ácidos orgânicos

A acidez total foi determinada pelo método da OIV (2000) de titulação potenciométrica (TITROLINE 96, *SCHOTT Instrum. GmbH*, Alemanha). Foi igualmente determinada a concentração dos dois principais ácidos das uvas, o ácido tartárico e o ácido málico, por HPLC (sistema de HPLC *Gilson*, Wisconsin), segundo o método da OIV (2000).

3.2.3.2.4. pH do Mosto

O pH do mosto foi determinado por análise potenciométrica (TITROLINE 96, *SCHOTT Instrum. GmbH*, Alemanha) segundo o método da OIV (2000).

3.2.3.2.5. Compostos fenólicos (flavonóides)

A análise dos compostos fenólicos foi realizada separadamente nas películas e nas grainhas dos bagos colhidos, desprezando-se a polpa, uma vez que é nas grainhas e na película que os compostos fenólicos em estudo (os flavonóides) se localizam maioritariamente (Ribéreau-Gayon, 1972). Da amostra inicial de 50 bagos foram pesados 20 bagos, dos quais se separaram as grainhas e as películas, sendo estas liofilizadas em seguida e congeladas a -20°C , conservando-se novamente assim para posterior processamento. A preparação dos extractos de película e grainha realizou-se segundo o método descrito por Darné e Madero-Tamargo (1979). No final do procedimento os extractos foram novamente congelados a -20°C . Posteriormente realizaram-se as seguintes análises:

- a) Índice de fenóis totais nos extractos de películas e de grainhas, por análise espectrofotométrica a 280 nm (Espectrofotómetro UV-265 Shimadzu) (Ribéreau-Gayon, 1970).

- b) Análise das antocianinas nos extractos de películas:
 - i. Índice de cor vermelha (ICV) e intensidade corante (IC), por análise espectrofotométrica (espectrofotómetro UV-265 Shimadzu) (Glories, 1984);
 - ii. Antocianinas livres totais, por derivatização química e análise espectrofotométrica (espectrofotómetro UV-265 Shimadzu), segundo a adaptação de Mateus *et al.* (2001) ao método de descoloração pelo bissulfito de Sommers e Evans (1976);

- c) Análise dos taninos nos extractos de películas e de grainhas:
 - i. Taninos proantociânicos totais (TPA), por derivatização química e análise espectrofotométrica (espectrofotómetro UV-265 Shimadzu) (Ribéreau e Stonestreet, 1966; Darné, 1991).
 - ii. 3-flavanóis (catequinas e procianidinas oligoméricas) por HPLC (Merck L-7100) (de Freitas e Glories, 1999).

3.2.3.2.6. Precursores aromáticos (carotenóides)

Há já algum tempo que é referida uma provável influência da rega das videiras no perfil aromático dos vinhos obtidos (Matthews *et al.*, 1990; Ferreyra *et al.*, 2002; Escalona *et al.*, 1999; Acevedo *et al.*, 2005; Matthews & Kriedemann, 2006; Reynolds *et al.*, 2007). No entanto, até recentemente, tal ideia carecia geralmente de dados experimentais e resultados concretos, resultando sobretudo de análises sensoriais, cuja precisão é sempre subjectiva, o que motivou a inclusão no presente trabalho da pesquisa dos precursores aromáticos conhecidos nas uvas.

Os precursores aromáticos são um grupo de compostos sem capacidade odorante, presentes nas uvas sob formas glicosiladas que durante a vinificação podem originar compostos voláteis com impacto no aroma do vinho, sendo a fracção glicosilada consideravelmente mais abundante que a fracção volátil livre (Williams e Allen, 1996; Sefton, 1998). Deste grupo fazem parte os carotenóides, cuja presença nas uvas depende de factores ligados à própria videira, condições ambientais e práticas culturais (Mendes-Pinto *et al.*, 2005). Embora o β -caroteno e a luteína representem cerca de 85% dos carotenóides totais (Razungles *et al.*, (1987), muitos mais foram já identificados em uvas e vinhos (Mendes-Pinto *et al.*, 2005).

No presente trabalho o conteúdo em carotenóides foi determinado por HPLC (Beckman System Gold, Beckman Coulter, Inc., Califórnia) segundo o método descrito por Mendes-Pinto *et al.* (2005).

3.3. Análise estatística dos dados

A análise estatística dos dados foi efectuada por análise factorial e utilizou-se a separação de médias de *Tukey*, considerando-se $P < 0,001$ altamente significativo, $P \leq 0,05$ significativo e $P > 0,05$ não significativo. Os suportes informáticos utilizados foram o programa de tratamento estatístico SPSS (SPSS Inc. 2002 SPSS for Windows, Rel. 11.5.0., Chicago) e o Microsoft Office Excel (Microsoft 2003 Excel for Windows SP3, Seattle). A disposição estatística do ensaio é completamente aleatória, sendo os tratamentos de rega, as datas, as horas e os anos de observação factores fixos.

4. RESULTADOS

4.1. Registos ambientais

Os 3 anos em estudo (2004, 2005 e 2006) apresentaram algumas diferenças em termos climáticos, quer ao nível da temperatura do ar como da precipitação (figura 4.1, figura 4.2 e figura 4.3).

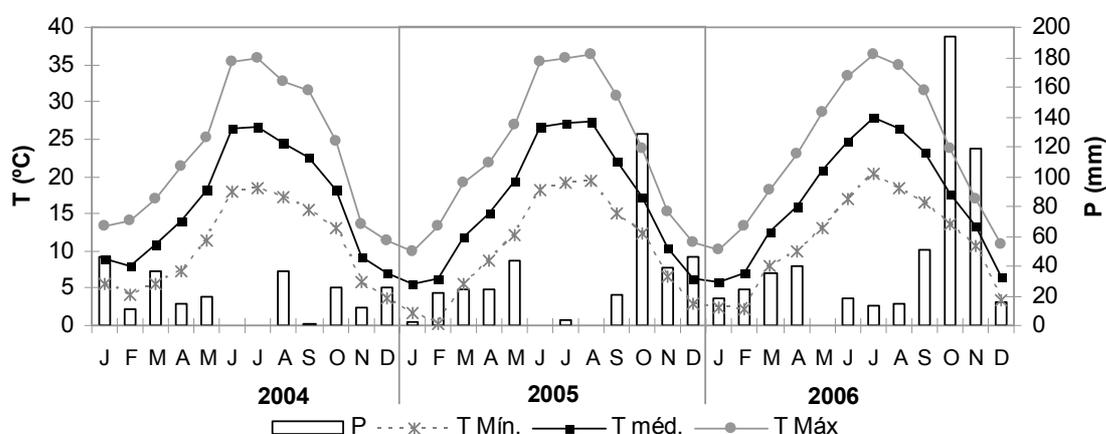


Figura 4.1 – Médias mensais das temperaturas mínimas, médias e máximas diárias e precipitação total mensal de Janeiro de 2004 a Dezembro de 2006 no campo experimental.

O ano de 2004 foi, até à data de vindima, o mais chuvoso dos três, embora seguido de perto por 2006, como se pode observar na figura 4.2. 2005 foi o ano mais seco, registando cerca de 30% menos de precipitação do que os restantes anos no mesmo período. Analisando a distribuição da precipitação até à vindima pode-se verificar que em 2004 e 2006 o período mais chuvoso esteve compreendido entre o mês de Janeiro e o abrolhamento (início de Abril), como é costume na RDD. Já em 2005, neste período inicial choveu consideravelmente menos (cerca de menos 50% do que em 2004 e menos 40% do que em 2006), facto que acabou por ser compensado por um início de Primavera particularmente chuvoso, fazendo do período entre o abrolhamento e a floração o mais húmido da campanha. Durante os três anos o período mais seco esteve compreendido entre a floração e o pintor, sendo que 2006 foi ainda assim mais chuvoso que os restantes neste período. Durante a fase da maturação, 2005 registou novamente os níveis mais baixos de precipitação do conjunto dos três anos. Em 2004

é de assinalar a precipitação ocorrida na 2^a e na 3^a semana de Agosto (respectivamente 15,2 e 19,4 mm).

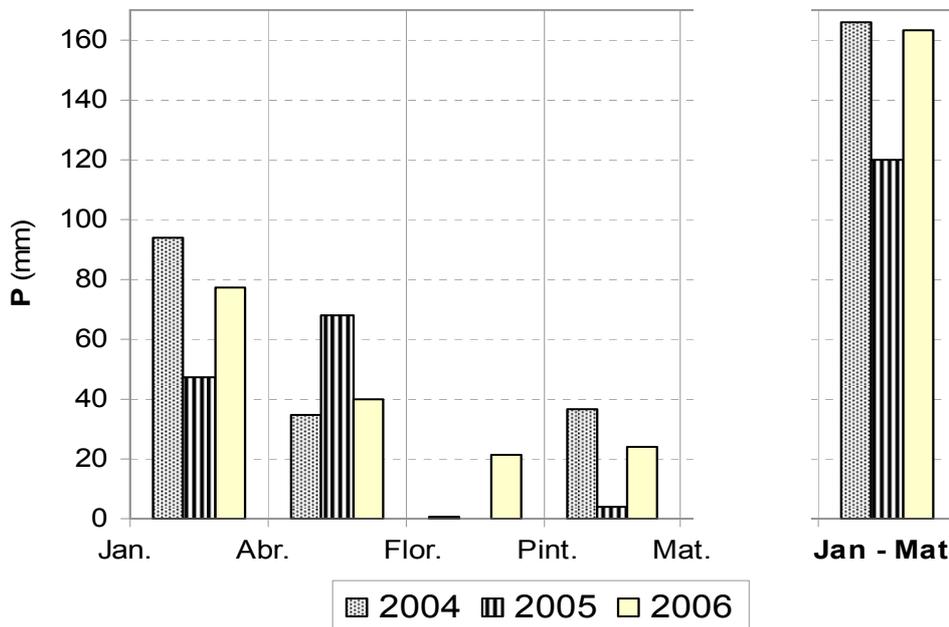


Figura 4.2 – Precipitação (P) nos períodos compreendidos entre o mês de Janeiro e o abrolhamento, entre o abrolhamento e a floração, entre a floração e o pintor, entre o pintor e a maturação e no período completo de Janeiro à maturação em 2004, 2005 e 2006 no campo experimental.

O ano de 2004, embora se tenha iniciado com temperaturas mais altas do que 2005 e 2006, foi durante o resto de toda a campanha o mais fresco e o com as menores amplitudes térmicas (figura 4.1 e figura 4.3). A maturação em particular ocorreu sob temperaturas do ar cerca de 2 °C abaixo dos restantes anos. Ainda assim, foram por vezes atingidos máximos diários acima dos 40 °C, sobretudo no mês de Julho, o que não é de todo invulgar nesta zona da RDD. O ano de 2005 caracterizou-se em geral por temperaturas do ar intermédias relativamente aos restantes anos. Entre Janeiro e o abrolhamento deste ano, as amplitudes térmicas foram contudo bastante grandes, registando-se as temperaturas médias e mínimas mais baixas do conjunto dos 3 anos. As temperaturas mais altas ocorridas num dos períodos em análise no conjunto dos 3 anos foram registadas entre a floração e o pintor de 2005, sendo cerca de 1,5 °C acima do mesmo período em 2006 e 2 °C acima de 2004. Nos restantes períodos pós-abrolhamento o ano mais quente foi 2006.

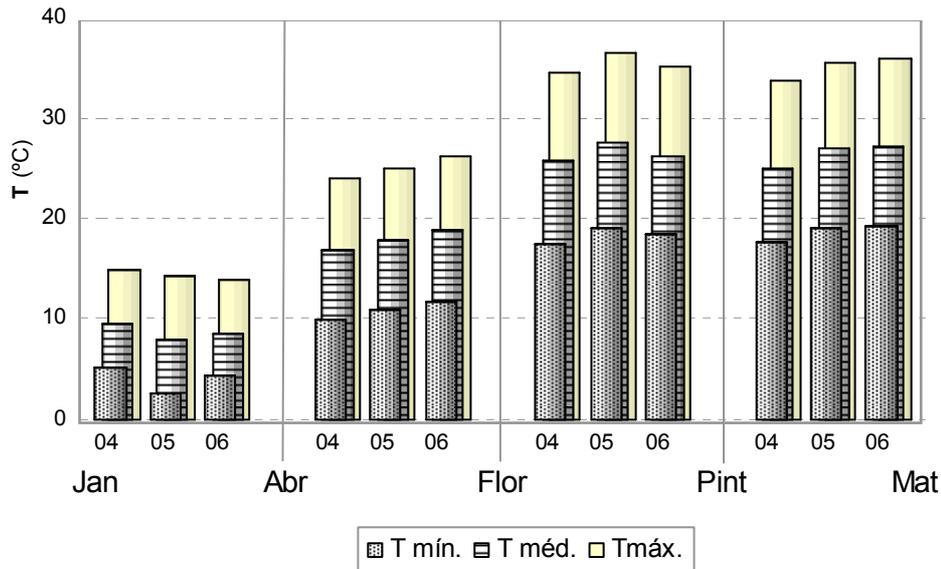


Figura 4.3 – Médias das temperaturas (T) mínima, média e máxima diárias nos períodos compreendidos entre o mês de Janeiro (Jan) e o abrolhamento (Abr), entre o abrolhamento e a floração (Flor), entre a floração e o pintor (Pint) e entre o pintor e a maturação (Mat) no campo experimental em 2004 (04), 2005 (05) e 2006 (06).

A partir dos registos das temperaturas foi também possível calcular alguns índices bioclimáticos normalmente utilizados em viticultura, nomeadamente o somatório das temperaturas activas e o índice de Winkler (Amerine e Winkler, 1944). Ambos os índices baseiam-se no princípio de que abaixo dos 10°C a videira não apresenta crescimento vegetativo. O somatório das temperaturas activas (TA), no hemisfério norte, corresponde assim à soma das temperaturas médias diárias (Tmd) superiores a 10 °C no período de Abril (abrolhamento) a Outubro (vindima), derivando da equação:

$$TA = \Sigma Tmd > 10 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

O índice de Winkler (IW) deriva por sua vez da equação:

$$IW = \Sigma Tmd - 10 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Ambos os índices foram assim calculados para o período do abrolhamento à vindima e também para os sub-períodos do abrolhamento à floração, da floração ao pintor e do pintor à vindima (figura 4.4). O ano de 2004, apesar de até ao pintor ter tido os níveis mais baixos de ambos os índices, apresentou durante a maturação níveis intermédios em relação aos restantes anos, o que correspondeu igualmente a uma posição intermédia no período completo do

abrolhamento até à vindima. O ano de 2005 por sua vez, apesar de ter iniciado com níveis intermédios e ter mesmo registado entre a floração e o pintor os níveis de TA e IW mais elevados, terminou a campanha com os índices mais baixos do conjunto dos três anos. Isto mesmo tendo apresentado também entre o pintor e a maturação temperaturas quase tão altas quanto 2006. Tal facto deveu-se a uma antecipação considerável da vindima em 2005, aparentemente derivada dos baixos níveis de precipitação ocorridos da floração até ao final da campanha (questão que será analisada no capítulo de discussão dos resultados). O período de maturação foi reduzido em cerca de duas semanas, reduzindo consequentemente o número de dias que figuraram nos índices, justificando assim os níveis inferiores de TA e IW. Já os níveis mais altos de ambos os índices foram verificados em 2006, sendo que apenas entre a floração e o pintor ficou abaixo de 2005.

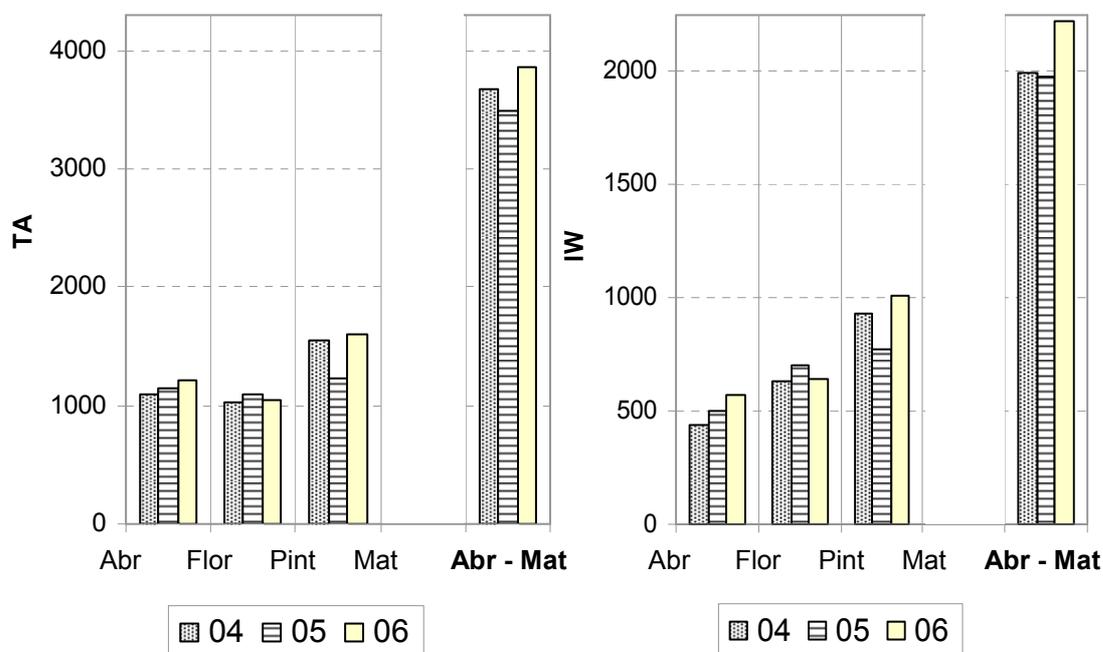


Figura 4.4 – Somatório de temperaturas activas (TA) e índice de Winkler (IW) nos períodos compreendidos entre o abrolhamento (Abr) e a floração (Flor), entre a floração e o pintor (Pint) e entre o pintor e a maturação (Mat) no campo experimental em 2004 (04), 2005 (05) e 2006 (06).

As diferentes modalidades de rega (Quadro 3.1) resultaram, como seria de esperar, em diferenças significativas ao nível da quantidade de água no solo (AS) (figura 4.5). Essas diferenças acentuaram-se ao longo dos períodos definidos nas modalidades, com o solo regado a aumentar ou pelo menos manter os níveis de água relativamente estáveis, enquanto que as zonas não regadas apresentaram um decréscimo progressivo para valores

significativamente inferiores. As modalidades regadas com 100% da ET promoveram por sua vez teores de AS significativamente maiores do que as com a dotação de 50% de ET.

A mudança de regime hídrico ao pintor de algumas modalidades motivou claras alterações dos seus teores de AS, com subidas e descidas respectivamente das que começaram e deixaram de ser regadas. Ainda assim, a seguir ao pintor a modalidade FP2 manteve-se acima de FP1, embora ambas apresentem em geral valores naturalmente inferiores a FM2, PM2 e PM1. A modalidade FM2 apresentou durante toda a época de tratamentos e ao longo dos três anos a AS mais elevada. Da modalidade NR resultou, por sua vez, um decréscimo progressivo do teor de AS da floração até à maturação, apresentando no período compreendido entre o pintor e maturação valores significativamente mais baixos do que qualquer outra modalidade.

É de assinalar que em 2004, a ocorrência de precipitação na 2ª e 3ª semana de Agosto (respectivamente 15,2 e 19,4 mm) reduziu abruptamente as diferenças verificadas até então, colocando as várias modalidades praticamente ao mesmo nível de disponibilidade hídrica, mantendo-se apenas diferenças significativas entre o valor mais alto (FM2) e o mais baixo (NR).

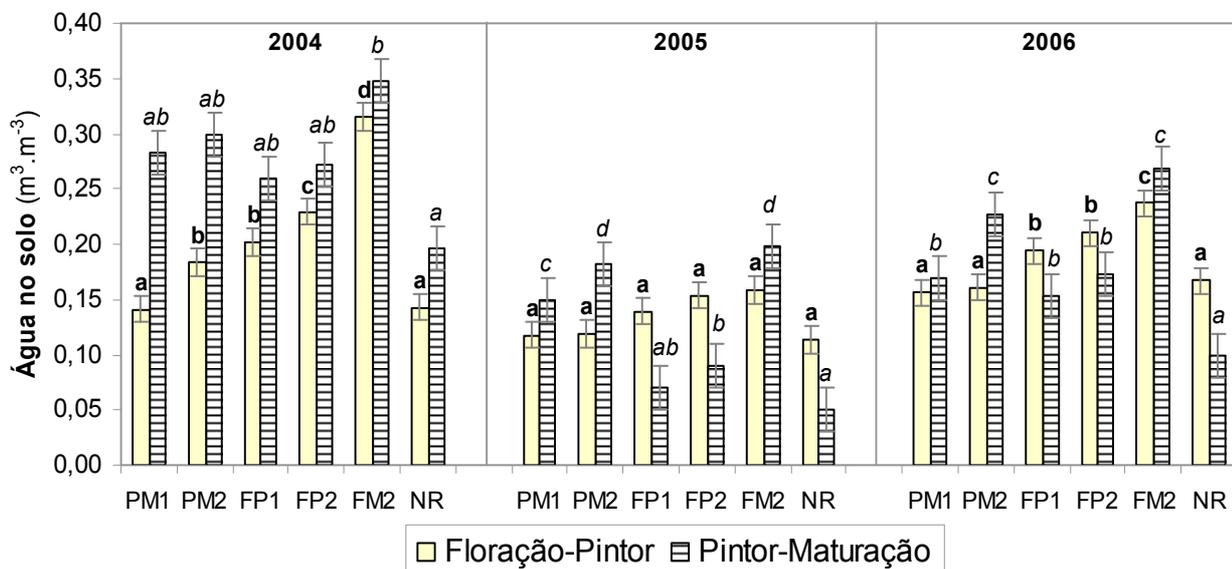


Figura 4.5 – Médias das leituras de água no solo ($m^3.m^{-3}$) registadas da floração ao pintor e do pintor à maturação nos anos 2004, 2005 e 2006 nas modalidades em estudo. Os valores médios estão afectados do erro padrão. As letras, quando diferentes, indicam médias significativamente diferentes ($Tukey_{0,05}$), sendo as em “negrito” referentes ao período Floração-Pintor e as em “itálico” referentes ao período Pintor-Maturação.

Os diferentes níveis de precipitação verificados em 2004, 2005 e 2006 resultaram também em diferenças significativas no teor de água no solo entre os três anos em estudo

(quadro 4.1). O ano mais chuvoso de 2004 apresentou assim o valor médio anual mais elevado, seguido por 2006 e por último 2005, que havia registado os níveis mais baixos de precipitação.

Quadro 4.1 – Variação da água no solo ($m^3.m^{-3}$) com o ano. Os valores médios estão afectados do erro padrão. As letras, quando diferentes, indicam médias significativamente diferentes (Tukey0,05).

	2004	2005	2006
Água no solo ($m^3.m^{-3}$)	0,2478 ± 0,0086 c	0,1290 ± 0,0089 a	0,1844 ± 0,0086 b

4.2. Determinações Fisiológicas

Os diversos parâmetros fisiológicos foram medidos anualmente em 3 datas compreendidas entre a floração e a maturação. A figura 4.6 representa o período abrangido pelos tratamentos de rega, assinalando as datas da floração, do pintor, da vindima e dos registos fisiológicos efectuados. A ocorrência de precipitação (também representada na figura 4.6) ao longo deste período pode ter atenuado as diferenças entre os tratamentos de rega em alguns dos registos fisiológicos.

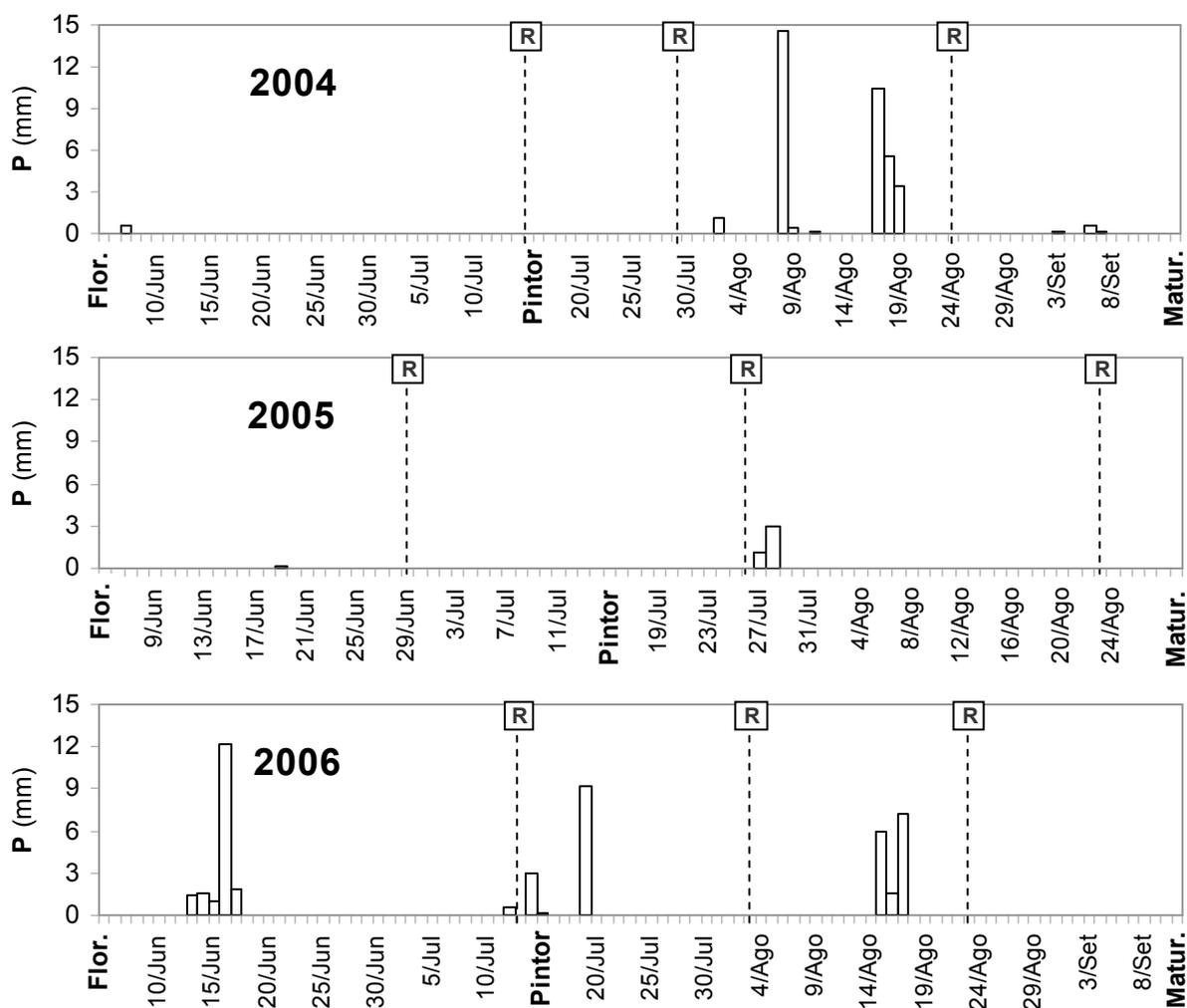


Figura 4.6 – Datas da floração (Flor.), do pintor, da vindima (Matur.) e dos principais registos fisiológicos efectuados (R), e precipitação diária ocorrida durante esse período nos 3 anos em estudo. O primeiro R assinalado foi realizado antes do pintor, ainda antes de se parar de regar as modalidades FP e iniciar a rega das PM. O segundo foi cerca de duas semanas após o pintor e o último pouco antes da vindima.

4.2.1. Trocas gasosas das folhas

As trocas gasosas das videiras mostraram ser sensíveis aos diferentes regimes hídricos impostos nas modalidades em estudo. A taxa de transpiração (E), a condutância estomática (g_s) e a fotossíntese, expressa como a taxa de assimilação líquida de CO_2 (A), foram em geral significativamente maiores nas modalidades regadas do que na testemunha NR (figuras 4.7, 4.8 e 4.9).

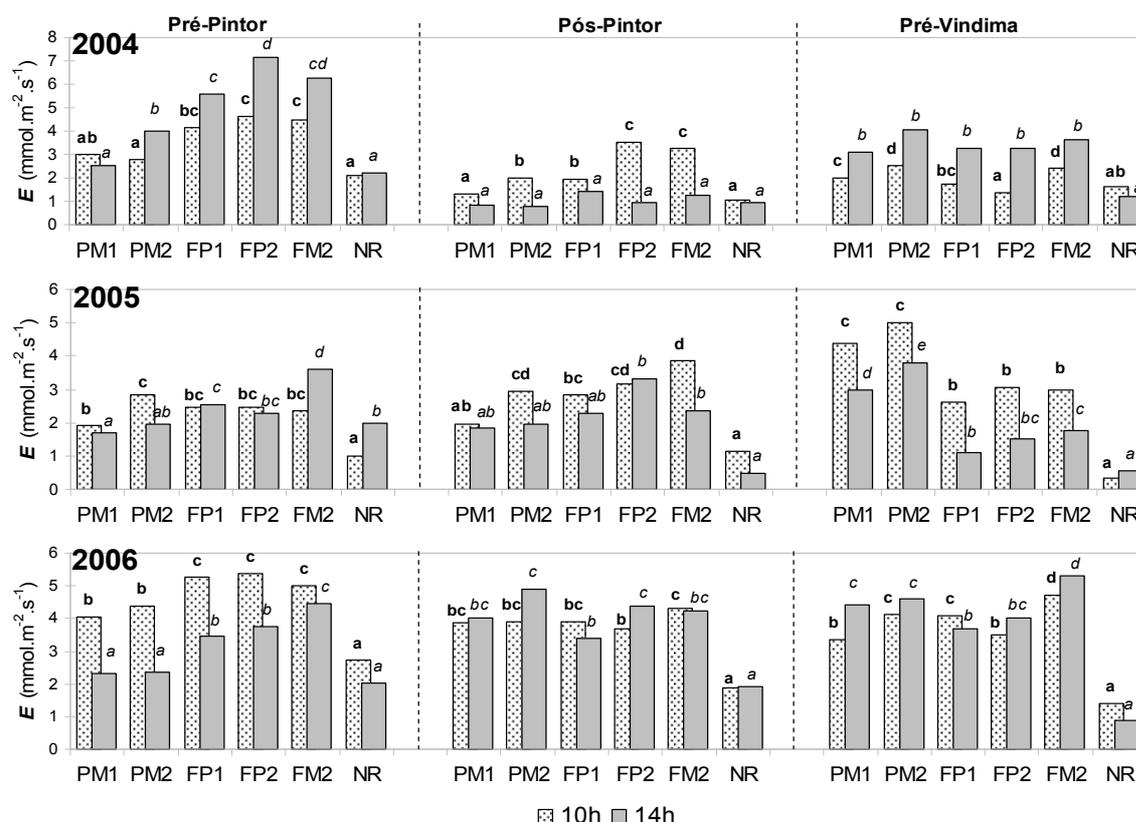


Figura 4.7 – Transpiração (E) a meio da manhã (10h) e ao meio-dia solar (14h) nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006 em três períodos distintos – entre a floração e o pintor (pré-pintor), cerca de duas semanas após o pintor (pós-pintor) e poucos dias antes da vindima (pré-vindima). Em cada período, as letras, quando diferentes, indicam médias significativamente diferentes ($Tukey_{0,05}$), sendo as em “negrito” referentes às leituras das 10h e as em “itálico” referentes às leituras das 14h.

Até ao pintor, as modalidades já regadas nesse período (FP1, FP2 e FM2) apresentaram quase sempre valores de E e g_s significativamente mais altos do que as que ainda não haviam sido regadas (NR, PM1 e PM2), como se pode ver nas figuras 4.7 e 4.8. Comparando as duas dotações de rega, as videiras regadas neste período com 100% da ET (FP2 e FM2) apresentaram em geral os valores mais elevados dos dois parâmetros, embora

raramente as diferenças entre dotações tenham sido significativas. Por outro lado, a dotação de 50% da ET nem sempre foi suficiente para se distinguir significativamente das modalidades não regadas nesse momento, ficando assim precisamente entre estas e os tratamentos regados com a dotação mais alta.

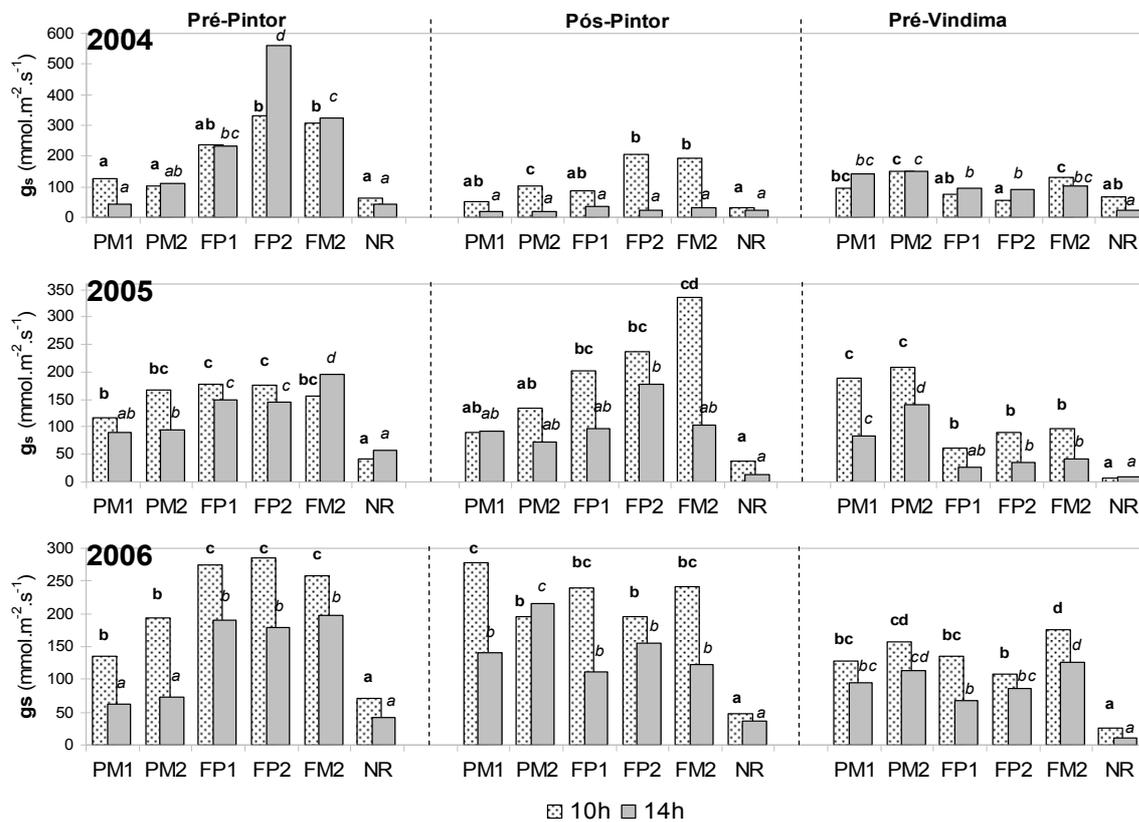


Figura 4.8 – Condutância estomática (g_s) a meio da manhã (10h) e ao meio-dia solar (14h) nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006 em três períodos distintos – entre a floração e o pintor (pré-pintor), cerca de duas semanas após o pintor (pós-pintor) e poucos dias antes da vindima (pré-vindima). Em cada período, as letras, quando diferentes, indicam médias significativamente diferentes ($Tukey_{0,05}$), sendo as em “negrito” referentes às leituras das 10h e as em “itálico” referentes às leituras das 14h.

A resposta da *A* à disponibilidade hídrica (figura 4.9) neste período não foi tão evidente quanto a de *E* e g_s , pelo que, apesar das modalidades regadas até ao pintor apresentarem em geral taxas fotossintéticas mais elevadas, raramente essas diferenças foram significativas. Isto reflectiu-se numa menor eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s) nas modalidades regadas, ainda que apenas por vezes, e sobretudo nos registos das 14h, as diferenças relativamente às não regadas tenham sido significativas (figura 4.10).

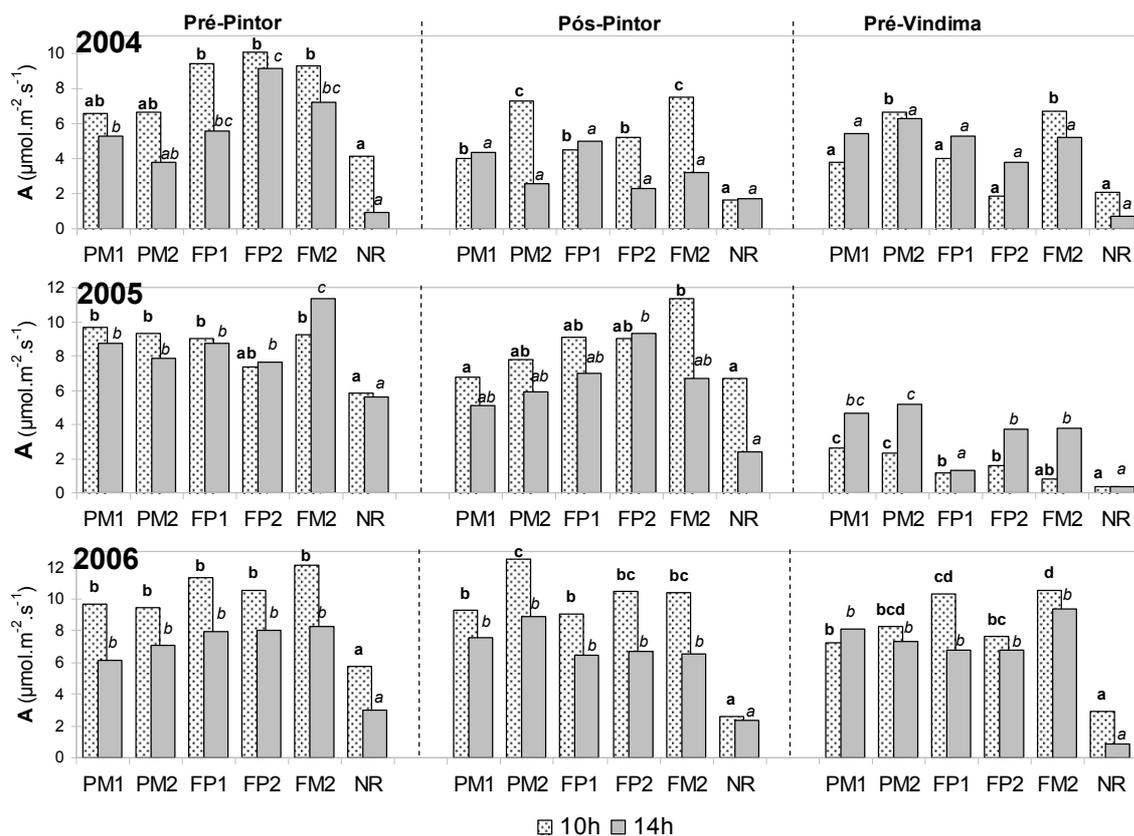


Figura 4.9 – Fotossíntese, expressa como a taxa de assimilação líquida de CO₂ (A), a meio da manhã (10h) e ao meio-dia solar (14h) nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006 em três períodos distintos – entre a floração e o pintor (pré-pintor), cerca de duas semanas após o pintor (pós-pintor) e poucos dias antes da vindima (pré-vindima). Em cada período, as letras, quando diferentes, indicam médias significativamente diferentes (*Tukey*_{0,05}), sendo as em “negrito” referentes às leituras das 10h e as em “itálico” referentes às leituras das 14h.

Em 2005 os registos realizados às 10h antes do pintor não foram tão claros quanto nos restantes anos, devendo contudo ter-se em conta que, devido a uma falha técnica do equipamento utilizado, o registo apresentado havia sido realizado mais cedo, no final de Junho (29-06-2005), e não em meados de Julho imediatamente antes do pintor como nos restantes anos (15-07-2004 e 13-07-2006), sendo que foi sobretudo nas duas primeiras de Julho de 2005 que se acentuaram as diferenças de disponibilidade hídrica no solo em resultado dos tratamentos de rega (Anexo III). Ainda assim, neste mesmo dia, o registo das 14h foi já mais claro, com as videiras regadas a apresentarem novamente taxas de *E* e *g_s* significativamente superiores às das não regadas até então.

Após o pintor, com a mudança de regime hídrico de quatro das modalidades, em que duas começam a ser regadas após um período de sequeiro (PM1 e PM2) e outras duas que haviam sido regadas até então deixam de o ser (FP1 e FP2), assistiu-se a uma espécie de período de transição – no registo efectuado nesta fase (final de Julho/ início de Agosto) as

diferenças entre as modalidades regadas esbateram-se, deixando mesmo por vezes de ser significativas, embora continuem a ser em geral significativamente superiores à testemunha NR. Verifica-se também nesta fase uma tendência para que as modalidades regadas com a maior dotação, FM2, PM2 e até mesmo FP2 (que nesta data já não estava a ser regada) apresentem os valores mais elevados de E , g_s e A .

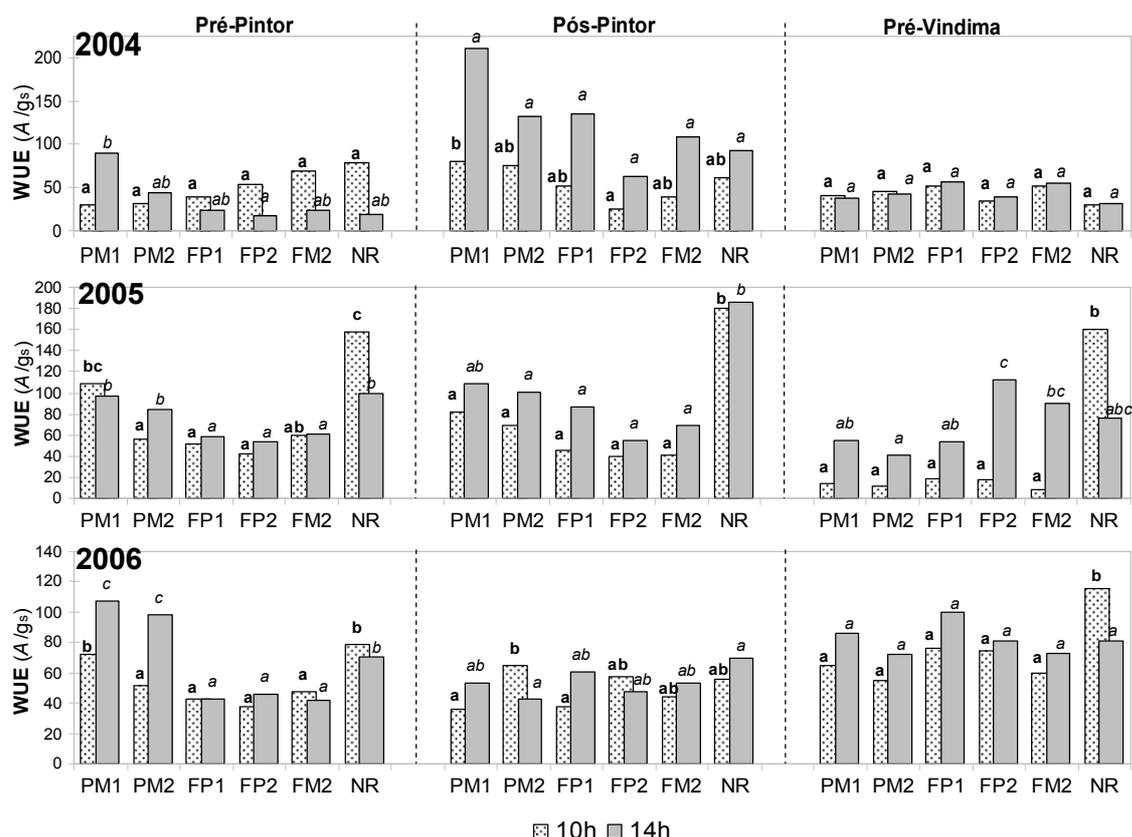


Figura 4.10 – Eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s) a meio da manhã (10h) e ao meio-dia solar (14h) nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006 em três períodos distintos – entre a floração e o pintor (pré-pintor), cerca de duas semanas após o pintor (pós-pintor) e poucos dias antes da vindima (pré-vindima). Em cada período, as letras, quando diferentes, indicam médias significativamente diferentes ($Tukey_{0,05}$), sendo as em “negrito” referentes às leituras das 10h e as em “itálico” referentes às leituras das 14h.

À medida que a maturação avança, as diferenças entre modalidades vão-se acentuando novamente, com as modalidades que se encontravam a receber água nesse momento (PM1, PM2 e FM2) a registarem de novo, quase sempre, os valores mais altos de E , g_s e A , embora as diferenças entre tratamentos sejam ainda assim menos pronunciadas do que antes do pintor. As modalidades que foram neste período regadas com a maior dotação (FM2 e PM2) apresentaram em geral os valores mais altos de E , g_s e A , embora apenas em 2004 no registo das 10h as diferenças tenham sido significativas em relação às demais

modalidades. Nesta fase praticamente não se verificaram diferenças significativas em termos de A/g_s , sendo contudo de assinalar que NR apresentou por vezes, sobretudo no registo das 14h, valores mais baixos do que algumas das modalidades que se encontravam a ser regadas nesse período.

A concentração de CO_2 nos espaços intercelulares (C_i) antes do pintor foi menor nas modalidades não regadas, sobretudo no registo das 14h (figura 4.11). Cerca de duas semanas após o pintor as diferenças foram já menos expressivas, praticamente não se registando diferenças significativas entre os tratamentos, sendo que apenas em 2005 as videiras NR apresentaram valores significativamente menores que a maioria das modalidades regadas. Mais próximo da maturação comercial a C_i passa a ser em geral mais elevada na modalidade NR e, apesar de em 2006 não o ter sido, nesse ano na verdade não se verificaram diferenças significativas relativamente à maioria dos restantes tratamentos.

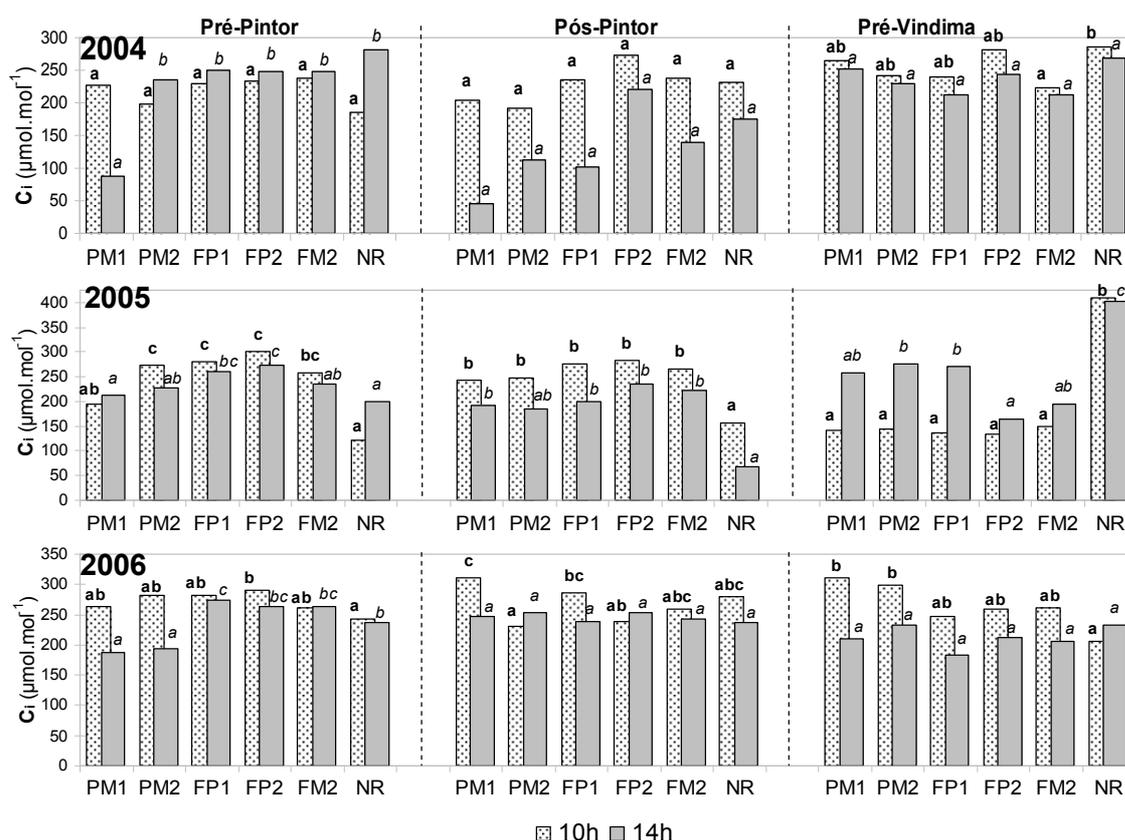


Figura 4.11 – Concentração de CO_2 nos espaços intercelulares (C_i) a meio da manhã (10h) e ao meio-dia solar (14h) nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006 em três períodos distintos – entre a floração e o pintor (pré-pintor), cerca de duas semanas após o pintor (pós-pintor) e poucos dias antes da vindima (pré-vindima). Em cada período, as letras, quando diferentes, indicam médias significativamente diferentes ($Tukey_{0,05}$), sendo as em “negrito” referentes às leituras das 10h e as em “itálico” referentes às leituras das 14h.

Olhando para o conjunto dos vários parâmetros das trocas gasosas em análise, as leituras realizadas no período das 10:00 foram mais consistentes e ilustraram melhor as diferenças entre as várias modalidades regadas do que os registos das 14:00 que, por sua vez, não só apresentaram por menos vezes diferenças significativas entre tratamentos regados como houve datas em que não apresentaram inclusive diferenças significativas relativamente às videiras não regadas. Por outro lado, as maiores quebras (ou os menores aumentos) percentuais na taxa fotossintética entre os registos das 10h e o das 14h foram quase sempre verificados na testemunha NR e, quando não o foram, os valores das 10h eram já muitos baixos, não existindo grande margem para descidas.

4.2.2. Potencial hídrico foliar

O potencial hídrico foliar (Ψ_f) exibiu uma variação ao longo do dia semelhante nas várias modalidades regadas. Como seria de esperar, os valores máximos (menos negativos) foram registados antes do nascer do sol (6h), seguindo-se um decréscimo acentuado até ao meio da manhã (10h) e continuando depois a diminuir mais lentamente até atingir o mínimo ao meio-dia solar (14h). Ao final da tarde (18h) o Ψ_f começou a apresentar sinais de recuperação para valores menos negativos (figura 4.12).

