

**Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia**

**Mestrado em Engenharia Agronómica**

Dissertação

**Resposta da Casta Antão Vaz à Rega Deficitária numa  
Exploração do Baixo Alentejo**

**Kevin Ramani**

Orientador(es) | João Manuel Barroso

Alexandra Telo da Costa Trincalhetas Tomaz

Cláudia Sofia Batalha Neto

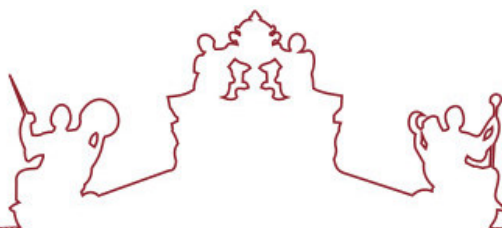
Évora 2025

---

---

---

---



---

**Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia**

**Mestrado em Engenharia Agronómica**

Dissertação

**Resposta da Casta Antão Vaz à Rega Deficitária numa  
Exploração do Baixo Alentejo**

**Kevin Ramani**

Orientador(es) | João Manuel Barroso  
Alexandra Telo da Costa Trincalhetas Tomaz  
Cláudia Sofia Batalha Neto

Évora 2025

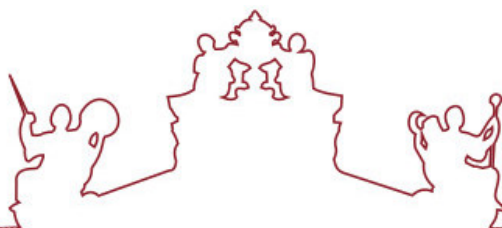
---

---

---

---

---



A dissertação foi objeto de apreciação e discussão pública pelo seguinte júri nomeado pelo Diretor da Escola de Ciências e Tecnologia:

Presidente | Carlos Manuel Rodrigues (Universidade de Évora)

Vogais | João Manuel Barroso (Universidade de Évora) (Orientador)  
Margarida Maria Vaz (Universidade de Évora) (Arguente)

## **Agradecimentos**

A concretização deste trabalho não teria sido possível sem o contributo, o apoio e o incentivo de várias pessoas e instituições, a quem expresso o meu mais profundo agradecimento.

Em primeiro lugar, à minha namorada, pelo carinho, paciência e dedicação constantes, por me ter motivando a prosseguir o curso e por ter sido um pilar fundamental ao longo de todo este percurso académico, guiando-me sempre com apoio e compreensão nos momentos mais desafiantes.

À minha mãe e irmã, pelo apoio incondicional, incentivo e força que sempre me transmitiram, e por acreditarem em mim em todos os momentos.

Aos meus orientadores, Professores Cláudia Neto, Alexandra Tomaz e João Mota Barroso, pela disponibilidade, orientação científica e ensinamentos transmitidos, que foram determinantes para o desenvolvimento deste trabalho. Agradeço-lhes pela confiança depositada, pela exigência construtiva e pelo exemplo de rigor e profissionalismo.

Aos meus amigos e companheiros de percurso universitário Tiago, Pedro Silva e Pedro Vilaça, pela amizade e companheirismo. Agradeço por termos caminhado juntos até este momento, partilhando desafios, aprendizagens e conquistas.

À Professora Anabela Amaral, pelo apoio técnico e acompanhamento nas tarefas laboratoriais, cuja colaboração foi essencial para a execução prática deste trabalho.

Ao Sr. Matias Monge, proprietário da empresa Monge & Filhas – Vinhos de Serpa Lda., pela disponibilidade em ceder a propriedade para a realização do ensaio experimental, bem como pela confiança e liberdade concedidas ao longo de todo o processo. Agradeço igualmente a toda a equipa técnica da empresa, Paulo, Acácio, João e Edgar, pela colaboração, apoio e prontidão sempre que foi necessário. Todos contribuíram de forma indispensável para o sucesso e conclusão deste trabalho, sem os quais a sua realização não teria sido possível.

Por fim, um agradecimento especial a todos os que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização e conclusão deste trabalho, com um gesto, uma palavra de incentivo ou uma ajuda prática, que em muito fizeram a diferença.