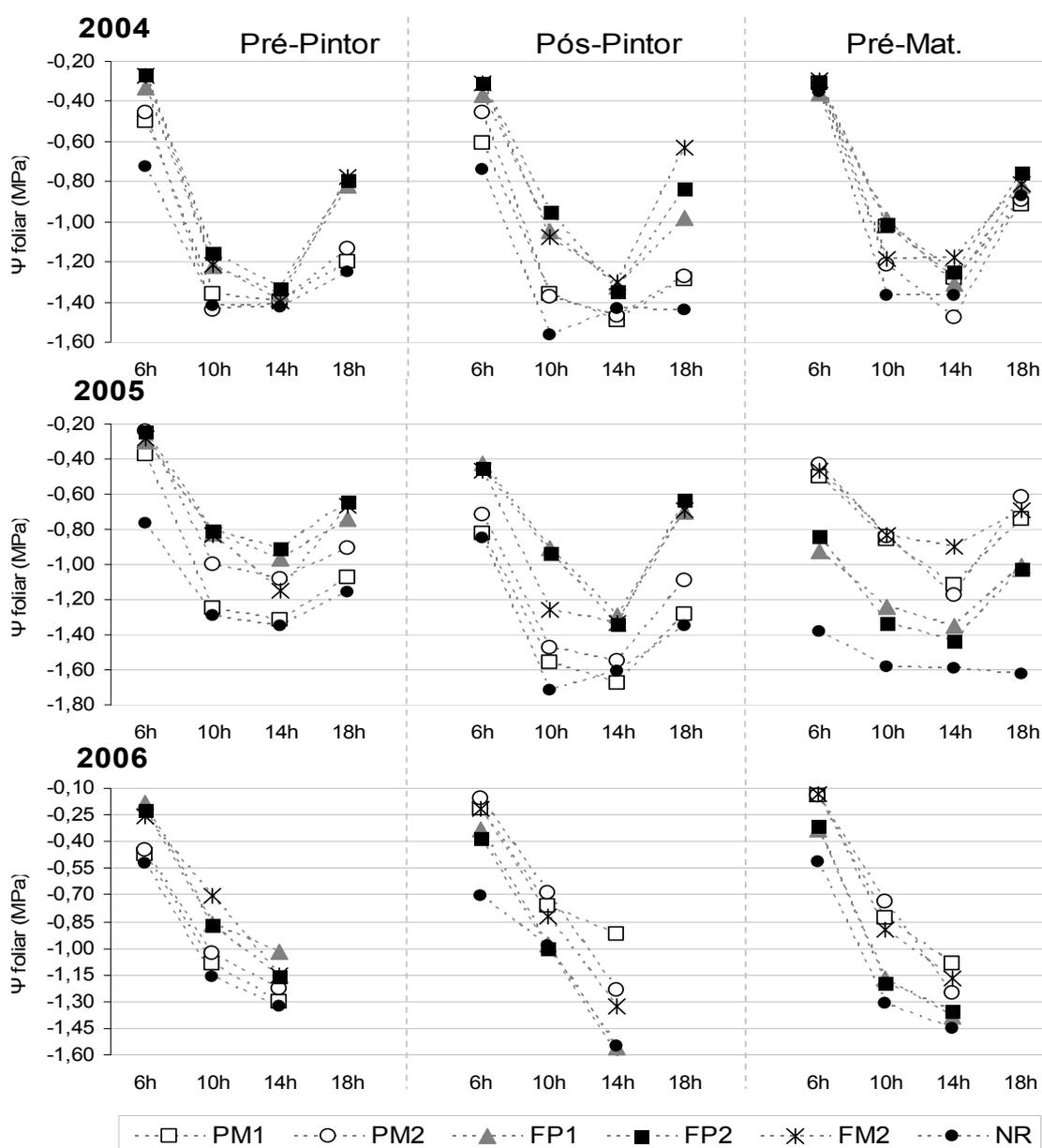


Figura 4.12 – Evolução diurna do potencial hídrico foliar antes do pintor, após o pintor e antes da vindima em 2004, 2005 e 2006 nas modalidades em estudo. Em 2006, por motivos de indisponibilidade de equipamento, não se realizaram leituras às 18h. As separações de médias encontram-se no anexo IV.

Os registos efectuados às 6h e às 18h apresentaram um padrão de variação semelhante e mais claro em função do regime hídrico. Em ambas as horas de observação todos os tratamentos não regados no período do registo (NR, PM1 e PM2, no período da floração ao pintor; NR, FP1 e FP2, no período do pintor à maturação) apresentaram Ψ_f significativamente mais altos do que os regados. Entre os tratamentos não regados após o pintor (NR, FP1 e FP2) verificou-se que o NR era significativamente superior a FP1 e FP2, embora não existissem por sua vez diferenças significativas entre FP1 e FP2 (independentemente de no período anterior FP2 ter recebido o dobro da água de FP1). Já entre os tratamentos regados no período de registo (FP1, FP2 e FM2, entre a floração e o pintor; PM1, PM2 e FM2, entre o pintor e a maturação), apesar de por diversas vezes a dotação de 100% da ET apresentar valores mais altos que a dotação de 50% da ET, não se encontraram diferenças significativas. Houve apenas um dia (24 de Agosto de 2004) em que os registos das 6h e das 18h não foram tão expressivos, o que poderá estar relacionado com a ocorrência de precipitação pouco antes dessa data.

Os restantes registos efectuados às 10h e 14h apresentaram variações mais ténues do Ψ_f com o regime hídrico. Às 10h já apenas se conseguiam distinguir de forma significativa os tratamentos não regados dos regados, e nos registos das 14h as variações com o regime hídrico foram ainda menores, sendo que em 2004 não se verificaram mesmo diferenças significativas entre as modalidades em estudo.

É de assinalar que em 2005, o ano mais seco da floração à maturação (Figura 4.6), foram registados pouco antes da maturação comercial os Ψ_f de base mais negativos do conjunto dos 3 anos, na modalidade NR (-1,4 MPa), sendo um nível raramente referenciado noutras regiões vitícolas.

4.2.3. Área foliar total

A área foliar total (AF) por metro de comprimento do bardo (figura 4.13) registada à floração foi de cerca de 11000 cm², não se verificando nesta fase diferenças significativas entre os tratamentos, com a excepção do NR que apresentou cerca de 6000 cm². Após a floração todos os tratamentos apresentaram diferenças significativas, com a AF a atingir o seu máximo cerca de duas semanas antes da maturação comercial nas modalidades FM2, PM2, PM1 e FP2, enquanto que em NR e FP1 o máximo foi atingido logo após o pintor.

Após serem atingidos os valores máximos, a AF começa a decrescer por senescência das folhas. A maior e a menor AF desde a floração até à maturação foram registadas respectivamente nas modalidades FM2 e NR. A mudança de regime hídrico ao pintor levou, por um lado, a um aumento considerável da AF das modalidades que começaram a ser regadas (PM1 e PM2) e, por outro, a uma quebra quase imediata da modalidade cuja dotação de 50% da ET cessou nesse momento (FP1). A modalidade FP2 manteve ainda assim algum crescimento, embora exista uma desaceleração em relação ao período anterior, sendo a sua AF ultrapassada pela da PM2, que apresentou o crescimento mais acentuado do período pós-pintor. A modalidade PM1, que até ao pintor apresentava juntamente com PM2 e NR as AF mais baixas, registou igualmente um aumento considerável a partir do momento em que começou a ser regada, chegando à maturação com uma AF semelhante a FP2. Na figura 4.13 encontram-se representadas as médias dos três anos.

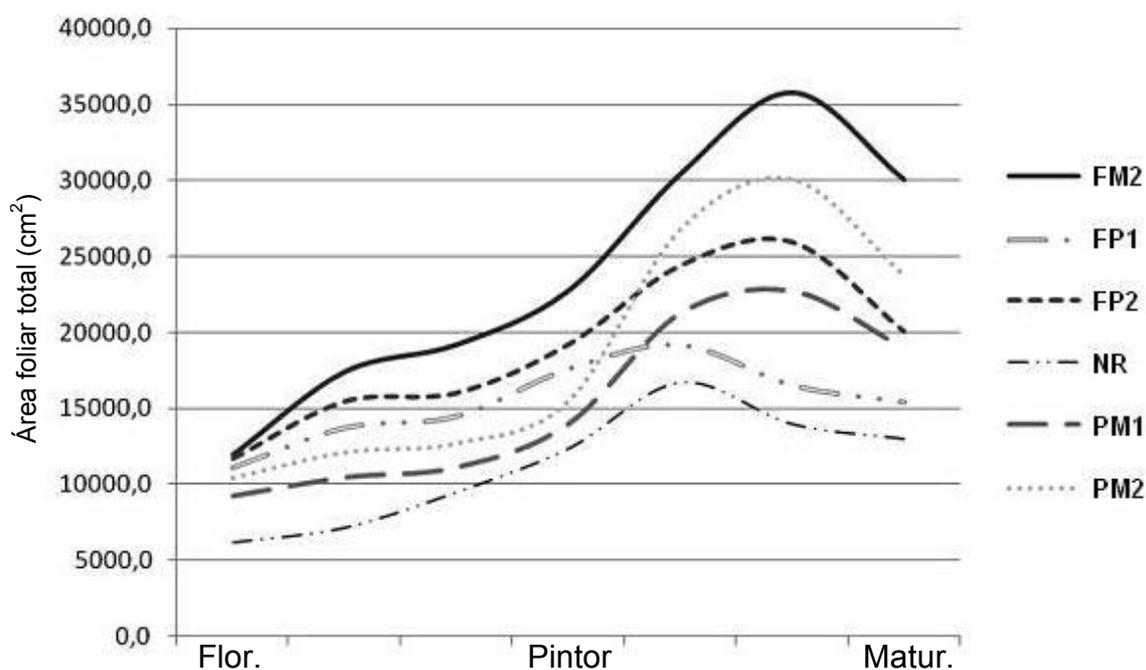


Figura 4.13 – Área foliar total por metro de comprimento de linha (cm²). Média dos 3 anos (2004, 2005 e 2006) para cada modalidade em estudo da floração à maturação.

4.2.4. Fluxo de Seiva

As variações diárias do fluxo de seiva (FS) encontram-se representadas na figura 4.14. Como se pode observar, o FS inicia-se ao nascer do sol, atinge geralmente o máximo antes do meio-dia solar, após o qual começa a decrescer, mantendo-se contudo ainda para além do anoitecer. Nas modalidades com menos água disponível, o FS apresentou valores mais baixos, com os picos a tornarem-se menos pronunciados.

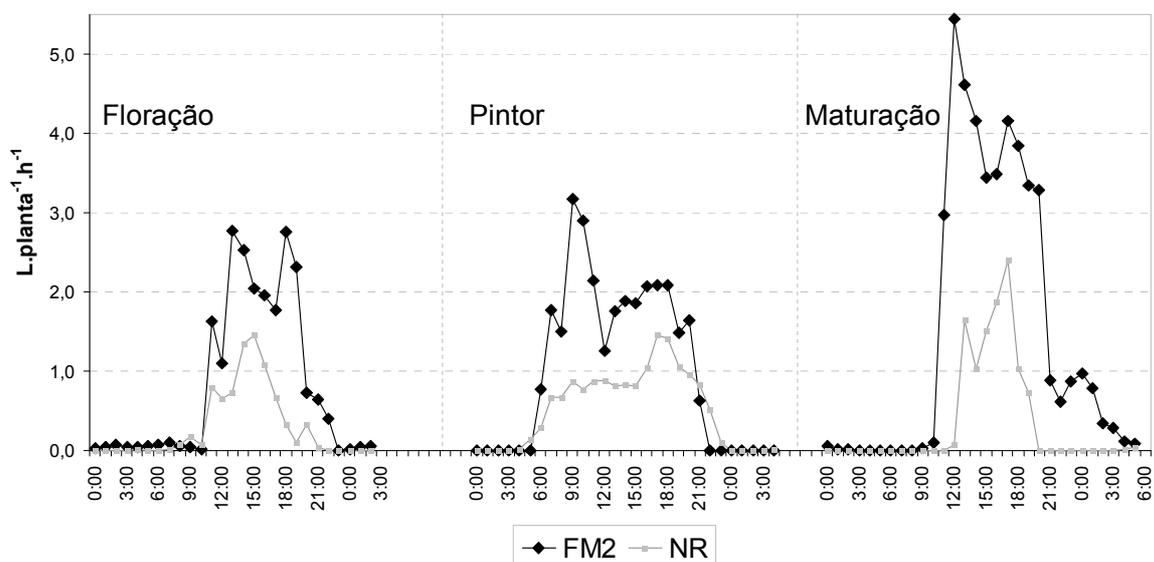


Figura 4.14 – Variação ao longo das horas do dia da velocidade do fluxo de seiva ($l.planta^{-1}.h^{-1}$) nas modalidades FM2 e NR à floração, ao pintor e à maturação em 2004.

Analisando as médias diárias do FS no período compreendido entre a floração e a maturação dos 3 anos de registos verificaram-se diferenças significativas entre os diferentes tratamentos de rega (figura 4.15). No registo correspondente à floração não se verificaram ainda diferenças significativas entre os tratamentos, demonstrando que antes de se iniciar a rega as modalidades se encontravam em igualdade de condições. A partir desse momento surgem quase de imediato diferenças entre as modalidades, com as que começaram a ser regadas à floração (FM2, FP2 e FP1) a apresentarem valores de FS significativamente superiores às modalidades não regadas nesse período (PM1, PM2 e NR) e com a dotação de 100% da ET (FM2 e FP2) a ser por sua vez significativamente superior à de 50% da ET (FP1). A mudança de regime hídrico ao pintor das modalidades FP1, FP2, PM1 e PM2 resultou numa espécie de período de transição, com as modalidades que começaram ou

deixaram de ser regadas, sobretudo com a mesma dotação, a não se distinguirem significativamente. Ainda assim, FM2 apresenta já nesse momento um FS significativamente mais alto e NR um FS significativamente mais baixo do que as restantes modalidades. À medida que se avança ao longo da maturação as diferenças entre os vários tratamentos vão-se acentuando novamente, com FP1 a cair para níveis semelhantes a NR, embora FP2 seja ainda capaz de manter um FS próximo das modalidades PM1 e PM2 quase até ao final de Agosto, altura em que apresenta por fim valores significativamente inferiores às duas modalidades PM. O tratamento FM2 apresentou quase sempre um FS significativamente mais elevado que as restantes modalidades, com a excepção do período entre a floração e o pintor em que, como seria de esperar, apenas não foi significativamente superior a FP2, uma vez que até ao pintor ambas as modalidades apresentavam um regime hídrico exactamente igual.

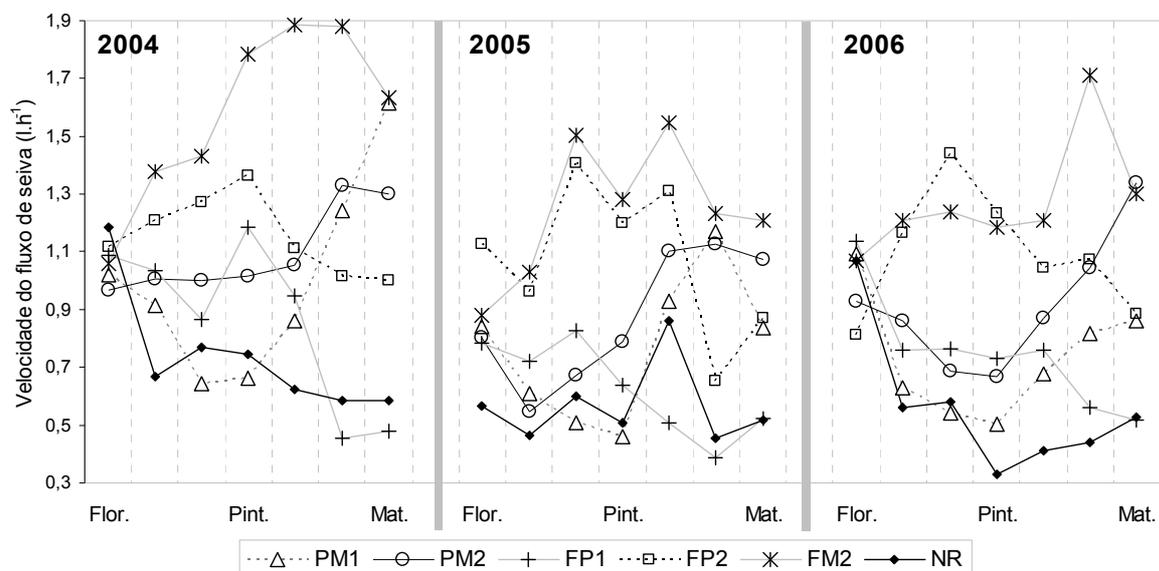


Figura 4.15 – Médias diárias da velocidade do fluxo de seiva ($l.planta^{-1}.h^{-1}$) de cada modalidade em estudo da floração à maturação em 2004, 2005 e 2006. As separações de médias encontram-se no anexo V.

4.2.5. Fluorescência da clorofila *a in vivo*

Os parâmetros de fluorescência da clorofila *a* durante os 3 anos de registos raramente apresentaram diferenças significativas e sem um padrão de variação aparente com o regime hídrico (resultados no anexo VI).

4.2.6. Pigmentos clorofilinos das folhas

A quantificação das clorofilas das folhas através do SPAD (figura 4.16) apenas foi realizada em 2005 e 2006, por motivos de disponibilidade do equipamento.

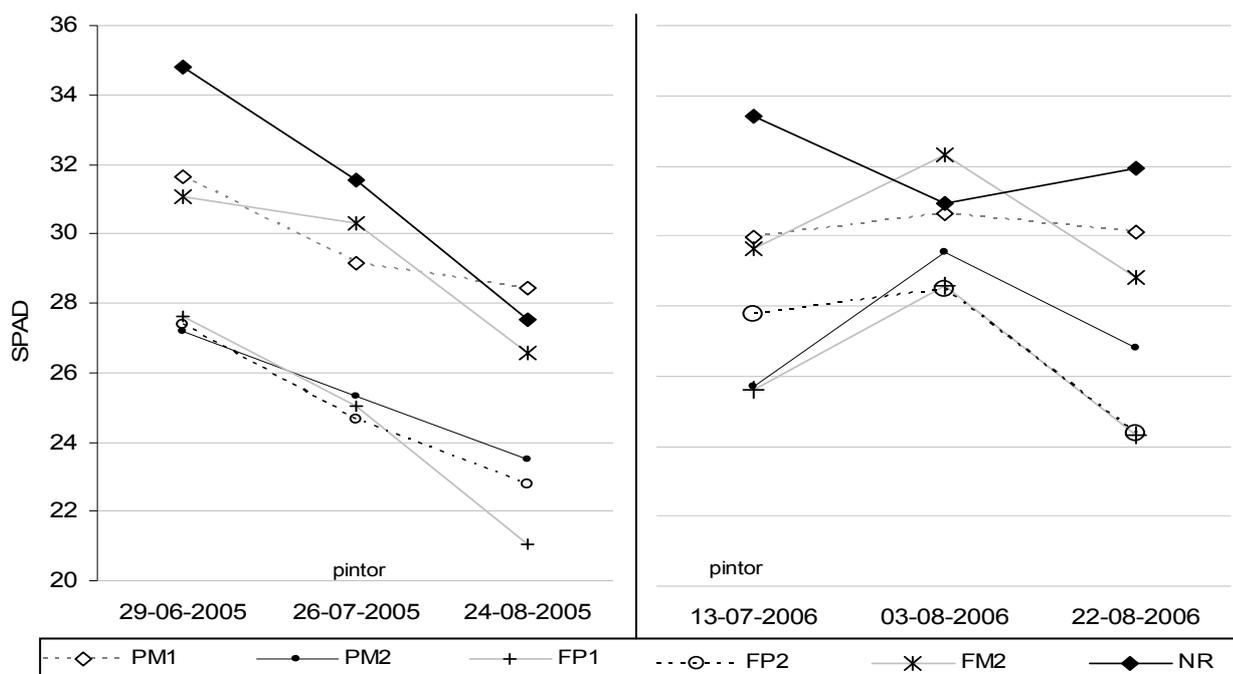


Figura 4.16 – Quantificação das clorofilas das folhas através do SPAD em 2005 e 2006. As separações de médias encontram-se no anexo VII.

Apesar de existirem diferenças significativas entre as modalidades em estudo, não se encontrou um padrão de variação claro. A modalidade NR surge quase sempre com os valores mais altos, embora nunca apresente diferenças significativas em relação à modalidade regada da floração ao pintor com a dotação mais alta (FM2). Não se verificaram diferenças significativas consoante a dotação em nenhum dos períodos (floração ao pintor ou pintor à maturação) e apenas para a dotação de 50% da ET se verificaram diferenças significativas entre os dois períodos de rega, com PM1 a ser sempre superior a FP1, independentemente de qual dos dois estava a ser regado no período da leitura.

4.2.7. Relação entre os registos fisiológicos e a água no solo

Além da avaliação individual dos parâmetros fisiológicos recolhidos, estes foram também confrontados com os registos da água no solo (figura 4.17). O parâmetro que melhor se correlacionou com o teor de água no solo foi a média diária do fluxo de seiva, logo seguido pelo Ψ_f medido às 6:00 (Ψ_f de base). Além destes, as correlações foram igualmente significativas (ao nível de 0,01) para o Ψ_f medido às 18:00, para E e g_s medidos às 10:00 e 14:00 e para A/g_s às 10:00. Ainda significativas, mas a um menor nível (0,05), foram as correlações com o Ψ_f medido às 10:00, com A medido às 10:00 e 14:00 e com A/g_s às 14:00. As restantes correlações não foram significativas, sendo particularmente baixas para o C_i e para os registos do SPAD e da fluorescência da clorofila a .

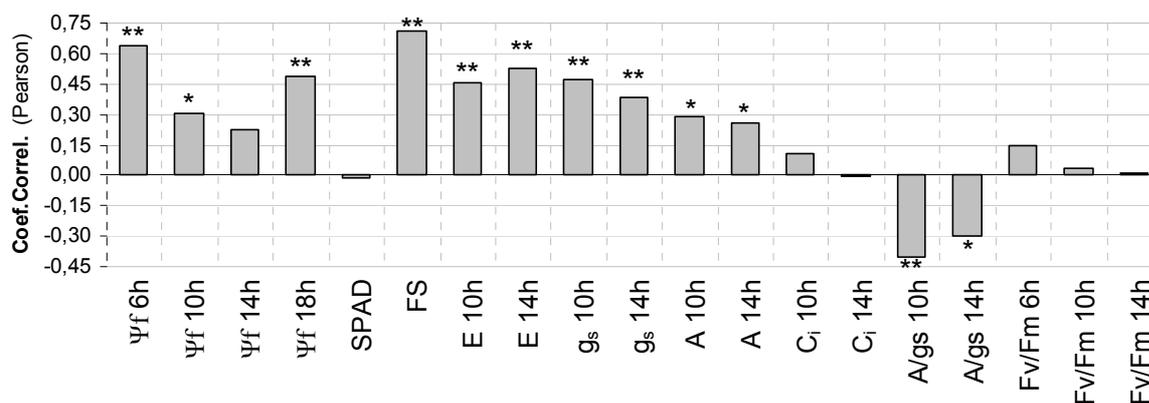


Figura 4.17 – Coeficientes de correlação de *Pearson* entre o teor de água no solo e os seguintes parâmetros fisiológicos: potencial hídrico foliar (Ψ_f , medido às 6:00, 10:00, 14:00 e 18:00), SPAD, fluxo de seiva (FS, médias diárias), trocas gasosas (E , g_s , A , C_i e A/g_s , medidos às 10:00 e às 14:00) e a eficiência quântica para a fotossíntese (F_v/F_m , medida às 6:00, 10:00 e 14:00).

** . Correlação é significativa ao nível de 0,01.

* . Correlação é significativa ao nível de 0,05.

De acordo com o Ψ_f de base e o nível de trocas gasosas apresentadas foi também possível avaliar o nível de carência hídrica demonstrado pelas videiras sujeitas aos diferentes tratamentos, antes e após o pintor, por comparação com valores de referência (*vide* Figura 2.5 e Quadro 2.3). A figura 4.18 resume essa análise.

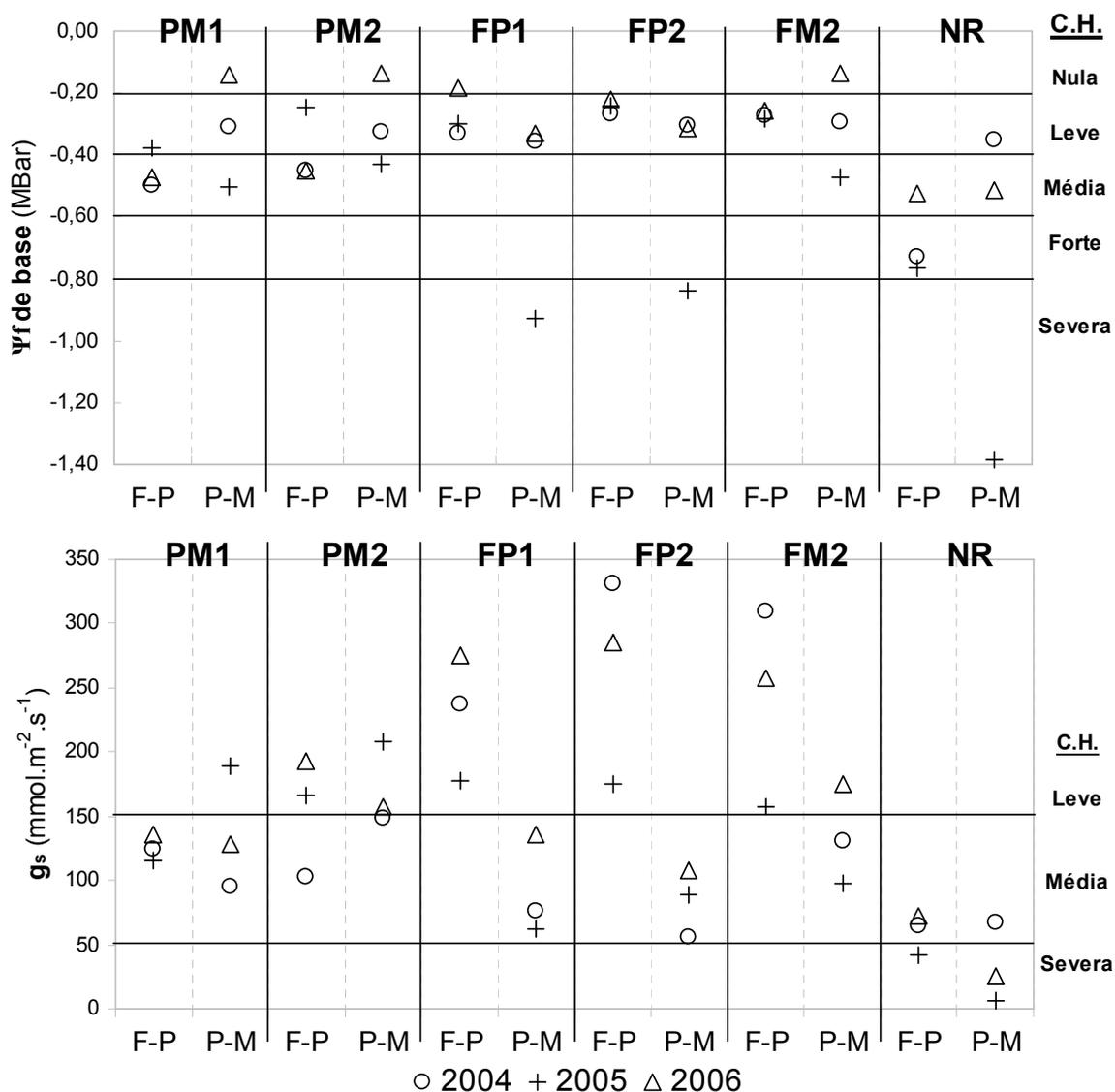


Figura 4.18 – Nível de carência hídrica (C.H.) das videiras em função dos registos de Ψ_f de base e condutância estomática (g_s) nos períodos floração-pintor (F-P) e pintor-maturação (P-M) segundo valores de referência de Flexas *et al.* (2002), Medrano *et al.* (2002), Cifre *et al.* (2005) e Ojeda (2007).

4.3. Avaliação da Produção

4.3.1. Avaliação quantitativa

No primeiro ano de registos (2004) não se verificaram em geral diferenças significativas na maioria dos componentes do rendimento. As variações do rendimento das videiras com o regime hídrico acentuaram-se sobretudo a partir do segundo ano de ensaios.

Em 2004, a produção total por videira (figura 4.19) atingiu o seu valor mais alto na modalidade FM2, com 1,917 kg. No entanto este apenas diferiu significativamente da modalidade PM1, que apresentou o valor de produção mais baixo por videira (1,149 kg). Não se verificaram diferenças significativas em relação às restantes modalidades.

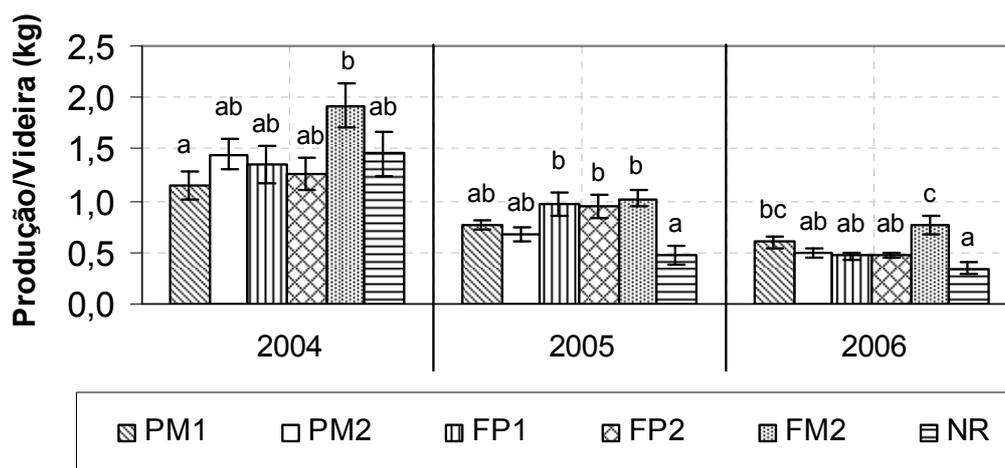


Figura 4.19 – Produção (kg) por videira nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006. Os valores médios estão afectados do erro padrão. Em cada ano, as letras no topo das colunas, quando diferentes, indicam médias significativamente diferentes ($Tukey_{0,05}$).

No segundo ano de ensaios (2005) as produções caíram generalizadamente, com a queda mais acentuada a ser sentida na modalidade NR (67,3% de diminuição em relação ao ano anterior), seguida da PM2 (-53,3%), FM2 (-46,7%), PM1 (-33,6%), FP1 (-28,2%) e com a FP2 a registar a menor quebra do ano (-25,4%). Apesar de apresentar uma quebra para quase metade da produção, a modalidade FM2 continuou a registar o valor mais alto em 2005, com 1,022 kg. Contudo, uma vez mais, a produção de FM2 apenas diferiu significativamente do valor mais baixo registado, desta feita pela modalidade NR, que caiu para os 0,475 kg. As modalidades FP1 e FP2 ficaram bastante próximas do valor mais elevado. As modalidades regadas até ao pintor foram assim as que registaram uma maior produção por videira em 2005. Em 2006 a produção voltou a cair em todas as modalidades, com as maiores quebras a serem registadas na modalidade FP1 (-52,2%), seguida da FP2 (-49,7%), NR (-28%), PM2 (-27,2%), FM2 (-25,5%) e da PM1 (-21,7%). Apesar de a uma primeira vista as diferenças parecerem menos expressivas, dadas as baixas produções verificadas neste último ano, na realidade, em termos estatísticos houve uma melhor separação entre as três estratégias hídricas – rega continuada a partir da floração, rega em apenas um dos períodos definidos e testemunha não regada. A modalidade FM2 atingiu pelo terceiro ano consecutivo o valor mais alto (0,761 kg por videira), apresentando diferenças significativas em relação a todas as modalidades excepto à PM1, que por sua vez apresentou ainda diferenças significativas em relação à modalidade NR. As modalidades regadas durante apenas um dos períodos (FP ou PM) ficaram todas bastante próximas, não apresentando diferenças significativas entre si, nem, no caso da FP1, FP2 e PM2, em relação à modalidade NR, que registou novamente o valor mais baixo (0,342 kg).

Para tentar compreender os mecanismos de variação do rendimento da videira com o regime hídrico, avaliou-se também os vários componentes do rendimento, nomeadamente o número de cachos produzidos e o peso médio dos cachos.

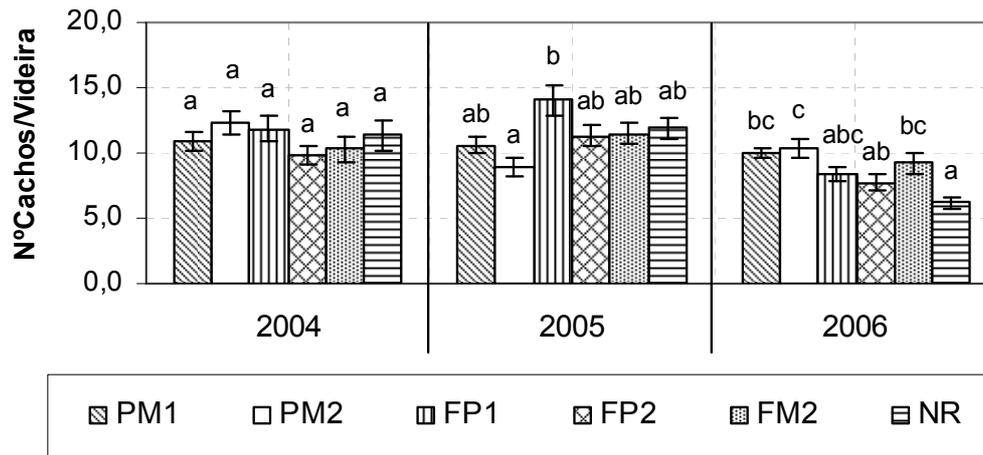


Figura 4.20 – Número de cachos por videira nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006. Os valores médios estão afectados do erro padrão. Em cada ano, as letras no topo das colunas, quando diferentes, indicam médias significativamente diferentes (*Tukey*_{0,05}).

O número de cachos por videira (figura 4.20) não apresentou em 2004 qualquer diferença significativa, verificando-se apenas uma tendência para valores mais baixos nos tratamentos regados com a dotação mais alta antes do pintor (FP2 e FM2). Em 2005 já se verificaram diferenças mais definidas entre as modalidades, embora estas apenas tenham sido significativas entre os extremos, com FP1 a atingir o valor mais alto (14,1) e PM2 o mais baixo (8,9). No último ano de ensaios (2006) as diferenças entre as modalidades acentuaram-se ainda mais. Os tratamentos regados após o pintor registaram os valores mais altos, encabeçados pela PM2 com 10,4 cachos por videira. O NR caiu para a última posição com 6,2 cachos por videira, mas apenas diferindo significativamente dos tratamentos regados após o pintor (PM1, PM2 e FM2).

As variações da produção com o regime hídrico parecem contudo estar mais relacionadas com as variações induzidas no peso dos cachos do que no seu número, como se pode observar na figura 4.21.

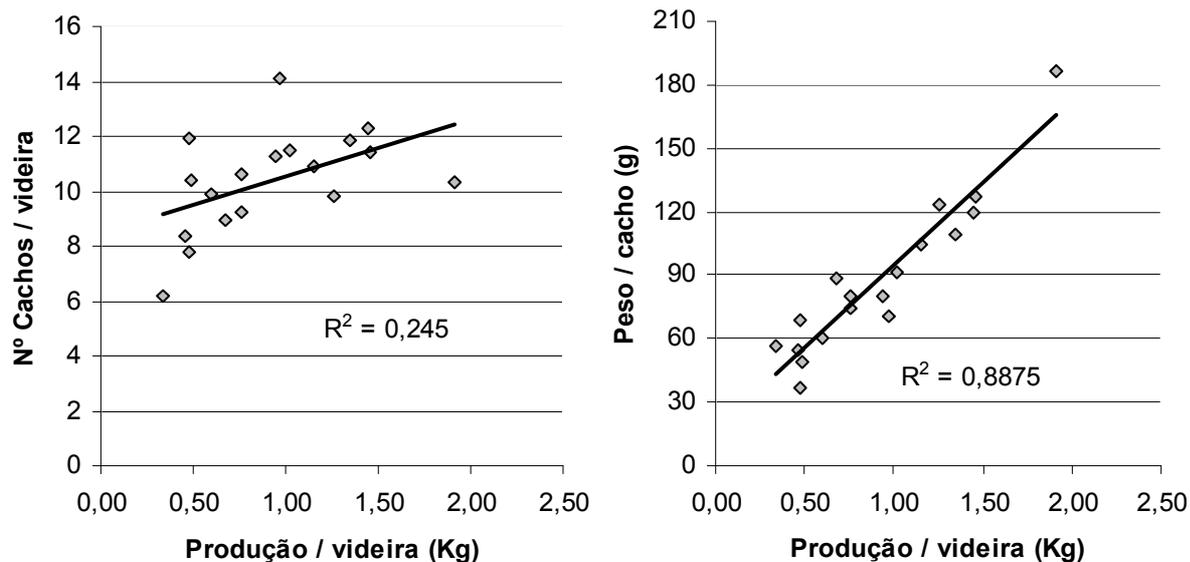


Figura 4.21 – Relação entre a produção por videira e, respectivamente, o número de cachos por videira e o peso por cacho, para uma mesma modalidade, no conjunto dos 3 anos de ensaios (2004, 2005 e 2006).

Ao longo dos 3 anos de ensaios, a modalidade regada com a dotação mais alta da floração à maturação (FM2) apresentou consistentemente os cachos mais pesados (figura 4.22). Em 2004, esta diferença foi particularmente expressiva, sendo a única modalidade que se distinguiu de uma forma significativa das restantes, que não apresentaram nesse ano diferenças significativas, embora se possa assinalar que os pesos mais baixos foram registados nas modalidades regadas com a dotação mais baixa (FP1, PM1). Em 2005 apenas o valor mais baixo, atingido pela modalidade NR, distinguiu-se significativamente dos restantes. O peso dos cachos foi também baixo nas modalidades regadas com a dotação mais baixa (FP1, PM1), à semelhança do verificado no ano anterior. Em 2006 apenas o valor mais alto (FM2) e o mais baixo (PM2) diferiram significativamente, com PM2 a apresentar não só os cachos menos pesados, como também a queda mais acentuada em relação ao ano anterior. É de realçar também a grande variabilidade interanual demonstrada pela modalidade NR, capaz de assinalar a queda mais abrupta de 2004 para 2005 e simultaneamente a única subida verificada de 2005 para 2006.

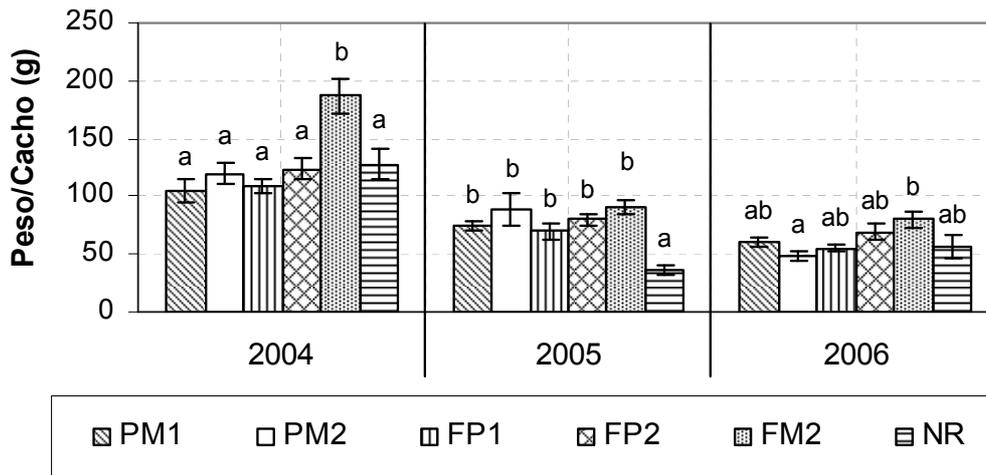


Figura 4.22 – Peso médio por cacho nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006. Os valores médios estão afectados do erro padrão. Em cada ano, as letras no topo das colunas, quando diferentes, indicam médias significativamente diferentes ($Tukey_{0,05}$).

O peso dos cachos está obviamente relacionado com o peso dos bagos, existindo como tal diversas semelhanças no padrão de variação de ambos os parâmetros. O peso dos bagos foi consistentemente mais elevado na modalidade FM2 e com NR a apresentar em 2004 e 2005 os valores mais baixos, e em 2006 os segundo valores mais baixos, ficando apenas acima da PM1 (figura 4.23). As diferenças entre os diferentes tratamentos foram-se acentuando e tornando-se cada vez mais significativa ao longo dos 3 anos de ensaios. Em 2004, apesar da tendência referida, não se verificaram ainda diferenças significativas. Em 2005 a modalidade NR, foi já significativamente inferior a todas as modalidades regadas com a dotação de 100% da ET. Em 2006 a modalidade FM2 foi significativamente superior a todas as modalidades que não foram regadas entre a floração e o pintor ($PM1 < NR < PM2$), existindo igualmente diferenças significativas entre o 2º valor mais elevado do ano (FP1) e o valor mais baixo (PM1).

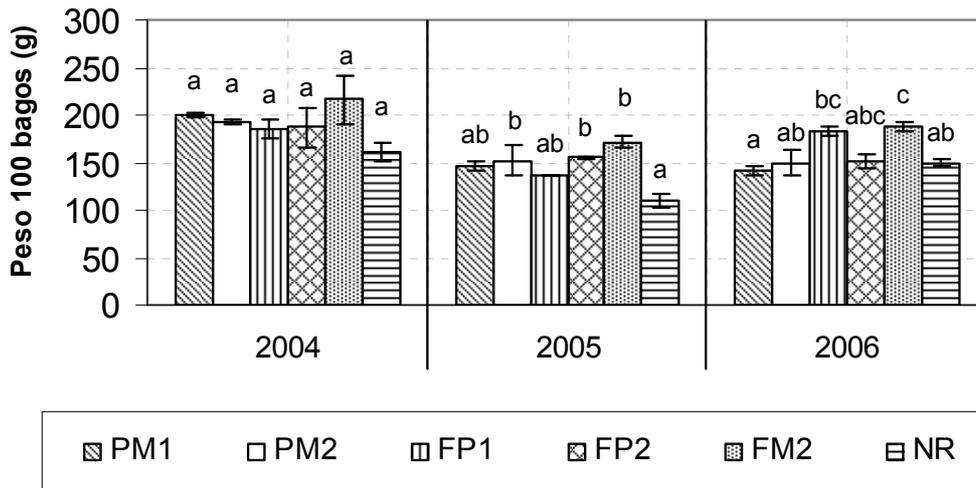


Figura 4.23 - Peso de 100 bagos nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006. Os valores médios estão afectados do erro padrão. Em cada ano, as letras no topo das colunas, quando diferentes, indicam médias significativamente diferentes ($Tukey_{0,05}$).

Entre as questões geralmente debatidas na temática das relações hídricas das videiras encontra-se o potencial impacto no equilíbrio entre o crescimento vegetativo e a produção. Este efeito pode em parte ser avaliado através de determinações efectuadas à poda, como a expressão vegetativa (peso da lenha de poda por videira) e o vigor (peso por lançamento), assim como através de alguns índices de produção, como o índice de fertilidade potencial (n° de inflorescências / n° de olhos abrolhados) e o índice de *Ravaz*. (produção / lenha de poda)

A expressão vegetativa (figura 4.24) e o vigor (figura 4.25) em 2004 não apresentaram qualquer diferença significativa entre as modalidades em estudo. Nos restantes anos, embora já existam algumas diferenças significativas, as variações parecem não apresentar um padrão de variação consistente com o regime hídrico. Na verdade, ao longo dos 3 anos em estudo, apesar da modalidade mais regada (FM2), ter apresentado sempre valores mais elevados maiores que a modalidade NR, estas nunca chegaram a diferir significativamente. Parece ainda assim existir uma tendência para o vigor das videiras NR ser progressivamente mais baixo.

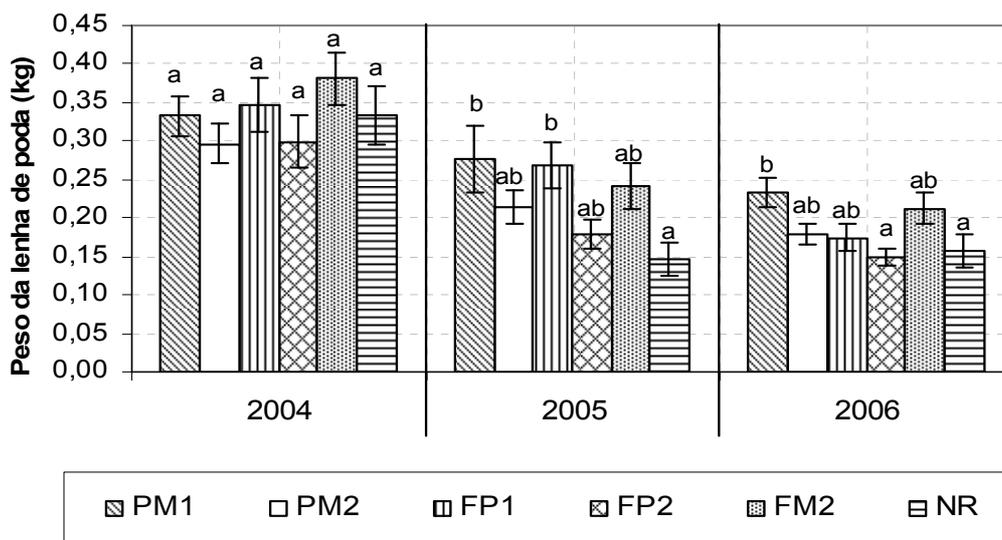


Figura 4.24 - Expressão vegetativa (peso da lenha de poda por videira) nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006. Os valores médios estão afectados do erro padrão. Em cada ano, as letras no topo das colunas, quando diferentes, indicam médias significativamente diferentes ($Tukey_{0,05}$).

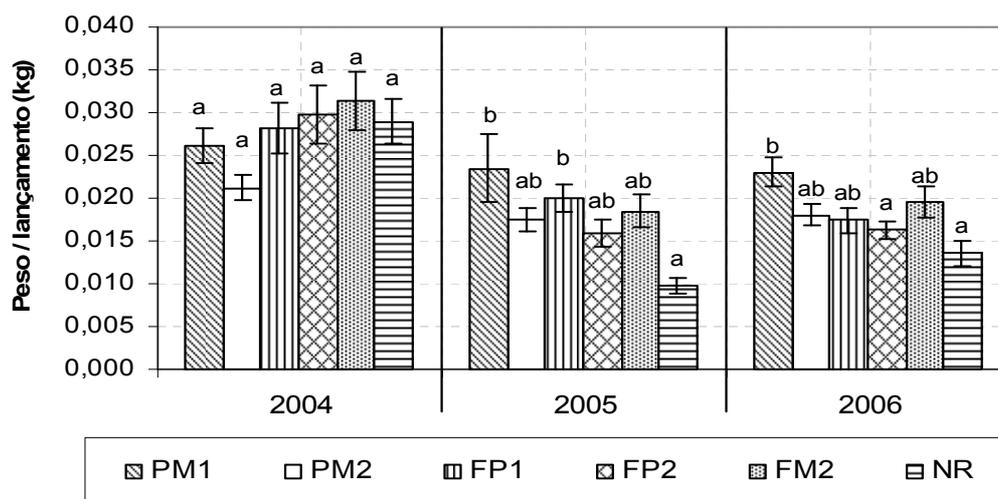


Figura 4.25 – Vigor (peso por lançamento) nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006. Os valores médios estão afectados do erro padrão. Em cada ano, as letras no topo das colunas, quando diferentes, indicam médias significativamente diferentes ($Tukey_{0,05}$).

Os índices de produção avaliados não parecem igualmente mostrar desequilíbrios vegetativos ou problemas de fertilidade associados de uma forma clara a um determinado regime hídrico.

O índice de fertilidade potencial (figura 4.26) apenas apresentou diferenças significativas a partir do 2º ano. As variações intra-anuais apresentaram um comportamento aparentemente errático. A título de exemplo, modalidades como a NR e a PM2 foram

capazes de apresentar os valores mais altos num ano e os mais baixos num outro. No entanto, avaliando o conjunto dos 3 anos, parece verificar-se um certo padrão de evolução. A modalidade NR foi a única que veio continuamente a descer de desempenho. As modalidades regadas apenas após o pintor mostraram uma evolução inversa, com PM1 a apresentar uma subida progressiva e PM2, apesar da quebra em 2005, foi a que mais subiu no conjunto dos 3 anos (+20,6%).

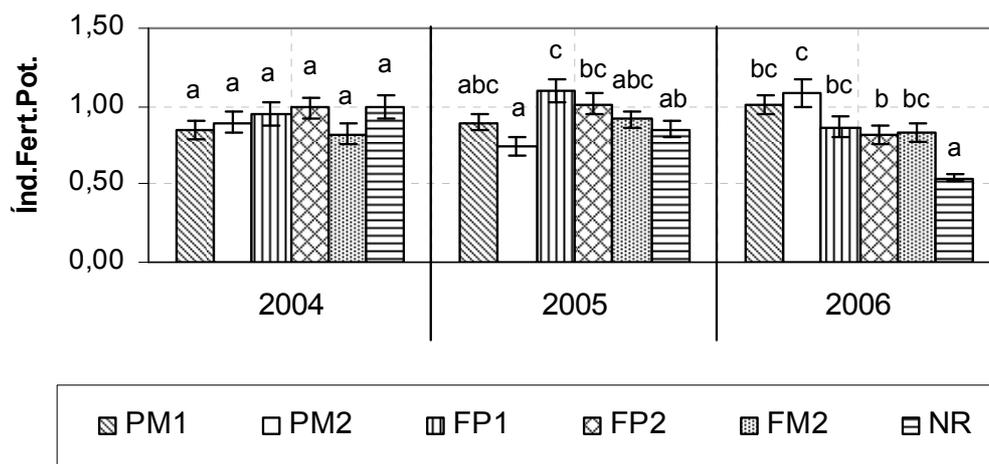


Figura 4.26 – Índice de fertilidade potencial nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006. Os valores médios estão afectados do erro padrão. Em cada ano, as letras no topo das colunas, quando diferentes, indicam médias significativamente diferentes ($Tukey_{0,05}$).

O índice de *Ravaz* (figura 4.27) é um parâmetro particularmente interessante, pelo facto de relacionar a produção com a expressão vegetativa, permitindo avaliar se as reservas estão a ser canalizadas de uma forma equilibrada para o crescimento vegetativo e para a produção. Nos 3 anos de ensaio não se verificou um padrão de comportamento do índice de *Ravaz* com o regime hídrico, não havendo mesmo diferenças significativas no último ano estudado. Em todo o caso pode-se verificar que qualquer dos tratamentos regados, ou não apresentou diferenças significativas relativamente à testemunha não regada, ou teve mesmo um índice de *Ravaz* superior.

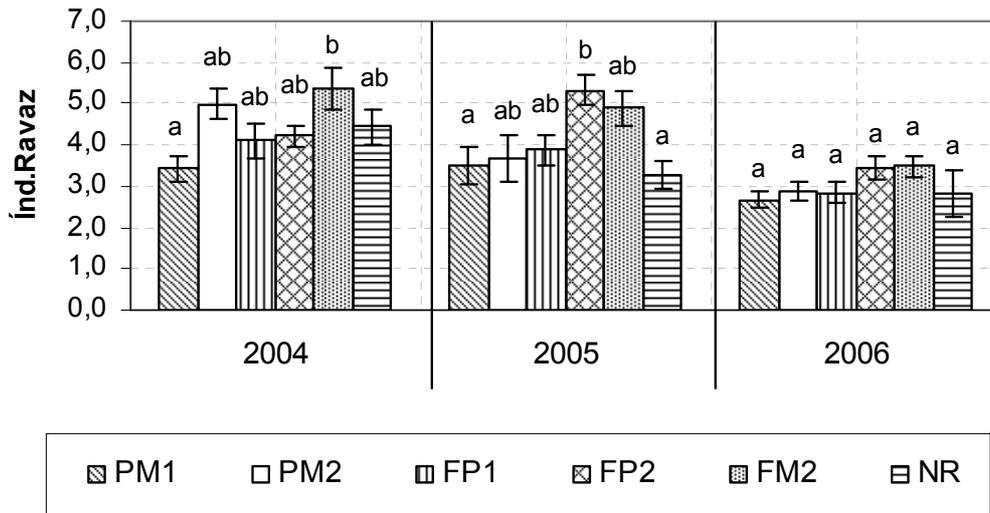


Figura 4.27 – Índice de *Ravaz* nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006. Os valores médios estão afectados do erro padrão. Em cada ano, as letras no topo das colunas, quando diferentes, indicam médias significativamente diferentes ($Tukey_{0,05}$).

Analisando os efeitos do ano no rendimento verifica-se que este teve também influência sobre a maioria dos parâmetros avaliados (Quadro 4.2). Os três anos foram significativamente diferentes em termos de produção por videira, peso por cacho e expressão vegetativa, com os valores mais altos a serem registados em 2004 e a caírem em 2005 e novamente em 2006. O peso dos bagos também variou significativamente consoante o ano, sendo o mais alto registado em 2004, caindo em 2005 e recuperando ligeiramente em 2006. O número de cachos por videira e o índice de Ravaz foram semelhantes em 2004 e em 2005, mas ambos os anos apresentaram valores significativamente maiores do que 2006. Por sua vez, o vigor em 2004 foi significativamente maior do que em 2005 e 2006. Apenas o índice de fertilidade potencial não variou de uma forma significativa com o ano.

Quadro 4.2 – Variação dos parâmetros de rendimento com o ano. Os valores médios estão afectados do erro padrão. Em cada parâmetro, as letras, quando diferentes, indicam médias significativamente diferentes ($Tukey_{0,05}$).

	2004	2005	2006
NºCachos/Videira	11,09 ± 0,335 b	11,38 ± 0,331 b	8,646 ± 0,331 a
Produção/Videira (kg)	1,429 ± 0,049 c	0,807 ± 0,048 b	0,521 ± 0,048 a
Peso/Cacho (g)	128,6 ± 3,490 c	73,40 ± 3,446 b	61,66 ± 3,446 a
Peso de 100 bagos (g)	190,5 ± 4,260 c	144,8 ± 4,260 a	160,6 ± 4,260 b
Expressão vegetativa (kg)	0,331 ± 0,011 c	0,221 ± 0,011 b	0,184 ± 0,011 a
Vigor	0,028 ± 0,001 b	0,018 ± 0,001 a	0,018 ± 0,001 a
Índice de fertilidade potencial	0,918 ± 0,026 a	0,921 ± 0,026 a	0,859 ± 0,026 a
Índice de Ravaz	4,425 ± 0,157 b	4,087 ± 0,155 b	3,018 ± 0,155 a

4.3.2. Avaliação qualitativa

4.3.2.1. Açúcares

O teor em álcool provável (AP) é um dos parâmetros de avaliação da qualidade do mosto mais utilizados, sendo extrapolado a partir da concentração, determinada por refractometria, de sólidos solúveis totais, dos quais os açúcares redutores representam quase a sua totalidade à maturação (Jackson e Lombard, 1993).

Foram previstas três amostragens por ano, embora em 2005 apenas se tenham efectuado duas, em resultado da precocidade da colheita nesse ano. A evolução do AP foi a esperada, sobretudo em 2005 e 2006, observando-se o seu aumento ao longo da maturação. O comportamento observado em 2004 (figura 4.28), em que existiu um decréscimo em quase todas as modalidades da segunda para a terceira amostragem terá ficado a dever-se a um

efeito de diluição derivado da precipitação ocorrida na 2ª e na 3ª semana de Agosto (respectivamente 15,2 e 19,4 mm). Nesse ano, à data de vindima, as modalidades que apresentaram uvas com um maior AP foram as regadas entre a floração e o pintor, respectivamente a FP1 (14,5%) e a FP2 (14,2%). Os valores mais baixos foram registados nas duas modalidades opostas, respectivamente na NR (12,2%) e na FM2 (12,9%). Entre as modalidades regadas apenas FP1 e FM2 apresentaram diferenças significativas. Por outro lado, ambas as modalidades regadas com a dotação mais alta após o pintor (PM2 e FM2) não diferiram significativamente da modalidade não regada.

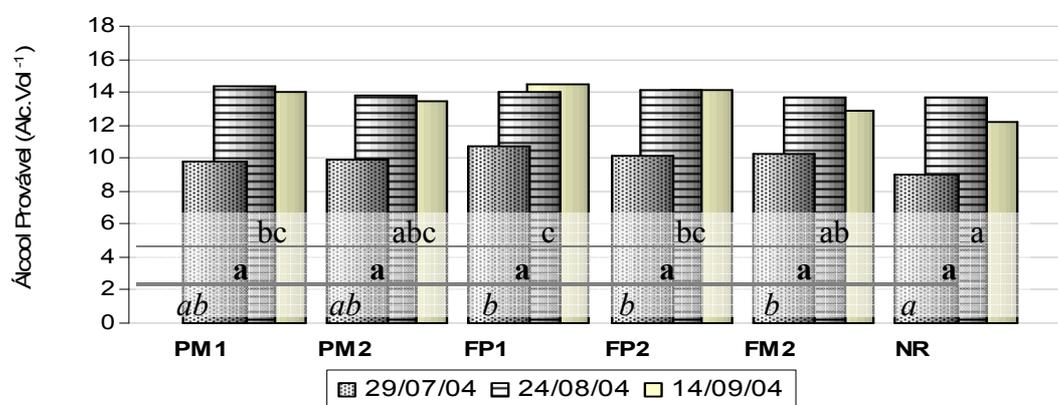


Figura 4.28 – Evolução do teor de álcool provável das uvas nas modalidades em estudo em 2004. Em cada data, as letras dispostas na mesma linha horizontal, quando diferentes, indicam médias significativamente diferentes ($Tukey_{0,05}$) na data correspondente à coluna onde se encontram.

Em 2005 (figura 4.29) a modalidade FP1 apresentou novamente o valor mais alto. Na verdade a FP1 foi a única que se distinguiu significativamente das restantes modalidades, excepto do 2º valor mais alto do ano, atingido pela outra modalidade também regada a 50% da ET (PM1). Os valores mais baixos foram registados uma vez mais nas duas modalidades opostas, embora desta vez a FM2 tenha ficado abaixo da NR (respectivamente com 13,6% e 14,0%).

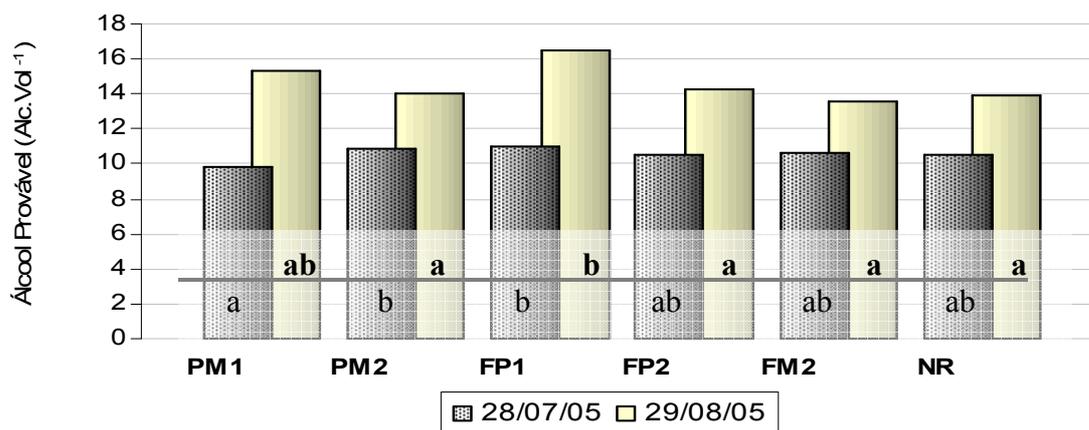


Figura 4.29 – Evolução do teor de álcool provável das uvas nas modalidades em estudo em 2005. Em cada data, as letras dispostas na mesma linha horizontal, quando diferentes, indicam médias significativamente diferentes ($Tukey_{0,05}$) na data correspondente à coluna onde se encontram.

No último ano (figura 4.30), apesar das modalidades apenas regadas num dos períodos, e sobretudo as com dotação de 50% da ET, continuarem a registar teores de AP bastante elevados, a NR suplantou todas, atingindo o valor mais alto do conjunto dos 3 anos com 17,5%. A modalidade FM2, por sua vez, manteve-se na posição mais baixa, embora ainda assim atingindo os 15%. As únicas diferenças significativas registadas foram precisamente entre o valor mais baixo (FM2) e os três valores mais altos do ano (respectivamente NR, PM1 e FP1).

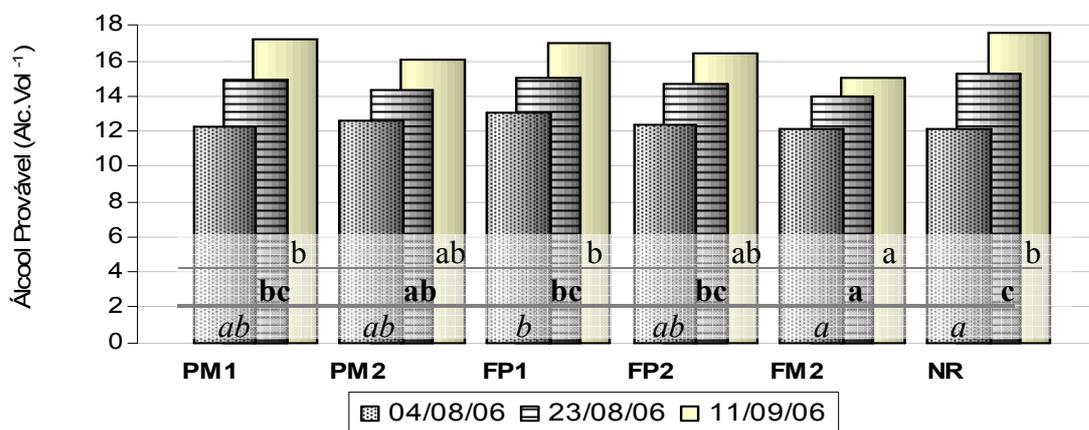


Figura 4.30 – Evolução do teor de álcool provável das uvas nas modalidades em estudo em 2006. Em cada data, as letras dispostas na mesma linha horizontal, quando diferentes, indicam médias significativamente diferentes ($Tukey_{0,05}$) na data correspondente à coluna onde se encontram.

Avaliando a evolução do teor de álcool provável ao longo do período de maturação durante os 3 anos, pode-se verificar que FM2, além de estar sempre entre os valores mais baixos, foi sempre a modalidade que apresentou um menor aumento entre a primeira e a

última amostragem. PM1 foi em geral a modalidade que mais aumentou, sendo apenas ultrapassada em 2006 pela NR. A modalidade NR na verdade apresentou sempre taxas de crescimento do teor de álcool provável acima de várias das modalidades regadas. Há contudo que ter em atenção que, no aumento da concentração dos açúcares ao longo do período da maturação, poderão estar envolvidos diferentes mecanismos. Consoante as modalidades, este aumento pode resultar de uma maior produção e acumulação de açúcares ou de um efeito de concentração derivado de uma desidratação progressiva dos bagos. Esta avaliação será feita em conjunto com os restantes parâmetros de qualidade no capítulo “Discussão dos resultados”.

O ano teve também influência na concentração de açúcares nas uvas à colheita (Quadro 4.3). Os três anos foram significativamente diferentes em termos de teores de AP, com os valores mais altos a serem registados em 2006, seguidos por 2005 e por último 2004.

Quadro 4.3 – Variação do álcool provável com o ano. Os valores médios estão afectados do erro padrão. Em cada parâmetro, as letras, quando diferentes, indicam médias significativamente diferentes (*Tukey*_{0,05}).

	2004	2005	2006
Álcool provável	13,56 ± 0,14 a	14,62 ± 0,14 b	16,55 ± 0,14 c

4.3.2.2. Ácidos orgânicos

A acidez total do mosto, expressa em g.l⁻¹ de ácido tartárico, seguiu, como seria de esperar, uma evolução inversa à verificada nos açúcares, diminuindo progressivamente ao longo da maturação (figura 4.32).

Ao longo dos 3 anos de trabalhos, as modalidades regadas com a dotação mais alta entre a floração e o pintor (FP2 e FM2) apresentaram em geral uma acidez total mais elevada. A dotação de 50% da ET entre a floração e o pintor (FP1) revelou-se em geral insuficiente para se diferenciar das modalidades não regadas neste mesmo período (PM1, PM2 e NR). Estas tendências verificaram-se durante a maioria das datas de amostragem, embora as diferenças entre as várias modalidades se tenham tornado cada vez menos significativas ao longo da maturação. Em 2006, a partir da 2ª data de amostragem, deixaram inclusive de existir diferenças significativas entre as modalidades em estudo. A modalidade NR teve em

geral um desempenho intermédio ao nível da acidez total, raramente apresentando diferenças significativas relativamente aos tratamentos regados.

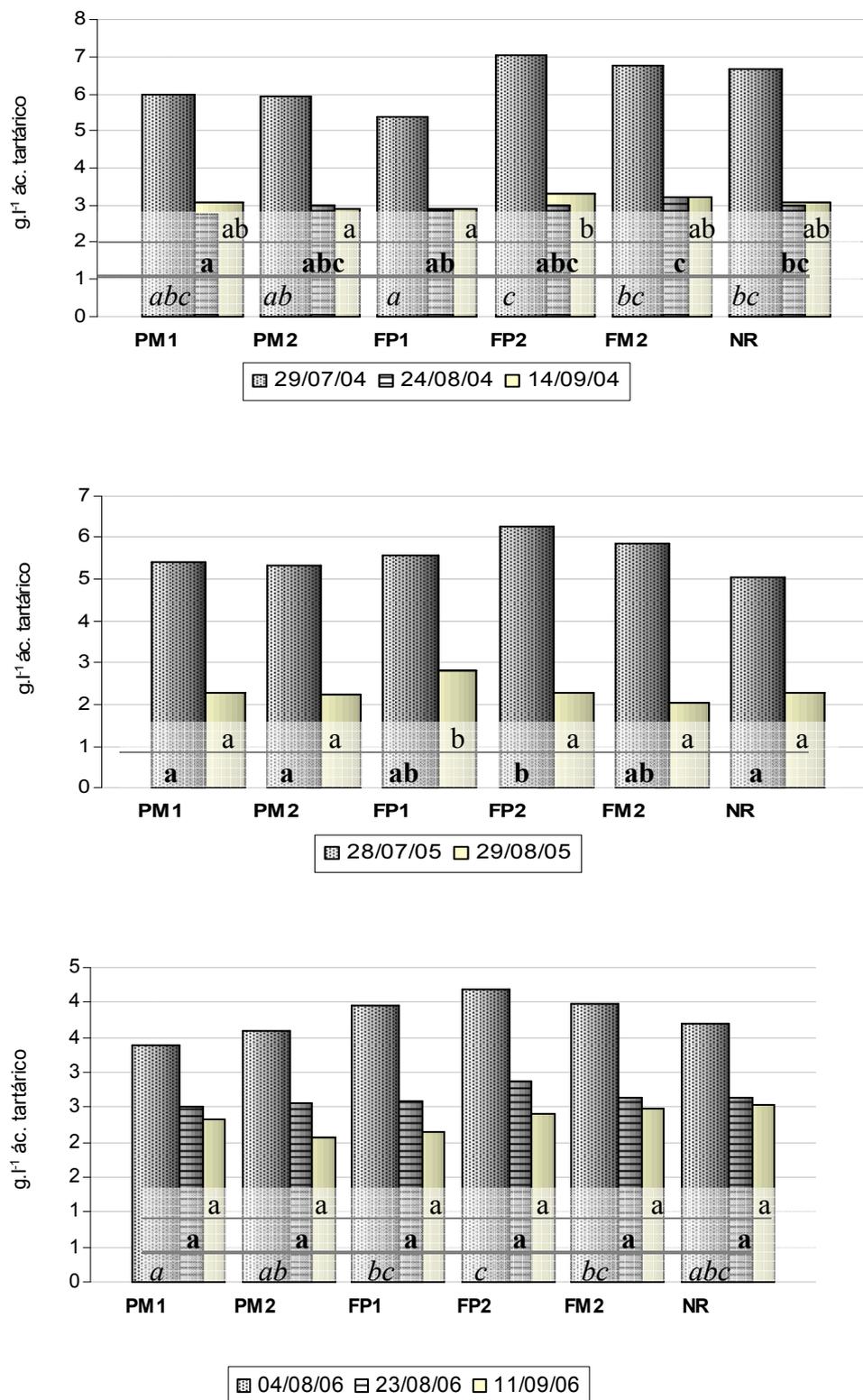


Figura 4.31 – Evolução da acidez total das uvas (expressa em g.l⁻¹ de ácido tartárico) nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006. Em cada data, as letras dispostas na mesma linha horizontal, quando diferentes, indicam médias significativamente diferentes (*Tukey*_{0,05}) na data correspondente à coluna onde se encontram.

Para melhor se compreenderem os fenómenos envolvidos na variação da acidez total e as suas repercussões possíveis na qualidade do mosto analisaram-se os dois principais ácidos orgânicos das uvas – o ácido tartárico e o ácido málico. Os dois ácidos apresentaram comportamentos bastante diferentes face à disponibilidade hídrica.

O ácido málico (figura 4.33) teve um comportamento em parte semelhante à acidez total. Uma vez mais, a rega com a dotação mais alta entre a floração e o pintor (FP2) destacou-se, registando os valores mais altos. No 2º e 3º ano de trabalhos mesmo a dotação de 50% da ET neste período (FP1) parece contribuir para um teor de ácido málico mais elevado, apenas ficando aquém da FP2.

A rega após o pintor não apresentou, por seu lado, um efeito tão positivo no ácido málico quanto a rega antes do pintor, o que parece ser evidenciado tanto pelos resultados obtidos pelas modalidades apenas regadas entre o pintor e a maturação (PM1, PM2), como pela própria evolução da modalidade FM2 após o pintor, que registou algumas das maiores quebras no teor de ácido málico das uvas entre a amostragem do pintor e a da vindima (-63% em 2004, -69% em 2005 e -58% em 2006, sendo que nos 2 últimos anos foi mesmo a maior quebra registada). Mas ainda assim a modalidade que apresentou sempre os valores mais baixos no momento da colheita foi a NR, sendo significativamente inferior a todas as modalidades regadas.

Parece assim que o teor de ácido málico das uvas será superior quando existe uma maior disponibilidade hídrica, sobretudo quando tal se verifica entre a floração e o pintor, período em que este é sintetizado.

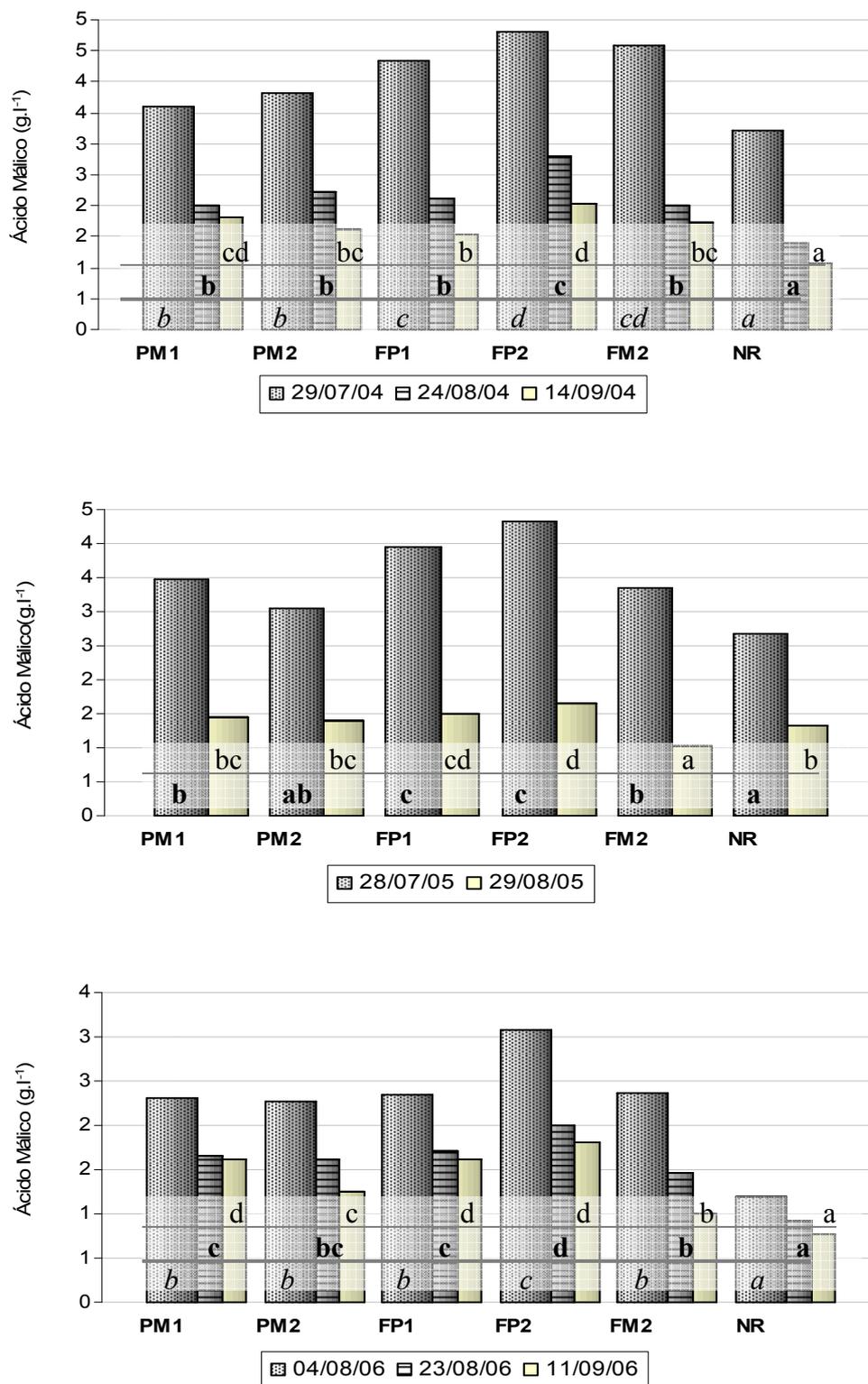


Figura 4.32 – Evolução da concentração de ácido málico das uvas nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006. Em cada data, as letras dispostas na mesma linha horizontal, quando diferentes, indicam médias significativamente diferentes ($Tukey_{0,05}$) na data correspondente à coluna onde se encontram.

O teor de ácido tartárico das uvas (figura 4.34) não parece, pelo contrário, beneficiar com uma maior disponibilidade de água. Sempre que se verificaram diferenças significativas entre as modalidades foram na verdade as videiras não regadas a apresentar as uvas com maior teor de ácido tartárico.

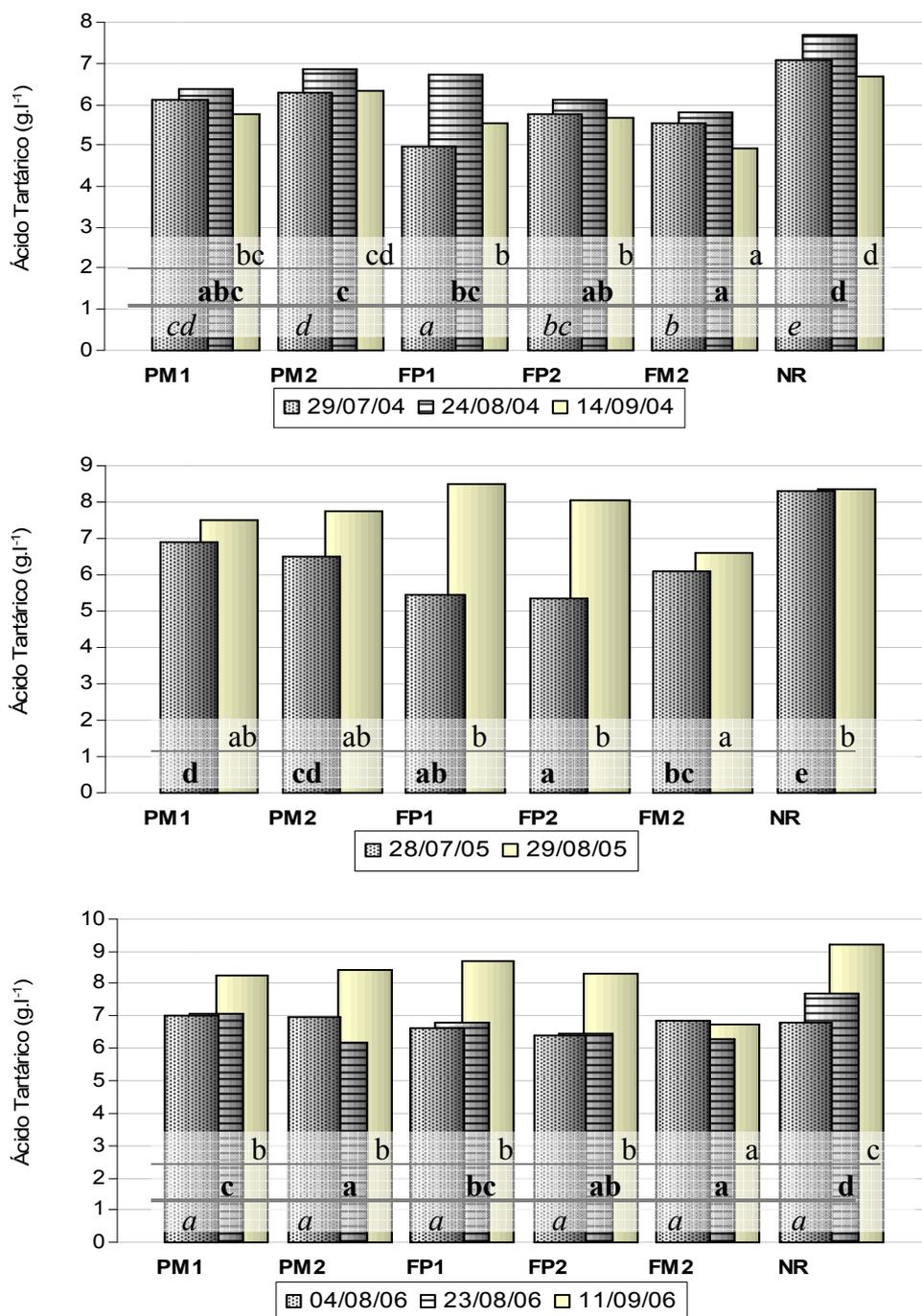


Figura 4.33 – Evolução da concentração de ácido tartárico das uvas nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006. Em cada data, as letras dispostas na mesma linha horizontal, quando diferentes, indicam médias significativamente diferentes ($Tukey_{0,05}$) na data correspondente à coluna onde se encontram.

Por outro lado, a própria evolução do ácido tartárico ao longo da maturação apresenta variações bastante menores, comparativamente ao ácido málico (em média 15% e -53%, respectivamente) sendo que, tanto em 2005 como em 2006, verificou-se inclusive um aumento do teor de ácido tartárico entre o pintor e a vindima na maioria das modalidades.

A acidez total apresentou uma boa correlação com o ácido málico face a diferentes disponibilidades hídricas, contrariamente ao verificado com o ácido tartárico, como se pode ver na figura 4.35. As variações da acidez total com o regime hídrico parecem assim ser sobretudo derivadas de variações no teor de ácido málico e não tanto no ácido tartárico.

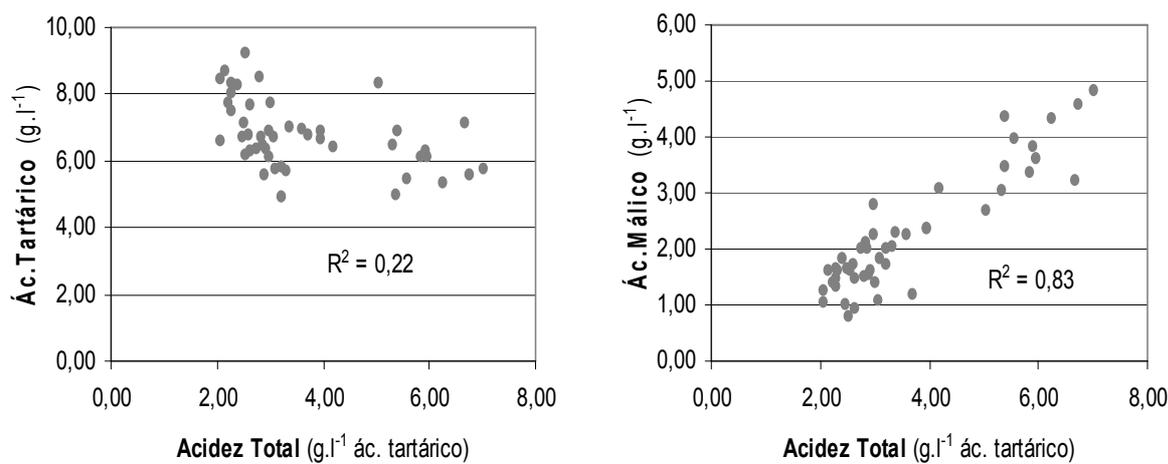


Figura 4.34 – Relação entre a acidez total das uvas (expressa em g.l⁻¹ de ácido tartárico) e, respectivamente, o seu teor em ácido tartárico e em ácido málico, para uma mesma modalidade, no conjunto dos 3 anos de ensaios (2004, 2005 e 2006).

4.3.2.3. pH do Mosto

O pH do mosto apresentou, como seria de esperar, uma evolução inversa à da acidez total, aumentando em geral ao longo da maturação (figura 4.36). Parece existir uma tendência, sobretudo a partir do 2º ano, para que as modalidades não regadas entre a floração e o pintor (PM1 e PM2) apresentem mostos com pH mais alto e as continuamente regadas da floração até à maturação com a dotação mais elevada (FM2) apresentem os valores mais baixos. No entanto as diferenças entre as modalidades em estudo foram ainda mais ténues do que no caso da acidez total, raramente atingindo a significância estatística. Nas poucas vezes em que as diferenças foram significativas, apenas o foram entre o valor máximo e o mínimo.

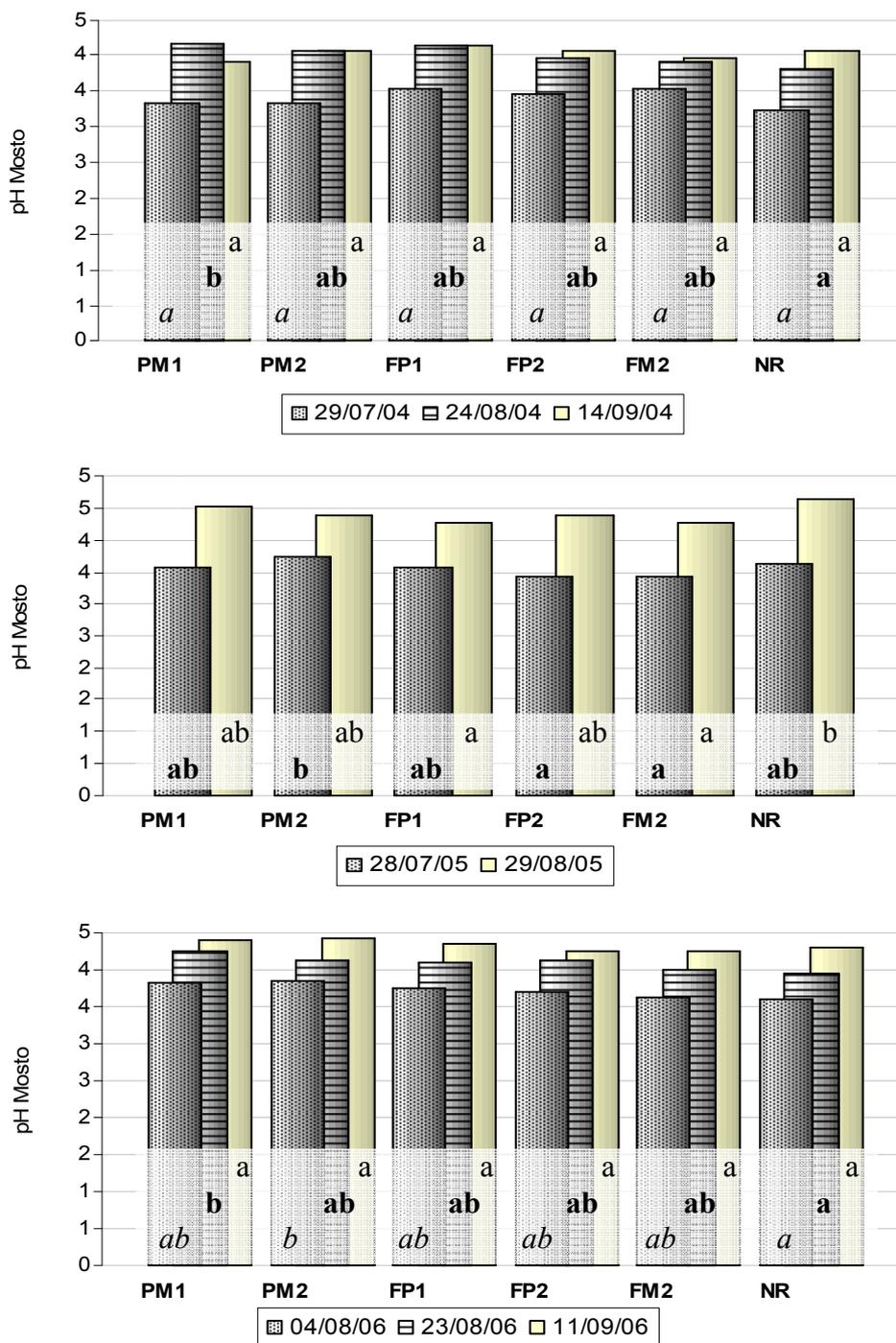


Figura 4.35 – Evolução do pH do mosto nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006. Em cada data, as letras dispostas na mesma linha horizontal, quando diferentes, indicam médias significativamente diferentes ($Tukey_{0,05}$) na data correspondente à coluna onde se encontram.

As variações do pH do mosto com o regime hídrico parecem estar relacionadas, como seria de esperar, com as variações na acidez total (figura 4.37), e por conseguinte, de acordo com as correlações ilustradas nas figuras 4.35 e 4.37, deverão também resultar sobretudo do

efeito da disponibilidade hídrica sobre o teor de ácido málico e não tanto sobre o teor de ácido tartárico.

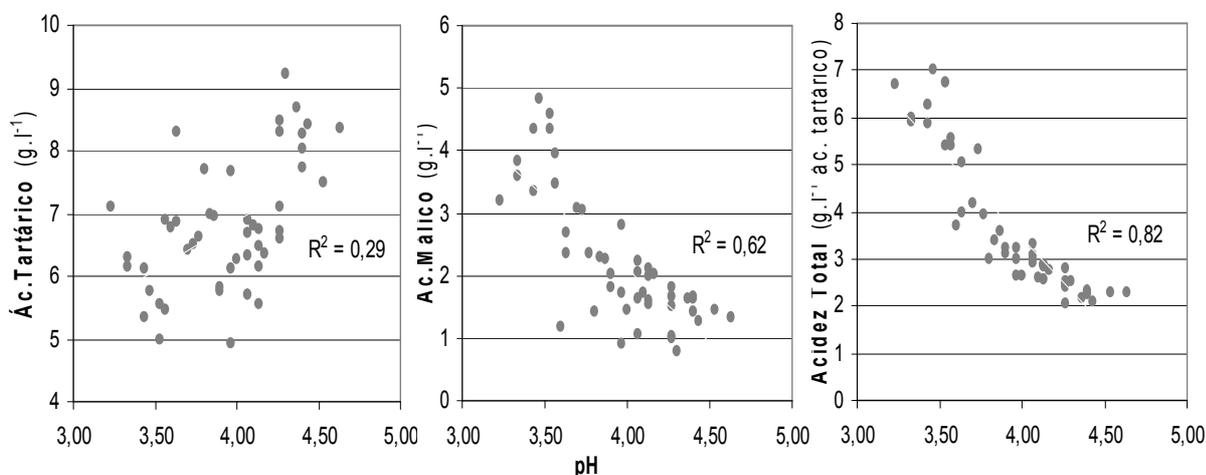


Figura 4.36 – Relação entre o pH dos mostos e, respectivamente, o seu teor em ácido tartárico, em ácido málico e acidez total, para uma mesma modalidade, no conjunto dos 3 anos de ensaios (2004, 2005 e 2006).

Os quatro parâmetros (pH, acidez total, ácido tartárico e ácido málico) variaram significativamente consoante o ano (Quadro 4.4). Em 2004 a acidez total e o ácido málico foram significativamente maiores e o pH significativamente menor do que nos restantes anos que, por sua vez não diferiram entre si. Em termos de ácido tartárico, os três anos foram significativamente diferentes, com os valores mais baixos a serem registados em 2004, subindo em 2005 e novamente em 2006.

Quadro 4.4 – Variação do pH, acidez total, ácido tartárico e ácido málico com o ano. Os valores médios estão afectados do erro padrão. Em cada parâmetro, as letras, quando diferentes, indicam médias significativamente diferentes (*Tukey*_{0,05}).

	2004	2005	2006
pH	4,033 ± 0,03 a	4,417 ± 0,03 b	4,339 ± 0,03 b
Acidez Total (g.l ⁻¹ ác. tartárico)	3,086 ± 0,04 b	2,322 ± 0,04 a	2,327 ± 0,04 a
Ácido Tartárico (g.l ⁻¹)	5,826 ± 0,07 a	7,781 ± 0,07 b	8,264 ± 0,07 c
Ácido Málico (g.l ⁻¹)	1,628 ± 0,02 b	1,397 ± 0,02 a	1,344 ± 0,02 a

4.3.2.4. Compostos fenólicos (flavonóides)

Os compostos fenólicos avaliados no presente trabalho apresentaram variações com a disponibilidade hídrica, embora as diferenças entre tratamentos nem sempre tenham atingido a significância estatística.

Começando por uma avaliação global, o índice de fenóis totais (IFT), medido nas películas e nas grainhas, raramente apresentou diferenças significativas entre os diferentes tratamentos (figura 4.38). Ao nível das grainhas na verdade nunca se encontraram diferenças significativas entre os diferentes tratamentos, ainda que, tanto em 2004 como em 2006 a modalidade FM2 tenha apresentado os valores mais altos e a PM2 tenha sido em 2004 e 2005 a mais baixa. A modalidade NR apresentou em geral valores intermédios e sempre abaixo da modalidade mais regada (FM2). Já ao nível das películas, no conjunto dos 3 anos parecem contudo existir algumas tendências um pouco mais definidas: o tratamento FP1 apresentou em 2004 e 2006 o IFT mais alto e em 2005 foi o 2º mais alto, ao passo que a modalidade NR apresentou em 2004 e 2006 o valor mais baixo e em 2005 o 2º mais baixo. No último ano de ensaios (2006) as diferenças entre valor mais elevado de IFT nas películas (FP1) e o mais baixo (NR) registados foram estatisticamente significativas. A modalidade mais regada (FM2) apresentou em geral valores intermédios e sempre acima da modalidade NR, sendo que em 2006 as diferenças entre as duas modalidades foram também estatisticamente significativas.

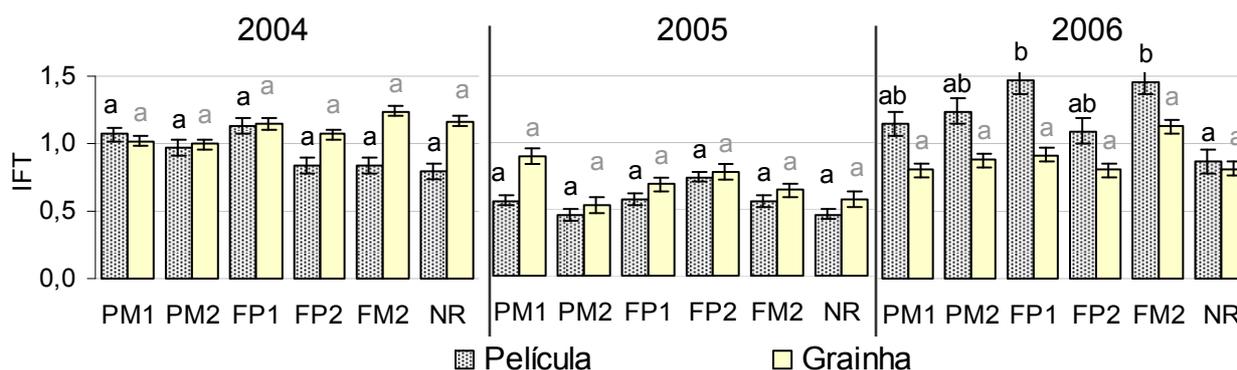


Figura 4.37 – Índice de fenóis totais das películas e grainhas à colheita nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006. Os valores médios estão afectados do erro padrão. Em cada ano, as letras no topo das colunas (de cor preta para as películas e cinzenta para as grainhas), quando diferentes, indicam médias significativamente diferentes (*Tukey*_{0,05}).

Passando a uma avaliação mais detalhada dos compostos fenólicos presentes nas uvas, foram analisados os taninos e as antocianinas.

Os taninos proantociânicos totais (TPA), medidos nas películas e nas grainhas, apresentaram diferenças com a disponibilidade hídrica das videiras, embora estas, tal como no caso do IFT, nem sempre foram estatisticamente significativas (figura 4.39). Em 2004 e em 2005 a modalidade FP1 apresentou os teores de TPA nas películas mais elevados, enquanto que a FM2 foi em ambos os anos aquela que apresentou os valores mais baixos e a NR apresentou valores intermédios. No entanto, apenas em 2006 se verificaram diferenças significativas nos TPA das películas, com a modalidade FM2 a apresentar neste último ano um desempenho totalmente diferente dos anteriores, sendo aquela com os teores mais altos. A modalidade NR apresentou pelo contrário os teores de TPA nas películas mais baixos e com diferenças significativas em relação às restantes modalidades, com a excepção da FP2 que, por sua vez apenas se distinguiu significativamente da FM2. Ao nível das grainhas, apenas no primeiro ano de ensaios (2004) se verificaram diferenças significativas no teor de TPA, com a modalidade FP1 a apresentar novamente os valores mais elevados, embora apenas significativamente diferentes da PM2 que apresentou os valores mais baixos. A modalidade mais regada (FM2) ficou acima da não regada (NR), embora sem diferenças significativas. Nos restantes anos (2005 e 2006), além de não existirem diferenças significativas, não parece existir um padrão de variação dos TPA das grainhas com a disponibilidade hídrica. Em 2005 as modalidades NR e FM2 apresentaram respectivamente o valor mais alto e o mais baixo. Em 2006 estas posições praticamente inverteram-se, com FM2 a apresentar os teores mais elevados de TPA nas grainhas e NR a passar para o outro extremo, apenas ficando acima da PM1.

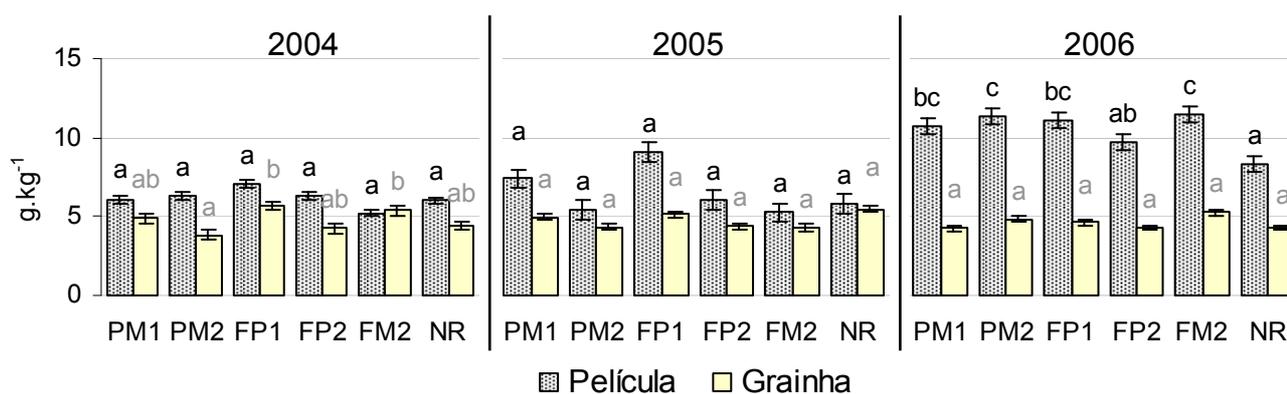


Figura 4.38 – Taninos proantociânicos totais das películas (g.kg^{-1}) e grainhas à colheita nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006. Os valores médios estão afectados do erro padrão. Em cada ano, as letras no topo das colunas (de cor preta para as películas e cinzenta para as grainhas), quando diferentes, indicam médias significativamente diferentes ($Tukey_{0,05}$).

Os TPA nas grainhas e películas foram até agora avaliados por kg de produção (em g.kg^{-1}), não apresentando, como se referiu um padrão claro de variação com a disponibilidade hídrica. Os resultados são contudo ligeiramente diferentes quando avaliados alternativamente em mg.bago^{-1} (Figura 4.40). Tanto ao nível das películas como das grainhas os TPA, quando quantificados em mg.bago^{-1} , foram sistematicamente menores na modalidade NR. Os valores mais altos por bago alternaram por sua vez entre a modalidade FP1 e a FM2. FP1 apresentou os teores de TPA mais elevados em 2004 e 2005 nas películas e em 2006 nas grainhas. Já a modalidade FM2 foi a mais alta em 2004 e 2005 nas grainhas e em 2006 nas películas. As diferenças mais assinaláveis entre a quantificação dos TPA por bago ou por kg de produção verificaram-se em 2005. Nesse ano, e em particular nas grainhas, as modalidades NR e FM2, que tinham respectivamente os valores mais elevados e os mais baixos quando quantificados em g.kg^{-1} , trocaram totalmente de posições quando quantificados em mg.bago^{-1} , passando a apresentar respectivamente os teores mais baixos e os mais elevados. Tal pode ser explicado pelas variações verificadas no peso dos bagos das diferentes modalidades, e particularmente na NR e na FM2 (como visto na figura 4.23).

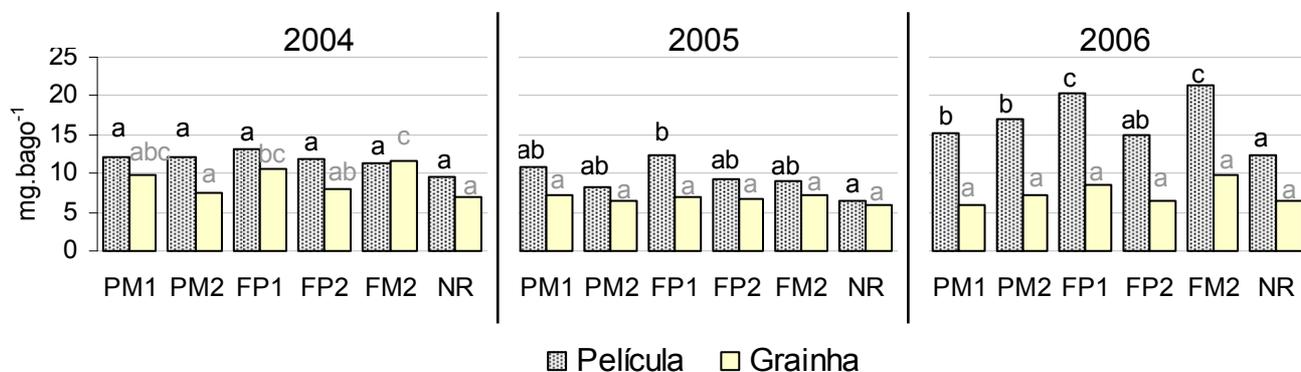


Figura 4.39 – Taninos proantocianínicos totais das películas (mg.bago^{-1}) e grainhas à colheita nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006. Os valores médios estão afectados do erro padrão. Em cada ano, as letras no topo das colunas (de cor preta para as películas e cinzenta para as grainhas), quando diferentes, indicam médias significativamente diferentes ($Tukey_{0,05}$).

Fazendo a discriminação dos taninos em catequinas e procianidinas oligoméricas, raramente se detectaram, quer nas grainhas, quer nas películas, diferenças significativas entre os diferentes tratamentos, não se tendo identificado padrões de variação claros com a disponibilidade hídrica (figura 4.41 e anexo VIII).