## Resumo

A escassez hídrica no Baixo Alentejo exige uma gestão eficiente da água e o estudo de castas adaptadas a climas quentes e secos, como a Antão Vaz, reconhecida pela sua rusticidade, mas pouco estudada sob diferentes disponibilidades hídricas. Este trabalho avaliou o efeito de três regimes de rega (convencional, deficitário e sequeiro) na fisiologia, produção e composição tecnológica da uva. O ensaio foi realizado em Serpa, tendo sido medidos o teor de clorofila (SPAD), as trocas gasosas (IRGA), a eficiência no uso da água (WUE) e os parâmetros produtivos e tecnológicos. Observaram-se diferenças significativas no SPAD durante o pintor, com valores mais elevados no tratamento regado, e maior WUE<sub>intr</sub> nos regimes com menor disponibilidade de água. A ausência de diferenças significativas na produção e na composição dos mostos mostra que o défice hídrico não comprometeu a produtividade nem a qualidade. Concluiu-se que a Antão Vaz apresenta elevada resiliência às condições mediterrânicas.

Palavras-Chave: Casta autóctone; Ecofisiologia; Gestão da rega; Produção; *Vitis vinífera* L.

# **Response of the Antão Vaz grapevine variety to deficit irrigation on a farm in Baixo Alentejo**

## **Abstract**

Water scarcity in the Baixo Alentejo region demands efficient water management and the study of grapevine varieties adapted to hot and dry climates, such as Antão Vaz, known for its rusticity but still little studied under different water conditions. This work evaluated the effect of three irrigation regimes (conventional, deficit and rainfed) on grapevine physiology, yield and must composition. The experiment was carried out in Serpa, where chlorophyll content (SPAD), gas exchange parameters (IRGA), water use efficiency (WUE) and productive and technological parameters were measured. Significant differences in SPAD were observed during veraison, with higher values in the irrigated treatment, and higher intrinsic water use efficiency (WUE<sub>intr</sub>) under lower water availability. The absence of significant differences in yield and must composition indicate that water deficit did not compromise productivity or quality. It was concluded that Antão Vaz shows high resilience and adaptation to Mediterranean conditions.

Keywords: Autochthonous variety; Ecophysiology; Irrigation management; Yield; *Vitis vinifera* L.

## Índice Geral

Agradecimentos .....	iii
Resumo .....	iv
Abstract.....	v
Índice de Tabelas .....	viii
Índice de Figuras .....	ix
Lista de Abreviaturas.....	xii
1. Introdução .....	1
2. Revisão da Literatura.....	4
2.1. Evolução Histórica e Importância da Viticultura .....	5
2.1.1. No Mundo .....	5
2.1.2. Em Portugal .....	6
2.2. Viticultura no Baixo Alentejo .....	6
2.2.1. Encepamento.....	6
2.2.2. Características Edafoclimáticas e Impacto das Alterações Climáticas	10
2.3. Necessidades de Água da Videira .....	13
2.3.1. Métodos de Rega .....	14
2.3.2. Conceito de Rega Deficitária e os Seus Efeitos.....	15
3. Material e Métodos .....	22
3.1. Caracterização do Local do Ensaio .....	23
3.1.1. Localização da Parcela.....	23
3.1.2. Condições Edafoclimáticas .....	24
3.1.3. Caracterização do Material Vegetal.....	26
3.1.4. Sistema de Rega Instalado .....	27
3.1.5. Operações Culturais Realizadas em 2025 .....	28
3.2. Delineamento do Ensaio .....	28
3.2.1. Organização da Parcela Experimental e Seleção das Videiras .....	28
3.2.2. Avaliação da Uniformidade do Sistema de Rega .....	30
3.2.3. Implementação dos Tratamentos de Rega .....	32
3.3. Variáveis Avaliadas e Metodologias de Medição na Casta Antão Vaz	33
3.3.1. Parâmetros Fisiológicos .....	33
3.3.2. Parâmetros de Produtividade e Qualidade Tecnológica da Uva.....	37
3.4. Processamento e Tratamento de Dados .....	40