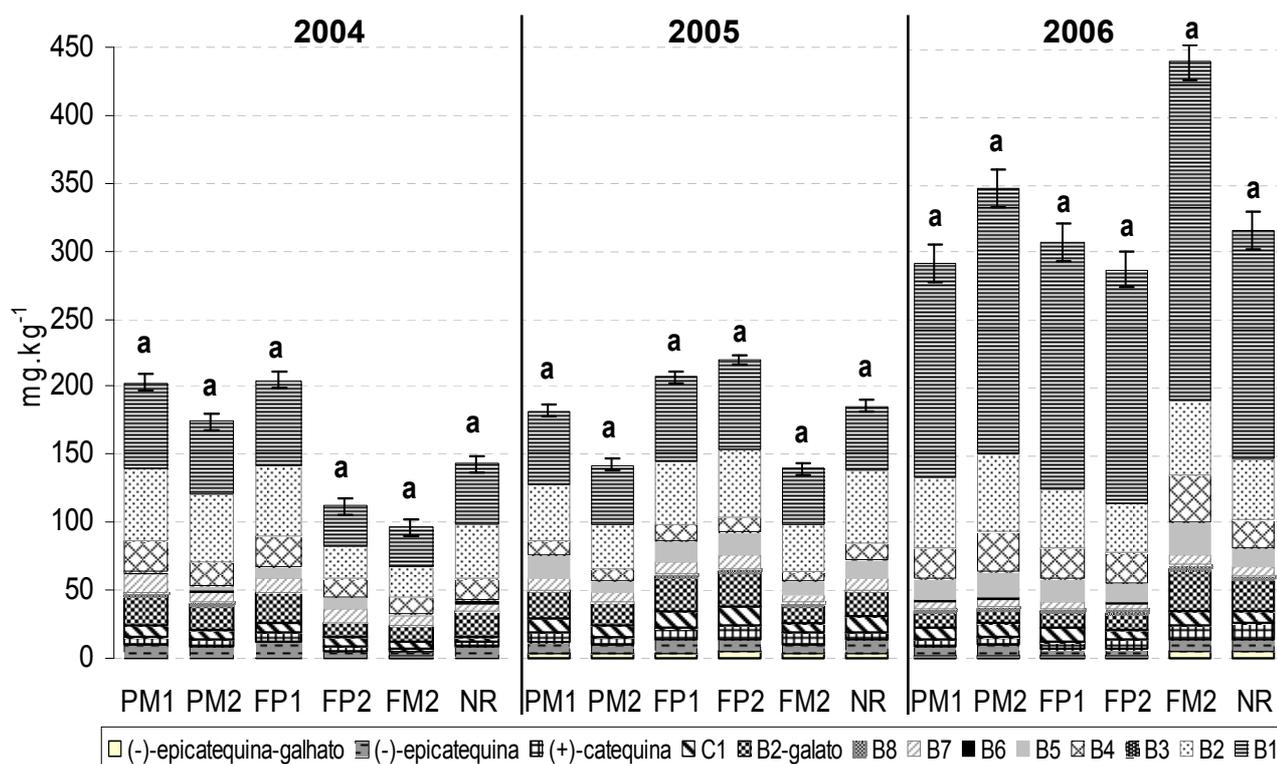


Figura 4.40 – Catequinas ((+)-catequina, (-)-epicatequina, (-)-epicatequina galhato)) e procianidinas oligoméricas (B1 a B8, B2-galhato, C1) das grainhas (mg.kg⁻¹) à colheita nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006. Os valores médios estão afectados do erro padrão. Em cada ano, as letras no topo das colunas, quando diferentes, indicam médias significativamente diferentes (*Tukey*_{0,05}) para o somatório das catequinas e procianidinas oligoméricas.

As antocianinas livres totais (ALT) mostraram por sua vez uma maior sensibilidade à disponibilidade hídrica. Em 2004 e em 2005 a modalidade FP1 apresentou os teores de ALT mais elevados, ao passo que os valores mais baixos foram registados na modalidade FM2 (figura 4.42). Nestes dois primeiros anos a modalidade NR apresentou valores intermédios. Em 2005 as diferenças encontradas não foram contudo estatisticamente significativas, à semelhança dos restantes resultados obtidos neste mesmo ano no domínio dos compostos fenólicos. Em 2006, apesar de existirem novamente diferenças significativas entre os tratamentos em estudo, os resultados divergem um pouco dos obtidos nos restantes anos. A

modalidade FP1 fica entre os três primeiros, abaixo das duas modalidades regadas apenas entre o pintor e a maturação (PM1 e PM2), ainda que não existam diferenças significativas entre as três. Por sua vez, a modalidade não regada (NR) apresentou os teores de ALT mais baixos do ano, abaixo inclusive da modalidade mais regada (FM2), embora não existam diferenças significativas entre os três valores mais baixos registados (por ordem crescente, NR <FP2 <FM2). No conjunto dos 3 anos é de registar que, para um mesmo período de rega (da floração ao pintor ou do pintor à maturação) a dotação de 50% da ET apresentou sempre valores de ALT mais elevados que a de 100% de ET, e também geralmente acima (ou pelos não significativamente diferente) da NR.

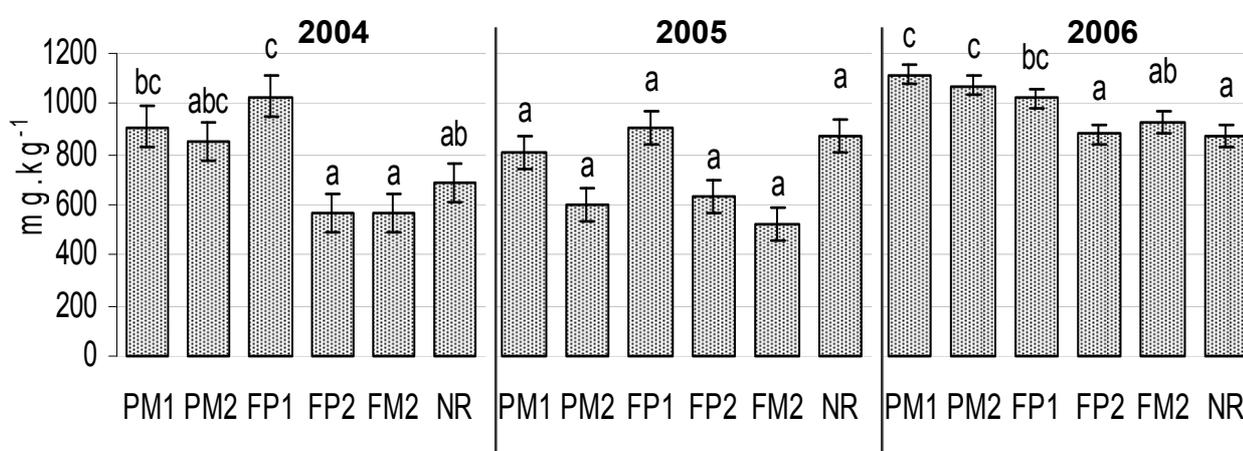


Figura 4.41 – Antocianinas livres totais (mg.kg⁻¹) à colheita nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006. Os valores médios estão afectados do erro padrão. Em cada ano, as letras no topo das colunas, quando diferentes, indicam médias significativamente diferentes (*Tukey*_{0,05}).

A intensidade corante (IC) seguiu, como seria de esperar uma evolução semelhante à das ALT, sobretudo nos dois primeiros anos (figura 4.43). Apesar de apenas em 2006 se terem verificado diferenças significativas, FP1 apresentou consistentemente os valores mais elevado, não só ao nível da IC como também dos comprimentos de onda que compõe este índice, nomeadamente 420 nm, 520 nm (correspondente ao índice de cor vermelha) e 620 nm. A modalidade NR apresentou ao longo dos 3 anos valores intermédios. As modalidades regadas com a dotação mais elevada após o pintor (PM2 e FM2) apresentaram em geral os valores mais baixos, sendo que apenas em 2006 ficaram acima de PM1, embora sem diferenças significativas entre as três modalidades.

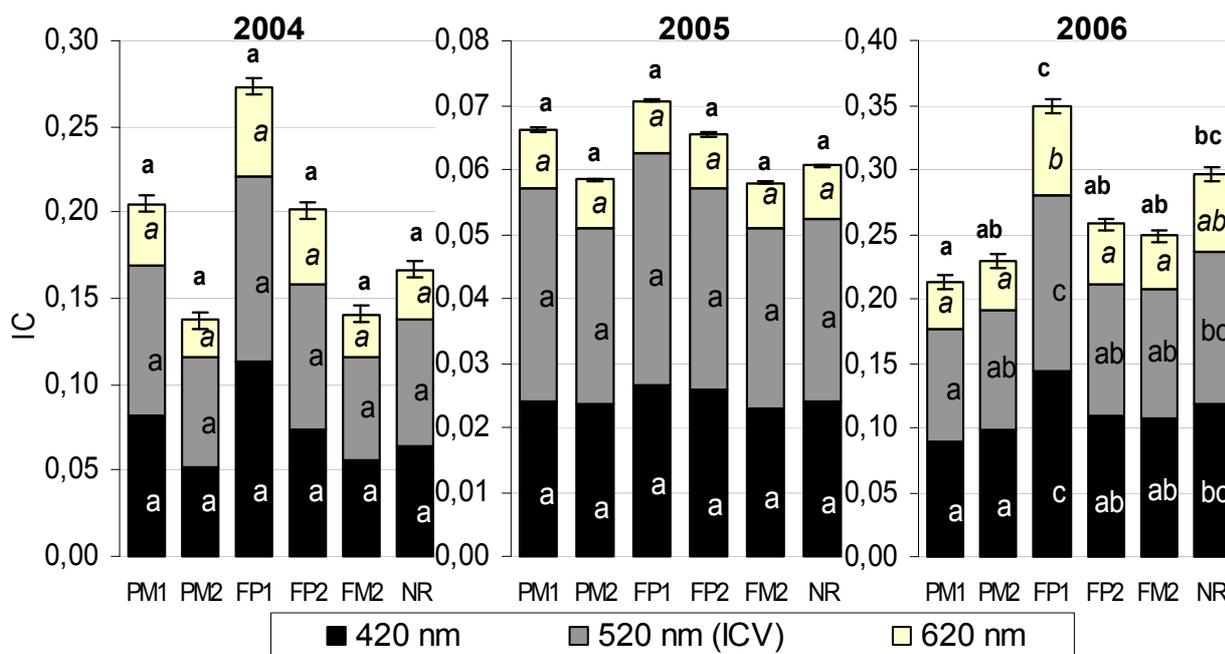


Figura 4.42 – Intensidade corante (IC) à colheita nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006. Os valores médios estão afectados do erro padrão. Em cada ano, as letras no topo das colunas, quando diferentes, separam as médias da intensidade corante pelo teste de *Tukey* ao nível de 0,05. As letras no interior de cada um dos 3 segmentos que compõem as colunas (correspondentes aos comprimentos de onda de 420, 520 e 620 nm), quando diferentes das dos correspondentes segmentos nos restantes tratamentos, indicam médias da intensidade corante significativamente diferentes ($Tukey_{0,05}$).

Os compostos fenólicos variaram significativamente consoante o ano (Quadro 4.5). O índice de fenóis totais das grainhas e das películas foram significativamente diferentes entre os três anos, com os valores mais altos a serem registados em 2004, seguido por 2005 e por 2006 em último. A intensidade corante, o índice de cor vermelha e os taninos proantociânicos totais das películas também apresentaram diferenças significativas entre os três anos de ensaio, atingindo-se os valores mais altos em 2006, seguidos respectivamente por 2004 e 2005. Por sua vez, os taninos proantociânicos totais das grainhas em 2004 foram significativamente maiores do que nos restantes anos que, por sua vez não diferiram entre si.

Quadro 4.5 – Variação do índice de fenóis totais das grainhas e películas, intensidade corante, índice de cor vermelha, antocianinas livres totais e taninos proantociânicos totais das grainhas e películas com o ano. Os valores médios estão afectados do erro padrão. Em cada parâmetro, as letras, quando diferentes, indicam médias significativamente diferentes ($Tukey_{0,05}$).

	2004	2005	2006
Índice de fenóis totais das películas	0,941 ± 0,03 c	0,560 ± 0,03 b	0,121 ± 0,03 a
Índice de fenóis totais das grainhas	1,106 ± 0,04 c	0,684 ± 0,04 b	0,089 ± 0,04 a
Intensidade corante	0,187 ± 0,01 b	0,063 ± 0,01 a	0,266 ± 0,01 c
Índice de cor vermelha	0,079 ± 0,00 b	0,031 ± 0,004 a	0,106 ± 0,004 c
Antocianinas livres totais (mg.bago ⁻¹)	1460 ± 64,9 b	1024 ± 64,9 a	1572 ± 64,9 b
Taninos proantociânicos totais das películas (mg.bago ⁻¹)	11,69 ± 0,35 b	9,322 ± 0,35 a	16,88 ± 0,35 c
Taninos proantociânicos totais das grainhas (mg.bago ⁻¹)	9,060 ± 0,30 b	6,804 ± 0,30 a	7,412 ± 0,30 a

4.3.2.5. Precusores aromáticos (carotenóides)

Os carotenóides detectados nas uvas apresentaram ao longo dos 3 anos diferenças significativas consoante o regime hídrico das videiras (figura 4.44). No primeiro ano a modalidade PM1 apresentou os teores de carotenóides totais mais elevados, logo seguida respectivamente pela NR e FM2, não se verificando contudo diferenças significativas entre as 3 modalidades. Os valores mais baixos couberam respectivamente (por ordem crescente) a FP2, FP1 e PM2, que, apesar de não apresentarem diferenças significativas entre si, foram significativamente menores que as restantes modalidades. Em 2005 a modalidade PM1 apresentou também um dos valores mais altos do ano, ficando apenas abaixo da NR. Os valores intermédios, registados (por ordem decrescente) nas modalidades PM1, PM2, FP1 e FP2, não apresentaram diferenças significativas entre si, embora tenham sido todos significativamente menores que NR e significativamente maiores que FM2, que apresentou o teor em carotenóides totais mais baixo do ano.

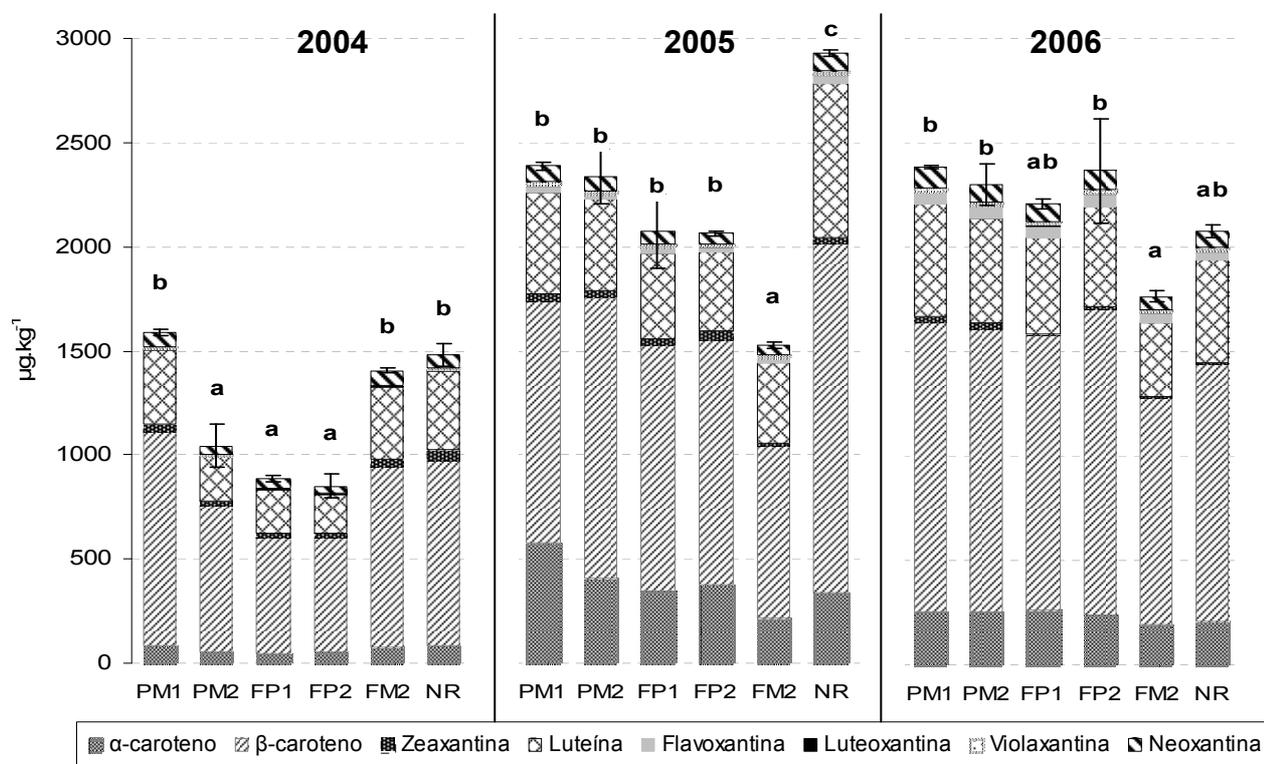


Figura 4.43 – Carotenóides das uvas ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) à colheita nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006. Os valores médios estão afectados do erro padrão. Em cada ano, as letras no topo das colunas, quando diferentes, indicam médias significativamente diferentes ($Tukey_{0,05}$).

Em 2006, PM1 volta a apresentar o valor mais elevado, logo seguida respectivamente por FP2 e PM2. A modalidade FM2 apresentou também novamente o valor mais baixo do ano, verificando-se contudo apenas diferenças significativas entre esta e as 3 modalidades com os teores mais elevados.

Há contudo que recordar que em 2005 a data de colheita foi antecipada em cerca de 2 semanas relativamente aos restantes anos, facto que parece ter sido particularmente relevante ao nível do teor de carotenóides final das uvas. Como se pode observar na figura 4.45, em amostras colhidas num período entre o pintor e a vindima, a modalidade NR apresentava também até esse ponto de amostragem valores mais elevados do que PM1. Por outro lado, em 2006, ano em que se realizou o maior número de amostragens, verificou-se que entre 23 de Agosto (data semelhante à da vindima de 2005, realizada a 29 de Agosto de 2005) e a data correspondente à colheita desse ano (11 de Setembro de 2006), a modalidade que sofreu a maior queda foi a NR, seguida pela FM2 (figura 4.46). Tais resultados parecem indicar que o decréscimo do teor de carotenóides das uvas nas últimas semanas de maturação é mais pronunciado para a NR e a FM2 do que para as restantes modalidades PM1.

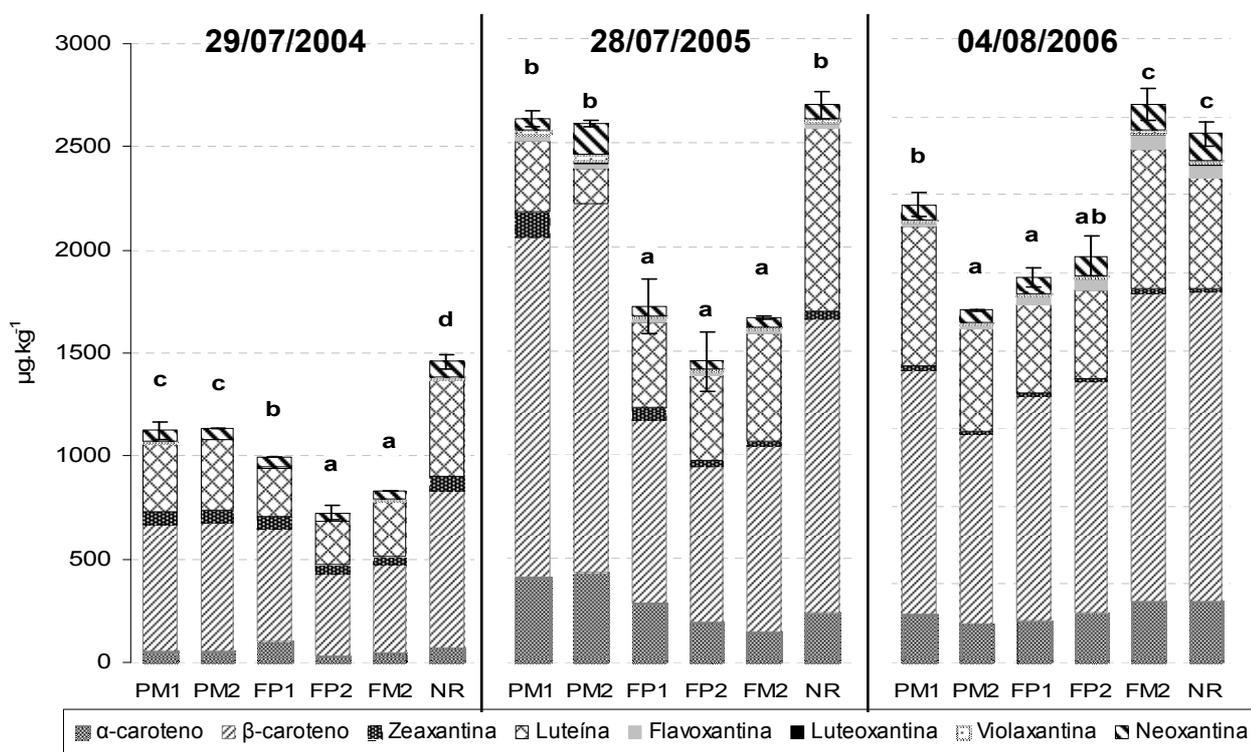


Figura 4.44 – Carotenóides das uvas ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) num período entre o pintor e a colheita nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006. Os valores médios estão afectados do erro padrão. Em cada ano, as letras no topo das colunas, quando diferentes, indicam médias significativamente diferentes ($Tukey_{0,05}$) para o somatório dos carotenóides.

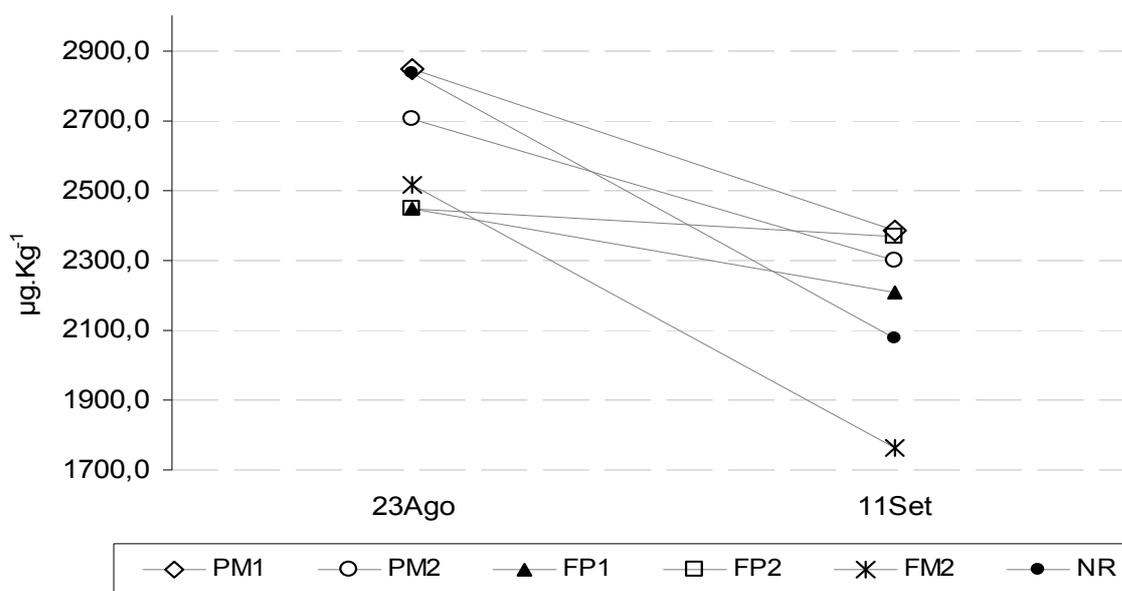


Figura 4.45 – Evolução dos carotenóides totais das uvas ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) na fase final da maturação (entre os dias 23 de Agosto e 11 de Setembro) nas modalidades em estudo em 2006.

A fracção de carotenóides mais abundante nas uvas das várias modalidades foi a dos carotenos (β -caroteno e α -caroteno) e destes o β -caroteno representa mais de metade do teor de carotenóides totais, sendo como tal o principal responsável pelos resultados descritos. A outra fracção de carotenóides identificada, as xantofilas (neoxantina, violaxantina, luteoxantina, luteína, zeaxantina e flavoxantina), seguiu também um padrão de variação próximo dos carotenóides totais, embora em 2004 a modalidade NR tenha apresentado os teores mais elevados, devido a um acréscimo nos teores de luteína (a xantofila mais abundante), luteoxantina e zeaxantina, ainda que sem diferenças significativas em relação a PM1 e a FM2. Já a violaxantina foi ao longo dos 3 anos consistentemente mais elevada na modalidade PM1.

Além da influência das modalidades em estudo, verificou-se também um efeito significativo do ano no teor de carotenóides (Quadro 4.6). A neoxantina, luteoxantina e flavoxantina foram significativamente diferentes entre os três anos, com os valores mais baixos a serem registados em 2004, subindo em 2005 e novamente em 2006. O α -caroteno também apresentou diferenças significativas entre os três anos de ensaio, atingindo os valores mais altos em 2005, seguidos respectivamente por 2006 e 2004. Por sua vez, a violaxantina, a luteína o β -caroteno e os carotenóides totais em 2004 foram significativamente menores do que nos restantes anos que, por sua vez não diferiram entre si. A zeaxantina foi

significativamente menor em 2006 do que nos restantes anos que, por sua vez não diferiram entre si.

Quadro 4.6 – Variação dos principais carotenóides das uvas com o ano. Os valores médios estão afectados do erro padrão. Em cada parâmetro, as letras, quando diferentes, indicam médias significativamente diferentes (*Tukey*_{0,05}).

	2004	2005	2006
Neoxantina (µg/kg)	53,27 ± 1,61 a	66,28 ± 1,61 b	82,17 ± 1,61 c
Violaxantina (µg/kg)	6,196 ± 0,25 a	12,67 ± 0,25 b	13,17 ± 0,25 b
Luteoxantina (µg/kg)	2,783 ± 0,15 a	7,424 ± 0,15 b	9,513 ± 0,15 c
Flavoxantina (µg/kg)	0,000 ± 0,81 a	25,45 ± 0,81 b	51,36 ± 0,81 c
Luteína (µg/kg)	282,3 ± 8,43 a	471,7 ± 8,43 b	468,2 ± 8,43 b
Zeaxantina (µg/kg)	33,73 ± 1,44 b	33,85 ± 1,44 b	20,12 ± 1,44 a
β-caroteno (µg/kg)	763,3 ± 24,3 a	1227 ± 24,3 b	1304 ± 24,3 b
α-caroteno (µg/kg)	67,40 ± 11,2 a	376,4 ± 11,2 c	234,8 ± 11,2 b
Carotenóides totais (µg/kg)	1209 ± 36,0 a	2221 ± 36,0 b	2183 ± 36,0 b

4.3.2.6. Relação entre a produção e a água no solo

Os vários parâmetros de produção e qualidade analisados foram por fim confrontados entre si e com os vários registos fisiológicos e ambientais realizados. A figura 4.47 resume as correlações verificadas com o teor de água no solo médio registado nos períodos floração-pintor e pintor-maturação. As restantes correlações encontram-se no anexo IX.

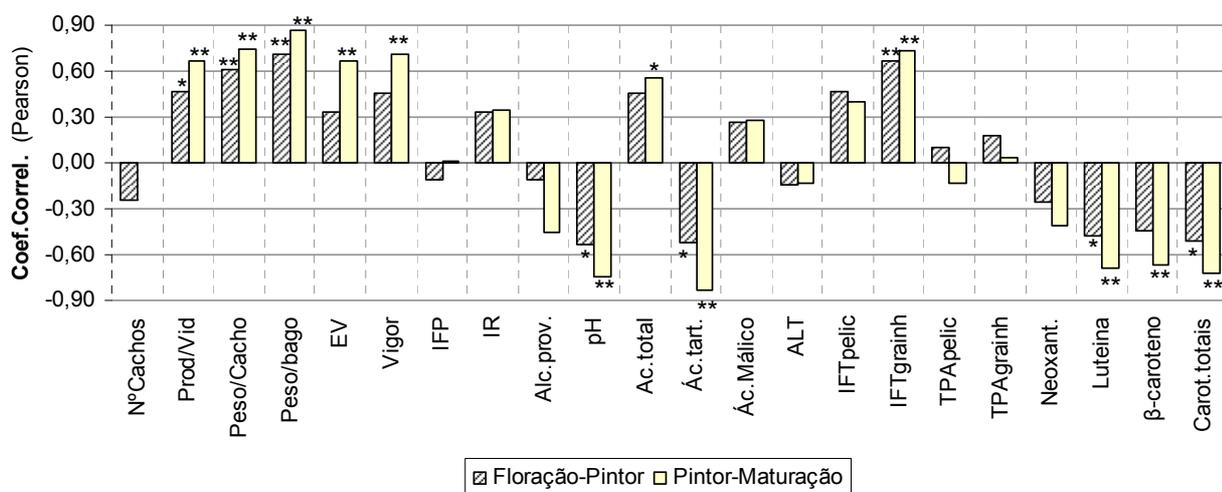


Figura 4.46 – Coeficientes de correlação de *Pearson* entre o teor de água no solo médio (nos períodos floração-pintor e pintor-maturação) e os seguintes parâmetros de produção: nº cachos / videira, produção / videira, peso / cacho, peso / bago, expressão vegetativa (EV), vigor, índice de *Ravaz* (IR), álcool provável, acidez total, ácido tartárico, ácido málico, antocianinas livres totais (ALT), índice de fenóis totais (IFT) da película e grainha, taninos proantocianínicos totais (TPA) da película e grainha, neoxantina, luteína, β-caroteno e carotenóides totais. ** . Correlação é significativa ao nível de 0,01. * . Correlação é significativa ao nível de 0,05.

5. DISCUSSÃO

Ao longo dos três anos de trabalhos, as diferentes modalidades de rega estabelecidas resultaram, como pretendido, em diferenças significativas na quantidade de água no solo. Estas diferenças em geral acentuaram-se ao longo dos períodos de tratamento definidos, com o solo regado a manter níveis de água relativamente estáveis ou crescentes, enquanto que as partes não regadas apresentaram decréscimos progressivos, pela não reposição da água utilizada pelas plantas e perdida por evaporação do solo, com reflexos na fisiologia e produção das plantas (Hidalgo, 2002; Payan *et al.*, 2006). É contudo de recordar que em 2004, a ocorrência de precipitação na 2^a e 3^a semana de Agosto (respectivamente 15,2 e 19,4 mm) reduziu abruptamente as diferenças na água do solo verificadas até então, colocando as várias modalidades praticamente ao mesmo nível de disponibilidade hídrica, o que levou a que a última data de amostragem de 2004 tenha por vezes apresentado resultados menos claros.

5.1. Impacto do regime hídrico na fisiologia da videira

As variações do teor de água no solo nas diferentes modalidades tiveram reflexos no comportamento fisiológico na vinha. As trocas gasosas das videiras foram sensíveis à variação da disponibilidade hídrica, verificando-se diferenças significativas entre os tratamentos. As modalidades que se encontravam a receber água no período do registo apresentaram quase sempre, os valores mais altos de E e g_s , tal como verificado por diversos autores (Malheiro, 2005; Souza *et al.*, 2005a; Chaves *et al.*, 2007; Reynolds *et al.*, 2007; Intrigliolo e Castel, 2009), embora por vezes apenas a dotação de 100% da ET tenha sido suficiente para se distinguir significativamente das não regadas. Não se verificaram diferenças significativas entre as duas dotações de rega, ainda que as videiras regadas a 100% da ET tenham apresentado em geral valores mais elevados do que as com a dotação de 50% da ET.

A fotossíntese foi também em geral significativamente superior nas modalidades regadas, mas de uma forma menos expressiva que E e g_s , raramente apresentando diferenças

significativas entre os vários tratamentos regados, o que resultou numa menor razão A/g_s , sobretudo até ao pintor. Uma vez que o incremento sentido em A com a maior disponibilidade hídrica não foi ainda assim tão marcado quanto o verificado em E e g_s , parece haver uma gestão da água menos eficiente, com proporcionalmente maiores perdas por transpiração nas videiras regadas e tanto mais quanto maior a quantidade de água aplicada. Escalona *et al.* (1997) classificam este tipo de comportamento como um “consumo de luxo”. Os resultados obtidos são semelhantes aos de Souza *et al.* (2003), Flexas *et al.* (2002), Medrano *et al.* (2002), Cifre *et al.* (2005) e Payan *et al.* (2006), em que é referida uma maior eficiência intrínseca do uso da água em videiras sujeitas a condições de carência hídrica.

Para Moutinho-Pereira *et al.* (2009), a variação de A/g_s é na verdade ainda mais relevante do que a variação da fotossíntese vista isoladamente, podendo fornecer informações importantes acerca dos mecanismos através dos quais a disponibilidade hídrica condiciona a actividade fotossintética (Naor e Wample, 1995; Flexas *et al.*, 2004). Recordando o Quadro 2.3, em que se avalia precisamente os tipos de limitação da fotossíntese consoante a severidade da carência hídrica, as menores taxas fotossintéticas verificadas antes do pintor nas modalidades não regadas terão resultado predominantemente de limitações estomáticas, uma vez que apresentaram nesta fase uma A/g_s maior e um C_i menor que as restantes modalidades, o que, juntamente com os níveis de g_s verificados (em média entre os 50 e os 150 $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), é sinal de um nível médio de carência hídrica. Após o pintor, à medida que a maturação avança e que a severidade da carência hídrica se acentua, sobretudo na única modalidade que continua a não ser regada (NR), as limitações não estomáticas da fotossíntese vão-se tornando cada vez mais importantes (*vide* ponto 2.2.1.1 e Quadro 2.3). Tal observou-se nos registos efectuados próximo da vindima, em que as diferenças de A/g_s entre videiras regadas e não regadas não apenas se esbateram, como por vezes A/g_s foi mesmo menor na NR, o que, juntamente com o maior C_i registado também na modalidade NR, é sintomático de um défice hídrico severo (Flexas *et al.*, 2002; Medrano *et al.*, 2002; Cifre *et al.*, 2005). Vários autores consideram que quando tal nível é atingido é efectivamente aconselhável regar, de forma a tentar manter as videiras no nível de carência hídrica média, o que permitirá uma A/g_s máxima e uma rápida recuperação da fotossíntese após rega, com reflexos positivos na produção, tanto em termos de quantidade como de qualidade (Flexas *et al.*, 2002; Medrano *et al.*, 2002; Cifre *et al.*, 2005). É de assinalar que as modalidades que pararam de ser regadas ao pintor foram ainda assim capazes de manter na fase final da maturação, inclusive num ano tão seco quanto foi 2005, um nível de carência hídrica apenas médio, com níveis fotossintéticos e A/g_s acima da NR.

Entre as limitações não estomáticas da actividade fotossintética ocorridas na modalidade NR não parecem ter existido efeitos sobre a eficiência fotoquímica máxima do PS II no mesófilo clorofilino, uma vez que tal implicaria, de acordo com Moutinho-Pereira *et al.* (2009), um declínio da razão F_v/F_m , o que não sucedeu, não se tendo encontrado diferenças significativas nos registos da fluorescência da clorofila *a*. Resultados semelhantes foram obtidos por Souza *et al.* (2005a), indo de encontro à ideia de que a fotoinibição permanente raramente ocorre em condições de défice hídrico (Flexas *et al.*, 1999b; Santos *et al.*, 2003), estando mais associada a condições de elevada radiação solar (Osório, 1994). Presume-se assim que as limitações não estomáticas da fotossíntese verificadas decorram de outros processos metabólicos, como por exemplo de uma perda de actividade da Rubisco nos cloroplastos, ou de uma diminuição da capacidade de regeneração da ribulose 1,5-bisfosfato (Maroco, 2002; Flexas *et al.*, 2004; Cifre, 2005), embora tal só possa ser verdadeiramente confirmado através das respectivas análises bioquímicas.

A modalidade NR, além de apresentar níveis de trocas gasosas por folha inferiores às restantes modalidades, apresentou também uma menor área foliar total (AF), o que, se por um lado consiste numa estratégia das videiras em reduzir a superfície transpirante e portanto as perdas de água (Gil e Pszczółkowski, 2007), por outro, não apenas apresenta menores taxas fotossintéticas por folha como também uma menor superfície fotossintetizante total, com um reflexo ainda mais marcado na fotossíntese global da videira. A modalidade mais regada (FM2) apresentou por sua vez consistentemente a maior AF, como referido por Garcia-Escudero *et al.* (1994), Reynolds e Naylor (1994), Montero *et al.* (1999), entre muitos outros autores, e, tal como PM2, PM1 e FP2, esta continuou a aumentar ao longo de parte do período da maturação, enquanto que a NR e a FP1 atingiram a AF máxima logo após o pintor. Tal mostra que a rega pode estimular a continuação do crescimento vegetativo após o pintor, o que, se por um lado significa mais folhas e portanto mais fotossíntese, por outro representa também maiores perdas de água por transpiração e um desvio de fotoassimilados para o crescimento numa fase em que estes deveriam estar a ser encaminhados prioritariamente para os cachos (Gaudillère *et al.*, 2002; Deloire *et al.*, 2005; Castellarin *et al.*, 2007).

5.2. Desempenho dos métodos de avaliação do estado hídrico da videira

Além da avaliação dos efeitos fisiológicos e vegetativos da disponibilidade hídrica sobre as videiras, procurou-se também avaliar o desempenho de diferentes métodos de

avaliação do estado hídrico da videira, na tentativa de encontrar formas expeditas de diagnóstico que pudessem ser implementadas por técnicos e viticultores.

Antes de mais, há que considerar que ao efectuar-se ao pintor a mudança de regime hídrico de quatro das modalidades, em que duas começam a ser regadas após um período de sequeiro (PM1 e PM2) e outras duas que haviam sido regadas até então deixam de o ser (FP1 e FP2), assistiu-se a um período de transição (final de Julho/ início de Agosto) em que as diferenças entre as modalidades regadas (sobretudo as PM e as FP) esbateram-se praticamente em todos os parâmetros fisiológicos avaliados. No entanto, tanto antes do pintor, como após esse período de transição, as diferenças foram em geral mais claras, sendo ainda assim os registos pós-pintor quase sempre menos pronunciados, a que não será alheio o natural agravamento das limitações hídricas no solo e o aumento do deficit de pressão de vapor (DPV) ao longo do período estival (Moutinho, 2000).

A utilização do IRGA na avaliação das trocas gasosas mostrou, como verificado acima, uma boa sensibilidade às variações da disponibilidade hídrica, indo de encontro à posição defendida por diversos autores de que tal método apresenta um bom potencial de utilização na monitorização e gestão do estado hídrico da vinha (Naor e Wample, 1995; Flexas *et al.*, 2004 ; Cifre *et al.*, 2005; Medrano *et al.*, 2007). Os valores de E , g_s , A e A/g_s permitiram avaliar, não apenas o nível de carência hídrica das videiras sujeitas aos diferentes tratamentos como também, quando em conjunto com os valores de C_i , compreender em parte os mecanismos envolvidos nas limitações da actividade fotossintética, como referem Flexas *et al.* (2002), Medrano *et al.* (2002) e Cifre *et al.* (2005). As leituras realizadas às 10:00 foram as que melhor distinguiram os diferentes tratamentos hídricos, apresentando igualmente uma melhor correlação com o teor de água no solo do que as realizadas às 14:00. Tal poderá dever-se ao efeito conhecido do DPV na g_s (Patakas *et al.*, 2005; Baeza *et al.*, 2007) que, ao intensificar-se do período do meio da manhã para o meio-dia solar, exerce um impacto adicional sobre as videiras, atenuando a proporção da contribuição do regime hídrico nas variações das trocas gasosas. Apesar dos bons resultados obtidos com o IRGA e da vantagem de se tratar de um método não destrutivo (embora, mesmo com um operador cuidadoso, se possam danificar algumas folhas), há que considerar que o seu manuseamento é exigente, tanto em termos de nível de especialização, como de horas de trabalho (Intrigliolo *et al.*, 2007), e que, além de limitações na amostragem, não permite uma monitorização em contínuo (Lu *et al.*, 2003). Este tipo de equipamentos continuam assim a serem mais utilizados para fins científicos, levando a que o seu custo seja por enquanto

avultado, situação que poderá contudo mudar se, ao ser introduzido em explorações comerciais, a sua maior produção e comercialização resulte numa economia de escala.

Uma possível alternativa ao IRGA poderá estar na instalação de sondas de dissipação térmica de registo da velocidade do fluxo de seiva no xilema (FS). Os registos são efectuados automaticamente a cada minuto, resultando uma grande quantidade de informação que nos mostra a sua evolução ao longo do dia e em diferentes períodos (Lu *et al.*, 2003; Cifre *et al.*, 2005; Patakas *et al.*, 2005 ; Medrano *et al.*, 2007). No presente trabalho, a curva diária do FS seguiu o padrão típico das videiras, resultante da influência da variação do DPV ao longo do dia (Escalona *et al.*, 2002; Lu *et al.*, 2004; Malheiro, 2005; Patakas *et al.*, 2005). O FS iniciou-se ao amanhecer, atingindo os valores máximos antes do meio-dia solar, para decrescer em seguida, mantendo-se contudo ainda algumas horas após anoitecer. À medida que o teor de água no solo diminuiu, o FS foi diminuindo também e os picos das curvas diárias foram-se tornando menos pronunciados. Até ao pintor as videiras regadas com a dotação de 100% da ET apresentaram valores de FS significativamente superiores às regadas a 50% da ET, que por sua vez foram também significativamente superiores às modalidades não regadas. Após um período de transição ao pintor, que coincide com a mudança de regime hídrico nos tratamentos FP e PM, as diferenças entre tratamentos acentuam-se novamente ao longo da maturação, com FM2 a manter-se com os valores significativamente mais elevados, FP1 a cair para níveis semelhantes a NR, e FP2, apesar de manter um FS próximo de PM1 e PM2 quase até ao final de Agosto, acaba também por cair para valores significativamente inferiores às duas modalidades PM. Os registos do FS foram assim capazes de distinguir, não apenas as modalidades regadas das não regadas, como também as diferentes dotações e períodos de rega, mostrando assim uma boa resposta tanto em situações de carência como em situações de alguma disponibilidade hídrica. Estes resultados vão de encontro aos trabalhos que defendem a fiabilidade deste método e o seu elevado potencial de utilização na gestão do estado hídrico da vinha (Ginestar *et al.*, 1998; Trambouze *et al.*, 1998; Lu *et al.*, 2003; Patakas *et al.*, 2005; Medrano *et al.*, 2007) e mostrou mesmo ser mais preciso que o registo das trocas gasosas, contrariando nessa questão Yunusa *et al.* (2000) e Intrigliolo *et al.* (2009) que consideravam o contrário. As interferências no desempenho natural da planta que poderiam ter resultado do facto de se tratar de uma técnica intrusiva (Cifre *et al.*, 2005) parecem ter sido minorados com a estratégia utilizada de desligar periodicamente as sondas, para minimizar os danos nos tecidos. No entanto, não deixa de ser uma instalação fixa e portanto menos flexível, levando a que os custos de implantação sejam elevados, facto que poderá também limitar a amostragem (Cifre *et al.*, 2005). Estas desvantagens parecem ser contudo largamente ultrapassadas pelo

nível de resultados obtidos, tendo sido ainda o parâmetro fisiológico que apresentou a maior correlação com o teor de água no solo, ficando mesmo acima do Ψ_f de base, por muitos considerado o método de referência.

O Ψ_f de base teve ainda assim um desempenho bastante positivo, apresentando a segunda melhor correlação com o teor de água no solo, o que vai de encontro aos muitos autores que privilegiam a sua utilização (Carbonneau, 1998; Lopes *et al.*, 1999; Choné *et al.*, 2001; Cifre *et al.*, 2005; Malheiro, 2005) e confirma que, de facto, antes do amanhecer, quando os estomas estão fechados, o potencial hídrico da planta se equilibra com o potencial hídrico do solo (Choné *et al.*, 2001; Deloire *et al.*, 2005). Esta correlação foi-se contudo esbatendo ao longo da manhã, sendo que ao meio-dia solar já não era significativa. Isto contraria Donovan *et al.* (2001) e Gaudillère *et al.* (2002) que referem que, pelo facto de a esta hora se atingirem os Ψ_f mais negativos, este seria um melhor indicador do estado hídrico da videira do que o registo antes do amanhecer. No entanto, há que recordar uma vez mais o impacto que as variações do DPV ao longo do dia exercem sobre a regulação estomática e o comportamento isohídrico das videiras no sentido de evitar danos irreversíveis nos tecidos, o que leva a que as diferenças no Ψ_f mínimo se vão atenuando até um ponto em que valores semelhantes correspondam na realidade a níveis diferentes de carência hídrica (Naor e Wample, 1994; Escalona *et al.*, 2002; Cifre *et al.*, 2005; Medrano *et al.*, 2007). Nos registos realizados ao final da tarde nota-se já, tal como observado por Liu *et al.* (1978), uma recuperação do estado hídrico da videira, encontrando-se novamente uma correlação significativa com o teor de água no solo. As leituras realizadas antes do amanhecer e ao final da tarde foram portanto as que apresentaram um padrão de variação mais claro com os tratamentos, apresentando ambas uma correlação significativa com o teor de água no solo. Contudo, raramente se verificaram diferenças significativas entre as dotações de rega, o que parece indicar que o Ψ_f diferencia melhor as situações de carência do que as situações de alguma disponibilidade hídrica. Por outro lado, há que recordar que se trata de um método destrutivo e bastante trabalhoso, o que, aliado ao facto de apresentar variações consideráveis com a hora do dia (como observado), leva a que a amostragem por vezes seja limitada.

Entre os vários indicadores do estado hídrico utilizados, alguns demonstraram uma sensibilidade aquém das expectativas. Foi o caso da fluorescência da clorofila *a*, que se revelou, durante os 3 anos de registos, um mau indicador do estado hídrico das videiras, raramente apresentando diferenças significativas e sem qualquer padrão aparente nas pequenas variações verificadas entre tratamentos. Estes resultados contrariam a ideia defendida por Zulini *et al.* (2007) de que num futuro próximo se poderia incluir a análise dos

sinais de FC em sistemas de monitorização do estado hídrico de vinhas, embora outros autores assumam que, na realidade, as diferenças, além de raras em climas áridos, apenas surgem quando o défice hídrico surge associado a uma elevada radiação solar, (Osório, 1994; Flexas *et al.*, 1999b; Santos *et al.*, 2003).

Existia também alguma expectativa relativamente à estimativa do teor de clorofilas das folhas através do SPAD, dada a facilidade e rapidez do método, cada vez mais utilizado na cultura da vinha (Bavaresco, 1995; Fanizza *et al.*, 2001a; Zulini *et al.*, 2007; Cortell *et al.*, 2005; Steele *et al.*, 2008a). No entanto, apesar de se ter verificado a existência de diferenças significativas entre as modalidades em estudo, não se encontrou um padrão de variação claro, nunca se tendo, por exemplo, encontrado diferenças significativas entre a testemunha não regada (NR) e a modalidade mais regada (FM2). Apesar de Fanizza *et al.* (1991b) considerarem que este método poderia efectivamente ser utilizado para identificar videiras em condições de carência hídrica, os seus próprios resultados não apresentaram uma variação consistente ao longo dos lançamentos das videiras. Outros autores não encontraram qualquer correlação entre o teor em clorofilas e o défice hídrico (Zulini *et al.*, 2007; Rogiers *et al.*, 2009).

A ausência de uma variação clara das leituras do SPAD e dos registos da fluorescência da clorofila *a* com os tratamentos impostos e os trabalhos acima referidos parecem evidenciar uma baixa sensibilidade das clorofilas relativamente à disponibilidade hídrica.

5.3. Impacto do regime hídrico na produção da videira

As variações de regime hídrico impostas pelos tratamentos experimentais provocaram diferenças significativas na produção das videiras, tanto em termos de quantidade, como de qualidade.

As maiores produções, expressas em kg/videira, resultaram consistentemente, desde o primeiro ano de ensaios, do tratamento mais regado (FM2), ainda que a maioria dos efeitos do regime hídrico na produção tenha sobressaído sobretudo a partir do 2º ano, com todas as modalidades regadas a apresentarem uma maior produção por videira (significativa no caso das regadas entre a floração e o pintor) em relação às videiras da testemunha não regada. Neste ano (2005), o mais seco do conjunto dos três, com níveis de carência particularmente severa (Figura 4.11) e em que, como tal a rega terá sido ainda mais relevante, as modalidades

FP2 e FP1 atingiram praticamente o mesmo nível de produção que FM2. Em 2006, FM2 destaca-se finalmente de forma significativa das restantes modalidades regadas, com a excepção da PM1. Há contudo que assinalar que ao longo dos três anos as modalidades apenas regadas num dos períodos (entre a floração e o pintor ou entre o pintor e a maturação) nunca apresentaram diferenças significativas entre si.

Este acentuar das diferenças na produção, sobretudo do 1º para o 2º ano, pode dever-se em parte à influência das condições do ano anterior no número de cachos. Em 2004 não se verificaram diferenças significativas no número de cachos produzidos, uma vez que no ano anterior todas as videiras tinham estado sujeitas às mesmas condições. Já as diferenças verificadas a partir do 2º ano de tratamentos, com as modalidades regadas poderão ser de facto reflexo do efeito dos vários regimes hídricos no ano anterior. Na verdade, as médias dos registos da água do solo da floração ao pintor (FP) e do pintor à maturação (PM) apresentaram uma correlação muito baixa com o número de cachos do próprio ano (correlações não significativas de, respectivamente, -0,247 e -0,004), mas já relativamente ao número de cachos do ano seguinte, verificou-se em ambos os períodos uma correlação positiva e mais elevada (respectivamente 0,486 e 0,682), sendo significativa para o período pintor-maturação. Por um lado, parece ser benéfico para o número de cachos do ano seguinte que exista uma disponibilidade hídrica moderada entre a floração e o pintor de modo a garantir uma disponibilidade hídrica que permita uma boa diferenciação das inflorescências do ano seguinte (Buttrose, 1974; Matthews *et al.*, 1987; Myburgh, 2003), mas sem ser demasiado elevada de forma a privilegiar os fenómenos reprodutivos em detrimento do crescimento vegetativo (Hidalgo, 2002; Magalhães, 2008), o que poderá explicar o maior número de cachos obtidos na modalidade FP1 em 2005. Vários autores referem também a obtenção de um maior número de cachos em videiras regadas, sobretudo antes do pintor (Matthews e Anderson, 1989; Ferreyra *et al.*, 2002; Shellie, 2006; Garcia-Escudero, 2007; Nadal e Lampreave, 2007). Por outro lado, o facto das correlações mais elevadas entre a água do solo e o número de cachos do ano seguinte se verificarem nos registos do período PM, sobretudo nos realizados antes das vindimas (correlação significativa de 0,681) e não tanto nos realizados pouco depois do pintor (correlação não significativa de 0,427) vai de encontro à estratégia defendida por certos autores de regar a vinha após a vindima, antes da queda das folhas, caso obviamente não chova nesse período, para acumulação de reservas nas partes perenes das videiras, importantes para o arranque da estação de crescimento seguinte (Doorenbos *et al.*, 1986; Hidalgo, 2002; Magalhães, 2008).

Apesar de se ter verificado, como referido, um efeito das modalidades no número de cachos, o acréscimo de produção com a disponibilidade hídrica deveu-se sobretudo a um maior peso dos cachos, como comprovado pela elevada correlação entre os dois parâmetros encontrada, superior à verificada com o número de cachos. A modalidade mais regada (FM2) apresentou consistentemente os cachos mais pesados e a maior produção por videira. A NR, apesar de apenas em 2005 ter sido a que apresentou os pesos significativamente mais baixos, apresentou uma grande variabilidade interanual. Os restantes tratamentos nunca diferiram significativamente entre si, sendo que, em relação a FM2, apenas foram significativamente diferentes em 2004, e, em relação a NR apenas em 2005. Aprofundando esta questão, ao nível do peso dos bagos as diferenças com o regime hídrico são ainda mais claras, sendo na verdade o parâmetro do rendimento melhor correlacionado com o teor de água no solo, indo de encontro aos trabalhos de Creasy e Lombard (1993), Garcia-Escudero *et al.* (1994), Baeza *et al.* (2007), Reynolds *et al.* (2007) e Intrigliolo e Castel (2009). Na verdade, verificou-se que esta correlação é já significativa antes do pintor, quando ocorre a 1ª fase de crescimento por divisão e expansão celular, e intensifica-se ligeiramente durante a maturação, com a 2ª fase de crescimento por expansão celular, o que, se por um lado está de acordo com os muitos trabalhos que referem o aumento do tamanho dos bagos com a disponibilidade hídrica (Nadal e Lampreave, 2007; Payan *et al.*, 2008; Intrigliolo e Castel, 2009), não confirma a ideia defendida por Greenspan *et al.* (1994), Santos *et al.* (2003) e Koundouras *et al.* (2006) de que o impacto na 2ª fase de crescimento dos bagos não seria suficiente para condicionar o tamanho dos bagos. Já Vicente-Paulo *et al.* (2001), Thomas *et al.* (2006) e Baeza *et al.* (2007) referem também efeitos da disponibilidade hídrica em ambas as fases de crescimento. É também de recordar que, contrariamente ao que se pensava, estudos recentes comprovaram que os vasos xilémicos permanecem intactos após o pintor, podendo efectivamente verificar-se um fluxo de água dos bagos para a videira durante a maturação, caso exista um gradiente de potenciais hídricos que o motive (Dai *et al.*, 2010), o que sucede em regiões com a maturação a decorrer sob elevadas temperaturas e baixa disponibilidade de água como a RDD, verificando-se muito frequentemente próximo da data de vindima a diminuição do tamanho dos bagos por desidratação e/ou escaldão (Smart, 1974; Doorenbos, 1986; Vicente-Paulo *et al.*, 2001).

É comum a consideração de que a rega pode provocar um crescimento vegetativo excessivo e desajustado, comprometendo o equilíbrio entre estrutura vegetativa e produção (Garcia-Escudero *et al.*, 1994). O índice de *Ravaz* (razão entre produção e lenha de poda) não evidenciou um desequilíbrio vegetativo significativo nas modalidades regadas face à

testemunha não regada, nem correlações com o teor de água no solo, à semelhança dos resultados obtidos por Garcia-Escudero *et al.* (2007) e Intrigliolo e Castel (2009). Há contudo que recordar que, como já referido, as modalidades regadas (com a excepção de FP1) estimularam a continuação do crescimento vegetativo após o pintor, com um impacto provável nas relações “source-sink” (Gaudillère *et al.*, 2002; Deloire *et al.*, 2005; Castellarin *et al.*, 2007).

Ao longo dos três anos de trabalhos ocorreram quebras consideráveis da produção, caindo progressivamente do 1º para o 2º e do 2º para o 3ºano. Estas quebras foram generalizadas, ocorrendo em todos os tratamentos e não obedecendo propriamente a um padrão relativamente ao delineamento experimental, parecendo dever-se sobretudo ao efeito do ano, que, como verificado (Quadro 4.2), influenciou significativamente todos os parâmetros de produção (com a excepção do índice de fertilidade potencial), não podendo como tal ser descurado, questão abordada também por Myburgh (2003) e Esteban *et al.* (2002).

O impacto da disponibilidade hídrica sobre o rendimento teve também reflexos na qualidade, embora esta relação não seja tão simples como é em geral empiricamente considerada, sendo este apenas um dos mecanismos envolvidos na definição da qualidade das uvas. Ao avaliar-se a variação dos principais parâmetros aceites como diferenciadores do potencial enológico das uvas (açúcares, acidez, pH, compostos fenólicos e precursores aromáticos) com a disponibilidade hídrica, tentou-se assim compreender também os mecanismos envolvidos nessas variações.

i. Açúcares

Os açúcares dos bagos são produzidos sob a forma de sacarose nas folhas através da fotossíntese e, até ao pintor, são metabolizados quase na sua totalidade. Durante a fase da maturação, a sacarose é convertida em hexoses, sobretudo glucose e frutose, que se vão acumulando progressivamente nos bagos (Robinson e Davies, 2000; Boss e Davis, 2001; Vine *et al.*, 2002; Ali *et al.*, 2009). Sendo conhecida a relação entre a actividade fotossintética e a disponibilidade hídrica (*vide* ponto 2.2.1.1), será de esperar que esta última desempenhe um papel de relevo na concentração de açúcares nas uvas (Deloire *et al.*, 2005). No presente trabalho verificou-se efectivamente uma correlação positiva significativa entre o teor de água no solo e a taxa de assimilação líquida de CO₂ (*A*), e por sua vez entre esta e a concentração de açúcares nos bagos (figura 4.16 e anexo IX). Além disso, a modalidade NR apresentou não apenas a menor área foliar entre a floração e o pintor como também uma

senescência mais precoce das folhas, afectando portanto, tanto a intensidade como a duração do processo de produção e acumulação de açúcares nos bagos (Oliveira *et al.*, 2003; Deloire *et al.*, 2005; Payan *et al.*, 2008). Tal justifica os teores de açúcares em geral mais elevados das modalidades regadas em apenas um dos períodos face à testemunha em 2004 e 2005, parecendo ir de encontro aos trabalhos que referem os benefícios da rega da vinha na acumulação de açúcares nos bagos em condições de carência hídrica (Ginestar *et al.*, 1998; Esteban *et al.*, 2001; Ojeda *et al.*, 2002; Oliveira *et al.*, 2003; Gachons *et al.*, 2005; Keller, 2005; Payan *et al.*, 2008; Intrigliolo e Castel, 2009). No entanto, não explica o facto das modalidades mais regadas entre o pintor e a maturação (FM2 e PM2) terem apresentado quase sempre alguns dos valores mais baixos e a NR ter apresentado em 2006 os teores mais elevados. Nem a correlação negativa significativa verificada no conjunto dos três anos entre o teor de água no solo durante o período PM e a concentração de açúcares nos bagos, o que parece, pelo contrário, estar mais de acordo com os autores que referem que a uma maior disponibilidade hídrica corresponderá uma menor concentração de açúcares nos bagos à colheita (Zamboni *et al.*, 1986; Riou, 1994; Van Leewen e Seguin, 1994; Arnold e Williams, 2001; Ferreyra *et al.*, 2002; Hidalgo, 2002; Kennedy *et al.*, 2002; Acevedo *et al.*, 2005; Koundouras, *et al.*, 2006). Estes resultados, aparentemente dispares, reflectem a complexidade dos mecanismos de acção da disponibilidade hídrica sobre a concentração de açúcares. No caso dos valores mais baixos das modalidades regadas com a dotação mais elevada no período PM, foi já referido que uma disponibilidade hídrica excessiva no período da maturação poderá promover um prolongamento da actividade vegetativa, desviando para o crescimento açúcares que se acumulariam nos bagos (Acevedo *et al.*, 2005; Keller, 2005; Koundouras *et al.*, 2006). Por outro lado foram também estas videiras que apresentaram os maiores bagos, não se podendo portanto descurar o potencial efeito de diluição/concentração que resulta do impacto da disponibilidade hídrica sobre o tamanho dos bagos (Ginestar *et al.*, 1998; Myburgh, 2003; Keller, 2005; Shellie, 2006), sobretudo tendo em consideração que os açúcares se encontram maioritariamente no mesocarpo, cujo crescimento das células é, como foi já referido, particularmente sensível ao regime hídrico (*vide* ponto 2.3.2). Mais do que o efeito de um mecanismo único, parecem assim existir várias formas através das quais a disponibilidade hídrica da videira poderá afectar o teor de açúcares dos bagos.

ii. Ácidos orgânicos e pH

Os ácidos orgânicos predominantes nos mostos são o ácido tartárico e o ácido málico, constituindo parâmetros enológicos importantes para a qualidade do vinho, uma vez que

influenciam as suas características organolépticas e a sua estabilidade (Mato *et al.*, 2005; Ali *et al.*, 2009). Durante o desenvolvimento dos bagos existe um aumento do teor em ácido tartárico e ácido málico até ao pintor, momento após o qual a acidez total começa a diminuir (López *et al.*, 2007). No presente trabalho verificou-se este mesmo decréscimo da acidez total ao longo da maturação, assim como também das diferenças entre tratamentos, sendo na última data de amostragem bastante reduzidas e raramente significativas. Ambas as situações parecem dever-se ao facto das variações da acidez total com a disponibilidade hídrica se terem devido fundamentalmente às variações de ácido málico, tal como verificado por Gachons *et al.* (2005), Esteban *et al.* (2002) e Koundouras *et al.* (2006). O teor de ácido málico das uvas mostrou ainda assim ser superior quando existe uma maior disponibilidade hídrica, sobretudo entre a floração e o pintor, tal como referido por Keller (2005) e Hepner *et al.* (1985). Após o pintor, a rega não teve um efeito tão expressivo, atenuando-se progressivamente as diferenças entre as modalidades.

As pequenas diferenças verificadas na acidez total resultaram, como seria de esperar, em também pequenas diferenças no pH, registando-se apenas uma tendência, ainda mais ténue e raramente significativa, para que as modalidades não regadas entre a floração e o pintor (PM1 e PM2) apresentem mostos com pH mais elevado e as continuamente regadas da floração até à maturação com a dotação mais elevada (FM2) apresentem os valores mais baixos. Isto parece dever-se sobretudo a um efeito indirecto da disponibilidade hídrica no ácido málico, através do crescimento vegetativo. Por um lado, o maior crescimento vegetativo que geralmente apresentam as videiras regadas pode estimular a produção de ácido málico através da fotossíntese (Hepner *et al.*, 1985), tal como parece ter-se verificado nas modalidades regadas até ao pintor, quando este é sintetizado. Por outro lado, esse mesmo crescimento providencia um efeito de sombra na zona dos cachos, mantendo-os mais protegidos de um excesso de sol e num meio mais fresco, diminuindo a taxa de degradação do ácido málico na respiração, que é precisamente potenciada por temperaturas elevadas (Freeman e Kliwer, 1983; Ginestar *et al.*, 1998; Koundouras *et al.*, 2006). No presente trabalho, as pequenas diferenças de acidez total e pH verificadas à maturação podem precisamente resultar do facto de raramente se terem encontrado diferenças significativas na expressão vegetativa e vigor entre a modalidade NR e a maioria das modalidades regadas, podendo não se ter verificado tão marcadamente o referido efeito “protector”, apesar de ainda assim, a acidez total e o pH terem apresentado correlações significativas (ao nível de 0,01) com a expressão vegetativa e com o vigor. Resultados semelhantes (baixa variações da

acidez total e pH com a disponibilidade hídrica à maturação) são referidos por Acevedo *et al.* (2005), Girona *et al.* (2006) e Baeza *et al.* (2007).

O ácido tartárico não apresentou por sua vez o mesmo tipo de variações com a disponibilidade hídrica que o ácido málico, variando muito menos ao longo da maturação (por vezes aumentando mesmo ligeiramente) e, sempre que se verificaram diferenças significativas entre as modalidades, foram na verdade as videiras não regadas a apresentar as uvas com maior teor de ácido tartárico. Diversos autores verificaram igualmente um aumento do ácido málico e ligeiro decréscimo do ácido tartárico em videiras regadas, atribuindo-se esta diferença de comportamento do ácido tartárico por um lado às suas características químicas, que o tornam mais difícil de metabolizar, e por outro a um efeito de concentração/diluição, pelo menor ou maior tamanho dos bagos (Esteban *et al.*, 2002; Koundouras *et al.*, 2006; Intrigliolo e Castel, 2009), não sendo portanto evidente um efeito directo da disponibilidade hídrica na síntese ou metabolismo do ácido tartárico.

iii. Compostos fenólicos

Os compostos fenólicos têm sido alvo de variados estudos, constituindo um dos parâmetros de qualidade mais importantes dos vinhos, devido ao seu contributo para as suas características organolépticas, particularmente a cor e as sensações gustativas, nomeadamente ao nível da adstringência e da amargura (Monagas *et al.*, 2006; Koundouras *et al.*, 2006). Para além da importância que estes compostos possuem em Enologia, tem havido um interesse cada vez maior em certos polifenóis no vinho, especialmente nos flavonóides, estilbenos e ácidos fenólicos, devido ao seu potencial benefício para a saúde humana (Soleas *et al.*, 2002; Castellarin *et al.*, 2007).

A ideia generalizada, e um dos principais argumentos contra a rega, é de que esta tem um impacto negativo no teor em compostos fenólicos (Santos *et al.*, 2003; Garcia-Escudero, 2007; Nadal e Lampreave, 2007). No presente trabalho os compostos fenólicos foram na realidade, dos componentes da qualidade, aqueles que demonstraram uma correlação menos directa, por vezes até mesmo não significativa, com o teor de água no solo, o que parece indicar uma relação complexa entre os dois factores e não tão explícita como é geralmente considerada. A modalidade mais regada (FM2) apresentou de facto em geral alguns dos teores mais baixos em antocianinas livres totais (ALT), com óbvios reflexos na intensidade corante, e níveis igualmente reduzidos de taninos proantociânicos totais (TPA) nas películas dos bagos. Vários trabalhos referem efectivamente efeitos negativos da rega no teor em taninos (Garcia-Escudero, 2007) e em antocianinas dos bagos (Freeman & Kliewer, 1983; Arnold e Williams,

2001; Santos *et al.*, 2003; Nadal e Lampreave, 2007). Contudo, a modalidade não regada não teve um melhor desempenho, apresentando na realidade as películas com o mais baixo índice de fenóis totais (IFT) e níveis semelhantes ou mesmo inferiores de TPA nas películas e grainhas relativamente à modalidade FM2.

Existem assim, também no caso dos compostos fenólicos, diferentes mecanismos envolvidos na sua resposta face à disponibilidade hídrica. Ojeda *et al.* (2002) referem a existência de dois tipos de mecanismos: um efeito directo na biossíntese dos compostos fenólicos e um indirecto através do tamanho dos bagos. Mas, na realidade, parecem existir mais fenómenos envolvidos nesta questão. No presente trabalho, para a maioria dos compostos fenólicos estudados foram identificadas correlações significativas negativas com a produção por videira (sobretudo em termos do peso dos cachos e bagos) e com o índice de *Ravaz* (produção/lenha de poda) e positivas com a fotossíntese (A).

A modalidade apenas regada entre a floração e o pintor com a dotação de 50% da ET (FP1) apresentou inequivocamente os teores mais elevados de compostos fenólicos, sobretudo ao nível das películas, com um IFT cerca de 50% superior às videiras não regadas, e igualmente os níveis mais elevados de TPA nas películas e de ALT, com reflexos óbvios na intensidade corante e no índice de cor vermelha. Ferreyra *et al.* (2002) referem também níveis mais elevados de compostos fenólicos em videiras cuja rega parou ao pintor. Avaliando as correlações encontradas e o comportamento fisiológico de cada modalidade, é possível especular quanto às possíveis razões para tais resultados. O efeito do tamanho do bago é um dos mais frequentemente referidos, considerando-se que o seu aumento provocado pela rega diminui a razão película/polpa e conseqüentemente a concentração em compostos fenólicos, uma vez que é na película que estes se encontram maioritariamente (Kliwer *et al.*, 1983; Ferreyra *et al.*, 2002; Gaudillère *et al.*, 2002; Deloire *et al.*, 2005; Intrigliolo e Castel, 2009). Como se referiu antes, as modalidades regadas com a dotação mais elevada no período PM (FM2 e PM2) apresentaram de facto os bagos maiores e também alguns dos teores mais baixos de compostos fenólicos, corroborando esta questão. No caso de FP1, apesar de ter sido uma das modalidades com melhores produções por videira, tal deveu-se sobretudo ao maior número de cachos apresentados e não ao tamanho dos bagos, que foram em geral dos mais pequenos e sem diferenças significativas em relação à modalidade NR.

Por outro lado, Roby e Matthews (2004) e Matthews e Kriedemann (2006) demonstraram que em videiras sujeitas a uma carência hídrica moderada (como foi o caso da modalidade FP1; *vide* Figura 4.17), independentemente do tamanho dos bagos, verifica-se um aumento da espessura da película, cujo crescimento é menos sensível ao défice hídrico do que

as células do mesocarpo, resultando portanto também uma maior concentração dos compostos presentes na película, como é o caso dos compostos fenólicos e dos carotenóides.

É muito provável que tenham também ocorrido outro tipo de efeitos, provocados indirectamente pelo efeito da disponibilidade hídrica sobre o crescimento vegetativo, questão patente também na correlação negativa significativa entre a maioria dos compostos fenólicos analisados e a razão produção/lenha de poda (índice de *Ravaz*). A modalidade FP1 foi a única, a par de NR, cujo crescimento vegetativo cessou após o pintor. Nas restantes modalidades regadas este prolongou-se ao longo de parte do período da maturação o que poderá ter levado ao desvio de fotoassimilados para o crescimento, numa fase em que estes deveriam estar a ser encaminhados prioritariamente para os cachos (Gaudillère *et al.*, 2002; Deloire *et al.*, 2005; Castellarin *et al.*, 2007). Por outro lado, para diversos autores, esse maior crescimento vegetativo pode proporcionar um microclima na zona dos cachos, sobretudo em termos de radiação solar, menos favorável à biossíntese de antocianinas (Ferreyra *et al.*, 2002; Garcia-Escudero, 2007; Santos *et al.*, 2007), facto confirmado por Jeong *et al.* (2004) e Matus *et al.* (2009) que verificaram uma menor acumulação de antocianinas e uma menor expressão dos genes responsáveis pela sua síntese em cachos expostos a uma menor radiação solar.

Existe um número cada vez maior de trabalhos a apontarem também um efeito directo da disponibilidade hídrica na síntese de compostos fenólicos, verificando que videiras tratadas com ABA, cuja produção ocorre naturalmente em videiras sujeitas a uma carência hídrica moderada a forte (*vide* ponto 2.2.1.1), exibem uma maior expressão de genes-chave na biossíntese das antocianinas (Hiratsuka *et al.*, 2001; Jeong *et al.*, 2004) e dos taninos (Lacampagne *et al.*, 2010). Isto poderá justificar também os resultados menos expressivos verificados em 2005 ao nível dos compostos fenólicos, uma vez que, ao ver o seu período de maturação encurtado em cerca de duas semanas comparativamente com os restantes anos (a maturação comercial, determinada pelo teor em açúcares, ocorreu mais cedo face ao défice hídrico extremo ocorrido nesse ano, sobretudo por um efeito de desidratação dos bagos, mas o pintor havia sido sensivelmente na mesma altura que nos restantes anos) reduziu-se consideravelmente a duração daquele que é o período mais importante para a biossíntese e metabolismo dos compostos fenólicos. Tal encontra-se patente nos teores generalizadamente mais baixos (por vezes menos de metade) registados em 2005 comparativamente com os restantes anos.

Por último, os compostos fenólicos das grainhas parecem ter apresentado uma menor sensibilidade à disponibilidade hídrica do que os das películas. Ao longo dos três anos de trabalhos, apesar de uma aparente tendência para as grainhas possuírem níveis mais elevados

de IFT e TPA nas modalidades FM2 e FP1 e menores em PM2 e NR, os resultados foram muito variáveis, não se verificando mesmo qualquer diferença significativa (com a exceção dos TPA em 2004). Matthews e Kriedemann (2006) encontraram resultados semelhantes, parecendo que os ligeiros acréscimos nos compostos fenólicos das grainhas apenas foram motivados pela existência de uma maior quantidade total de grainhas por kg de produção, resultante de aumentos do tamanho e número de grainhas nas videiras com mais água disponível. Apesar de no presente trabalho não se ter registado o número e tamanho das grainhas, é lícito esperar que os bagos maiores de FM2 tenham apresentado, à semelhança dos resultados de Matthews e Kriedemann (2006), também grainhas maiores, e de que um maior número de cachos e com bagos mais pequenos, como verificado em FP1, terão também uma maior quantidade total de grainhas por kg de produção, embora tal deva ser confirmado em trabalhos posteriores. Esta foi assim a única fonte de variação identificada do teor em compostos fenólicos das grainhas com a disponibilidade hídrica, o que, face à complexidade dos mecanismos acima referidos ao nível das películas, parece não ser suficiente para motivar diferenças significativas.

iv. Carotenóides

Os carotenóides são sintetizados e acumulados nos bagos, maioritariamente nas películas, sobretudo até ao pintor (Razungles *et al.*, 1988). Durante a maturação verifica-se uma diminuição do teor em carotenóides nos bagos, em parte resultante da sua degradação, dando origem a C₁₃-norisoprenóides, compostos de forte poder odorante, responsáveis por muitos dos aromas presentes nos vinhos (Kanasawud e Crouzet, 1990; Sefton, 1998; Ribéreau-Gayon *et al.*, 2000). É o caso, entre outros, da β -ionona (aromas a violeta e framboesa), que resulta da degradação química do β -caroteno, e da β -damascenona (aroma a frutos exóticos) que resulta da neoxantina, sendo um dos mais potentes compostos aromáticos conhecidos (Kanasawud e Crouzet, 1990; Skouroumonis *et al.*, 1992; Puglisi *et al.*, 2005).

A variação dos carotenóides com a disponibilidade hídrica tem sido, recentemente, alvo de estudo de alguns autores (Oliveira *et al.*, 2003; Koundouras *et al.*, 2006; Bindon *et al.*, 2007). No entanto os processos de biossíntese e metabolismo dos carotenóides, em termos ambientais, estão sobretudo relacionados com a radiação solar (Bureau *et al.*, 1998; Baumes *et al.*, 2002). Tal parece justificar os resultados obtidos no presente trabalho pela modalidade PM1, que apresentou consistentemente teores elevados de todos os carotenóides, motivados sobretudo por um efeito indirecto do regime hídrico no microclima luminoso dos cachos. Segundo Bureau *et al.* (1998), antes do pintor, uma maior intensidade luminosa beneficia a

biossíntese de carotenóides, enquanto que, após o pintor o efeito é contrário, potenciando a sua degradação. A evolução da área foliar da modalidade PM1 (*vide* Figura 4.12) parece assim ser aquela que permite um balanço mais positivo entre biossíntese e degradação – até ao pintor a menor área foliar que resulta do facto das videiras não estarem a ser regadas, providencia mais luz na zona dos cachos para a biossíntese, e após o pintor, o acréscimo de área foliar que resulta do início da rega, “protege” os cachos, providenciando um microclima em termos de temperatura e luminosidade favorável a uma menor degradação de carotenóides. Contudo, no caso da modalidade PM2, estes efeitos positivos parecem ter sido atenuados por um efeito de diluição provocado pelo maior tamanho dos bagos em resultado da dotação mais elevada. Este efeito indirecto do tamanho dos bagos justifica igualmente os elevados valores por vezes encontrados nas videiras não regadas, devendo-se recordar também que, do decréscimo do tamanho do bago, resulta não apenas uma maior razão película/polpa mas também um aumento da espessura da película (*vide* ponto 2.3.2) onde os carotenóides se acumulam maioritariamente. As modalidades FP apresentaram em geral valores baixos pelos mesmos motivos que levaram aos bons resultados das modalidades PM, não se registando neste caso diferenças entre as duas dotações. Os valores em geral mais baixos de FM2 parecem reflectir o efeito combinado de uma menor síntese por efeito de sombra antes do pintor com o efeito de diluição dos bagos maiores durante a maturação.

Os resultados obtidos apontam no sentido do teor em carotenóides nos bagos beneficiar com uma carência hídrica média-leve entre o pintor e a maturação. No entanto, Baumes *et al.* (2002) recordam que uma menor concentração de carotenóides pode também resultar não de uma menor síntese ou perda, mas de uma produção de C₁₃-norisoprenóides ou interconversões entre diferentes carotenóides (através do ciclo das xantofilas) o que poderá não ser necessariamente negativo, mas resultar sim em diferentes perfis aromáticos.

Fazendo um balanço geral das variações verificadas entre os diferentes tratamentos impostos, o tipo e intensidade das respostas ao nível da fisiologia, rendimento e qualidade final das uvas comprovam o forte impacto da disponibilidade hídrica na produção das videiras na RDD.

6. CONCLUSÕES

A Região Demarcada do Douro (RDD) apresenta condições naturais capazes de imprimir um carácter verdadeiramente singular nos vinhos produzidos. Essas condições representam igualmente um verdadeiro desafio técnico para os viticultores, que têm de fazer face à multiplicidade de variáveis ambientais existentes e às elevadas variações interanuais da produção. Existem ainda alguns constrangimentos legais e socioculturais, resultantes de tradições enraizadas e da antiguidade da demarcação da região, criando por vezes resistências à introdução de novas práticas culturais.

A discussão da rega da vinha na região não é recente, e apesar de ser recorrentemente abordada, continua a não existir um consenso, nem ao nível institucional, nem tampouco ao nível da lavoura e do comércio. O presente trabalho pretendeu contribuir para a clarificação deste tema, com o objectivo de avaliar o impacto de diferentes regimes hídricos no comportamento fisiológico da videira e as suas consequências no rendimento e composição dos mostos da RDD, centrando a discussão numa perspectiva meramente científica e agronómica.

Os dados climáticos, registos da água no solo e medições fisiológicas comprovam o elevado nível de severidade da carência hídrica verificada na sub-região do Douro Superior, próximo da cidade de Vila Nova de Foz-Côa. Foram mesmo por vezes registados nas videiras níveis de potenciais hídricos foliares de base de tal forma negativos que ultrapassam muitos dos valores normalmente tabelados noutras regiões vitícolas para a viabilidade eco-fisiológica da cultura da vinha.

Os regimes hídricos definidos provocaram diferenças significativas no teor de água no solo e consequentemente no comportamento fisiológico, vegetativo e produtivo das videiras. Os registos efectuados permitiram avaliar e classificar, em função dos valores referenciados em outras regiões vitícolas, os diferentes níveis de carência hídrica resultantes:

- (1) As videiras não regadas estiveram sujeitas a uma carência hídrica média até ao pintor e severa durante o período da maturação;
- (2) A modalidade regada da floração ao pintor com uma dotação de 100% da ET manteve as videiras num nível de carência hídrica leve durante todo esse período;

- (3) As videiras regadas apenas da floração ao pintor com uma dotação de 50% ou 100% da ET estiveram sujeitas a uma carência hídrica leve até ao pintor e média durante o período da maturação;
- (4) As videiras regadas apenas do pintor à maturação com uma dotação de 50% ou 100% da ET estiveram até ao pintor sob um nível de carência hídrica média; após o início da rega ao pintor, a dotação de 50% manteve as videiras num nível médio e a de 100% num nível médio-leve até à maturação;

Os diferentes níveis de disponibilidade hídrica obtidos tiveram reflexos na fisiologia das videiras. A maioria dos parâmetros observados apresentaram diferenças significativas entre os diferentes tratamentos, embora nalguns casos não tenha emergido um padrão de efeitos totalmente definido. Há que recordar que as videiras são plantas perenes cujo comportamento sazonal é influenciado pelas condições ambientais e agrícolas a que foram sujeitas, não só nesse período mas também em períodos anteriores (Matthews e Anderson, 1989; Paranychianakis *et al.*, 2004; Van Leeuwen *et al.*, 2004; Payan *et al.*, 2006). Por outro lado é conhecido um certo comportamento homeostático da videira face a alterações das condições do meio onde se insere (Pastori e Foyer, 2002; Patakas *et al.*, 2002; Chaves *et al.*, 2003; Schultz, 2003). Não se pode tampouco descurar o efeito do factor “Ano”, que se verificou ter uma influência significativa não apenas no teor de água no solo, como também na maioria dos parâmetros de produção avaliados, como referido também por Esteban *et al.* (2001), Koundouras *et al.* (2006) e Falcão *et al.* (2007). Assim, a análise dos resultados deve ser interpretada no contexto das limitações impostas por uma estação de crescimento integrada num plano de trabalhos plurianual.

As trocas gasosas das videiras foram sensíveis à variação da disponibilidade hídrica, com as modalidades regadas no período do registo a apresentarem taxas mais elevadas de transpiração, condutância estomática, fotossíntese e fluxo de seiva. Contudo, a verificação da existência de mecanismos não estomáticos de regulação da fotossíntese levou a que o seu aumento tenha sido proporcionalmente inferior ao dos restantes, resultando uma menor eficiência intrínseca do uso da água. As limitações não estomáticas da fotossíntese aumentaram à medida que o nível de severidade da carência hídrica se acentuou no período estival.

Entre os vários métodos de avaliação do estado hídrico da videira utilizados, os melhores resultados foram obtidos, por ordem decrescente, pela medição da velocidade do

fluxo de seiva, pelo potencial hídrico foliar de base e pelas trocas gasosas através do IRGA. Os três apresentaram uma boa sensibilidade às variações da disponibilidade hídrica impostas, contudo a medição do fluxo de seiva foi a aquela que melhor distinguiu também as diferentes dotações de rega. Por sua vez a estimativa do teor de clorofilas das folhas através do SPAD e os registos da fluorescência da clorofila *a* não se revelaram bons indicadores do estado hídrico da videira, o que pode significar uma baixa sensibilidade das clorofilas às variações de disponibilidade hídrica, facto que deverá contudo ser confirmado em trabalhos posteriores.

Das variações fisiológicas resultaram, como esperado, diferenças ao nível do crescimento vegetativo, com as modalidades regadas (excepto a regada com a menor dotação até ao pintor), a apresentarem, não apenas áreas foliares mais elevadas, como também uma continuação do crescimento vegetativo após o pintor, provocando um desvio de fotoassimilados que deveriam estar a ser encaminhados prioritariamente para os cachos, com reflexos na qualidade. Ainda assim, o índice de *Ravaz* não acusou a existência de desequilíbrios entre a estrutura vegetativa e a produção, uma vez que o rendimento foi também significativamente maior em todas as modalidades regadas.

O aumento da produção com a rega deveu-se maioritariamente ao aumento do tamanho dos bagos, embora o número de cachos tenha tido também influência, sobretudo na modalidade apenas regada antes do pintor com 50% da ET. O número de cachos parece assim beneficiar com níveis médios de carência hídrica antes do pintor, possivelmente não por um efeito no próprio ano, mas sim no anterior, quando ocorre a diferenciação floral. Uma maior disponibilidade hídrica após a vindima revela-se também benéfica para o número de cachos, por acumulação de reservas nas partes perenes das videiras, podendo justificar a rega, caso não ocorra precipitação nesse período (o que geralmente sucede).

Os diferentes níveis de disponibilidade hídrica provocaram também diferenças significativas na qualidade das uvas. Detectaram-se vários tipos de efeitos, directos e indirectos, nos parâmetros de qualidade analisados, motivados pela variação da disponibilidade hídrica:

- (1) O teor de açúcares nas modalidades regadas beneficiou de um efeito directo sobre a sua biossíntese e acumulação nos bagos; contudo, as videiras com maior disponibilidade hídrica durante a maturação (regadas a 100% da ET durante este período) evidenciaram também efeitos negativos indirectos sobre o teor destes compostos, quer por desvio de fotoassimilados para o crescimento vegetativo, quer pelo maior tamanho dos bagos obtidos (efeito de diluição);

- (2) A acidez e o pH não apresentaram em geral diferenças significativas com a disponibilidade hídrica, com as poucas variações a serem motivadas sobretudo pelo ácido málico e não pelo tartárico. Verificou-se ainda assim uma tendência para a modalidade regada da floração à maturação apresentar valores mais elevados de ácido málico (por possível efeito directo antes do pintor na sua biossíntese e indirecto durante a maturação no seu menor metabolismo) e mais baixos de ácido tartárico (efeito de diluição pelo maior tamanho dos bagos);
- (3) O teor em compostos fenólicos foi beneficiado em geral por níveis de carência hídrica média durante a maturação (efeito na sua biossíntese pela acção do ABA e efeito de concentração e maior espessura da película pelo menor tamanho dos bagos em resposta à carência hídrica); condições de carência hídrica leve durante a maturação parecem também exercer vários efeitos negativos, pelo maior crescimento vegetativo (desvio de fotoassimilados e sombreamento); as diferenças no teor de compostos fenólicos com o regime hídrico foram muito mais expressivas nas películas do que nas grainhas (raramente se verificaram diferenças significativas nas grainhas, parecendo ser afectadas apenas pelo efeito do tamanho dos bagos);
- (4) Os maiores teores em carotenóides foram obtidos em condições de carência hídrica média antes do pintor e média-leve durante a maturação (aparentemente através um efeito indirecto do crescimento vegetativo sobre o microclima luminoso na zona dos cachos, influenciando a sua biossíntese antes do pintor e o seu metabolismo durante a maturação);

Todos os mecanismos referidos deverão contudo ser comprovados através de análises bioquímicas em trabalhos futuros.

A utilização de diferentes dotações de rega resultou em algumas diferenças na produção das videiras, mas não demasiado marcadas, afectando, para um mesmo período, sobretudo a qualidade e não tanto o rendimento.

O momento da rega revelou-se por sua vez fundamental na determinação da qualidade e rendimento das uvas produzidas; ambos os períodos avaliados motivaram diferenças nos vários parâmetros de rendimento e de qualidade analisados, confirmando-se a há muito reconhecida importância da fase da maturação, mas também o papel de particular relevo do período da floração ao pintor, cujo impacto não foi apenas considerável, como revelou um

grande potencial de intervenção no sentido de se atingirem diferentes tipos de objectivos produtivos.

Resumindo o desempenho global das videiras face aos regimes hídricos definidos, verificaram-se variações expressivas na quantidade e na qualidade das uvas produzidas:

- (1) Todas as modalidades regadas registaram produções por videira mais elevadas do que a testemunha não regada;
- (2) A modalidade mais regada (FM2) apresentou os rendimentos mais elevados (cerca de 60% maiores do que a testemunha não regada), devido a um maior peso dos seus cachos e bagos, mas uma menor qualidade geral, apresentando teores de açúcar, compostos fenólicos e carotenóides baixos;
- (3) As videiras não regadas registaram as menores produções, sobretudo devido a um menor peso dos bagos, e apresentaram um desempenho qualitativo inconstante, com grandes variações dos açúcares e carotenóides ao longo dos três anos, motivadas sobretudo por efeitos de concentração pelo reduzido tamanho dos bago, e em geral baixos teores de compostos fenólicos nas películas das uvas;
- (4) A modalidade apenas regada entre a floração e o pintor com a dotação de 50% da ET (FP1) registou um rendimento médio-alto (em média foi mesmo o 2º maior a seguir a FM2 e 22% acima de NR), devido a ter apresentado um maior número de cachos mas geralmente de menor peso; os reflexos na qualidade foram igualmente positivos, apresentando consistentemente os teores em compostos fenólicos mais elevados nas películas dos bagos, níveis igualmente elevados de açúcares, mas um conteúdo médio-baixo de carotenóides;
- (5) As videiras apenas regadas entre o pintor e maturação com a dotação de 50% da ET (PM1) apresentaram rendimentos muito variáveis (embora se tenha verificado ao longo dos 3 anos uma tendência de crescimento) devido a um igualmente variável peso dos cachos e bagos, sendo o número de cachos médio; em termos de qualidade apresentou consistentemente níveis elevados de todos os carotenóides e níveis médios-altos (embora sempre abaixo de FP1) de açúcares e compostos fenólicos;
- (6) Em ambas as situações de rega durante apenas um dos períodos definidos (FP ou PM) a dotação de 100% da ET tendeu a atenuar os teores dos compostos encontrados nas videiras regadas a 50% da ET, sem que contudo as diferenças no rendimento não tenham sido significativas.

Em função destes resultados é possível avaliar por sua vez o potencial agronómico e enológico dos diferentes regimes hídricos definidos, recordando que, embora seja evidente que algumas estratégias não apresentam qualquer vantagem, podem existir diferentes opções consoante os objectivos de produção, as condições ambientais e os recursos disponíveis:

- (1) Uma carência hídrica média até ao pintor e severa durante o período da maturação, condições verificadas na modalidade não regada, resulta em produções mais baixas e sem uma vantagem qualitativa assinalável relativamente às restantes modalidades;
- (2) A manutenção de um nível de carência hídrica leve desde a floração até próximo da maturação poderá ser opção quando o objectivo de produção for sobretudo a obtenção de rendimentos mais elevados, para produção de maiores volumes de vinhos, a serem lançados no mercado num curto espaço de tempo; embora a qualidade das uvas fique aquém de outras estratégias hídricas, é contudo equiparável à da testemunha não regada, não sendo de prever uma diferença na valorização das uvas ou dos vinhos resultantes;
- (3) Uma carência hídrica leve até ao pintor e média durante o período da maturação, condições atingidas neste caso através da rega com uma dotação de 50% da ET apenas da floração ao pintor, parece garantir o desempenho produtivo mais equilibrado, com vantagens quer no rendimento, quer na qualidade; os elevados teores de compostos fenólicos apresentados tornam-na a melhor opção quando o objectivo é a obtenção de vinhos tintos de qualidade, com boa estrutura e capacidade de guarda;
- (4) Quando o objectivo for a produção de vinhos brancos e rosados de qualidade, em que não interessa propriamente o teor em compostos fenólicos mas sim sobretudo a intensidade e qualidade dos aromas varietais, o itinerário hídrico mais propício parece ser uma carência hídrica média até ao pintor e média a leve durante o período da maturação, condições atingidas no presente trabalho através da rega com uma dotação de 50% da ET apenas do pintor à maturação;
- (5) Num mesmo período (da floração ao pintor ou do pintor à maturação) a dotação de rega de 50% da ET revelou-se mais adequada que as de 100% pois, além de ter resultado numa maior qualidade para uma mesma quantidade, representa também um uso muito mais eficiente e racional da água, com uma economia de 50% de um recurso que se prevê cada vez mais escasso.

Os resultados apresentados devem ser encarados como um contributo e não como um “ponto final” na avaliação dos efeitos da disponibilidade hídrica sobre a fisiologia e produção da videira na RDD. A complexidade dos mecanismos através quais a água poderá interferir no comportamento da videira é considerável, com vários processos a ocorrerem em simultâneo e em diferentes fases do ciclo vegetativo, directos ou indirectos, mais ou menos interligados. Não se pode igualmente esquecer que a água, apesar da sua relevância, é apenas um dos muitos factores que compõem o meio do qual a própria videira faz também parte. As grandes variações interanuais na produção verificadas na RDD são um bom exemplo disso. O "ano" integra em si mesmo um conjunto extremamente complexo de factores climáticos aos quais se junta o solo que, tanto individualmente como em conjunto e inter-relacionando-se terão um impacto na cultura. A própria videira, consoante a casta, estado sanitário e idade é também uma fonte de variação. A disponibilidade hídrica terá assim que ser encarada e avaliada sempre no contexto do ano e das condições ambientais e vitícolas em questão. E a sua gestão, quer através da rega, quer através de outras práticas culturais, devem ser ajustadas a cada caso particular e aos objectivos produtivos do viticultor.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Quase todos os modelos climáticos apontam para uma cada vez maior aleatoriedade da disponibilidade hídrica. Sendo óbvio que a prioridade da utilização da água será o consumo humano, é importante estabelecer perspectivas de trabalhos futuros face aos novos cenários possíveis. Estas passarão possivelmente não tanto pela rega, mas por novas formas de encarar a gestão do estado hídrico da videira, nomeadamente:

- (1) Selecção e desenvolvimento de genótipos com melhor capacidade de resposta ao défice hídrico; o papel das aquaporinas deverá ser uma questão a ter em conta; estão já em curso trabalhos de melhoramento genético com este objectivo; há que ter atenção aos actuais critérios de selecção massal e clonal que, na sua grande maioria, não têm tido este parâmetro em consideração, podendo estar-se a perder valiosa informação genética;
- (2) Desenvolvimento de tratamentos, nomeadamente hormonais (com particular atenção no papel do ABA), que permitam melhorar a capacidade de adaptação das videiras a condições de carência hídrica severa;
- (3) Promover cada vez mais uma viticultura de precisão, quer em termos de monitorização da vinha e diagnóstico, quer em termos práticas culturais, no sentido de utilizar os recursos disponíveis de uma forma cada vez mais eficiente e criteriosa; existem vários grupos de investigação a trabalharem nesse sentido, já existindo mesmo algumas soluções à escala comercial;
- (4) Desenvolvimento de novos mecanismos de reutilização e aproveitamento dos recursos hídricos naturais; no Irão, Jordânia e China existem trabalhos com sistemas de recolha da água de escoamento superficial em encostas;

Se não existe qualquer dúvida quanto à importância de promover o uso racional dos recursos naturais, algumas das visões menos optimistas quanto ao futuro da cultura da vinha face aos modelos climáticos esquecem um factor muito importante: a extraordinária capacidade de aclimação e adaptação progressiva da videira a novas e diferentes condições; é licito de esperar que as videiras, além dos actuais mecanismos que possuem, resultantes de uma adaptação às condições ambientais verificadas até aos dias de hoje, possam desenvolver

novas estratégias fisiológicas e morfológicas de tolerância a carências hídricas severas, nomeadamente ao nível da condutância estomática e conseqüentemente das trocas gasosas e eficiência do uso da água Morison (1993) e Tognetti *et al.* (2000).

A perspectiva de, no futuro, a rega poder vir a ser implementada como prática cultural autorizada na RDD motiva uma última reflexão. Depois de muitos anos a debater-se várias questões, muitas não do foro técnico e por vezes pouco fundamentadas, e depois mesmo da introdução de profundas alterações na região, como a diminuição das densidades de plantação, modificação dos sistemas de condução e a sistematização do terreno em patamares, com impacto não apenas na produção mas também na própria paisagem e ecossistema, sem a discussão que a rega motiva, é lícito esperar, nos dias de hoje, um novo tipo de discurso. A rega deverá ser encarada como mais uma ferramenta. Mais um factor de produção à disposição de técnicos e viticultores, a ser utilizado, tal como os restantes, criteriosamente face às condições ambientais e aos objectivos de produção. Na prática, a rega, quando correctamente utilizada, não faz mais do que simular a acção da própria natureza, de forma a poder-se suprir as necessidades hídricas da videira quando tal não ocorre naturalmente. Caso não exista este cuidado, o próprio mercado tratará de “fiscalizar” a boa ou má utilização da rega. Deve assim ser contrariada a política de penalização a favor de políticas de sensibilização e formação. É nesse contexto que este e outros trabalhos de investigação, aliados à sua demonstração, poderão ser úteis para a produção e qualidade dos vinhos da RDD. Relativamente a esta e tantas outras questões deveria existir uma mobilização conjunta para um bem comum. Países como Israel, Austrália e E.U.A. há muito que desenvolveram serviços de avisos de rega, tutelados quer por organismos públicos, quer por privados, que informam os viticultores de quando e como regar. Algumas regiões nacionais, como o Alentejo, têm desenvolvido soluções semelhantes. Como refere Fregoni (1999), um só centro com um só técnico poderia servir de orientação a grandes extensões de vinha. Na RDD, com Universidades, IVDP, Direcção Regional de Agricultura e associações de viticultura a trabalharem em conjunto, e com meios que em muitos casos já existem, pode-se facilmente criar uma orientação semelhante. Há assim que ultrapassar conflitos institucionais, rigidez legal e interesses individuais em prol do bem comum e começar a trabalhar.

A região agradece.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, C., Ortega-Farías, S., Hidalgo, C., Moreno, Y., Córdova, F. 2005. Efecto de Diferentes Niveles de Agua Aplicada en Post-Cuaja y en Post-Pinta Sobre la Calidad del Vino cv. Cabernet Sauvignon. *Agricultura Técnica*, **65** (4): 397-410.
- ADVID. 2007. Contributo para estudo do impacto das alterações climáticas na Região Demarcada do Douro. Vila Nova de Gaia, Dezembro de 2007.
- Ali, K., Maltese, F., Choi, Y.H., Verpoorte, R. 2009. Metabolic constituents of grapevine and grape-derived products. *Phytochemistry Reviews*, DOI 10.1007/s11101-009-9158-0.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage*, **56**, Rome.
- Amerine, M.A., Winkler, A.J. 1944. Composition and quality of musts and wines of California grapes. *Hilgardia*, **15**:493–673.
- Araujo, F., Williams, L.E., Grimes, D.W., Matthews, M.A. 1995a. A comparative study of young ‘Thompson Seedless’ grapevines under drip and furrow irrigation. I. Root and soil water distributions. *Scientia Horticulturae*, **60**: 235-249.
- Araujo, F., Williams, L.E., Matthews, M.A. 1995b. A comparative study of young ‘Thompson Seedless’ grapevines (*Vitis vinifera* L.) under drip and furrow irrigation. II. Growth, water use efficiency and nitrogen partitioning. *Scientia Horticulturae*, **60**: 251-265.
- Arnold, R., Williams, L. 2001. Effect of irrigation on wine quality. 2001 Central Coast Viticulture and Enology Issues Conference, pp 23-25.
- Badeck, F.-W., Tcherkez, G., Nogués, S., Piel, C., Ghashghaie, J. 2005. Post-photosynthetic fractionation of stable carbon isotopes between plant organs—a widespread phenomenon. *Rapid Commun. Mass Spectrom.*, **19**: 1381-1391.
- Baeza, P., Sánchez-de-Miguel, P., Centeno, A., Junquera, P., Linares, R., Lissarrague, J.R. 2007. Water relations between leaf water potential, photosynthesis and agronomic vine response as a tool for establishing thresholds in irrigation scheduling. *Scientia Horticulturae*, **114**: 151–158.
- Barbeau, G. 2004. Influência dos factores naturais do *Terroir* na uva e no vinho: exemplos do Cabernet Franc e do Chenin Blanc no Vale do Loire. *Vinidea.net revista internet técnica do vinho*, nº. 4.
- Barroso, J.M., Lopes, C.M., Pacheco, A., Cabrita, M.J., Vaz Freire, J.T., Vicente-Paulo, J., 2001. Influência da rega no comportamento da casta ‘Aragonez’ em vários solos

do Alentejo. Actas do 5º Simpósio de Vitivinicultura do Alentejo, ATEVA/CVRA, Évora, pp. 235-241.

- Baumes, R., Wirtha, J., Bureaub, S., Gunatac, Y., Razungles, A. 2002. Biogenesis of C₁₃-norisoprenoid compounds: experiments supportive for an apo-carotenoid pathway in grapevines. *Analytica Chimica Acta*, **458** (1): 3-14.
- Bavaresco, L. 1995. Utilization of a non-destructive chlorophyll meter to assess chlorophyll concentration in grapevine leaves. *Bulletin de l'OIV*, **68** (771-772): 404-414.
- Bernard, N., Zebic, O., Deloire, A., 2004. Estimation de l'état hydrique de la vigne par la mesure de la température foliaire: un outil au service des professionnels. *Le Progrès Agricole et Viticole*, **121** (23): 539-542.
- Bertamini, M., Zulini, L., Zorer, R., Muthuchelian, K., Nedunchezian, N. 2007. Photoinhibition of photosynthesis in water deficit leaves of grapevine (*Vitis vinifera* L.) plants. *Photosynthetica*, **45** (3): 426-432.
- Best, S., León, L., Claret, M. 2005. Use of precision viticulture tools to optimize the harvest of high quality grapes. FRUTIC 05, Montpellier, pp. 249-258.
- Bindon, K.A., Dry, P.R., Loveys, B.R. 2007. Influence of Plant Water Status on the Production of C₁₃-Norisoprenoid Precursors in *Vitis vinifera* L. Cv. Cabernet Sauvignon Grape Berries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **55** (11): 4493-4500.
- Bonnardot, V., Planchon, O., Cautenet, S. 2005. Sea breeze development under an offshore synoptic wind in the South-Western Cape and implications for the Stellenbosch wine-producing area. *Theor. Appl. Climatol.*, **81**: 203-218.
- Boss, P.K., Davis, C. 2001. Molecular biology of sugars and anthocyanin accumulation in grape berries. In: K.A. Roubelakis-Angelakis (ed) *Molecular Biology and Biotechnology of the Grapevine*, Amsterdam: Kluwer Academic Publishers, 1-28.
- Botelho-da-Costa, J.V. 1995. Caracterização e constituição do solo. Fundação Calouste Gulbenkian, 5ª edição, Lisboa, 527pp.
- Bowman, W.D., Roberts, S.W. 1985. Seasonal changes in tissue elasticity in chaparral shrubs. *Physiologia Plantarum*, **65** (3): 233-236.
- Boyer, J.S., Wong, S.C., Farquhar, G.D. 1997. CO₂ and water vapour exchange across leaf cuticle (epidermis) at various water potentials. *Plant Physiol.*, **114**: 185-191.
- Brase, R. 2001. Vineyard mapping and irrigation system design. 2001 Central Coast Viticulture and Enology Issues Conference, pp. 26-31.
- Bravdo, B., Hepner, Y., Loinger, C., Cohen, S. and Tabacman, H. 1985. Effect of crop level and crop load on growth, yield, composition and wine quality of Cabernet Sauvignon. *Am. J. Enol. Vitic.*, **36**: 125-131.

- Bravdo, B.A., Y. Hepner. 1987. Irrigation management and fertigation to optimize grape composition and vine performance. *Acta Hort.*, **206**: 49-67.
- Bureau, S., Razungles, A., Baumes, R., Bayonove, C. 1998. Effect of vine or bunch shading on the carotenoid composition in *Vitis vinifera* L. berries. I. Syrah grapes. *Vitic. Enol. Sci.*, **53** (2): 64-71.
- Buttrose, M.S. 1974. Fruitfulness in grapevines: Effect of water stress. *Vitis*, **12**: 299-305.
- Cabrita, M.J., Laureano, P., Vicente-Paulo, J. Barroso, M., Lopes, C. 2001. Importância da rega na maturação de uvas da casta Aragonês (*Vitis vinifera* L.) na Região do Alentejo. Actas do 5º Simpósio de Vitivinicultura do Alentejo, Évora, pp. 299-306.
- Cantín, C.M., Fidelibus, M.W., Crisosto, C.H. 2007. Application of abscisic acid (ABA) at veraison advanced red color development and maintained postharvest quality of 'Crimson Seedless' grapes. *Postharvest Biology and Technology*, **46**: 237-241.
- Carbonneau, A., Casteran, P. 1979. Irrigation-depressing effect on floral initiation of Cabernet Sauvignon grapevines in Bordeaux area. *Am. J. Enol. Vitic.*, **30** (1): 3-7.
- Carbonneau, A. 1985. The early selection of grapevine rootstocks for resistance to drought conditions. *Am. J. Enol. Vitic.*, **36**: 195-198.
- Carbonneau, A. 1991. Conduite du vignoble et qualité du vin: des faux débats sur la densité de plantation à la "Lyriculture". *Riv. Viti. Enol.*, **44** (4): 329-333.
- Carbonneau, A. 1998. Vignobles méditerranéens : des malentendus a rectifier. *Progrès Agricole et Viticole*, **115** (21) : 456-458.
- Carbonneau, A., 1998. Aspects qualitatifs, 258–276. In: Proceedings of the XXVIIth World Congress of Vine and Wine, Bratislava. *Traité d'irrigation, tiercelin*. Lavoisier Tec et Doc ed., 1011 pp.
- Carrante, V. 1963. Résistance de la vigne à la sécheresse. *Bull. de L'O.I.V.*, **36**: 141-168.
- Castellarin, S.D., Matthews, M.A., Di-Gaspero, G., Gambetta, G.A. 2007. Water deficits accelerate ripening and induce changes in gene expression regulating flavonoid biosynthesis in grape berries. *Planta*, **227** (1): 101-112.
- Champagnol, F., 1978. Aspects physiologiques de la qualité de la vendange. *Le progrès agricole et viticole*, **95** (9): 266-275.
- Champagnol, F. 1984. *Éléments de physiologie de la vigne et de viticulture générale*. Déhan, Montpellier, 351pp.
- Charlesworth, P. 2005. Soil water monitoring. *Irrigation Insights N° 1*, 2nd Edition, Land & Water Australia, Canberra, 96 pp.

- Chavarria, G., Santos, H.P., Felippeto, J., Marodin, G.A.B., Bergamaschi, H., Cardoso, L.S., Fialho, F.B. 2008. Relações hídricas e trocas gasosas em vinhedo sob cobertura plástica. *Rev. Bras. Frutic.*, **30** (4): 1022-1029.
- Chaves, M.M. 1991. Effects of water deficits on carbon assimilation. *Journal of Exp. Bot.*, **42** (234): 1-16.
- Chaves, M.M., Maroco, J.P., Pereira, J.S. 2003. Understanding plant responses to drought – from genes to the whole plant. *Functional Plant Biology*, **30**: 239-264.
- Chaves, M.M., Pereira, J.S., Maroco, J., Rodrigues, M.L., Ricardo, C.P.P., Osório, M.L., Carvalho, I., Faria, T., Pinheiro, C. 2002. How plants cope with water stress in the field. Photosynthesis and growth, *Ann. Bot.* **89**: 907–916.
- Chaves, M.M., Santos, T.P., Souza, C.R., Ortuño, M.F., Rodrigues, M.L., Lopes, C.M., Maroco, J.P., Pereira, J.S. 2007. Deficit irrigation in grapevine improves water-use efficiency while controlling vigour and production quality. *Ann. Appl. Biol.*, **150**: 237–252.
- Choné, X., Van Leeuwen, C., Dubourdieu, D., Gaudiller 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 vinifera* L.). *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **106** (2-3): 159-170.
- Climaco, P., Abrantes, M. L., Castro, R. 1991. Influence du régime hydrique sur la production et la qualité du moût. *Vital. Rev. Vitic. Oenol.*, **4**: 183-188.
- COBA. 1987. Carta de Solos e Carta de Utilização Actual do Solo do Nordeste de Portugal. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal.
- Cohen, Y., Fuchs, M., Green, G.C. 1981. Improvement of the heat pulse method for determining sap flow in trees. *Plant Cell. Environ.*, **4** (5): 391-397.
- Collins, M.J. 2006. Physiological responses of field grown Shiraz grapevines to partial rootzone drying and deficit irrigation. PhD Thesis Academic year 2005-06, Agriculture and Food Systems Faculty of Land and Food Resources, University of Sydney.
- Cortell, J.M., Halbleib, M., Gallagher, A.V., Righetti, T.L., Kennedy, J.A. 2005. Influence of vine vigor on grape (*Vitis vinifera* L. Cv. Pinot Noir) and wine proanthocyanidins. *J. Agric. Food Chem.*, **53**: 5798-5808.
- Creasy, G.L., Lombard, P.B. 1993. Vine water stress and peduncle gridling effects on pre and post veraison grape berry growth and deformability. *Am. J. Enol. Vitic.*, **44**: 193-197.

- Cuevas, E., Baeza, P., Lissarrague, J.R. 1998. Effects of 4 moderate water regimes on seasonal changes in vineyard evapotranspiration and dry matter production under semi-arid conditions. *Acta Hort. (ISHS)*, **493**: 253-260.
- Dai, Z.W., Vivin, P., Barrieu, F., Ollat, N., Delrot, S. 2010. Physiological and modelling approaches to understand water and carbon fluxes during grape berry growth and quality development: a review. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, **16**: 70–85.
- Darné, G., Madero-Tamargo, J. 1979. Mise au point d'une méthode d'extraction des lipides solubles totaux, des glucides solubles totaux et des composés phénoliques solubles totaux des organes de la vigne. *Vitis*, **18** (3):221-228.
- Darné, G. 1991. Recherches sur la composition en anthocyanes des grappes et des feuilles de vigne. PhD Thesis, University of Bordeaux I – France.
- de Freitas, V.A.P., Glories, Y. 1999. Concentration and compositional changes of procyanidins in grape seeds and skin of white *Vitis vinifera* varieties. *J. Sci. Food Agric*, **79**: 1601-1606.
- 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** (4): 149-162.
- Dobrowski, S.Z., Pushnik, J.C., Zarco-Tejada, P.J., Ustin, S.L. 2005. Simple reflectance indices track heat and water stress-induced changes in steady-state chlorophyll fluorescence at the canopy scale. *Remote Sensing of Environment*, **97** (3): 403-414.
- Donovan, L.A., Linton, M.J., Richards, J.H. 2001. Predawn plant water potential does not necessarily equilibrate with soil water potential under well-watered conditions. *Oecologia*, **129**: 328–335.
- Doorenbos, J., Kassan, A.H., Bentvelsen, C.L.M., Branscheid, V., Plusjé, J.M.G.A., Smith, M., Uittenbogaard, G.O., Van der Wal, H.K. 1986. Yield response to water. *FAO Irrigation and Drainage*, **33**, Rome.
- Downton, W.J.S., Loveys, B.R., Grant, W.J.R. 1988. Stomatal closure fully accounts for the inhibition of photosynthesis by abscisic acid. *New Phytologist*, **108** (3): 263-266
- Düring, H. 1994. Photosynthesis of ungrafted and grafted grapevines: effects of rootstock genotype and plant age. *Am. J. Enol. Vitic.*, **45** (3): 297-299.
- Escalona, J.M., Flexas, J., Medrano, H. 1997. Comparison of heat balance and gas exchange methods to measure transpiration in irrigated and water stressed grapevines. *Acta Hort.*, **526**: 145-155.
- Escalona, J.M., Flexas, J., Medrano, H. 1999. Stomatal and non-stomatal limitations of photosynthesis under water stress in field-grown grapevines. *Aust. J. Plant Physiol.*, **26**: 421–433.

- Escalona, J., Flexas, J., Medrano, H. 2002. Drought effects on water flow, photosynthesis and growth of potted grapevines. *Vitis*, **41**: 57-62.
- Esteban, M.A., Villanueva, M.J., Lissarrague, J.R. 2001. Effect of irrigation on changes in the anthocyanin composition of the skin of cv Tempranillo (*Vitis vinifera* L) grape berries during ripening. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **81** (4): 409-420.
- Esteban, M.A., Villanueva, M.J., Lissarrague, J.R. 2002. Relationships between different berry components in Tempranillo (*Vitis vinifera* L) grapes from irrigated and non-irrigated vines during ripening. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **82** (10): 1136
- Evain, S., Flexas, J., Moya, I. 2004. A new instrument for passive remote sensing: 2. Measurement of leaf and canopy reflectance changes at 531 nm and their relationship with photosynthesis and chlorophyll fluorescence. *Remote Sensing of Environment*: **91** (2): 175-185.
- Fabião, M., Boteta, L., Catronga, H., Figueiredo, A. 2009. Sistema de apoio à gestão da água de rega mediante satélite e tecnologias de comunicação. *Enovitis*, **16**: 26-29.
- Falcão, L.D., Revel, G., Perello, M.C., Moutsiou, A., Zanus, M.C., Bordignon-Luiz, M.T. 2007. A Survey of Seasonal Temperatures and Vineyard Altitude Influences on 2-Methoxy-3-isobutylpyrazine, C13-Norisoprenoids, and the Sensory Profile of Brazilian Cabernet Sauvignon Wines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **55** (9): 3605-3612.
- Fanizza, G., Della-Gatta, C., Bagnulo, C. 1991a. A non-destructive determination of leaf chlorophyll in *Vitis vinifera*. *Annals of Applied Biology*, **119** (1): 203–205.
- Fanizza, G., Ricciardi, L., Bagnulo, C. 1991b. Leaf greenness measurements to evaluate water stressed genotypes in *Vitis vinifera*. *Euphytica*, **55** (1): 27–31.
- Farquhar, G.D., Ehleringer, J.R., Hubick, K.T. 1989. Carbon isotope discrimination and photosynthesis. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, **40**: 503-537.
- Ferreira, R.E., Selles G.V., Peralta, J.A., Burgos L.R., Valenzuela, J. B. 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., Escalona, J.M., Medrano, H. 1998. Down-regulation of photosynthesis by drought under field conditions in grapevine leaves. *Aust. J. Plant Physiol*, **25**: 893–900.
- Flexas, J., Badger, M., Chow, W.S., Medrano, H., Osmond, C.B. 1999a. Analysis of the relative increase in photosynthetic O₂ uptake when photosynthesis in grapevine leaves is inhibited following low night temperatures and/or water stress. *Plant Physiology*, **121**: 675–684.

- Flexas, J., Escalona, J.M., Medrano, H. 1999b. Water stress induces different levels of photosynthesis and electron transport rate regulation in grapevines, *Plant Cell Environ.* **22**: 39–48.
- Flexas, J., Briantais, J.-M., Cerovic, Z., Medrano, H., Moya, I. 2000. Steady-State and Maximum Chlorophyll Fluorescence Responses to Water Stress in grapevines leaves: A New Remote Sensing System. *Remote Sens. Environ.*, **73**: 283–297.
- 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.
- Fouquet, R., Léon, C., Ollat, N., Barrieu, F. 2008. Identification of grapevine aquaporins and expression analysis in developing berries. *Plant Cell Rep.*, **27**: 1541–1550.
- Freeman, B.M., Kliewer, W.M. 1983. Effect of irrigation, crop level and potassium fertilization on Carignane vines. II. Grape and wine quality. *Am. J. Enol. Vitic.*, **34**: 197-207.
- Fregoni, M. 1999. Viticoltura di Qualità. Edizioni l'Informatore Agrario S.r.l, 2ª edizione, pp. 579-612, Verona.
- Gachons, C.P., Van Leeuwen, C., Tominaga, T., Soyer, J.-P., Gaudillère, J.-P., Dubourdiou, D. 2005. Influence of water and nitrogen deficit on fruit ripening and aroma potential of *Vitis vinifera* L cv Sauvignon blanc in field conditions. *J. Sci. Food Agric.*, **85**: 73-85.
- García-Escudero, E., Martínez-Bujanda, F., Lissarrague, J.R., Sotés, V. 1994. Influencia del momento de aplicación del riego sobre la producción y la calidad del mosto. *Vitivinicultura*, **1-2**: 49-54.
- García-Escudero, E. 2007. Experiencias de riego en la DOCa. Rioja. *Fundamentos, aplicación y consecuencias del riego en la vid*, Editorial Agrícola Española S.A., pp. 199-230, Madrid.
- Gaudillère, J.P., Van Leeuwen, C., Ollat, N. 2002. Carbon isotope composition of sugars in grapevine, an integrated indicator of vineyard water status. *Journal of Experimental Botany*, **53** (369): 757-763.
- Gil, G.F., Pszczółkowski, P. 2007. Viticultura – Fundamentos para optimizar producción y calidad. Ediciones Universidad Católica de Chile, 1ª ed., 535pp, Santiago de Chile.

- Ginestar, C., Eastham, J., Gray, S., Iland, P. 1998. Use of Sap-Flow Sensors to schedule vineyard irrigation II - Effects of Post-Veraison Water Deficits on composition of Shiraz grapes. *Am. J. Enol. Vitic.*, **49** (4): 421-428.
- Girona J. 2005. Analisis de la repuesta de la vina a la aplicacion de la tecnica de partial rootzone drying (PRD). Station Régionale ITV Midi-Pyrénées, L'innovation en viticulture/oenologie - Décembre 2005, pp. 18-24.
- Girona, J., Mata, M., del Campo, J., Arbonés, A., Bartra, E., Marsal, J. 2006. The use of midday leaf water potential for scheduling deficit irrigation in vineyards. *Irrig. Sci.*, **24**: 115-127.
- Glories, Y. 1984. La couleur des vins rouges II: mesure, origine et interprétation. *Connaissance de la vigne et du vin*, **18** : 253-271.
- Granier, A. 1985. Une nouvelle méthode pour la mesure du flux de sève brute dans le tronc des arbres. *Annales des Sciences Forestières*, **42** (2): 193-200.
- Grant, O.M., Tronina¹, L., Jones, H.G., Chaves, M.M. 2007. Exploring thermal imaging variables for the detection of stress responses in grapevine under different irrigation regimes. *Journal of Experimental Botany*, **58** (4): 815–825.
- Greenspan, M.D., Shackel, K.A., Matthews, M.A. 1994. Developmental changes in the diurnal water budget of the grape berry exposed to water deficits. *Plant, Cell and Environment*, **17**: 811-820.
- Greenspan, M.D., Matthews, M.A. 1995. Evaluating technology for automated determination of crop water status. *Journal of arid land studies*, **58**: 219-222.
- Grimes, D.W., Williams, L.E. 1990. Irrigation effects on plant water relations and productivity of Thompson Seedless grapevines. *Crop Sci.*, **30**: 255-260.
- Gu, S., Zoldoske, D., Graves, S., Jorgensen, G. 2000. Effect of partial rootzone drying on vine water relations, vegetative growth, mineral nutrition, yield, and fruit quality in field-grown mature sauvignon blanc grapevines. CATI Publication no. 000702, Viticulture and Enology Research Center, California State University, Fresno.
- Guix-Hébrard, N., Voltz, M., Trambouze, W., Garnier, F., Gaudillère, J.P., Lagacherie, P. 2007. Influence of watertable depths on the variation of grapevine water status at the landscape scale. *Europ. J. Agronomy*, **27**: 187–196.
- Handley, D. 2001. Implementation of RDI strategies. 2001 Central Coast Viticulture and Enology Issues Conference, pp. 32-35.
- Hanson, B. 2001. Soil moisture monitoring devices. 2001 Central Coast Viticulture and Enology Issues Conference, pp. 37-42.
- Hardie, W.J, Considine, J.A. 1976. Response of Grapes to water-deficit stress in particular stages of development. *Am. J. Enol. Viticult.*, **27** (2) : 55-61.

- Hardie, W. J., Johnson, J.O., Weaver, R.J. 1981. The influence of vine water regime on ethephon-enhanced ripening of zinfandel. *Am. J. Enol. Vitic.*, **32** (2): 115-121.
- Hendrickson, L., Ball, M.C., Wood, J.T., Chow, W.S., Furbank, R.T. 2004. Low temperature effects on photosynthesis and growth of grapevine. *Plant, Cell and Environment*, **27**: 795–809.
- Hepner, Y., Bravdo, B., Loinger, C., Cohen, S. and Tabacman, H. 1985. Effect of drip irrigation schedules on growth, yield, must composition and wine quality of Cabernet Sauvignon. *Am. J. Enol. Vitic.*, **36**: 77-85
- Hidalgo, L. 2002. Tratado de Viticultura General, Mundi Prensa Libros S.A, 3ª edición, pp. 775-792. Madrid.
- Hiratsuka, S., Onodera, H., Kawai, Y., Kubo, T., Itoh, H., Wada, R. 2001. ABA and sugar effects on anthocyanin formation in grape berry cultured in vitro. *Scientia Horticulturae*, **90** (1-2): 121-130.
- Hoel, B.O., Solhaug, K.A. 1998. Effect of irradiance on chlorophyll estimation with the Minolta SPAD-502 Leaf Chlorophyll Meter. *Annals of Botany*, **82**: 389–392.
- Hsiao, T.C. 1973. Plant responses to water stress. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, **24**: 519-570.
- Hsiao, T.C., Xu, L.-K. 2000. Sensitivity of growth of roots versus leaves to water stress: biophysical analysis and relation to water transport. *J. Exp. Botany.*, **51** (350): 1595-1616.
- Huglin, P., Schneider, C. 1998. *Biologie et Écologie de la Vigne*. Technique & Documentation, 2^e édition, 370 pp, Paris.
- Iacono, F., Zamboni, M., Tardaguila, J., Scienza, A. 1994. Effetti dell'umidità relativa e del regime radioattivo sull'attività fotosintetica di ibridi del genere *Vitis* sottoposti a stress idrico. Atti del 4° Symp. Int. Fisiol. Vite; San Michele a/A – Torino: 291-294.
- Iacono, F., Buccella, A., Peterlunger, E. 1998. Water stress and rootstock influence on leaf gas exchange of grafted and ungrafted grapevines. *Scientia Horticulturae*, **75**: 27-39.
- Intrigliolo, D.S., Castel, J.R. 2007. Evaluation of grapevine water status from trunk diameter variations. *Irrig. Sci.*, **26**: 49–59.
- Intrigliolo, D.S., Ferrer, P.J., Castel, J.R. 2007. Monitorización del riego en vid. *Fundamentos, aplicación y consecuencias del riego en la vid*, Editorial Agrícola Española S.A., pp. 85-113, Madrid.
- 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. *Agric. Water Manag.*, **96**: 282-292.

- Intrigliolo, D.S., Lakso, A.N., Piccioni, R.M. 2009. Grapevine cv. 'Riesling' water use in the north-eastern United States. *Irrig. Sci.*, **27**: 253–262.
- IVDP, 2010. <http://ivdp.pt> – sítio consultado a 23/03/2010
- Jackson, D.I., Lombard, P.B. 1993. Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality- A Review. *Am. J. Enol. Vitic.*, **44** (4): 409-430.
- Jackson, R.S. 2008. Wine Science: Principles and Applications. New York: Academic Press.
- Jeong, S.T., Goto-Yamamoto, N., Kobayashi, S., Esaka, M. 2004. Effects of plant hormones and shading on the accumulation of anthocyanins and the expression of anthocyanin biosynthetic genes in grape berry skins. *Plant Science*, **167**: 247-252.
- Jesus, S.V., Marengo, R.A. 2008. O SPAD-502 como alternativa para a determinação dos teores de clorofila em espécies frutíferas. *Acta Amazonica*, **38** (4): 815–818.
- Jochum, M.A.O., Calera, A., DEMETER partners. 2006. Operational Space-Assisted Irrigation Advisory Services: Overview Of And Lessons Learned From The Project DEMETER. *AIP Conf. Proc.*, **852**: 3-13.
- Jones, H.G. 1980. Interaction and integration of adaptive responses to water stress: the implications of an unpredictable environment. *Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress*, ed. N.C. Turner & P.J. Kramer, pp. 353-365, New York.
- Jones, H.G., Stoll, M., Santos, T., de Sousa, C., Chaves, M.M., Grant, O.M. 2002. Use of infrared thermography for monitoring stomatal closure in the field: application to grapevine, *J. Exp. Bot.*, **53**: 2249–2260.
- Jones, G.V., White, M.A., Cooper, O.R., Storchmann, K. 2005. Climate Change and Global Wine Quality. *Climatic Change*, **73** (3): 319-343.
- Johnson, L.F., Roczen, D.E., Youkhana, S., Nemani, R.R., Bosch, D.F. 2003a. Mapping vineyard leaf area with multispectral satellite imagery. *Computers and Electronics in Agriculture*, **38** (1): 33-44.
- Johnson, L.F., Pierce, L., DeMartino, J., Youkhana, S., Nemani, R., Bosch, D. 2003b. Image-Based Decision Tools for Vineyard Management. ASAE Annual International Meeting, Las Vegas, 11pp.
- Jordão, A. M., Da Silva, R. J. M., Laureano, O. 1998. Influência da rega na composição fenólica das uvas tintas da casta Touriga Francesa (*Vitis vinifera* L.). *Cienc. Technol. Aliment.*, **2** (2) : 60-73.
- Kanasawud, P., Crouzet, J.C. 1990. Mechanism of formation of volatile compounds by thermal degradation of β -carotene in aqueous medium. 1. β -carotene degradation. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, **38**: 237-243.

- Karabourniotis, G., Bornman, J.F., Liakoura, V. 1999. Different leaf surface characteristics of three grape cultivars affect leaf optical properties as measured with fibre optics: possible implication in stress tolerance. *Aust. J. Plant. Physiol.*, **26**: 47-53.
- Keller, M. 2005. Estratégias de irrigação de uvas brancas e tintas. Vinidea.net, wine technical journal, nº.7.
- Kennedy, J.A., Matthews, M.A., Waterhouse, A.L. 2002. Effect of Maturity and Vine Water Status on Grape Skin and Wine Flavonoids. *Am. J. Enol. Vitic.*, **53** (4): 268-274.
- Kliewer, W.M., Lider, L.A. 1968. Influence of cluster exposure to the sun on the composition of Thompson Seedless fruit. *Am. J. Enol. Vitic.* **19**: 175-184.
- Kliewer, W.M., Freedman, B.M., Hossom, C. 1983. Effect of irrigation, crop level and potassium fertilization on Carignane vines. I. Degree of water stress and effect on growth and yield. *Am. J. Enol. Vitic.* **27**: 55-61.
- Kobriger, J.M., Kliewer, W.M., Lagier, S.T. 1984. Effects of wind on water relations of several grapevine cultivars. *Am. J. Enol. Vitic.*, **35** (3): 164-169.
- Koundouras, S., Van Leeuwen, C., Seguin, G., Glories, Y. 1999. Influence de l'alimentation en eau sur la croissance de la vigne, la maturation des raisins et les caractéristiques des vins en zone méditerranéenne (exemple de Némée, Grèce, cépage Saint-Georges, 1997). *J. int. Sci. Vigne et Vin*, **33**: 149-160.
- Koundouras, S., Marinos, V., Gkoulioti, A., Kotseridis, Y., Van Leeuwen, C. 2006. Influence of Vineyard Location and Vine Water Status on Fruit Maturation of Nonirrigated Cv. Agiorgitiko (*Vitis vinifera* L.). Effects on Wine Phenolic and Aroma Components. *J. Agric. Food Chem.*, **54**: 5077-5086.
- Kozlowski, T.T., Kramer, P.J., Pallardy, S.G. 1991. The physiological ecology of woody plants. Academic Press, USA, 611pp.
- Krauter, C. 2001a. Environmental factors that influence grapevine water requirements. 2001 Central Coast Viticulture and Enology Issues Conference, pp. 44-49.
- Krauter, C. 2001b. Soil basics. 2001 Central Coast Viticulture and Enology Issues Conference, pp 50-53.
- Lacampagne, S., Gagné, S., GénY, L. 2010. Involvement of Abscisic Acid in Controlling the Proanthocyanidin Biosynthesis Pathway in Grape Skin: New Elements Regarding the Regulation of Tannin Composition and Leucoanthocyanidin Reductase (LAR) and Anthocyanidin Reductase (ANR) Activities and Expression. *J. Plant Growth Regul.*, **29**: 81-90.
- Lebon, E., Dumas, V., Pieri, P., Schultz, H.R. 2003. Modeling the seasonal dynamics of the soil water balance of vineyards. *Funct. Plant Biol.*, **30**: 699-710.
- Leonard, J., Andrieux, P. 1998. Infiltration characteristics of soils in Mediterranean vineyards in Southern France. *CATENA*, **32** (3-4): 209-223.

- Linares, R., Baeza, P., Lissarrague, J.R. 2007. Potencial hídrico foliar. *Fundamentos, aplicación y consecuencias del riego en la vid*, Editorial Agrícola Española S.A., pp. 37-45, Madrid.
- Lissarrague, J.R., Baeza, P., Bartolomé, C., Ruiz, C. 1991. Le potentiel hydrique dans des différents systèmes de conduite. *Riv. Vitic. Enol.*, **4**: 143-147.
- Liu, W.T., Wenkert, W., Allen, L.H., Lemon, E.R. 1978. Soil-plant water relations in a New York vineyard: Resistances to water movement. *J.Am. Soc. Hort. Sci.*, **103**: 226-230.
- Liu, H.F., Wu, B.H., Fan, P.G., Li, S.H., Li, L.S. 2006. Sugar and acid concentrations in 98 grape cultivars analyzed by principal component analysis. *Journal of Science Food and Agriculture*, **86**: 1526-1536.
- Lopes, C.M. 1994. Influência do sistema de condução no microclima do coberto, vigor e produtividade da videira (*Vitis vinifera* L.). Tese de Doutorado, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 205 pp.
- Lopes, C.M., Pacheco, C., Vicente-Paulo, J., Rodrigues, M.L. 1999. Interesse do potencial hídrico foliar de base como indicador da actividade fisiológica da videira. Actas do 4º Simpósio de Vitivinicultura do Alentejo, Évora, pp. 97-102.
- Lopes, J., Eiras-Dias, J.E., Abreu, F., Clímaco, P., Cunha, J.P., Silvestre, J. 2008. Exigências térmicas, duração e precocidade de estados fenológicos de castas da colecção ampelográfica nacional. *Ciência Téc. Vitiv.*, **23** (1): 61-71.
- López, M.I., Sánchez, M.T., Díaz, A., Ramírez, P., Morales, J. 2007. Influence of a deficit irrigation regime during ripening on berry composition in grapevines (*Vitis vinifera* L.) grown in semi-arid areas. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, **58**: 491-507.
- Loué, A., Boulay, H., Panine, M., Lessut, L. 1986. Interactions entre régime hydrique et nutrition minérale de la vigne dans un essai factoriel en cases lysimétriques. Département d'Agronomie S.C.P.A., Compagnie Nationale d'Aménagement du Bas-Rhône.
- Loveys, B.R. 1984. Diurnal changes in water relations and abscisic acid in field grown *Vitis vinifera* cultivars. III. The influence of xylem-derived abscisic acid on leaf gas exchange. *New Phytologist*, **98**: 563-573.
- Lovisoló, C., Schubert, A. 1998. Effects of water stress on vessel size and xylem hydraulic conductivity in *Vitis vinifera* L. *Journal of Experimental Botany*, **49** (321): 693-700.
- Lu, P., Yunusa, I.A.M., Walker, R.R., Müller, W.J. 2003. Regulation of canopy conductance and transpiration and their modelling in irrigated vineyards. *Functional Plant Biology*, **30**: 689-698.

- Lu, P., Urban, L., Ping, Z. 2004. Granier's thermal dissipation probe (TDP) method for measuring sap flow in trees, theory and practice. *Acta Bot. Sin.*, **46**: 631–646.
- Magalhães, N.P. 2008. *Tratado de Viticultura – A videira, a vinha e o “terroir”*. Chaves Ferreira Publicações S.A., 1ª ed., Lisboa, 605 pp.
- Malheiro, A. 2005. Microclimate, yield and water-use of vineyards in the Douro Region, Portugal. Thesis submitted in total fulfilment of the requirements of the degree of Doctor of Philosophy, Cranfield University, Silsoe.
- Maroco, J.P., Rodrigues, M.L., Lopes, C., Chaves, M.M. 2002. Limitations to leaf photosynthesis in field-grown grapevine under drought – metabolic and modelling approaches. *Functional Plant Biology*, **29**: 451–459.
- Martinez-de-Toda, F., Sancha, J.C. 2007. Guía de Variedades de la Denominación de Origen Calificada Rioja. Edición Consejo Regulador de la D.O. Calificada Rioja, Logroño.
- Martínez-Casasnovas, J.A., Ramos, M.C., Ribes-Dasi, M. 2002. Soil erosion caused by extreme rainfall events: mapping and quantification in agricultural plots from very detailed digital elevation models. *Geoderma*, **105** (1–2): 125-140.
- Martins, A. 1985. Caracterização sumária dos solos de Trás-os-Montes e Alto Douro e sua ocupação. UTAD, Vila Real, 30 pp.
- Mateus, N., Proença, S., Ribeiro, P., Machado, J.M., de Freitas, V. 2001. Grape and wine polyphenolic composition of red *Vitis vinifera* varieties concerning vineyard altitude. *Cienc.Tecnol.Aliment.*, **3** (2): 102-110.
- Mato, I., Suárez-Luque, S., Huidobro, J.F. 2005. A review of the analytical methods to determine organic acids in grape juices and wines. *Food Research International*, **38**: 1175–1188.
- Matthews, M.A., Anderson, M.M., Schultz, H.R. 1987. Phenological and growth responses to early and late season water deficits in “Cabernet Franc”. *Vitis*, **26**: 147-169.
- Matthews, M.A., Anderson, M.M. 1988. Fruit ripening in *Vitis vinifera* L. Responses to seasonal water deficits. *Amer. J. Enol. Vitic.*, **39** (4): 313-320.
- Matthews, M.A., Anderson, M.M. 1989. Reproductive development in grape (*Vitis vinifera* L.): responses to seasonal water deficits. *Am. J. Enol. Vitic.*, **40** (1): 52-60.
- Matthews, M.A., Ishii, R., Anderson, M.M., O'Mahony, M. 1990. Dependence of wine sensory attributes on vine water status. *J. Sci. Food Agri.*, **51**: 321-335.
- Matthews, M.A., Kriedemann, P.E. 2006. Water deficit, yield, and berry size as factors for composition and sensory attributes of red wine. In: *Proceedings of the Australian society of viticulture and oenology 'Finishing the Job' - optimal ripening of Cabernet Sauvignon and Shiraz*, Victoria, 9pp.

- Matus, J.M., Loyola, R., Vega, A., Peña-Neira, A., Bordeu, E., Arce-Johnson, P., Alcalde, J.A. 2009. Post-veraison sunlight exposure induces MYB-mediated transcriptional regulation of anthocyanin and flavonol synthesis in berry skins of *Vitis vinifera*. *Journal of Experimental Botany*, **60** (3): 853–867.
- Medrano, H., Escalona, J.M., Bota, J., Gulías, J., Flexas, J. 2002. Regulation of photosynthesis of C3 plants in response to progressive drought: the interest of stomatal conductance as a reference parameter. *Annals of Botany*, **89**: 895-905.
- Medrano, H., Escalona, J.M., Flexas, J. 2007. Indicadores integradores del estado hídrico de la planta. *Fundamentos, aplicación y consecuencias del riego en la vid*, Editorial Agrícola Española S.A., pp. 15-34, Madrid.
- Mendes, J.C. 1991. Normas climatológicas da região de Trás-os-montes e Alto Douro e Beira Interior. INMG, Lisboa.
- Mendes-Pinto, M.M., Ferreira, A.C.S., Caris-Veyrat, C., Pinho, P.G. 2005. Carotenoid, chlorophyll, and chlorophyll-derived compounds in grapes and Port wines. *J. Agric. Food Chem.*, **53**: 10034-10041.
- Mickelbart, M.V., Chapman, P., Collier-Christian, L. 2006. Endogenous levels and exogenous application of glycinebetaine to grapevines. *Scientia Horticulturae*, **111** (1): 7-16.
- Evolution of the phenolic content of red wines from *Vitis vinifera* L. during ageing in bottle. 2006. Monagas, M., Gomez-Cordoves, C., Bartolomé, B. *Food Chem.*, **95**: 405-412.
- Monteiro, A., Lopes, C.M. 2007. Influence of cover crop on water use and performance of vineyard in Mediterranean Portugal. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **121**: 336–342.
- Montero, F.J., Meliá, J., Brasa, A., Segarra, D., Cuesta, A., Lanjerib, S. 1999. Assessment of vine development according to available water resources by using remote sensing in La Mancha, Spain. *Agricultural Water Management*, **40**: 363-375.
- Moreira-da-Fonseca, A. 1949. O Benefício e a sua distribuição na Região vinhateira do Douro. *Separata do Boletim da Casa do Douro*, Régua, 73 pp.
- Morison J.I.L. 1993. Response of plants to CO₂ in water-limited conditions. *Vegetatio*, **104/105**: 193-209.
- Morlat, R., Penavayre, M., Jacquet, A., Asselin, C., Lemaitre, C. 1992. Influence des terroirs sur le fonctionnement hydrique et la photosynthèse de la vigne en millésime exceptionnellement sec, (1990). Conséquence sur la maturation du raisin. *J. Int. Science de la Vigne et du Vin*, **26**:197-220.
- Morris, J.R., Cawthon, D.L. 1982. Effect of irrigation, fruit load, and potassium fertilization on yield, quality, and petiole analysis of concord (*Vitis labrusca* L.) grapes. *Am. J. Enol. Vitic.*, **33** (3): 145-148.

- Moutinho-Pereira, J.M. 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. UTAD, Vila Real.
- Moutinho-Pereira, J., Gonçalves, B., Bacelar, E., Cunha, J.B., Coutinho, J., Correia, C.M. 2009. Effects of elevated CO₂ on grapevine (*Vitis vinifera* L.): Physiological and yield attributes. *Vitis*, **48** (4): 159-165.
- Myburgh, P.A. 2003. Responses of *Vitis vinifera* L. cv. Sultanina to water deficits during various pre- and post-harvest phases under semi-arid conditions. *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, **24** (1): 25-33.
- Nadal, M., Lampreave, M. 2007. Experiencias de riego en la D.O. Montsant. *Fundamentos, aplicación y consecuencias del riego en la vid*, Editorial Agrícola Española S.A., pp. 231-256, Madrid.
- Naor, A., Wample, R.L. 1995. A rapid field method for measuring net assimilation rate-stomata conductance relationship: a feasibility test using grapevine leaves. *Scientia Horticulturae*, **60**: 287-292.
- Naor, A., Wample, R.L., 1994. Gas exchange and water relations of field-grown Concord (*Vitis labruscana* Bailey) grapevines. *Am. J. Enol. Viticult.* **45**: 333-337.
- OIV. 1990. Recueil des méthodes internationales d'analyse des vins et des moûts. Office International de la Vigne et du Vin, Paris.
- OIV. 1998. Effets de la secheresse. *Resolution Viti 5/98*.
- OIV. 2000. *Resolution Viti 1/2000*. Symposium de Physiologie de Jerusalem.
- OIV. 2000. Recueil des méthodes internationales d'analyse des vins et des moûts. Office International de la Vigne et du Vin, Paris.
- OIV. 2003. Reasoned vine irrigation. *Resolution Viti 2/2003*.
- OIV. 2006. Viticulture zoning – Declaration of Avignon. *Resolution Viti 4/2006*.
- OIV. 2008. OIV Guidelines For Sustainable Vitiviculture: Production, Processing And Packaging of Products. *OIV Resolution CST 1/2008*.
- OIV. 2010. <http://oiv.org/> – sítio consultado a 15/04/2010.
- 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.
- Ojeda, H. 2007. A Rega na Vinha – Estratégias e técnicas de monitorização. Vinideas, 12 de Junho de 2007, Pinhão, Portugal.

- Oliveira, C., Silva-Ferreira, A.C., Mendes-Pinto, M., Hogg, T., Alves, F., Pinho, P.G. 2003. Carotenoid Compounds in Grapes and Their Relationship to Plant Water Status. *J. Agric. Food Chem.*, **51**: 5967-5971.
- Oliveira, M.T. 1987. Economia da água na vinha: caso da vinha do Douro – Cima Corgo. Tese de doutoramento, UTAD, Vila Real, 147 pp.
- Oliveira, M.T. 1995. Efeitos da disponibilidade de água no solo nas produções da casta Touriga Francesa na Região Demarcada do Douro (Cima-Corgo). *Ciência Téc. Vitiv.*, **12** (2): 59-71
- Oliveira, M.T., Santos, M. 1995. A semi-empirical method to estimate canopy leaf area of vineyards. *Am. J. Vitic. Enol.*, **46**: 389-391.
- Oliveira, M.T. 2001. Modeling Water Content of a Vineyard Soil in the Douro Region, Portugal. *Plant and Soil*, **233**: 213–221.
- Öquist, G., Wass, R. 1988. A portable microprocessor operated instrument for measuring chlorophyll fluorescence kinetics in stress physiology. *Physiologia Plantarum*, **73**: 211–217.
- Osório, M.L. 1994. Fotossíntese e aclimação a temperaturas elevadas em *Lupinus albus* L. e *Vitis vinifera* L. Tese submetida à Universidade Técnica de Lisboa para obtenção do grau de Doutor, 221 pp.
- Padgett-Johnson, M., Williams, L.E., Walker, M.A. 2001. The Influence of *Vitis riparia* Rootstock on Water Relations and Gas Exchange of *Vitis vinifera* cv. Carignane Scion Under Non-Irrigated Conditions. 2001 Central Coast Viticulture and Enology Issues Conference, pp 50-53.
- Pastori, G.M., Foyer, C.H. 2002. Common Components, Networks, and Pathways of Cross-Tolerance to Stress. The Central Role of “Redox” and Abscisic Acid-Mediated Controls. *Plant Physiology*, **129**: 460-468.
- Paranychianakis, N.V. , Aggelides, S., Angelakis, A.N. 2004. Influence of rootstock, irrigation level and recycled water on growth and yield of Sultanina grapevines. *Agricultural Water Management*, **69** (1): 13-27.
- Patakas, A., Noitsakis, B. 1999. Mechanisms involved in diurnal changes of osmotic potential in grapevines under drought conditions. *J. Plant Physiol.*, **154** (5-6): 767-774.
- Patakas, A., Nikolaou, N., Zioziou, E., Radoglou, K., Noitsakis, B. 2002. The role of organic solute and ion accumulation in osmotic adjustment in drought-stressed grapevines. *Plant Science*, **163**: 361-367.
- Patakas, A., Noitsakis, B., Chouzouri, A. 2005. Optimization of irrigation water use in grapevines using the relationship between transpiration and plant water status. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **106** (2-3): 253–259.

- 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.
- Payan, J.C., Salançon, E., García de Cortázar Atauri, I., Jacquet, O. 2008. Changement climatique, évolution des rendements et irrigation. Les Entretiens Viti-Vinicoles Rhône-Méditerranée 2008. France.
- Pereira, G.M., 1991. *O Douro e o Vinho do Porto – de Pombal a João Franco*. Edições Afrontamento, Porto, 174 pp.
- Puglisi, C.J., Daniel, M.A., Capone, D.L., Elsey, G.M., Prager, R.H., Sefton, M.A. 2005. Precursors to Damascenone: Synthesis and Hydrolysis of Isomeric 3,9-Dihydroxymegastigma-4,6,7-trienes. *J. Agric. Food Chem.*, **53**: 4895-4900.
- Ramos, M.C. 2005. Soil water content and yield variability in vineyards of Mediterranean northeastern Spain affected by mechanization and climate variability. *Hydrological Processes*, **20** (11): 2271-2283.
- Ramos, M.C., Martínez-Casasnovas, J.A. 2006. Impact of land levelling on soil moisture and runoff variability in vineyards under different rainfall distributions in a Mediterranean climate and its influence on crop productivity. *Journal of Hydrology*, **321**: 131-146.
- Razungles, A., Bayonove, C., Cordonnier, R., Baumes, R. 1987. Etude des caroténoïdes du raisin à maturité. *Vitis*, **26**: 183-191.
- Razungles, A., Bayonove, C.L., Cordonnier, R.E., Sapis, J.C. 1988. Grape Carotenoids: Changes during the maturation period and localization in mature berries. *Am. J. Enol. Vitic.*, **39**: 44-48.
- Reynolds, A.G., Naylor, A.P. 1994. "Pinot Noir" and "Riesling" grapevines respond to water stress duration and soil water holding capacity. *Hortscience*, **29**: 1505-1510.
- Reynolds, A., Lowrey, W., Tomek, L., Hakimi, J., de-Savigny, C. 2007. Influence of irrigation on vine performance, fruit composition, and wine quality of Chardonnay in a cool, humid climate. *Am. J. Enol. Vitic.*, **58** (2): 217-228.
- Riou, C. 1994. Le déterminisme climatique de la maturation du raisin: Application au zonage de la teneur en sucre dans la Communauté Européenne. Office des Publications Officielles des Communautés Européennes, Agriculture Series, 322pp., Luxembourg.
- Ribéreau-Gayon, P., Stonestreet, E. 1966. Dosage des tannins du vin rouge et détermination de leur structure. *Chimique Analytique*, **2**: 627-631.
- Ribéreau-Gayon, P. 1970. Le dosage des composés phénoliques totaux dans les vins rouges. *Chimique Analytique*, **52** : 627-631.

- Ribéreau-Gayon, P. 1972. Evolution des composés phénoliques au cours de la maturation du raisin. II. Discussion des résultats obtenus en 1969, 1970 et 1971. *Connaissance de la vigne et du vin*, **6**: 161-175.
- Ribéreau-Gayon, P., Glories, Y., Maujean, A., Dubordieu, D. 2000. *Handbook of Enology, Vol. 2: The Chemistry of Wine Stabilisation and Treatments*. Wiley, New York, pp 187-203.
- Robinson, S., Davies, C. 2000. Molecular biology of grape berry ripening. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, **6**: 175–188.
- Roby, G., Matthews, M.A. 2004. Relative proportions of seed, skin and flesh, in ripe berries from Cabernet Sauvignon grapevines grown in a vineyard either well irrigated or under water deficit. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, **10**: 74–82.
- Roggero, J.P., Coen, S., Archier, P., Rocheville-Divorne, C. 1987. Étude par CLHP de la réaction glucoside de malvidine-acetaldehyde-composé phénolique. *Connaissance de la vigne et du vin*, **21**: 163-168.
- Rogiers, S.Y., Greer, D.H., Hutton, R.J., Landsberg, J.L. 2009. Does night-time transpiration contribute to anisohydric behaviour in a *Vitis vinifera* cultivar? *Journ. Exp. Botany*, **60** (13): 3751–3763.
- Rubio, J.A., Albuquerque, M.V., Yuste, J. 2007. Respuesta del viñedo a la variación en la carga de yemas y en la carga de cosecha. *Fundamentos, aplicación y consecuencias del riego en la vid*, Editorial Agrícola Española S.A., pp. 169-198, Madrid.
- S.M.N. 1965. O clima de Portugal. Fascículo XV: Região Demarcada do Douro. Lisboa, Portugal: Serviço Meteorológico Nacional.
- Salleo, S., Lo-Gullo, M.A., Oliveri, F. 1985. Hydraulic parameters measured in 1-year old twigs of some mediterranean species with diffuse-porous wood: changes in hydraulic conductivity and their possible functional significance. *Journal of Experimental Botany*, **36**: 1-11.
- Sampayo, M. 1991. Contribuição para o estudo do consume de água e das relações hidroclimáticas da vinha – *Vitis vinifera* L., var. Tinta Roriz, na Região Demarcada do Douro. Relatório Final de Estágio da Licenciatura em engenharia Agrícola. UTAD, Vila Real.
- 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. 2007. Effects of deficit irrigation strategies on cluster microclimate for improving fruit composition of Moscatel field-grown grapevines. *Scientia Horticulturae*, **112**: 321-330.

- Satti, S.R., Jacobs, J.M. 2004. A GIS-based model to estimate the regionally distributed drought water demand. *Agricultural Water Management*, **66**: 1-13.
- Scholander, P.F., Hammel, H.T., Bradstreet, E.D., Hemmingsen, E.A. 1965. Sap pressure in vascular plants: negative hydrostatic pressure can be measured in plants. *Science*, **148**: 339-346.
- Schultz, H.R. 2003. Differences in hydraulic architecture account for nearisohydric and anisohydric behaviour of two field-grown *Vitis vinifera* L. cultivars during drought. *Plant, Cell and Environment*, **26**: 1393–1405
- Schultz, H.R., Matthews, M.A. 1993. Growth, osmotic adjustment and cell-wall mechanics of expanding grape leaves during water deficits. *Crop Science*, **33**: 287-294.
- Sefton, M.A. 1998. Hydrolytically-released volatile secondary metabolites from a juice sample of *Vitis vinifera* grape cvs Merlot and Cabernet Sauvignon. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, **4** (1): 30-38.
- Seguin, G. 1983. Influence des terroirs viticoles sur la constitution et la qualité des vendanges. *Bull. de L'O.I.V.*, 623: 3–18.
- Sepaskhah, A.R., Fooladmand, H.R. 2004. A computer model for design of microcatchment water harvesting systems for rain-fed vineyard. *Agric. Water Manage.*, **64**: 213-232.
- Shellie, K.C. 2006. Vine and berry response of Merlot (*Vitis vinifera* L.) to differential water stress. *Am. J. Enol. Vitic.* **57** (4): 514-518.
- Sholander, P.F., Hammel, H.T., Bradstreet, E.D., Hemmingsen, E.A. 1965. Sap pressure in vascular plants: negative hydrostatic pressure can be measured in plants. *Science*, **148**: 339-346.
- Skouroumounis, G.K., Massy-Westropp, R.A., Sefton, M.A., Williams, P.J. 1992. Precursors of damascenone in fruit juices, *Tetrahedron Letters*, **33**: 3533–3536.
- Smart, R.E. 1974. Aspects of water relations of the grapevine (*Vitis vinifera*). *Amer. J. Enol. Viticult.*, **25** (2): 84-91.
- Smart, R.E., Coombe, B. G. 1983. Water relations of grapevines. In: *Water Deficits and Plant Growth*, Kozlowski T.T. (ed.), pp. 137-196, Academic Press, New York.
- Smart, R.E., Robinson, M.D. 1992. *Sunlight into wine: a handbook for winegrape canopy management*. Winetitles, 2nd ed., Underdale, 89pp.
- Sommers, T.C., Evans, M.E. 1976. Spectral evaluation of young red wines: Anthocyanin equilibria, total phenolics, free and molecular SO₂. *J. Sci. Food Agric.*, **28**: 279-287.

- Soleas, G., Grass, L., Josephy, D., Goldber, D., Diamandis, E. 2002. A comparison of the anticarcinogenic properties of four red wine polyphenols. *Clinical Biochemistry*, **35**: 119-124.
- Souza, C.R., Maroco, J.P., Santos, T.P., Rodrigues, M.L., Lopes, C.M., Pereira, J.S., Chaves, M.M. 2003. Partial rootzone drying: regulation of stomatal aperture and carbon assimilation in field-grown grapevines (*Vitis vinifera* cv. Moscatel). *Functional Plant Biology*, **30**: 653-662.
- Souza, C.R., Maroco, J.P., Santos, T.P., Rodrigues, M.L., Lopes, C., Pereira, J.S., Chaves, M.M. 2005a. Control of stomatal aperture and carbon uptake by deficit irrigation in two grapevine cultivars. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **106** (2-3): 261-274.
- Souza, C.R., Maroco, J.P., Santos, T.P., Rodrigues, M.L., Lopes, C.M., Pereira, J.S., Chaves, M.M. 2005b. Impact of deficit irrigation on water use efficiency and carbon isotope composition ($\delta^{13}\text{C}$) of field-grown grapevines under Mediterranean climate. *J. Exp. Bot.*, **56** (418): 2163–2172.
- Sperry, J.S., Holbrook, N.H., Zimmermann, M.H., Tyree, M.T. 1987. Spring filling of xylem vessels in wild grapevine. *Plant Physiology*, **83**: 414–417.
- Steele, M.R., Gitelson, A.A., Rundquist, D.C. 2008a. A comparison of two techniques for nondestructive measurement of chlorophyll content in grapevine leaves. *Agronomy Journal*, **100** (3): 779–782.
- Steele, M.R., Gitelson, A.A., Rundquist, D.C. 2008b. Nondestructive Estimation of Leaf Chlorophyll Content in Grapes. *Am. J. Enol. Vitic.*, **59** (3): 299–305.
- Stuedle, E. 2001. The cohesion-tension mechanism and the acquisition of water by plant roots. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, **52**:847–75.
- Stoll, M., Loveys, B., Dry, P. 2000. Hormonal changes induced by partial rootzone drying of irrigated grapevine. *Journal of Experimental Botany*, **51** (350): 1627-1634.
- Strever, A.E. 2005. Estimating water stress in *Vitis Vinifera* L. using field spectrometry - a preliminary study incorporating multispectral vigour classification. FRUTIC 05, Montpellier, pp. 269-278.
- Sweet, W.J., Morrison, J.C., Labavitch, J.M., Matthews, M.A. 1990. Altered synthesis and composition of cell wall of grape (*Vitis vinifera* L.) leaves during expansion and growth-inhibiting water deficits. *Plant Cell Physiology* **31** (4): 407-414.
- Taiz, L., Zeiger, E. 2006. *Plant Physiology*. 4th ed. Sinauer Associates Inc. Publishers, Sunderland, Massachusetts, 764 pp.
- Thomas, T.R., Matthews, M.A., Shackel, K.A. 2006. Direct in situ measurement of cell turgor in grape (*Vitis vinifera* L.) berries during development and in response to plant water deficits. *Plant, Cell and Environment*, **29**: 993–1001

- Tognetti, R., Minnocci, A., Peñuelas, J., Raschi, A. & Jones M.B. 2000. Comparative field water relations of three Mediterranean shrub species co-occurring at a natural CO₂ vent. *Journal of Experimental Botany*, **51** (347): 1135-1146.
- Tonietto, J., Carbonneau, A. 2004. A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. *Agricultural and Forest Meteorology*, **124**: 81-97.
- Trambouze, W., Bertuzzi, P., Voltz, M. 1998. Comparison of methods for estimating actual evapotranspiration in a row-cropped vineyard. *Agricultural and Forest Meteorology*, **91**: 193-208.
- Trambouze, W., Voltz, M. 2001. Measurement and modelling of the transpiration of a Mediterranean vineyard. *Agricultural and Forest Meteorology*, **107**: 153–166.
- Turner, N.C., Jones, M.M. 1980. Turgor maintenance by osmotic adjustment: a review and evaluation. *Adaptation of plants to water and high temperature stress*. John Wiley & Sons, New York, pp. 87-103.
- Van Leeuwen, C., Friant, P., Chone, X., Tregoat, O., Koundouras S., Dubourdieu, D. 2004. The influence of climate, soil and cultivar on terroir. *Am. J. Enol. Vitic.*, **55** (3): 207-217.
- Van Leeuwen, C., Seguin, G. 1994. Incidences de l'alimentation en eau de la vigne, appréciée par l'état hydrique du feuillage, sur le développement de l'appareil végétatif et la maturation du raisin, *Vitis vinifera* variété Cabernet Franc, Saint-Emilion (1990). *J. Int. Science de la Vigne et du Vin*, **28**: 81-110
- Vandeleur, R.K., Mayo, G., Shelden, M.C., Gilliam, M., Kaiser, B.N., Tyerman, S.D. 2009. The Role of Plasma Membrane Intrinsic Protein Aquaporins in Water Transport through Roots: Diurnal and Drought Stress Responses Reveal Different Strategies between Isohydric and Anisohydric Cultivars of Grapevine. *Plant Physiology*, **149**: pp. 445–460.
- Van Zyl, J.L. 1984. Response of Colombar grapevines to irrigation as regards quality aspects and growth. *S. Afr. J. Enol. Vitic.* **5**: 19-28.
- Vicente-Paulo, J., Laureano, O., Barroso, J., Lopes, C. 2001. A rega e a composição do bago à vindima, num solo derivado de xisto: casta Aragonez. Actas V Simpósio da Vitivinicultura. Évora.
- Vine, R.P., Harkness, E.M. Linton, S.J. 2002. *Winemaking: From Grape Growing to Marketplace*. Amsterdam: Springer.
- Viniportugal, 2010. <http://viniportugal.pt> – sítio consultado a 25/03/2010.
- Von Caemmerer, S., Farquhar, G.D. 1981. Some relationships between the biochemistry of photosynthesis and gas exchange of leaves. *Planta*, **153**: 376-387.
- Wample, R. 2001a. Grapevine water relations. 2001 Central Coast Viticulture and Enology Issues Conference, pp. 62-70.

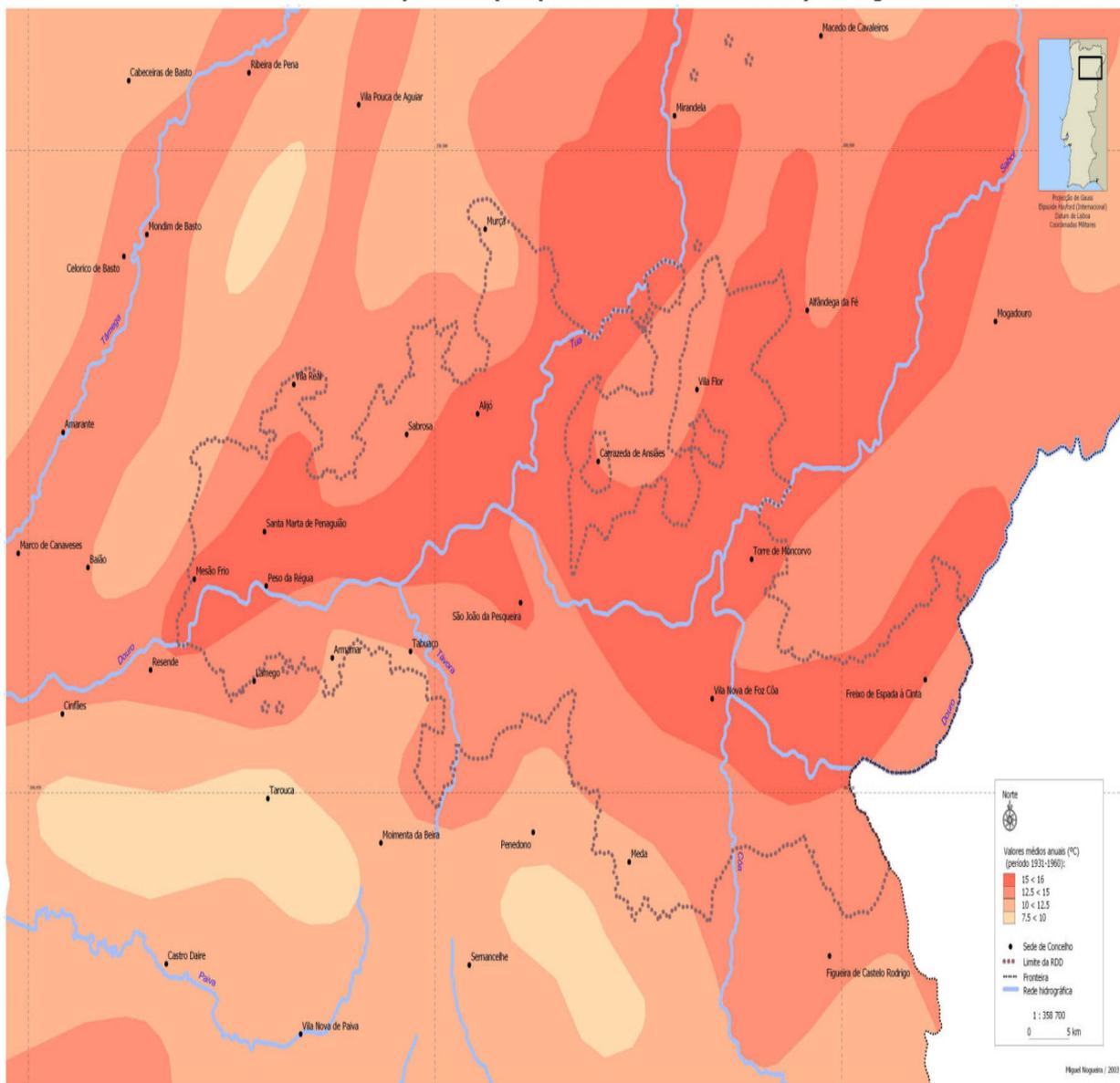
- Wample, R. 2001b. Irrigation Management Strategies: Partial Root Zone Drying and Regulated Deficit Irrigation. 2001 Central Coast Viticulture and Enology Issues Conference, pp. 71-75.
- Wheaton, A.D., McKenzie, B.M., Tisdall, J.M. 2008. Management to increase the depth of soft soil improves soil conditions and grapevine performance in an irrigated vineyard. *Soil and Tillage Research*, **98** (1): 68-80.
- Williams, L.E. 2001. The effect of trellis type and canopy size on grapevine water requirements. 2001 Central Coast Viticulture and Enology Issues Conference, pp 77-83.
- Williams, L.E., Ayars, J.E. 2005. Water use of Thompson Seedless grapevines as affected by the application of gibberellic acid (GA3) and trunk girdling – practices to increase berry size. *Agricultural and Forest Meteorology*, **129**: 85-94.
- Williams, P. J., Allen, M. S. 1996. The analyses of flavouring compounds in grapes. In *Modern Methods of Plant Analysis. Fruit Analysis*. Linskens, H.-F., Jackson, J. F., Eds. Springer-Verlag: Berlin, Vol. **18**: 37-57.
- Wilson, J.B. 1988. A review of evidence on the control of shoot:root ratio, in relation to models. *Annals of Botany*, **61**: 433-449.
- Winkler, A.J., Cook, J.A., Kliewer, W.M., Lider, L.A. 1974. *General Viticulture*. Univ.California Press, California.
- Yunusa, I. A. M., Walker R.R., Blackmore D.H. 1997. Characterisation of water use by Sultana grapevines (*Vitis vinifera* L.) on their own roots or on Ramsey rootstock drip-irrigated with water of different salinities. *Irrig. Sci.*, **17**: 77-86.
- Yunusa, I.A.M., Walker, R.R., Loveys, B.R., Blackmore, D.H. 2000. Determination of transpiration in irrigated grapevines - comparison of heat-pulse technique with the gravimetric and micrometeorological methods. *Irrig. Sci.*, **20**: 1-8.
- Yuste, J. 2007. Efectos de la forma de conducción del viñedo en el régimen hídrico y en la respuesta agronómica. *Fundamentos, aplicación y consecuencias del riego en la vid*, Editorial Agrícola Española S.A., pp. 117-144, Madrid.
- Yuste, J., Pérez, M.A., Barajas, E. 2007. Efectos de la densidad de plantación en el régimen hídrico del viñedo. *Fundamentos, aplicación y consecuencias del riego en la vid*, Editorial Agrícola Española S.A., pp. 147-166, Madrid.
- Zamboni, M., Iacono, F., Fregoni, M. 1986. Influence de l'époque de sécheresse sur la production et sur la qualité du mout de vignes cultivées en pot. In: *Compte rendu de le 3ème Symposium Int. sur la Physiologie de la Vigne*. Bordeaux 24-27 June, pp. 223-228.
- Zufferey, V., Maigre, D. 2007. Age de la vigne. I. Influence sur le comportement physiologique des souches. *Revue Suisse Vitic. Arboric. Hortic.*, **39** (4): 257-261.

- Zufferey, V., Murisier, F. 2007. Assessment of plant hydraulics in grapevine on various “terroirs” in the canton of Vaud (Switzerland). *J. Int. Sci. Vigne Vin*, **41** (2): 95-102.
- Zulini, L., Rubinigg, M., Zorer, R., Bertamini, M. 2007. Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence and photosynthetic pigments in grapevine leaves (*Vitis vinifera* cv. 'White Riesling'). *Acta Hortic.*, **754**: 289–294.

ANEXOS

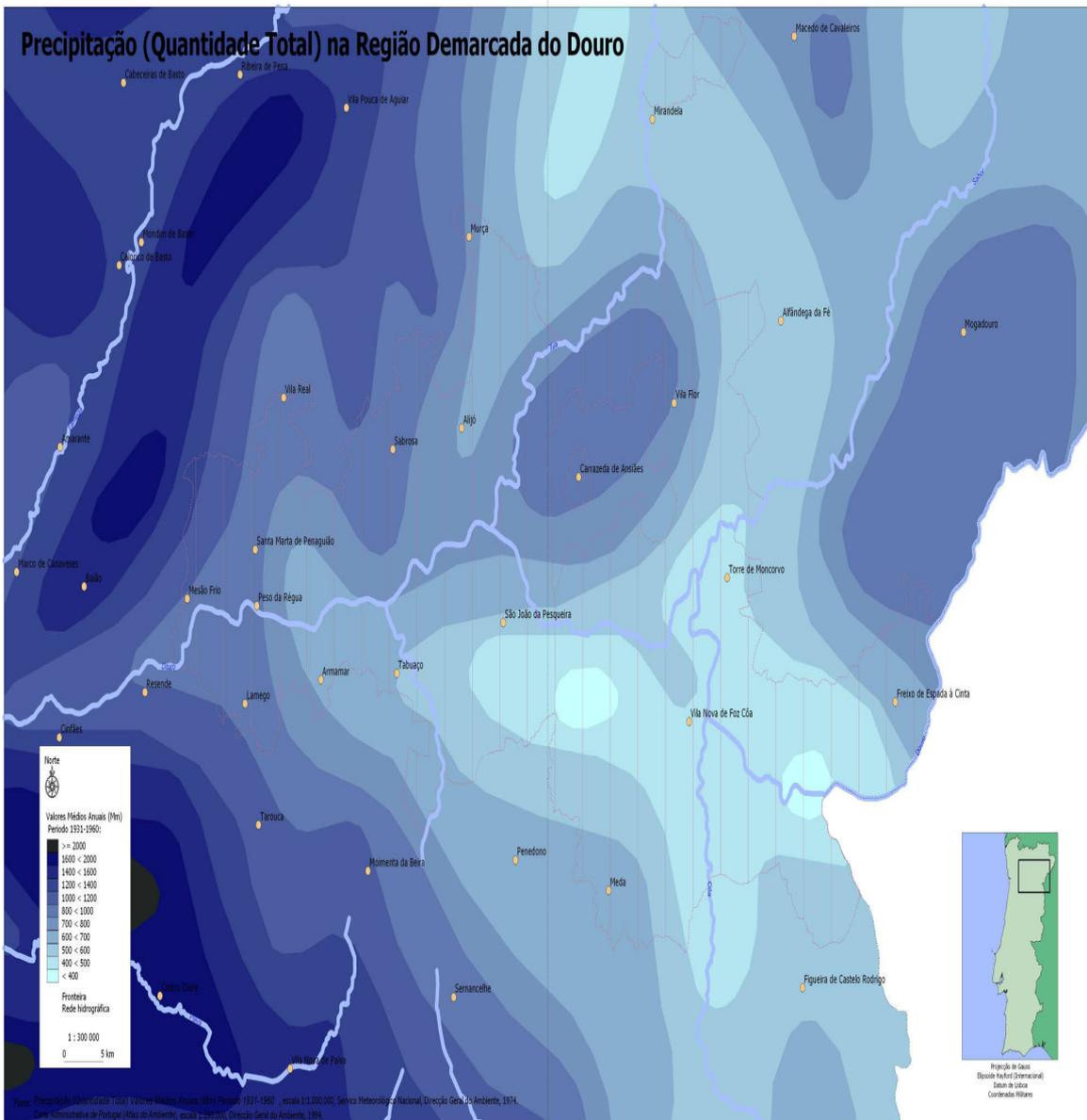
ANEXO I – Temperatura e precipitação na RDD

Temperatura (temperatura média diária do ar) na Região Demarcada do Douro



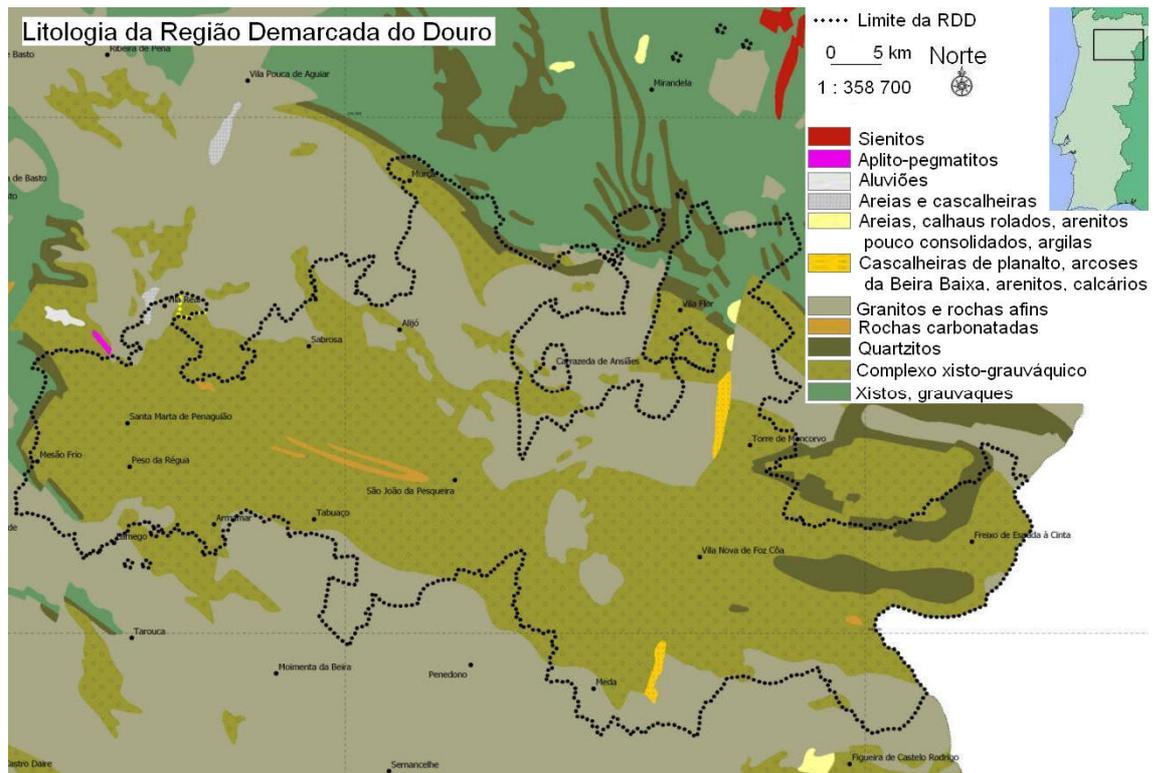
Fonte: Temperatura (Temperatura Média Diária Do Ar) Valores Médios Anuais (Graus Centígrados) Período 1931-1960, escala 1:1.000.000, Serviço Meteorológico Nacional, Direcção Geral do Ambiente, 1974.
Carta Administrativa de Portugal (Atlas do Ambiente), escala 1:250.000, Direcção Geral do Ambiente, 1994.
Carta de Hidrografia Continental - Principais Bacias Hidrográficas (Atlas do Ambiente), escala 1:1.000.000, Direcção Geral do Ambiente, 1999.

Fonte: IVDP, 2010



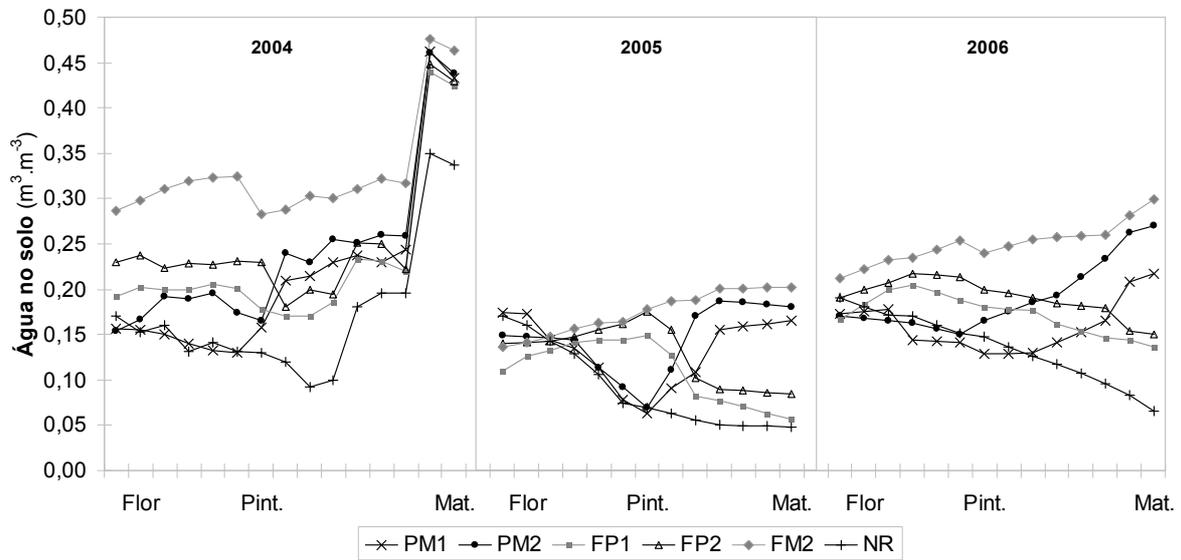
Fonte: IVDP, 2010

ANEXO II – Litologia da RDD



Fonte: IVDP, 2010

ANEXO III – Leituras de água no solo ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) registadas da floração ao pintor e do pintor à maturação nos anos 2004, 2005 e 2006 nas modalidades em estudo



ANEXO IV – Evolução diurna do potencial hídrico foliar antes do pintor, após o pintor e antes da vindima em 2004, 2005 e 2006 nas modalidades em estudo

(SPSS Inc. 2002 SPSS for Windows, Rel. 11.5.0., Chicago)

Descriptives		15/07/2004 (Pré-Pintor)				29/07/2004 (Pós-Pintor)				24/08/2004 (Pré-Maturação)			
	Trat.	Mean	sign	Std. Dev.	Std. Error	Mean	sign	Std. Dev.	Std. Error	Mean	sign	Std. Dev.	Std. Error
Ψf 6h (-MPa)	PM1	-0,50	b	0,073	0,037	-0,61	c	0,055	0,028	-0,31	abc	0,012	0,006
	PM2	-0,45	b	0,030	0,015	-0,46	b	0,039	0,019	-0,32	abc	0,026	0,013
	FP1	-0,33	a	0,038	0,019	-0,37	a	0,013	0,006	-0,36	c	0,013	0,006
	FP2	-0,27	a	0,034	0,017	-0,31	a	0,021	0,010	-0,31	ab	0,010	0,005
	FM2	-0,27	a	0,005	0,003	-0,31	a	0,014	0,007	-0,29	a	0,030	0,015
	NR	-0,73	c	0,031	0,015	-0,74	d	0,029	0,014	-0,35	bc	0,028	0,014
Ψf 10h (-MPa)	PM1	-1,36	ab	0,116	0,058	-1,36	b	0,026	0,013	-1,02	a	0,070	0,035
	PM2	-1,44	b	0,027	0,014	-1,37	b	0,103	0,052	-1,22	ab	0,066	0,033
	FP1	-1,22	ab	0,046	0,023	-1,04	a	0,063	0,031	-0,99	a	0,128	0,064
	FP2	-1,16	a	0,186	0,093	-0,95	a	0,093	0,047	-1,01	a	0,192	0,096
	FM2	-1,21	ab	0,045	0,023	-1,07	a	0,081	0,041	-1,19	ab	0,175	0,087
	NR	-1,42	b	0,146	0,073	-1,57	b	0,140	0,070	-1,37	b	0,081	0,040
Ψf 14h (-MPa)	PM1	-1,39	a	0,064	0,032	-1,49	a	0,061	0,030	-1,28	a	0,191	0,095
	PM2	-1,40	a	0,054	0,027	-1,47	a	0,102	0,051	-1,47	a	0,135	0,068
	FP1	-1,36	a	0,051	0,025	-1,33	a	0,087	0,043	-1,31	a	0,213	0,107
	FP2	-1,33	a	0,070	0,035	-1,34	a	0,154	0,077	-1,25	a	0,147	0,074
	FM2	-1,40	a	0,079	0,040	-1,30	a	0,075	0,038	-1,18	a	0,107	0,054
	NR	-1,43	a	0,072	0,036	-1,43	a	0,081	0,040	-1,37	a	0,034	0,017
Ψf 18h (-MPa)	PM1	-1,20	b	0,032	0,016	-1,29	c	0,025	0,013	-0,91	b	0,028	0,014
	PM2	-1,13	b	0,024	0,012	-1,27	c	0,123	0,062	-0,89	b	0,086	0,043
	FP1	-0,82	a	0,078	0,039	-0,98	b	0,084	0,042	-0,82	ab	0,032	0,016
	FP2	-0,79	a	0,098	0,049	-0,84	b	0,122	0,061	-0,75	a	0,059	0,029
	FM2	-0,77	a	0,066	0,033	-0,63	a	0,042	0,021	-0,81	ab	0,034	0,017
	NR	-1,25	b	0,053	0,026	-1,44	c	0,048	0,024	-0,87	b	0,045	0,023

- . “Mean” Média
- . “Std. Error” Erro padrão
- . “Std. Dev.” Desvio padrão
- . “Sign.” Separação de médias – as letras no topo das colunas, quando diferentes, indicam médias significativamente diferentes (*Tukey*_{0,05}).

Descriptives		29/06/2005 (Pré-Pintor)				26/07/2005 (Pós-Pintor)				24/08/2005 (Pré-Maturação)			
	Trat.	Mean	sign	Std. Dev.	Std. Error	Mean	sign	Std. Dev.	Std. Error	Mean	sign	Std. Dev.	Std. Error
Ψf 6h (-MPa)	PM1	-0,38	a	0,165	0,068	-0,82	bc	0,068	0,028	-0,50	a	0,052	0,021
	PM2	-0,25	a	0,023	0,009	-0,72	b	0,031	0,013	-0,43	a	0,087	0,035
	FP1	-0,30	a	0,061	0,025	-0,43	a	0,093	0,038	-0,93	b	0,067	0,027
	FP2	-0,24	a	0,032	0,013	-0,45	a	0,089	0,036	-0,84	b	0,114	0,046
	FM2	-0,28	a	0,030	0,012	-0,47	a	0,010	0,004	-0,47	a	0,069	0,028
	NR	-0,77	b	0,078	0,032	-0,85	c	0,044	0,018	-1,39	c	0,106	0,043
Ψf 10h (-MPa)	PM1	-1,25	c	0,156	0,064	-1,56	c	0,058	0,024	-0,86	a	0,137	0,056
	PM2	-1,00	b	0,107	0,044	-1,48	c	0,020	0,008	-0,84	a	0,135	0,055
	FP1	-0,83	ab	0,069	0,028	-0,91	a	0,056	0,023	-1,24	b	0,033	0,013
	FP2	-0,81	a	0,090	0,037	-0,93	a	0,141	0,058	-1,34	b	0,102	0,042
	FM2	-0,83	ab	0,118	0,048	-1,26	b	0,045	0,018	-0,83	a	0,047	0,019
	NR	-1,29	c	0,047	0,019	-1,71	d	0,042	0,017	-1,58	c	0,069	0,028
Ψf 14h (-MPa)	PM1	-1,32	cd	0,134	0,055	-1,68	b	0,077	0,031	-1,12	b	0,107	0,044
	PM2	-1,09	abc	0,116	0,047	-1,55	b	0,067	0,027	-1,17	bc	0,033	0,014
	FP1	-0,97	ab	0,081	0,033	-1,29	a	0,068	0,028	-1,35	cd	0,070	0,028
	FP2	-0,91	a	0,206	0,084	-1,34	a	0,123	0,050	-1,43	de	0,160	0,065
	FM2	-1,15	bcd	0,123	0,050	-1,34	a	0,140	0,057	-0,90	a	0,105	0,043
	NR	-1,35	d	0,097	0,040	-1,61	b	0,078	0,032	-1,59	e	0,091	0,037
Ψf 18h (-MPa)	PM1	-1,08	c	0,138	0,056	-1,28	c	0,128	0,052	-0,74	a	0,026	0,010
	PM2	-0,91	b	0,047	0,019	-1,10	b	0,107	0,044	-0,62	a	0,042	0,017
	FP1	-0,74	a	0,048	0,019	-0,70	a	0,064	0,026	-1,01	b	0,061	0,025
	FP2	-0,64	a	0,055	0,022	-0,63	a	0,108	0,044	-1,02	b	0,162	0,066
	FM2	-0,67	a	0,056	0,023	-0,69	a	0,016	0,007	-0,69	a	0,039	0,016
	NR	-1,16	c	0,071	0,029	-1,35	c	0,129	0,053	-1,63	c	0,057	0,023

- . “Mean” Média
- . “Std. Error” Erro padrão
- . “Std. Dev.” Desvio padrão
- . “Sign.” Separação de médias – as letras no topo das colunas, quando diferentes, indicam médias significativamente diferentes (*Tukey*_{0,05}).

Descriptives		26/05/2006 (Pré-Pintor)				13/07/2006 (Pós-Pintor)				22/08/2006 (Pré-Maturação)			
	Trat.	Mean	sign	Std. Dev.	Std. Error	Mean	sign	Std. Dev.	Std. Error	Mean	sign	Std. Dev.	Std. Error
Ψf 6h (-MPa)	PM1	-0,30	a	0,039	0,016	-0,47	b	0,115	0,047	-0,14	a	0,020	0,008
	PM2	-0,33	a	0,078	0,032	-0,45	b	0,019	0,008	-0,14	a	0,013	0,005
	FP1	-0,36	a	0,010	0,004	-0,19	a	0,045	0,018	-0,33	b	0,057	0,023
	FP2	-0,38	a	0,048	0,020	-0,22	a	0,057	0,023	-0,31	b	0,122	0,050
	FM2	-0,34	a	0,037	0,015	-0,26	a	0,028	0,011	-0,14	a	0,023	0,009
	NR	-0,35	a	0,036	0,015	-0,53	b	0,067	0,028	-0,51	c	0,112	0,046
Ψf 10h (-MPa)	PM1	-0,84	a	0,077	0,032	-1,09	c	0,121	0,050	-0,83	a	0,179	0,073
	PM2	-0,95	a	0,111	0,045	-1,03	bc	0,056	0,023	-0,74	a	0,061	0,025
	FP1	-0,97	a	0,098	0,040	-0,86	ab	0,067	0,027	-1,17	b	0,097	0,039
	FP2	-0,99	a	0,089	0,036	-0,87	ab	0,088	0,036	-1,19	b	0,147	0,060
	FM2	-0,98	a	0,087	0,036	-0,71	a	0,145	0,059	-0,89	a	0,051	0,021
	NR	-0,92	a	0,079	0,032	-1,16	c	0,099	0,040	-1,31	b	0,040	0,016
Ψf 14h (-MPa)	PM1	-1,08	a	0,126	0,051	-1,30	cd	0,128	0,052	-1,09	a	0,179	0,073
	PM2	-1,16	a	0,109	0,045	-1,23	bcd	0,055	0,023	-1,25	bc	0,046	0,019
	FP1	-1,09	a	0,064	0,026	-1,02	a	0,126	0,052	-1,39	cd	0,062	0,025
	FP2	-1,13	a	0,032	0,013	-1,16	abc	0,039	0,016	-1,35	cd	0,040	0,016
	FM2	-1,13	a	0,085	0,035	-1,15	ab	0,028	0,011	-1,17	ab	0,028	0,011
	NR	-1,10	a	0,167	0,068	-1,33	d	0,073	0,030	-1,45	d	0,108	0,044
Ψf 18h (-MPa)	PM1	-0,73	bc	0,090	0,037	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	PM2	-0,83	c	0,065	0,027	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	FP1	-0,80	bc	0,116	0,047	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	FP2	-0,68	ab	0,084	0,034	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	FM2	-0,56	a	0,062	0,025	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	NR	-0,54	a	0,063	0,026	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

- . “n.d.” não definido (registo não realizado)
- . “Mean” Média
- . “Std. Error” Erro padrão
- . “Std. Dev.” Desvio padrão
- . “Sign.” Separação de médias – as letras no topo das colunas, quando diferentes, indicam médias significativamente diferentes (*Tukey*_{0,05}).

ANEXO V – Médias diárias da velocidade do fluxo de seiva (l.planta⁻¹.h⁻¹) de cada modalidade em estudo da floração à maturação em 2004, 2005 e 2006

(SPSS Inc. 2002 SPSS for Windows, Rel. 11.5.0., Chicago)

Data	FM2		NR		FP1		FP2		PM1		PM2	
	Mean	sign										
31-Mai-2004	1,0587	a	1,1836	a	1,0858	a	1,1182	a	1,0207	a	0,9655	a
15-Jun-2004	1,3795	e	0,6694	a	1,0352	c	1,2082	d	0,9135	b	1,0044	c
30-Jun-2004	1,4316	f	0,7706	b	0,8677	c	1,2693	e	0,6410	a	1,0014	d
15-Jul-2004	1,7842	e	0,7426	a	1,1862	c	1,3623	d	0,6604	a	1,0148	b
31-Jul-2004	1,8834	d	0,6245	a	0,9460	b	1,1133	c	0,8587	b	1,0564	c
15-Ago-2004	1,8806	c	0,5876	a	0,4538	a	1,0152	b	1,2440	b	1,3279	b
30-Ago-2004	1,6351	e	0,5859	b	0,4793	a	0,9988	c	1,6138	e	1,3006	d
31-Mai-2005	0,8800	ab	0,5646	a	0,7814	ab	1,1281	b	0,8436	ab	0,8050	ab
15-Jun-2005	1,0309	d	0,4658	a	0,7224	c	0,9642	d	0,6102	b	0,5468	ab
30-Jun-2005	1,5057	b	0,5975	a	0,8256	a	1,4075	b	0,5091	a	0,6746	a
15-Jul-2005	1,2821	d	0,5067	a	0,6372	b	1,1995	d	0,4579	a	0,7880	c
31-Jul-2005	1,5449	d	0,8612	ab	0,5065	a	1,3112	cd	0,9276	bc	1,1048	bc
15-Ago-2005	1,2330	c	0,4569	ab	0,3866	a	0,6534	b	1,1689	c	1,1280	c
30-Ago-2005	1,2067	d	0,5174	a	0,5202	a	0,8705	b	0,8385	b	1,0753	c
31-Mai-2006	1,0669	a	1,0688	a	1,1372	a	0,8104	a	1,0947	a	0,9288	a
15-Jun-2006	1,2086	b	0,5626	a	0,7586	a	1,1658	b	0,6296	a	0,8626	a
30-Jun-2006	1,2388	b	0,5795	a	0,7623	a	1,4411	b	0,5418	b	0,6863	b
15-Jul-2006	1,1866	d	0,3304	a	0,7282	c	1,2313	d	0,5045	ab	0,6678	bc
31-Jul-2006	1,2102	e	0,4112	a	0,7604	bc	1,0443	de	0,6783	b	0,8686	cd
15-Ago-2006	1,7105	d	0,4423	a	0,5616	ab	1,0749	c	0,8169	bc	1,0438	c
30-Ago-2006	1,3002	b	0,5281	a	0,5159	a	0,8849	a	0,8587	a	1,3394	b

.. “Mean” Média

.. “Sign.” Separação de médias – as letras no topo das colunas, quando diferentes, indicam médias significativamente diferentes (*Tukey*_{0,05}).

ANEXO VI – Registos da fluorescência da clorofila *a in vivo* antes do pintor, após o pintor e antes da vindima em 2004, 2005 e 2006 nas modalidades em estudo

(SPSS Inc. 2002 SPSS for Windows, Rel. 11.5.0., Chicago)

Descriptives		15/07/04				29/07/04				24/08/04			
		Mean	sign	Std. Dev.	Std. Error	Mean	sign	Std. Dev.	Std. Error	Mean	sign	Std. Dev.	Std. Error
FV/FM	PM1	0,81	a	0,011	0,004	0,80	a	0,010	0,004	0,77	a	0,025	0,010
6h	PM2	0,78	a	0,042	0,017	0,76	a	0,044	0,018	0,78	a	0,024	0,010
	FP1	0,74	a	0,099	0,041	0,74	a	0,068	0,028	0,79	a	0,018	0,007
	FP2	0,77	a	0,019	0,008	0,73	a	0,050	0,021	0,77	a	0,015	0,006
	FM2	0,74	a	0,076	0,031	0,74	a	0,040	0,016	0,78	a	0,018	0,007
	NR	0,81	a	0,025	0,010	0,79	a	0,011	0,004	0,80	a	0,017	0,007
t ½	PM1	145,0	a	14,68	5,994	174,2	a	6,7	2,74	260,5	a	56,63	23,12
6h	PM2	188,8	b	18,84	7,692	246,0	ab	63,7	26,02	297,8	a	50,42	20,59
	FP1	181,8	ab	32,05	13,08	272,0	ab	133,5	54,52	249,2	a	38,31	15,64
	FP2	216,7	b	16,74	6,84	343,0	b	103,8	42,36	311,3	a	66,03	26,96
	FM2	216,5	b	24,56	10,03	304,2	ab	70,2	28,66	295,3	a	54,58	22,28
	NR	186,3	b	21,11	8,617	321,0	ab	83,5	34,11	304,5	a	59,59	24,32
FM	PM1	0,99	b	0,091	0,037	0,72	c	0,029	0,012	0,55	a	0,089	0,036
6h	PM2	0,74	a	0,036	0,015	0,58	bc	0,075	0,031	0,51	a	0,054	0,022
	FP1	0,67	a	0,179	0,073	0,50	ab	0,110	0,045	0,54	a	0,060	0,024
	FP2	0,62	a	0,054	0,022	0,36	a	0,140	0,057	0,45	a	0,044	0,018
	FM2	0,60	a	0,073	0,030	0,39	a	0,093	0,038	0,46	a	0,039	0,016
	NR	0,70	a	0,049	0,020	0,52	ab	0,061	0,025	0,52	a	0,054	0,022
Fv	PM1	0,80	b	0,071	0,029	0,57	c	0,023	0,009	0,43	a	0,083	0,034
6h	PM2	0,57	a	0,050	0,021	0,44	bc	0,079	0,032	0,40	a	0,050	0,020
	FP1	0,51	a	0,174	0,071	0,37	ab	0,112	0,046	0,43	a	0,055	0,022
	FP2	0,48	a	0,050	0,021	0,27	a	0,120	0,049	0,35	a	0,038	0,016
	FM2	0,45	a	0,084	0,034	0,29	ab	0,082	0,034	0,36	a	0,036	0,015
	NR	0,56	a	0,028	0,012	0,41	ab	0,053	0,022	0,42	a	0,052	0,021
F0	PM1	0,19	b	0,023	0,009	0,15	c	0,010	0,004	0,12	c	0,012	0,005
6h	PM2	0,17	ab	0,023	0,009	0,14	c	0,016	0,007	0,11	abc	0,009	0,004
	FP1	0,16	a	0,019	0,008	0,13	bc	0,020	0,008	0,11	bc	0,008	0,003
	FP2	0,14	a	0,008	0,003	0,09	a	0,021	0,009	0,10	a	0,005	0,002
	FM2	0,14	a	0,004	0,002	0,10	ab	0,013	0,005	0,10	ab	0,008	0,003
	NR	0,14	a	0,030	0,012	0,11	ab	0,009	0,004	0,10	ab	0,000	0,000
FM/F0	PM1	5,15	a	0,279	0,114	4,93	a	0,241	0,098	4,49	a	0,549	0,224
6h	PM2	4,45	a	0,630	0,257	4,08	a	0,763	0,312	4,67	a	0,495	0,202
	FP1	4,33	a	0,995	0,406	3,96	a	1,025	0,419	4,83	a	0,378	0,154
	FP2	4,38	a	0,465	0,190	3,81	a	0,694	0,283	4,67	a	0,307	0,125
	FM2	4,23	a	0,419	0,171	3,82	a	0,473	0,193	4,66	a	0,460	0,188
	NR	5,08	a	0,582	0,238	4,76	a	0,260	0,106	5,20	a	0,540	0,221

Descriptives		15/07/04				29/07/04				24/08/04			
		Mean	sign	Std. Dev.	Std. Error	Mean	sign	Std. Dev.	Std. Error	Mean	sign	Std. Dev.	Std. Error
FV/FM	PM1	0,66	a	0,105	0,043	0,69	b	0,038	0,016	0,70	d	0,032	0,013
10h	PM2	0,71	a	0,038	0,015	0,71	b	0,015	0,006	0,63	bcd	0,026	0,011
	FP1	0,69	a	0,075	0,031	0,67	ab	0,029	0,012	0,62	bc	0,042	0,017
	FP2	0,72	a	0,019	0,008	0,66	ab	0,076	0,031	0,57	b	0,037	0,015
	FM2	0,72	a	0,028	0,011	0,59	a	0,096	0,039	0,33	a	0,070	0,029
	NR	0,65	a	0,110	0,045	0,68	ab	0,025	0,010	0,67	cd	0,024	0,010
t ½	PM1	235,2	a	51,25	20,92	228,0	a	11,71	4,78	231,8	a	18,56	7,58
10h	PM2	214,5	a	38,89	15,88	238,2	a	48,33	19,73	307,8	bc	31,18	12,73
	FP1	248,8	a	85,20	34,78	246,5	a	63,83	26,06	272,2	ab	38,96	15,91
	FP2	246,5	a	32,16	13,13	378,2	b	97,10	39,64	323,2	bc	58,06	23,70
	FM2	223,2	a	32,36	13,21	297,5	ab	14,41	5,88	367,2	c	33,34	13,61
	NR	276,8	a	83,20	33,97	248,7	a	41,06	16,76	257,7	ab	35,80	14,61
FM	PM1	0,49	a	0,176	0,072	0,47	bc	0,042	0,017	0,54	d	0,044	0,018
10h	PM2	0,54	a	0,088	0,036	0,51	c	0,120	0,049	0,36	c	0,040	0,016
	FP1	0,49	a	0,151	0,061	0,37	ab	0,041	0,017	0,35	c	0,050	0,021
	FP2	0,49	a	0,062	0,025	0,32	a	0,109	0,044	0,26	b	0,046	0,019
	FM2	0,53	a	0,066	0,027	0,27	a	0,076	0,031	0,18	a	0,026	0,010
	NR	0,43	a	0,120	0,049	0,35	ab	0,021	0,009	0,38	c	0,053	0,021
Fv	PM1	0,34	a	0,161	0,066	0,33	bc	0,039	0,016	0,38	d	0,045	0,018
10h	PM2	0,38	a	0,078	0,032	0,37	c	0,082	0,033	0,23	c	0,033	0,014
	FP1	0,35	a	0,132	0,054	0,24	ab	0,024	0,010	0,22	c	0,045	0,018
	FP2	0,35	a	0,052	0,021	0,22	a	0,092	0,038	0,15	b	0,037	0,015
	FM2	0,38	a	0,061	0,025	0,17	a	0,072	0,029	0,06	a	0,020	0,008
	NR	0,29	a	0,117	0,048	0,24	ab	0,021	0,008	0,25	c	0,041	0,017
F0	PM1	0,16	a	0,021	0,008	0,15	bc	0,019	0,008	0,16	b	0,007	0,003
10h	PM2	0,16	a	0,018	0,007	0,15	c	0,038	0,015	0,13	a	0,015	0,006
	FP1	0,14	a	0,024	0,010	0,12	abc	0,018	0,007	0,13	a	0,009	0,004
	FP2	0,14	a	0,012	0,005	0,10	a	0,015	0,006	0,11	a	0,010	0,004
	FM2	0,15	a	0,008	0,003	0,10	a	0,008	0,003	0,12	a	0,004	0,002
	NR	0,14	a	0,014	0,006	0,11	ab	0,007	0,003	0,13	a	0,014	0,006
FM/F0	PM1	3,13	a	0,840	0,343	3,30	ab	0,405	0,165	3,30	d	0,279	0,114
10h	PM2	3,40	a	0,350	0,143	3,44	b	0,102	0,042	2,79	c	0,214	0,087
	FP1	3,36	a	0,701	0,286	3,06	ab	0,209	0,086	2,70	bc	0,332	0,136
	FP2	3,55	a	0,237	0,097	3,10	ab	0,651	0,266	2,29	b	0,212	0,087
	FM2	3,60	a	0,409	0,167	2,61	a	0,580	0,237	1,54	a	0,191	0,078
	NR	3,12	a	0,892	0,364	3,12	ab	0,234	0,096	3,01	cd	0,208	0,085

- . “Mean” Média
- . “Std. Error” Erro padrão
- . “Std. Dev.” Desvio padrão
- . “Sign.” Separação de médias – as letras no topo das colunas, quando diferentes, indicam médias significativamente diferentes (*Tukey*_{0,05}).

Descriptives		15/07/04				29/07/04				24/08/04			
		Mean	sign	Std. Dev.	Std. Error	Mean	sign	Std. Dev.	Std. Error	Mean	sign	Std. Dev.	Std. Error
FV/FM	PM1	0,55	ab	0,109	0,045	0,59	a	0,054	0,022	0,57	a	0,070	0,028
14h	PM2	0,58	ab	0,057	0,023	0,50	a	0,077	0,031	0,53	a	0,049	0,020
	FP1	0,62	b	0,045	0,018	0,49	a	0,093	0,038	0,62	a	0,152	0,062
	FP2	0,64	b	0,057	0,023	0,47	a	0,067	0,027	0,58	a	0,077	0,031
	FM2	0,63	b	0,020	0,008	0,55	a	0,054	0,022	0,62	a	0,081	0,033
	NR	0,51	a	0,045	0,018	0,48	a	0,122	0,050	0,64	a	0,087	0,036
t ½	PM1	182,7	a	44,18	18,04	215,8	a	33,94	13,67	267,7	a	28,92	11,81
14h	PM2	201,0	a	14,00	5,72	257,8	ab	37,73	15,40	299,3	a	20,95	8,55
	FP1	212,8	a	53,48	21,83	254,8	ab	33,47	13,66	276,7	a	45,65	18,63
	FP2	223,8	a	26,81	10,95	379,8	c	51,79	21,15	334,5	a	56,98	23,26
	FM2	199,7	a	25,97	10,60	273,7	ab	29,30	11,96	311,0	a	39,85	16,27
	NR	207,8	a	84,10	34,33	280,5	b	29,43	12,02	276,7	a	50,37	20,56
FM	PM1	0,43	a	0,115	0,047	0,35	b	0,043	0,017	0,35	a	0,077	0,031
14h	PM2	0,44	a	0,048	0,020	0,27	ab	0,063	0,026	0,27	a	0,032	0,013
	FP1	0,48	a	0,101	0,041	0,26	ab	0,065	0,027	0,30	a	0,082	0,034
	FP2	0,45	a	0,079	0,032	0,20	a	0,024	0,010	0,28	a	0,064	0,026
	FM2	0,43	a	0,030	0,012	0,26	a	0,044	0,018	0,30	a	0,053	0,022
	NR	0,35	a	0,048	0,019	0,27	ab	0,072	0,029	0,35	a	0,080	0,033
Fv	PM1	0,24	ab	0,102	0,041	0,21	b	0,041	0,017	0,21	a	0,067	0,027
14h	PM2	0,26	ab	0,055	0,022	0,14	ab	0,052	0,021	0,14	a	0,028	0,011
	FP1	0,30	b	0,079	0,032	0,13	ab	0,059	0,024	0,19	a	0,075	0,031
	FP2	0,29	ab	0,070	0,029	0,09	a	0,022	0,009	0,17	a	0,058	0,024
	FM2	0,27	ab	0,022	0,009	0,14	ab	0,040	0,016	0,19	a	0,055	0,022
	NR	0,18	a	0,036	0,015	0,14	ab	0,078	0,032	0,23	a	0,080	0,033
F0	PM1	0,19	a	0,026	0,011	0,15	c	0,010	0,004	0,15	b	0,014	0,006
14h	PM2	0,18	a	0,015	0,006	0,13	bc	0,017	0,007	0,13	ab	0,006	0,003
	FP1	0,18	a	0,022	0,009	0,13	bc	0,007	0,003	0,13	ab	0,011	0,004
	FP2	0,16	a	0,011	0,004	0,10	a	0,015	0,006	0,12	a	0,019	0,008
	FM2	0,16	a	0,012	0,005	0,11	ab	0,004	0,002	0,11	a	0,008	0,003
	NR	0,17	a	0,017	0,007	0,13	bc	0,011	0,004	0,12	a	0,011	0,004
FM/F0	PM1	2,31	ab	0,504	0,206	2,42	a	0,344	0,141	2,35	a	0,436	0,178
14h	PM2	2,46	ab	0,388	0,158	2,10	a	0,325	0,133	2,06	a	0,246	0,101
	FP1	2,65	ab	0,275	0,112	1,98	a	0,434	0,177	2,28	a	0,451	0,184
	FP2	2,79	b	0,390	0,159	1,92	a	0,224	0,091	2,50	a	0,634	0,259
	FM2	2,67	ab	0,194	0,079	2,25	a	0,306	0,125	2,69	a	0,470	0,192
	NR	2,08	a	0,217	0,089	2,07	a	0,684	0,279	2,93	a	0,652	0,266

- . “Mean” Média
- . “Std. Error” Erro padrão
- . “Std. Dev.” Desvio padrão
- . “Sign.” Separação de médias – as letras no topo das colunas, quando diferentes, indicam médias significativamente diferentes (*Tukey*_{0,05}).

Descriptives		29/06/05				26/07/05				24/08/05			
		Mean	sign	Std. Dev.	Std. Error	Mean	sign	Std. Dev.	Std. Error	Mean	sign	Std. Dev.	Std. Error
FV/FM	PM1	0,67	a	0,102	0,042	0,76	ab	0,020	0,008	0,74	a	0,016	0,006
6h	PM2	0,71	ab	0,038	0,016	0,76	ab	0,023	0,009	0,70	a	0,040	0,016
	FP1	0,72	ab	0,032	0,013	0,74	a	0,010	0,004	0,71	a	0,055	0,022
	FP2	0,73	ab	0,036	0,015	0,73	a	0,023	0,010	0,71	a	0,025	0,010
	FM2	0,75	ab	0,027	0,011	0,74	a	0,017	0,007	0,72	a	0,020	0,008
	NR	0,78	b	0,054	0,022	0,77	b	0,011	0,005	0,73	a	0,051	0,021
t ½	PM1	177,2	a	16,33	6,67	167,8	a	16,12	6,580	244,3	a	43,73	17,85
6h	PM2	170,2	a	18,84	7,69	163,3	a	23,73	9,687	264,8	a	44,23	18,06
	FP1	184,3	a	24,14	9,85	204,3	a	34,20	13,96	253,2	a	20,82	8,50
	FP2	205,0	a	51,59	21,06	181,7	a	20,43	8,34	285,5	a	37,09	15,14
	FM2	184,3	a	28,50	11,64	202,5	a	30,09	12,29	264,7	a	22,14	9,04
	NR	202,5	a	34,10	14,29	172,3	a	22,64	9,244	287,8	a	42,53	17,36
FM	PM1	0,65	a	0,056	0,023	0,49	bcd	0,037	0,015	0,30	b	0,036	0,015
6h	PM2	0,62	a	0,083	0,034	0,53	d	0,058	0,024	0,27	ab	0,042	0,017
	FP1	0,57	a	0,064	0,026	0,41	ab	0,063	0,026	0,29	b	0,041	0,017
	FP2	0,54	a	0,097	0,040	0,42	abc	0,028	0,011	0,23	a	0,027	0,011
	FM2	0,56	a	0,078	0,032	0,38	a	0,054	0,022	0,23	ab	0,027	0,011
	NR	0,61	a	0,071	0,029	0,50	cd	0,050	0,021	0,22	a	0,042	0,017
Fv	PM1	0,43	a	0,058	0,024	0,38	b	0,031	0,013	0,22	b	0,029	0,012
6h	PM2	0,44	a	0,079	0,032	0,40	b	0,041	0,017	0,19	ab	0,033	0,014
	FP1	0,41	a	0,064	0,026	0,30	a	0,050	0,020	0,21	ab	0,020	0,008
	FP2	0,39	a	0,088	0,036	0,30	a	0,020	0,008	0,16	a	0,023	0,009
	FM2	0,42	a	0,069	0,028	0,29	a	0,045	0,018	0,17	a	0,020	0,008
	NR	0,48	a	0,082	0,034	0,39	b	0,037	0,015	0,16	a	0,039	0,016
F0	PM1	0,18	b	0,017	0,007	0,12	ab	0,009	0,004	0,08	b	0,008	0,003
6h	PM2	0,18	b	0,012	0,005	0,13	b	0,023	0,009	0,08	b	0,016	0,007
	FP1	0,15	ab	0,008	0,003	0,10	ab	0,010	0,004	0,07	ab	0,005	0,002
	FP2	0,15	a	0,018	0,007	0,11	ab	0,015	0,006	0,06	a	0,005	0,002
	FM2	0,14	a	0,015	0,006	0,10	a	0,009	0,004	0,07	ab	0,005	0,002
	NR	0,13	a	0,019	0,008	0,12	ab	0,014	0,006	0,06	a	0,006	0,003
FM/F0	PM1	3,69	a	0,292	0,119	4,12	ab	0,347	0,142	3,77	a	0,369	0,151
6h	PM2	3,48	a	0,478	0,195	4,23	ab	0,373	0,152	3,42	a	0,444	0,181
	FP1	3,70	a	0,515	0,210	3,98	ab	0,268	0,109	3,97	a	0,394	0,161
	FP2	3,72	ab	0,635	0,259	3,81	a	0,403	0,165	3,55	a	0,300	0,123
	FM2	3,88	ab	0,349	0,142	3,82	a	0,200	0,082	3,60	a	0,373	0,152
	NR	4,77	b	1,067	0,436	4,37	b	0,188	0,077	3,70	a	0,340	0,139

- . “Mean” Média
- . “Std. Error” Erro padrão
- . “Std. Dev.” Desvio padrão
- . “Sign.” Separação de médias – as letras no topo das colunas, quando diferentes, indicam médias significativamente diferentes (*Tukey*_{0,05}).

Descriptives		29/06/05				26/07/05				24/08/05			
		Mean	sign	Std. Dev.	Std. Error	Mean	sign	Std. Dev.	Std. Error	Mean	sign	Std. Dev.	Std. Error
FV/FM	PM1	0,42	a	0,061	0,025	0,59	a	0,139	0,057	0,50	ab	0,074	0,030
10h	PM2	0,69	b	0,049	0,020	0,64	a	0,088	0,036	0,48	ab	0,044	0,018
	FP1	0,58	ab	0,061	0,025	0,66	a	0,025	0,010	0,52	ab	0,062	0,025
	FP2	0,55	ab	0,134	0,055	0,64	a	0,106	0,043	0,48	ab	0,049	0,020
	FM2	0,58	ab	0,043	0,018	0,66	a	0,017	0,007	0,43	a	0,067	0,027
	NR	0,63	b	0,170	0,069	0,67	a	0,059	0,024	0,57	b	0,036	0,015
t ½	PM1	188,0	a	81,25	33,17	215,8	ab	45,23	18,46	295,5	a	68,37	27,91
10h	PM2	202,7	a	28,79	11,76	198,0	a	27,36	11,17	311,3	a	82,78	33,79
	FP1	198,2	a	28,53	11,65	229,3	ab	22,75	9,29	297,5	a	101,8	41,54
	FP2	207,0	a	113,5	46,32	232,8	ab	22,08	9,013	320,5	a	60,32	24,63
	FM2	181,8	a	51,54	21,04	274,3	b	82,51	33,68	392,5	a	28,76	11,74
	NR	230,3	a	64,39	26,29	193,3	a	24,71	10,09	285,2	a	95,76	39,10
FM	PM1	0,28	a	0,045	0,018	0,36	a	0,094	0,039	0,21	a	0,039	0,016
10h	PM2	0,53	b	0,083	0,034	0,42	a	0,106	0,043	0,20	a	0,016	0,007
	FP1	0,41	ab	0,070	0,029	0,39	a	0,028	0,012	0,24	a	0,116	0,047
	FP2	0,41	ab	0,119	0,048	0,39	a	0,005	0,002	0,18	a	0,016	0,007
	FM2	0,42	ab	0,047	0,019	0,33	a	0,038	0,016	0,16	a	0,022	0,009
	NR	0,47	b	0,167	0,068	0,42	a	0,096	0,039	0,22	a	0,027	0,011
Fv	PM1	0,12	a	0,021	0,009	0,23	a	0,092	0,037	0,11	a	0,036	0,015
10h	PM2	0,37	b	0,080	0,033	0,28	a	0,095	0,039	0,10	a	0,016	0,007
	FP1	0,24	ab	0,066	0,027	0,26	a	0,027	0,011	0,13	a	0,081	0,033
	FP2	0,24	ab	0,104	0,042	0,25	a	0,040	0,016	0,09	a	0,016	0,007
	FM2	0,25	ab	0,045	0,018	0,22	a	0,026	0,011	0,07	a	0,019	0,008
	NR	0,32	b	0,151	0,062	0,28	a	0,084	0,034	0,13	a	0,019	0,008
F0	PM1	0,17	a	0,020	0,008	0,13	b	0,015	0,006	0,10	a	0,008	0,003
10h	PM2	0,17	a	0,010	0,004	0,14	b	0,012	0,005	0,10	a	0,004	0,002
	FP1	0,17	a	0,008	0,003	0,13	ab	0,004	0,002	0,11	a	0,035	0,014
	FP2	0,18	a	0,043	0,017	0,12	ab	0,014	0,006	0,10	a	0,005	0,002
	FM2	0,17	a	0,015	0,006	0,11	a	0,010	0,004	0,09	a	0,005	0,002
	NR	0,15	a	0,019	0,008	0,14	b	0,017	0,007	0,10	a	0,012	0,005
FM/F0	PM1	1,64	a	0,126	0,051	2,70	a	0,752	0,307	2,08	ab	0,348	0,142
10h	PM2	3,17	b	0,460	0,188	3,00	a	0,619	0,253	1,94	ab	0,173	0,070
	FP1	2,43	ab	0,363	0,148	2,96	a	0,247	0,101	2,10	ab	0,269	0,110
	FP2	2,35	ab	0,613	0,250	3,15	a	0,317	0,130	1,93	ab	0,185	0,076
	FM2	2,51	ab	0,339	0,138	2,91	a	0,138	0,057	1,80	a	0,177	0,072
	NR	2,99	b	0,865	0,353	2,96	a	0,418	0,171	2,32	b	0,200	0,082

- . “Mean” Média
- . “Std. Error” Erro padrão
- . “Std. Dev.” Desvio padrão
- . “Sign.” Separação de médias – as letras no topo das colunas, quando diferentes, indicam médias significativamente diferentes (*Tukey*_{0,05}).

Descriptives		29/06/05				26/07/05				24/08/05			
		Mean	sign	Std. Dev.	Std. Error	Mean	sign	Std. Dev.	Std. Error	Mean	sign	Std. Dev.	Std. Error
FV/FM	PM1	0,69	b	0,097	0,040	0,60	a	0,049	0,020	0,55	b	0,033	0,013
14h	PM2	0,73	b	0,043	0,018	0,62	a	0,046	0,019	0,48	ab	0,120	0,049
	FP1	0,55	a	0,126	0,051	0,64	a	0,121	0,050	0,48	ab	0,034	0,014
	FP2	0,71	b	0,025	0,010	0,59	a	0,056	0,023	0,42	a	0,097	0,040
	FM2	0,71	b	0,048	0,019	0,63	a	0,011	0,004	0,45	ab	0,073	0,030
	NR	0,71	b	0,044	0,018	0,64	a	0,059	0,024	0,49	ab	0,041	0,017
t ½	PM1	179,7	a	38,23	15,61	221,3	ab	19,52	7,969	257,8	a	57,41	23,45
14h	PM2	170,5	a	16,85	6,88	223,0	ab	8,79	3,59	274,8	a	51,96	21,21
	FP1	167,8	a	75,41	30,79	251,5	ab	42,58	17,38	242,2	a	25,93	10,58
	FP2	168,0	a	15,91	6,50	281,5	b	74,22	30,30	189,7	a	149,5	61,05
	FM2	204,8	a	31,31	12,78	233,2	ab	37,60	15,35	267,5	a	46,2	18,88
	NR	156,7	a	24,52	10,01	200,7	a	50,29	20,53	211,2	a	32,15	13,12
FM	PM1	0,57	ab	0,099	0,041	0,37	a	0,075	0,030	0,24	b	0,049	0,020
14h	PM2	0,68	b	0,108	0,044	0,34	a	0,030	0,012	0,21	ab	0,050	0,020
	FP1	0,43	a	0,144	0,059	0,32	a	0,081	0,033	0,22	ab	0,014	0,006
	FP2	0,62	b	0,037	0,015	0,30	a	0,053	0,022	0,18	a	0,024	0,010
	FM2	0,55	ab	0,064	0,026	0,34	a	0,065	0,027	0,19	ab	0,024	0,010
	NR	0,64	b	0,103	0,042	0,40	a	0,061	0,025	0,24	ab	0,029	0,012
Fv	PM1	0,40	ab	0,112	0,046	0,23	a	0,062	0,025	0,13	b	0,034	0,014
14h	PM2	0,50	b	0,099	0,040	0,21	a	0,029	0,012	0,11	ab	0,051	0,021
	FP1	0,25	a	0,137	0,056	0,20	a	0,059	0,024	0,11	ab	0,014	0,006
	FP2	0,44	b	0,038	0,016	0,18	a	0,044	0,018	0,08	a	0,027	0,011
	FM2	0,39	ab	0,067	0,027	0,21	a	0,038	0,016	0,09	ab	0,023	0,009
	NR	0,46	b	0,090	0,037	0,26	a	0,052	0,021	0,12	ab	0,020	0,008
F0	PM1	0,17	a	0,017	0,007	0,15	a	0,015	0,006	0,11	a	0,014	0,006
14h	PM2	0,18	a	0,020	0,008	0,13	a	0,011	0,004	0,11	a	0,010	0,004
	FP1	0,18	a	0,020	0,008	0,13	a	0,005	0,002	0,11	a	0,006	0,003
	FP2	0,18	a	0,014	0,006	0,12	a	0,019	0,008	0,10	a	0,013	0,005
	FM2	0,16	a	0,014	0,006	0,13	a	0,026	0,011	0,11	a	0,005	0,002
	NR	0,18	a	0,027	0,011	0,14	a	0,028	0,011	0,12	a	0,013	0,005
FM/F0	PM1	3,44	ab	0,844	0,344	2,53	a	0,313	0,128	2,18	a	0,202	0,083
14h	PM2	3,85	b	0,575	0,235	2,63	a	0,285	0,116	2,03	a	0,404	0,165
	FP1	2,42	a	0,724	0,296	2,37	a	0,582	0,237	1,97	a	0,121	0,049
	FP2	3,53	b	0,337	0,138	2,53	a	0,347	0,142	1,79	a	0,257	0,105
	FM2	3,55	b	0,517	0,211	2,66	a	0,109	0,044	1,81	a	0,237	0,097
	NR	3,60	b	0,499	0,204	2,88	a	0,514	0,210	2,02	a	0,134	0,055

- . “Mean” Média
- . “Std. Error” Erro padrão
- . “Std. Dev.” Desvio padrão
- . “Sign.” Separação de médias – as letras no topo das colunas, quando diferentes, indicam médias significativamente diferentes (*Tukey*_{0,05}).

Descriptives		29/06/05				26/07/05				24/08/05			
		Mean	sign	Std. Dev.	Std. Error	Mean	sign	Std. Dev.	Std. Error	Mean	sign	Std. Dev.	Std. Error
FV/FM	PM1	0,58	a	0,092	0,038	0,67	a	0,142	0,058	0,64	a	0,104	0,042
18h	PM2	0,63	ab	0,026	0,011	0,73	a	0,014	0,006	0,62	a	0,072	0,030
	FP1	0,52	a	0,124	0,051	0,70	a	0,029	0,012	0,59	a	0,123	0,050
	FP2	0,54	a	0,043	0,018	0,69	a	0,031	0,013	0,66	a	0,031	0,013
	FM2	0,59	a	0,039	0,016	0,71	a	0,033	0,013	0,64	a	0,111	0,045
	NR	0,72	b	0,028	0,011	0,74	a	0,021	0,009	0,63	a	0,081	0,033
t ½	PM1	189,33	a	24,08	9,83	216,3	a	81,44	33,25	244,8	a	41,62	16,99
18h	PM2	202,67	a	18,64	7,61	184,0	a	28,47	11,62	274,7	a	62,34	25,45
	FP1	197,67	a	53,10	21,68	218,5	a	22,29	9,10	264,7	a	39,81	16,25
	FP2	214,67	a	78,76	32,16	216,2	a	20,64	8,43	279,3	a	27,17	11,09
	FM2	232,67	a	23,79	9,71	235,8	a	41,38	16,90	239,8	a	24,14	9,85
	NR	209,50	a	29,72	12,13	186,8	a	33,80	13,80	251,7	a	77,65	31,70
FM	PM1	0,52	ab	0,077	0,031	0,44	a	0,157	0,064	0,27	a	0,068	0,028
18h	PM2	0,50	ab	0,057	0,023	0,52	a	0,078	0,032	0,26	a	0,045	0,018
	FP1	0,39	a	0,118	0,048	0,43	a	0,047	0,019	0,25	a	0,070	0,028
	FP2	0,40	a	0,076	0,031	0,39	a	0,033	0,013	0,25	a	0,019	0,008
	FM2	0,38	a	0,022	0,009	0,39	a	0,071	0,029	0,26	a	0,055	0,022
	NR	0,57	b	0,069	0,028	0,51	a	0,069	0,028	0,27	a	0,053	0,022
Fv	PM1	0,30	ab	0,083	0,034	0,32	a	0,134	0,055	0,18	a	0,066	0,027
18h	PM2	0,32	ab	0,049	0,020	0,38	a	0,062	0,025	0,16	a	0,041	0,017
	FP1	0,21	a	0,096	0,039	0,30	a	0,044	0,018	0,15	a	0,063	0,026
	FP2	0,22	a	0,046	0,019	0,27	a	0,029	0,012	0,16	a	0,016	0,007
	FM2	0,23	a	0,027	0,011	0,28	a	0,064	0,026	0,17	a	0,053	0,022
	NR	0,41	b	0,063	0,026	0,37	a	0,049	0,020	0,17	a	0,049	0,020
F0	PM1	0,21	b	0,041	0,017	0,13	ab	0,020	0,008	0,09	ab	0,008	0,003
18h	PM2	0,19	ab	0,010	0,004	0,15	b	0,018	0,007	0,10	b	0,008	0,003
	FP1	0,17	ab	0,021	0,008	0,13	ab	0,005	0,002	0,09	ab	0,010	0,004
	FP2	0,19	ab	0,038	0,016	0,12	ab	0,013	0,005	0,08	a	0,008	0,003
	FM2	0,17	ab	0,013	0,005	0,11	a	0,009	0,004	0,09	ab	0,008	0,003
	NR	0,15	a	0,019	0,008	0,14	ab	0,021	0,008	0,10	b	0,005	0,002
FM/F0	PM1	2,47	a	0,466	0,190	3,35	a	0,967	0,395	2,86	a	0,662	0,270
18h	PM2	2,71	a	0,246	0,100	3,58	a	0,132	0,054	2,68	a	0,494	0,202
	FP1	2,19	a	0,469	0,192	3,41	a	0,330	0,135	2,61	a	0,588	0,240
	FP2	2,16	a	0,342	0,140	3,22	a	0,417	0,170	3,03	a	0,178	0,073
	FM2	2,27	a	0,158	0,064	3,56	a	0,416	0,170	2,95	a	0,559	0,228
	NR	3,81	b	0,495	0,202	3,75	a	0,236	0,096	2,79	a	0,503	0,205

- . “Mean” Média
- . “Std. Error” Erro padrão
- . “Std. Dev.” Desvio padrão
- . “Sign.” Separação de médias – as letras no topo das colunas, quando diferentes, indicam médias significativamente diferentes (*Tukey*_{0,05}).

Descriptives		13/07/06				03/08/06				22/08/06			
		Mean	sign.	Std. Dev.	Std. Error	Mean	sign	Std. Dev.	Std. Error	Mean	sign	Std. Dev.	Std. Error
FV/FM	PM1	0,75	a	0,041	0,017	0,72	a	0,134	0,055	0,79	a	0,010	0,004
6h	PM2	0,77	a	0,010	0,004	0,79	a	0,012	0,005	0,78	a	0,012	0,005
	FP1	0,73	a	0,021	0,009	0,71	a	0,058	0,024	0,78	a	0,031	0,013
	FP2	0,75	a	0,025	0,010	0,77	a	0,016	0,006	0,79	a	0,009	0,004
	FM2	0,75	a	0,010	0,004	0,76	a	0,022	0,009	0,76	a	0,029	0,012
	NR	0,75	a	0,013	0,005	0,74	a	0,075	0,031	0,78	a	0,050	0,021
t ½	PM1	121,5	a	10,23	4,18	237,3	a	82,93	33,85	175,3	a	16,96	6,92
6h	PM2	121,2	a	10,48	4,28	228,2	a	30,03	12,26	146,3	a	14,28	5,83
	FP1	142,7	a	14,46	5,90	265,7	a	90,08	36,77	181,8	a	20,55	8,39
	FP2	142,2	a	18,41	7,52	202,8	a	10,94	4,47	165,8	a	28,99	11,83
	FM2	135,0	a	5,51	2,25	240,7	a	22,75	9,29	244,7	a	126,84	51,78
	NR	142,7	a	14,46	5,90	246,5	a	45,13	18,42	179,5	a	59,97	24,48
FM	PM1	0,59	ab	0,124	0,051	0,48	a	0,142	0,058	0,93	b	0,080	0,033
6h	PM2	0,68	b	0,091	0,037	0,54	a	0,082	0,033	0,89	ab	0,050	0,020
	FP1	0,52	a	0,046	0,019	0,44	a	0,075	0,031	0,80	ab	0,124	0,050
	FP2	0,50	a	0,098	0,040	0,51	a	0,043	0,018	0,87	ab	0,084	0,034
	FM2	0,48	a	0,043	0,018	0,46	a	0,033	0,013	0,69	a	0,094	0,039
	NR	0,50	a	0,048	0,019	0,47	a	0,049	0,020	0,84	ab	0,191	0,078
Fv	PM1	0,44	ab	0,109	0,044	0,37	a	0,141	0,057	0,73	b	0,058	0,024
6h	PM2	0,52	b	0,075	0,030	0,42	a	0,067	0,027	0,69	ab	0,043	0,018
	FP1	0,38	a	0,037	0,015	0,32	a	0,071	0,029	0,62	ab	0,114	0,047
	FP2	0,38	a	0,080	0,033	0,39	a	0,038	0,016	0,69	ab	0,067	0,027
	FM2	0,36	a	0,037	0,015	0,35	a	0,035	0,014	0,53	a	0,090	0,037
	NR	0,37	a	0,039	0,016	0,35	a	0,047	0,019	0,66	ab	0,175	0,072
F0	PM1	0,15	ab	0,021	0,008	0,12	b	0,008	0,003	0,20	b	0,024	0,010
6h	PM2	0,16	b	0,017	0,007	0,12	b	0,012	0,005	0,19	ab	0,015	0,006
	FP1	0,14	ab	0,014	0,006	0,11	ab	0,000	0,000	0,18	ab	0,015	0,006
	FP2	0,13	a	0,020	0,008	0,12	b	0,008	0,003	0,18	ab	0,019	0,008
	FM2	0,12	a	0,006	0,003	0,11	ab	0,000	0,000	0,17	a	0,016	0,007
	NR	0,12	a	0,010	0,004	0,10	a	0,008	0,003	0,19	ab	0,022	0,009
FM/F0	PM1	4,05	a	0,576	0,235	4,09	a	1,192	0,486	4,68	a	0,219	0,090
6h	PM2	4,27	a	0,182	0,074	4,52	a	0,388	0,159	4,64	a	0,343	0,140
	FP1	3,85	a	0,226	0,092	4,02	a	0,684	0,279	4,52	a	0,558	0,228
	FP2	3,84	a	0,215	0,088	4,31	a	0,334	0,137	4,76	a	0,183	0,075
	FM2	3,99	a	0,166	0,068	4,18	a	0,299	0,122	4,22	a	0,564	0,230
	NR	4,07	a	0,319	0,130	4,54	a	0,230	0,094	4,47	a	0,716	0,293

- . “Mean” Média
- . “Std. Error” Erro padrão
- . “Std. Dev.” Desvio padrão
- . “Sign.” Separação de médias – as letras no topo das colunas, quando diferentes, indicam médias significativamente diferentes (*Tukey*_{0,05}).

Descriptives		13/07/06				03/08/06				22/08/06			
		Mean	sign	Std. Dev.	Std. Error	Mean	sign	Std. Dev.	Std. Error	Mean	sign	Std. Dev.	Std. Error
FV/FM	PM1	0,72	b	0,023	0,009	0,61	a	0,011	0,004	0,67	a	0,059	0,024
10h	PM2	0,72	b	0,039	0,016	0,57	a	0,035	0,014	0,66	a	0,057	0,023
	FP1	0,69	ab	0,013	0,005	0,55	a	0,034	0,014	0,63	a	0,018	0,007
	FP2	0,70	ab	0,030	0,012	0,57	a	0,086	0,035	0,62	a	0,044	0,018
	FM2	0,72	b	0,027	0,011	0,52	a	0,060	0,025	0,61	a	0,054	0,022
	NR	0,66	a	0,038	0,015	0,52	a	0,063	0,026	0,63	a	0,038	0,016
t ½	PM1	133,3	a	11,43	4,67	198,5	ab	33,53	13,69	221,2	ab	24,82	10,13
10h	PM2	133,2	a	14,20	5,80	186,7	ab	14,31	5,84	204,5	a	24,29	9,92
	FP1	157,3	a	14,17	5,78	209,3	ab	36,83	15,04	258,3	ab	45,72	18,67
	FP2	159,0	a	21,23	8,67	204,8	ab	25,60	10,45	262,8	ab	34,71	14,17
	FM2	158,7	a	24,20	9,88	225,2	b	49,52	20,22	295,3	b	60,06	24,52
	NR	140,8	a	13,72	5,60	156,2	a	29,78	12,16	232,3	ab	58,52	23,90
FM	PM1	0,55	c	0,073	0,030	0,32	c	0,026	0,011	0,50	bc	0,045	0,018
10h	PM2	0,52	bc	0,090	0,037	0,29	bc	0,031	0,013	0,54	c	0,103	0,042
	FP1	0,42	ab	0,024	0,010	0,26	ab	0,047	0,019	0,40	ab	0,034	0,014
	FP2	0,45	abc	0,072	0,029	0,23	ab	0,017	0,007	0,39	ab	0,063	0,026
	FM2	0,48	bc	0,075	0,031	0,23	a	0,022	0,009	0,35	a	0,077	0,032
	NR	0,35	a	0,050	0,020	0,24	ab	0,042	0,017	0,45	abc	0,052	0,021
Fv	PM1	0,40	c	0,063	0,026	0,19	c	0,019	0,008	0,33	bc	0,051	0,021
10h	PM2	0,37	bc	0,080	0,033	0,16	bc	0,021	0,008	0,36	c	0,097	0,040
	FP1	0,29	ab	0,021	0,009	0,14	ab	0,034	0,014	0,25	ab	0,023	0,009
	FP2	0,32	abc	0,059	0,024	0,13	ab	0,023	0,009	0,25	ab	0,054	0,022
	FM2	0,35	bc	0,066	0,027	0,12	a	0,022	0,009	0,22	a	0,064	0,026
	NR	0,23	a	0,043	0,017	0,13	ab	0,035	0,014	0,28	abc	0,048	0,020
F0	PM1	0,17	b	0,041	0,017	0,13	b	0,008	0,003	0,17	cd	0,010	0,004
10h	PM2	0,15	ab	0,016	0,007	0,12	ab	0,016	0,007	0,18	d	0,011	0,004
	FP1	0,13	a	0,006	0,003	0,11	ab	0,006	0,003	0,15	ab	0,014	0,006
	FP2	0,13	a	0,015	0,006	0,11	a	0,005	0,002	0,15	abc	0,015	0,006
	FM2	0,13	a	0,017	0,007	0,11	a	0,010	0,004	0,13	a	0,020	0,008
	NR	0,12	a	0,013	0,005	0,11	ab	0,009	0,004	0,16	bcd	0,014	0,006
FM/F0	PM1	3,31	ab	0,718	0,293	2,55	a	0,068	0,028	2,90	a	0,262	0,107
10h	PM2	3,50	ab	0,396	0,162	2,36	a	0,196	0,080	2,97	a	0,454	0,185
	FP1	3,23	ab	0,163	0,066	2,31	a	0,291	0,119	2,75	a	0,140	0,057
	FP2	3,36	ab	0,282	0,115	2,16	a	0,117	0,048	2,64	a	0,264	0,108
	FM2	3,67	b	0,273	0,111	2,16	a	0,299	0,122	2,61	a	0,389	0,159
	NR	2,95	a	0,318	0,130	2,16	a	0,270	0,110	2,73	a	0,301	0,123

- . “Mean” Média
- . “Std. Error” Erro padrão
- . “Std. Dev.” Desvio padrão
- . “Sign.” Separação de médias – as letras no topo das colunas, quando diferentes, indicam médias significativamente diferentes (*Tukey*_{0,05}).

Descriptives		13/07/06				03/08/06				22/08/06			
		Mean	sign	Std. Dev.	Std. Error	Mean	sign	Std. Dev.	Std. Error	Mean	sign	Std. Dev.	Std. Error
FV/FM	PM1	0,63	a	0,051	0,021	0,60	a	0,035	0,014	0,63	b	0,038	0,016
14h	PM2	0,57	a	0,051	0,021	0,57	a	0,070	0,028	0,60	ab	0,048	0,020
	FP1	0,59	a	0,031	0,013	0,56	a	0,032	0,013	0,60	ab	0,022	0,009
	FP2	0,58	a	0,043	0,018	0,56	a	0,036	0,015	0,57	ab	0,133	0,054
	FM2	0,55	a	0,069	0,028	0,52	a	0,079	0,032	0,57	ab	0,062	0,025
	NR	0,54	a	0,042	0,017	0,53	a	0,071	0,029	0,47	a	0,099	0,040
t ½	PM1	135,8	a	18,04	7,36	166,0	a	25,04	10,22	246,7	a	29,47	12,03
14h	PM2	136,0	a	21,97	8,97	154,5	a	18,44	7,53	228,2	a	34,78	14,20
	FP1	154,5	ab	22,16	9,05	189,2	ab	22,28	9,10	276,8	a	85,39	34,86
	FP2	147,3	ab	11,43	4,67	175,3	a	11,43	4,67	228,2	a	45,16	18,43
	FM2	170,7	b	11,43	4,67	219,5	b	20,45	8,35	265,5	a	58,05	23,70
	NR	171,7	b	14,28	5,83	186,7	ab	28,55	11,66	215,8	a	41,42	16,91
FM	PM1	0,41	b	0,056	0,023	0,31	b	0,056	0,023	0,44	a	0,078	0,032
14h	PM2	0,39	b	0,089	0,036	0,29	ab	0,053	0,022	0,39	a	0,071	0,029
	FP1	0,35	ab	0,062	0,025	0,24	ab	0,024	0,010	0,41	a	0,108	0,044
	FP2	0,32	ab	0,049	0,020	0,24	ab	0,037	0,015	0,35	a	0,085	0,035
	FM2	0,28	a	0,042	0,017	0,23	a	0,038	0,015	0,32	a	0,072	0,029
	NR	0,28	a	0,024	0,010	0,25	ab	0,042	0,017	0,41	a	0,054	0,022
Fv	PM1	0,26	b	0,052	0,021	0,19	b	0,042	0,017	0,28	a	0,065	0,027
14h	PM2	0,22	ab	0,058	0,024	0,17	ab	0,050	0,020	0,24	a	0,059	0,024
	FP1	0,21	ab	0,048	0,020	0,14	ab	0,020	0,008	0,25	a	0,071	0,029
	FP2	0,19	ab	0,036	0,015	0,14	ab	0,029	0,012	0,21	a	0,079	0,032
	FM2	0,16	a	0,040	0,016	0,12	a	0,038	0,016	0,18	a	0,058	0,024
	NR	0,15	a	0,021	0,008	0,13	ab	0,034	0,014	0,20	a	0,056	0,023
F0	PM1	0,15	a	0,010	0,004	0,12	a	0,017	0,007	0,16	ab	0,015	0,006
14h	PM2	0,16	a	0,037	0,015	0,12	a	0,008	0,003	0,15	ab	0,016	0,007
	FP1	0,14	a	0,015	0,006	0,11	a	0,006	0,003	0,16	ab	0,039	0,016
	FP2	0,13	a	0,015	0,006	0,10	a	0,010	0,004	0,15	ab	0,014	0,006
	FM2	0,13	a	0,010	0,004	0,10	a	0,004	0,002	0,14	a	0,016	0,007
	NR	0,13	a	0,020	0,008	0,11	a	0,018	0,007	0,18	b	0,032	0,013
FM/F0	PM1	2,74	b	0,360	0,147	2,53	a	0,233	0,095	2,71	a	0,293	0,120
14h	PM2	2,45	ab	0,278	0,113	2,35	a	0,382	0,156	2,52	a	0,262	0,107
	FP1	2,41	ab	0,233	0,095	2,21	a	0,146	0,059	2,51	a	0,112	0,046
	FP2	2,41	ab	0,192	0,078	2,34	a	0,260	0,106	2,43	a	0,511	0,209
	FM2	2,23	ab	0,336	0,137	2,22	a	0,401	0,164	2,29	a	0,354	0,145
	NR	2,19	a	0,304	0,124	2,21	a	0,228	0,093	2,24	a	0,105	0,043

- . “Mean” Média
- . “Std. Error” Erro padrão
- . “Std. Dev.” Desvio padrão
- . “Sign.” Separação de médias – as letras no topo das colunas, quando diferentes, indicam médias significativamente diferentes (*Tukey*_{0,05}).

ANEXO VII – Quantificação das clorofilas das folhas através do SPAD em 2005 e 2006

(SPSS Inc. 2002 SPSS for Windows, Rel. 11.5.0., Chicago)

Descriptives		29/06/05				26/07/05				24/08/05			
		Mean	sign	Std. Dev.	Std. Error	Mean	sign	Std. Dev.	Std. Error	Mean	sign	Std. Dev.	Std. Error
SPAD	PM1	31,63	bc	2,329	0,951	29,17	abc	2,954	1,206	28,43	d	3,997	1,632
	PM2	27,18	a	1,234	0,504	25,32	ab	2,930	1,196	23,52	abc	1,080	0,441
	FP1	27,62	ab	1,893	0,773	25,05	ab	2,347	0,958	21,05	a	1,801	0,735
	FP2	27,37	ab	1,662	0,679	24,63	a	3,080	1,257	22,80	ab	3,152	1,287
	FM2	31,05	abc	4,014	1,639	30,32	bc	4,297	1,754	26,57	bcd	1,661	0,678
	NR	34,82	c	2,899	1,184	31,53	c	2,233	0,912	27,52	cd	2,651	1,082

Descriptives		13/07/06				03/08/06				22/08/06			
		Mean	sign	Std. Dev.	Std. Error	Mean	sign	Std. Dev.	Std. Error	Mean	sign	Std. Dev.	Std. Error
SPAD	PM1	29,98	bc	1,968	0,803	30,63	a	1,999	0,816	30,12	bc	4,151	1,695
	PM2	25,72	ab	2,523	1,030	29,53	a	3,255	1,329	26,80	ab	2,846	1,162
	FP1	25,58	a	3,166	1,293	28,58	a	2,144	0,875	24,33	a	1,277	0,521
	FP2	27,78	ab	2,304	0,941	28,48	a	1,989	0,812	24,35	a	0,935	0,382
	FM2	29,65	abc	2,624	1,071	32,32	a	2,241	0,915	28,82	abc	2,940	1,200
	NR	33,43	c	1,882	0,768	30,93	a	2,424	0,990	31,92	c	3,609	1,473

- . “Mean” Média
- . “Std. Error” Erro padrão
- . “Std. Dev.” Desvio padrão
- . “Sign.” Separação de médias – as letras no topo das colunas, quando diferentes, indicam médias significativamente diferentes (*Tukey*_{0,05}).

ANEXO VIII – Catequinas ((+)-catequina, (-)-epicatequina, (-)-epicatequina galhato)) e procianidinas oligoméricas (B1 a B8, B2-galhato, C1) das grainhas (mg.kg⁻¹) à colheita nas modalidades em estudo em 2004, 2005 e 2006

Grainhas		2004				2005				2006			
	Trat	µg.bago ⁻¹	sig	mg.kg ⁻¹	sig	µg.bago ⁻¹	sig	mg.kg ⁻¹	sig	µg.bago ⁻¹	sig	mg.kg ⁻¹	sig
B1	PM1	126,6	a	63,0	a	78,2	a	53,8	a	223,2	a	157,4	a
	PM2	103,2	a	53,3	a	67,5	a	44,4	a	295,0	ab	196,9	a
	FP1	115,4	a	62,1	a	85,1	a	62,7	a	334,1	ab	182,7	a
	FP2	56,1	a	30,1	a	102,1	a	65,8	a	262,3	a	172,4	a
	FM2	62,1	a	28,8	a	70,6	a	41,2	a	466,5	b	249,4	a
	NR	71,4	a	44,6	a	50,9	a	46,6	a	252,4	a	168,5	a
B2	PM1	108,4	b	54,0	b	60,5	a	41,6	a	74,9	ab	52,8	a
	PM2	95,3	ab	49,3	ab	49,0	a	32,2	a	85,1	ab	56,8	a
	FP1	97,3	ab	52,4	ab	61,9	a	45,6	a	76,9	ab	42,0	a
	FP2	45,3	a	24,3	ab	76,5	a	49,3	a	57,1	a	37,5	a
	FM2	49,9	a	23,1	a	57,6	a	33,7	a	105,7	b	56,5	a
	NR	63,6	ab	39,6	ab	58,7	a	53,7	a	66,9	a	44,7	a
B3	PM1	0,00116	a	0,00058	a	0,00098	ab	0,00068	a	0,00031	a	0,00022	a
	PM2	0,00112	a	0,00058	a	0,00089	ab	0,00059	a	0,00027	a	0,00018	a
	FP1	0,00119	a	0,00064	a	0,00092	ab	0,00068	a	0,00028	a	0,00015	a
	FP2	0,00091	a	0,00049	a	0,00098	ab	0,00063	a	0,00033	a	0,00022	a
	FM2	0,00104	a	0,00048	a	0,00110	b	0,00065	a	0,00037	a	0,00020	a
	NR	0,00053	a	0,00033	a	0,00062	a	0,00056	a	0,00023	a	0,00015	a
B4	PM1	44,8	a	22,3	a	15,8	a	10,9	a	31,0	a	21,9	a
	PM2	35,0	a	18,1	a	12,6	a	8,3	a	45,3	ab	30,2	a
	FP1	41,5	a	22,3	a	15,8	a	11,6	a	43,8	ab	24,0	a
	FP2	24,0	a	12,8	a	18,6	a	12,0	a	32,9	a	21,6	a
	FM2	25,1	a	11,6	a	14,5	a	8,5	a	63,2	b	33,8	a
	NR	26,0	a	16,2	a	14,3	a	13,1	a	33,3	a	22,3	a
B5	PM1	0,0	a	0,0	a	23,6	a	16,2	a	24,1	ab	17,0	a
	PM2	6,1	a	3,2	a	15,0	a	9,9	a	28,4	ab	19,0	a
	FP1	16,2	a	8,7	a	22,5	a	16,5	a	29,1	ab	15,9	a
	FP2	14,9	a	8,0	a	26,7	a	17,2	a	22,0	a	14,5	a
	FM2	3,1	a	1,4	a	15,5	a	9,0	a	44,2	b	23,6	a
	NR	0,0	a	0,0	a	14,6	a	13,3	a	19,2	a	12,8	a
B6	PM1	2,27	a	1,13	a	0,27	a	0,18	a	1,30	a	0,92	a
	PM2	2,81	a	1,45	a	0,00	a	0,00	a	1,76	ab	1,18	a
	FP1	2,02	a	1,08	a	0,13	a	0,09	a	1,86	ab	1,02	a
	FP2	1,66	a	0,89	a	0,00	a	0,00	a	1,31	a	0,86	a
	FM2	1,92	a	0,89	a	0,09	a	0,05	a	2,26	b	1,21	a
	NR	3,59	a	2,24	a	0,00	a	0,00	a	1,21	a	0,81	a

Grainhas		2004				2005				2006			
	Trat	$\mu\text{g.bago}^{-1}$	sig	mg.kg^{-1}	sig	$\mu\text{g.bago}^{-1}$	sig	mg.kg^{-1}	sig	$\mu\text{g.bago}^{-1}$	sig	mg.kg^{-1}	sig
B7	PM1	29,04	a	14,46	a	12,60	a	8,67	a	6,80	a	4,80	a
	PM2	15,19	a	7,85	a	8,73	a	5,75	a	8,15	ab	5,44	a
	FP1	17,40	a	9,37	a	11,98	a	8,82	a	8,28	ab	4,53	a
	FP2	18,54	a	9,93	a	14,75	a	9,50	a	6,90	a	4,54	a
	FM2	15,28	a	7,07	a	10,07	a	5,88	a	13,50	b	7,22	a
	NR	8,35	a	5,21	a	8,65	a	7,92	a	9,29	ab	6,20	a
B8	PM1	1,21	a	0,60	a	1,82	a	1,25	a	2,58	a	1,82	a
	PM2	1,02	a	0,53	a	1,25	a	0,82	a	2,49	a	1,67	a
	FP1	0,00	a	0,00	a	1,87	a	1,38	a	4,39	ab	2,40	ab
	FP2	0,00	a	0,00	a	2,42	a	1,56	a	3,53	a	2,32	ab
	FM2	0,00	a	0,00	a	1,69	a	0,99	a	6,09	b	3,26	b
	NR	0,00	a	0,00	a	0,80	a	0,73	a	2,98	a	1,99	a
B2-galato	PM1	47,60	a	23,70	a	29,37	a	20,21	a	18,60	a	13,11	a
	PM2	39,24	a	20,27	a	26,47	a	17,43	a	14,56	a	9,72	a
	FP1	41,15	a	22,15	a	35,49	a	26,13	a	22,46	a	12,28	a
	FP2	20,04	a	10,73	a	41,04	a	26,43	a	18,53	a	12,18	a
	FM2	24,08	a	11,15	a	25,23	a	14,74	a	56,90	a	30,42	a
	NR	30,79	a	19,20	a	21,19	a	19,39	a	35,00	a	23,37	a
C1	PM1	17,13	a	8,53	a	14,50	a	9,98	a	11,08	a	7,81	a
	PM2	12,67	a	6,55	a	11,94	a	7,86	a	16,66	a	11,13	a
	FP1	14,35	a	7,72	a	16,31	a	12,01	a	17,52	a	9,58	a
	FP2	13,43	a	7,19	a	20,09	a	12,94	a	11,74	a	7,72	a
	FM2	10,93	a	5,06	a	12,69	a	7,42	a	20,14	a	10,77	a
	NR	6,94	a	4,33	a	12,53	a	11,46	a	13,74	a	9,17	a
(+)catequina	PM1	10,71	a	5,33	a	10,94	a	7,52	a	7,61	a	5,37	a
	PM2	9,20	a	4,75	a	9,81	a	6,46	a	8,76	a	5,85	a
	FP1	12,34	a	6,64	a	12,31	a	9,07	a	10,56	a	5,78	a
	FP2	6,94	a	3,72	a	17,09	a	11,01	a	9,88	a	6,49	a
	FM2	6,42	a	2,97	a	13,58	a	7,93	a	19,63	a	10,50	a
	NR	5,74	a	3,58	a	5,95	a	5,44	a	18,07	a	12,07	a
(-)epicatequina	PM1	17,89	ab	8,91	ab	12,33	a	8,48	a	10,14	ab	7,15	a
	PM2	15,96	ab	8,25	ab	10,19	a	6,71	a	10,99	ab	7,34	a
	FP1	21,47	b	11,56	b	12,20	a	8,98	a	8,70	a	4,76	a
	FP2	7,50	a	4,02	a	14,93	a	9,61	a	7,71	a	5,07	a
	FM2	8,12	a	3,76	a	12,98	a	7,58	a	17,44	b	9,32	a
	NR	11,52	ab	7,18	ab	11,71	a	10,72	a	13,87	ab	9,26	a
(-)-epicatequina-galato	PM1	1,53	a	0,76	a	4,70	a	3,24	a	2,43	a	1,71	a
	PM2	1,40	a	0,73	a	4,30	a	2,83	a	3,34	a	2,23	a
	FP1	1,35	a	0,73	a	5,86	a	4,31	a	4,01	a	2,19	a
	FP2	1,27	a	0,68	a	6,94	a	4,47	a	3,20	a	2,10	a
	FM2	1,92	a	0,89	a	4,78	a	2,79	a	8,54	a	4,57	a
	NR	1,16	a	0,72	a	3,43	a	3,13	a	7,65	a	5,11	a

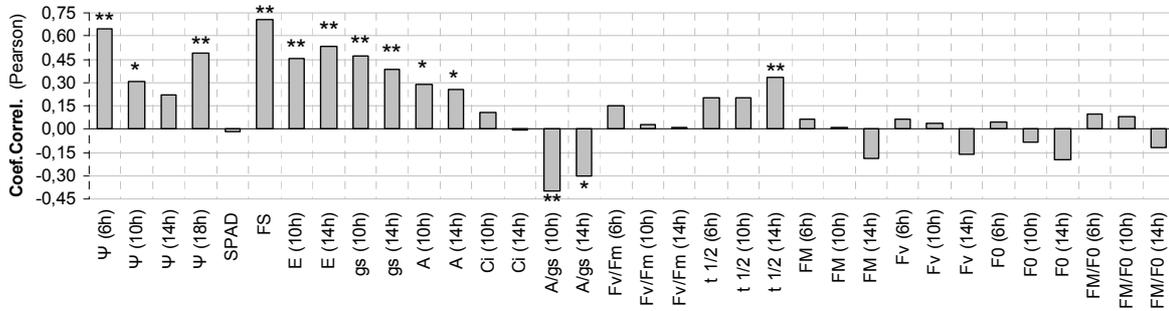
Película	Trat	2004				2005				2006			
		µg.bago ⁻¹	sig	mg.kg ⁻¹	sig	µg.bago ⁻¹	sig	mg.kg ⁻¹	sig	µg.bago ⁻¹	sig	mg.kg ⁻¹	sig
B1	PM1	10,30	a	5,13	a	0,97	a	0,67	a	19,61	ab	13,82	ab
	PM2	7,35	a	3,80	a	1,67	a	1,10	a	21,67	ab	14,47	ab
	FP1	12,51	a	6,74	a	4,05	a	2,98	a	38,14	b	20,86	b
	FP2	7,87	a	4,22	a	1,53	a	0,99	a	31,07	ab	20,42	ab
	FM2	4,67	a	2,16	a	1,97	a	1,15	a	27,82	ab	14,87	ab
	NR	3,11	a	1,94	a	0,08	a	0,07	a	14,21	a	9,49	a
B2	PM1	2,36	a	1,18	a	0,63	a	0,43	a	n.d.		n.d.	
	PM2	1,72	a	0,89	a	5,47	a	3,60	a	n.d.		n.d.	
	FP1	4,09	a	2,20	a	0,12	a	0,09	a	n.d.		n.d.	
	FP2	2,42	a	1,30	a	0,29	a	0,19	a	n.d.		n.d.	
	FM2	2,30	a	1,07	a	0,93	a	0,54	a	n.d.		n.d.	
	NR	1,92	a	1,20	a	0,28	a	0,25	a	n.d.		n.d.	
B3	PM1	n.d.		n.d.		n.d.		n.d.		0,00034	ab	0,00024	ab
	PM2	n.d.		n.d.		n.d.		n.d.		0,00041	ab	0,00027	ab
	FP1	n.d.		n.d.		n.d.		n.d.		0,00049	ab	0,00027	ab
	FP2	n.d.		n.d.		n.d.		n.d.		0,00059	b	0,00039	b
	FM2	n.d.		n.d.		n.d.		n.d.		0,00028	ab	0,00015	a
	NR	n.d.		n.d.		n.d.		n.d.		0,00024	a	0,00016	a
B4	PM1	n.d.		n.d.		0,000	a	0,000	a	6,663	ab	4,697	b
	PM2	n.d.		n.d.		0,000	a	0,000	a	4,104	a	2,740	ab
	FP1	n.d.		n.d.		0,000	a	0,000	a	4,595	a	2,513	a
	FP2	n.d.		n.d.		0,110	a	0,071	a	6,034	ab	3,966	ab
	FM2	n.d.		n.d.		0,166	a	0,097	a	8,306	b	4,441	ab
	NR	n.d.		n.d.		0,000	a	0,000	a	4,602	a	3,073	ab
B5	PM1	n.d.		n.d.		n.d.		n.d.		n.d.		n.d.	
	PM2	n.d.		n.d.		n.d.		n.d.		n.d.		n.d.	
	FP1	n.d.		n.d.		n.d.		n.d.		n.d.		n.d.	
	FP2	n.d.		n.d.		n.d.		n.d.		n.d.		n.d.	
	FM2	n.d.		n.d.		n.d.		n.d.		n.d.		n.d.	
	NR	n.d.		n.d.		n.d.		n.d.		n.d.		n.d.	
B6	PM1	n.d.		n.d.		0,059	a	0,041	a	n.d.		n.d.	
	PM2	n.d.		n.d.		0,093	a	0,061	a	n.d.		n.d.	
	FP1	n.d.		n.d.		0,016	a	0,012	a	n.d.		n.d.	
	FP2	n.d.		n.d.		0,020	a	0,013	a	n.d.		n.d.	
	FM2	n.d.		n.d.		0,035	a	0,021	a	n.d.		n.d.	
	NR	n.d.		n.d.		0,022	a	0,020	a	n.d.		n.d.	
B7	PM1	3,855	a	1,920	a	1,852	a	1,274	a	n.d.		n.d.	
	PM2	1,275	a	0,659	a	1,006	a	0,662	a	n.d.		n.d.	
	FP1	0,000	a	0,000	a	3,130	a	2,305	a	n.d.		n.d.	
	FP2	1,420	a	0,761	a	1,455	a	0,937	a	n.d.		n.d.	
	FM2	0,000	a	0,000	a	0,885	a	0,517	a	n.d.		n.d.	
	NR	0,000	a	0,000	a	0,163	a	0,149	a	n.d.		n.d.	

Grainhas		2004				2005				2006			
	Trat	$\mu\text{g.bago}^{-1}$	sig	mg.kg^{-1}	sig	$\mu\text{g.bago}^{-1}$	sig	mg.kg^{-1}	sig	$\mu\text{g.bago}^{-1}$	sig	mg.kg^{-1}	sig
B8	PM1	0,294	a	0,147	a	n.d.		n.d.		n.d.		n.d.	
	PM2	0,572	a	0,296	a	n.d.		n.d.		n.d.		n.d.	
	FP1	0,957	a	0,515	a	n.d.		n.d.		n.d.		n.d.	
	FP2	0,887	a	0,475	a	n.d.		n.d.		n.d.		n.d.	
	FM2	0,867	a	0,401	a	n.d.		n.d.		n.d.		n.d.	
	NR	0,918	a	0,572	a	n.d.		n.d.		n.d.		n.d.	
B2-galato	PM1	n.d.		n.d.		0,120	a	0,083	a	n.d.		n.d.	
	PM2	n.d.		n.d.		0,000	a	0,000	a	n.d.		n.d.	
	FP1	n.d.		n.d.		0,000	a	0,000	a	n.d.		n.d.	
	FP2	n.d.		n.d.		0,229	a	0,147	a	n.d.		n.d.	
	FM2	n.d.		n.d.		0,000	a	0,000	a	n.d.		n.d.	
	NR	n.d.		n.d.		0,000	a	0,000	a	n.d.		n.d.	
C1	PM1	0,000	a	0,000	a	0,029	a	0,020	a	n.d.		n.d.	
	PM2	0,000	a	0,000	a	0,000	a	0,000	a	n.d.		n.d.	
	FP1	0,185	a	0,100	a	0,000	a	0,000	a	n.d.		n.d.	
	FP2	0,000	a	0,000	a	0,000	a	0,000	a	n.d.		n.d.	
	FM2	0,000	a	0,000	a	0,000	a	0,000	a	n.d.		n.d.	
	NR	0,000	a	0,000	a	0,000	a	0,000	a	n.d.		n.d.	
(+) -catequina	PM1	0,000	a	0,000	a	0,253	a	0,174	a	0,920	abc	0,648	ab
	PM2	0,000	a	0,000	a	0,695	a	0,458	a	1,222	bc	0,816	b
	FP1	0,731	a	0,394	a	0,464	a	0,342	a	0,945	abc	0,517	ab
	FP2	1,124	a	0,602	a	0,376	a	0,242	a	0,435	a	0,286	a
	FM2	0,751	a	0,348	a	0,819	a	0,478	a	1,454	c	0,777	b
	NR	0,129	a	0,080	a	0,702	a	0,642	a	0,786	ab	0,525	ab
(-) -epicatequina	PM1	3,325	b	1,656	b	0,000	a	0,000	a	0,758	b	0,534	b
	PM2	0,000	a	0,000	a	0,000	a	0,000	a	0,379	a	0,253	a
	FP1	0,824	ab	0,444	ab	0,351	a	0,259	a	0,752	b	0,411	ab
	FP2	0,214	a	0,115	a	0,467	a	0,301	ab	0,368	a	0,242	a
	FM2	0,000	a	0,000	a	0,000	a	0,000	a	0,416	ab	0,223	a
	NR	0,000	a	0,000	a	1,408	a	1,288	b	0,462	ab	0,309	a
(-) -epicatequina-galhato	PM1	10,080	b	5,020	b	0,000	a	0,000	a	n.d.		n.d.	
	PM2	2,450	a	1,266	a	0,082	a	0,054	a	n.d.		n.d.	
	FP1	0,155	a	0,084	a	0,915	a	0,674	a	n.d.		n.d.	
	FP2	0,330	a	0,177	a	0,800	a	0,515	a	n.d.		n.d.	
	FM2	0,336	a	0,156	a	0,096	a	0,056	a	n.d.		n.d.	
	NR	0,176	a	0,109	a	0,089	a	0,081	a	n.d.		n.d.	

Totais		2004				2005				2006			
	Trat	$\mu\text{g.bago}^{-1}$	sig	mg.kg^{-1}	sig	$\mu\text{g.bago}^{-1}$	sig	mg.kg^{-1}	sig	$\mu\text{g.bago}^{-1}$	sig	mg.kg^{-1}	sig
PC totais grainhas	PM1	376,99	a	187,73	a	236,73	a	162,87	a	393,66	a	277,53	a
	PM2	310,58	a	160,47	a	192,45	a	126,71	a	497,38	ab	332,10	a
	FP1	345,39	a	185,94	a	251,07	a	184,88	a	538,48	ab	294,49	a
	FP2	194,05	a	103,94	a	302,19	a	194,63	a	416,26	a	273,62	a
	FM2	192,38	a	89,05	a	207,95	a	121,49	a	778,39	b	416,15	a
	NR	210,69	a	131,38	a	181,71	a	166,21	a	434,02	a	289,81	a
Cat totais grainhas	PM1	30,13	ab	15,00	ab	27,97	a	19,24	a	20,18	a	14,22	a
	PM2	26,56	ab	13,72	ab	24,30	a	16,00	a	23,08	a	15,41	a
	FP1	35,15	b	18,92	b	30,37	a	22,36	a	23,27	a	12,73	a
	FP2	15,71	a	8,42	a	38,95	a	25,09	a	20,79	a	13,66	a
	FM2	16,46	a	7,62	a	31,33	a	18,31	a	45,62	a	24,39	a
	NR	18,42	ab	11,49	ab	21,09	a	19,29	a	39,60	a	26,44	a
PC+Cat grainhas	PM1	407,12	a	202,74	a	264,70	a	182,11	a	413,84	a	291,75	a
	PM2	337,14	a	174,20	a	216,75	a	142,71	a	520,46	ab	347,51	a
	FP1	380,54	a	204,86	a	281,44	a	207,25	a	561,76	ab	307,22	a
	FP2	209,76	a	112,35	a	341,14	a	219,72	a	437,05	a	287,28	a
	FM2	208,84	a	96,67	a	239,28	a	139,80	a	824,01	b	440,54	a
	NR	229,11	a	142,87	a	202,80	a	185,51	a	473,62	a	316,25	a
PC totais películas	PM1	16,82	a	8,37	a	3,66	a	2,52	a	26,27	ab	18,52	ab
	PM2	10,92	a	5,64	a	8,24	a	5,43	a	25,77	ab	17,21	ab
	FP1	17,75	a	9,55	a	7,32	a	5,39	a	42,73	b	23,37	ab
	FP2	12,60	a	6,75	a	3,64	a	2,34	a	37,11	ab	24,39	b
	FM2	7,84	a	3,63	a	3,98	a	2,33	a	36,13	ab	19,32	ab
	NR	5,95	a	3,71	a	0,54	a	0,50	a	18,81	a	12,56	a
Cat totais películas	PM1	13,40	b	6,68	a	0,25	a	0,17	a	1,68	ab	1,18	b
	PM2	2,45	a	1,27	a	0,78	a	0,51	a	1,60	ab	1,07	ab
	FP1	1,71	a	0,92	a	1,73	a	1,27	a	1,70	b	0,93	ab
	FP2	1,67	a	0,89	a	1,64	a	1,06	a	0,80	a	0,53	a
	FM2	1,09	a	0,50	a	0,91	a	0,53	a	1,87	b	1,00	ab
	NR	0,30	a	0,19	a	2,20	a	2,01	a	1,25	ab	0,83	ab
PC+Cat películas	PM1	30,22	b	15,05	a	3,91	a	2,69	a	27,95	ab	19,70	a
	PM2	13,37	ab	6,91	a	9,02	a	5,94	a	27,37	ab	18,28	a
	FP1	19,46	ab	10,47	a	9,05	a	6,66	a	44,43	b	24,30	a
	FP2	14,27	ab	7,64	a	5,28	a	3,40	a	37,91	ab	24,92	a
	FM2	8,93	a	4,13	a	4,90	a	2,86	a	38,00	ab	20,32	a
	NR	6,25	a	3,90	a	2,74	a	2,51	a	20,06	a	13,40	a

- .. “n.d.” Não detectado
- .. “Mean” Média
- .. “Std. Error” Erro padrão
- .. “Std. Dev.” Desvio padrão.
- .. “Sign.” Separação de médias – as letras no topo das colunas, quando diferentes, indicam médias significativamente diferentes ($Tukey_{0,05}$).

ANEXO IX – Coeficientes de correlação de Pearson entre o teor de água no solo e os parâmetros fisiológicos registados



. Potencial hídrico foliar (Ψ_f , medido às 6:00, 10:00, 14:00 e 18:00)

. SPAD

. Fluxo de seiva (FS, médias diárias)

. Trocas gasosas (E, gs, A, Ci e A/gs, medidos às 10:00 e às 14:00)

. Fluorescência da clorofila *a in vivo* (Fv/Fm, t1/2, FM, Fv, F0, FM/F0, medida às 6:00, 10:00 e 14:00).