4.	Resultados e Discussão.....	41
4.1.	Avaliação do Sistema de Rega .....	42
4.1.1.	Desempenho do Sistema.....	42
4.1.2.	Dotação Hídrica por Tratamento .....	42
4.2.	Resposta Fisiológica da Casta Antão Vaz .....	44
4.2.1.	Fenologia e Fertilidade das Videiras .....	44
4.2.2.	Teor de Clorofila (SPAD).....	47
4.2.3.	Trocas Gasosas (IRGA).....	49
4.3.	Produção e Qualidade da Uva da Casta Antão Vaz.....	54
4.3.1.	Produção por Videira e Rendimento por Hectare .....	54
4.3.2.	Composição Tecnológica do Mosto .....	60
5.	Conclusão .....	65
6.	Referências Bibliográficas.....	68
7.	Apêndices .....	80

## Índice de Tabelas

Tabela 1 – Representatividade das castas tintas e brancas na Região Vitícola Alentejo, em 2024. ....	7
Tabela 2 - Resultados da avaliação do sistema de rega na parcela de Antão Vaz.....	42
Tabela 3 - Dotação hídrica por tratamento (precipitação e rega, valores reais e efetivos). T1 – rega do agricultor; T2 – rega deficitária; T3 – sem rega. ....	43
Tabela 4 - Cronograma dos estados fenológicos principais da casta Antão Vaz (2025)	45
Tabela 5 - Carga à poda, nº de cachos por cepa e índice de fertilidade médio da casta Antão Vaz nos diferentes tratamentos (n=12). T1 – rega do agricultor; T2 – rega deficitária; T3 – sem rega. ....	46
Tabela 6 - Valores médios ( $\pm$ desvio padrão) do teor de clorofila (SPAD) em diferentes modalidades de rega (n=300) e datas na casta Antão Vaz. T1 – rega do agricultor; T2 – rega deficitária; T3 – sem rega. ....	47
Tabela 7 - Valores médios ( $\pm$ desvio padrão) da taxa líquida de assimilação de CO <sub>2</sub> (A), transpiração (E), condutância estomática (gs) em diferentes modalidades de rega (n=12) e datas na casta Antão Vaz. T1 – rega do agricultor; T2 – rega deficitária; T3 – sem rega. ....	49
Tabela 8 - Valores médios ( $\pm$ desvio padrão) da eficiência do uso da água (WUE intrínseca e instantânea) em diferentes modalidades de rega (n=12) e datas na casta Antão Vaz. T1 – rega do agricultor; T2 – rega deficitária; T3 – sem rega.....	50
Tabela 9 – Valores médios ( $\pm$ desvio padrão) do número de cachos, produção por cepa, peso médio do cacho e produção média por hectare estimada em diferentes modalidades de rega (n=12) na casta Antão Vaz. T1 – rega do agricultor; T2 – rega deficitária; T3 – sem rega. ....	55
Tabela 10 – Valore médios ( $\pm$ desvio padrão) do peso fresco de 100 bagos, volume de mosto e peso da massa (película e grainha) em diferentes modalidades de rega na casta Antão Vaz. T1 – rega do agricultor; T2 – rega deficitária; T3 – sem rega.....	57
Tabela 11 - Valores médios ( $\pm$ desvio padrão) de pH, sólidos solúveis (°Brix), álcool provável (% v/v) e acidez titulável (g L <sup>-1</sup> ) do mosto em diferentes modalidades de rega na casta Antão Vaz. T1 – rega do agricultor; T2 – rega deficitária; T3 – sem rega. .	60

## Índice de Figuras

Figura 1 – Folha e cacho de uvas da Casta Antão Vaz.....	9
Figura 2 - Classificação climática de Köppen de Portugal Continental.....	11
Figura 3 - Respostas fisiológicas e bioquímicas da videira ao défice hídrico .....	19
Figura 4 - Impacto do stress hídrico moderado e severo aplicado em diferentes fases fenológicas da videira na sua produção e desenvolvimento vegetativo .....	21
Figura 5 – Organização da vinha da Herdade Vale do Chafariz, com identificação das castas e respetivas áreas.....	23
Figura 6 - Precipitação média mensal (P mm) e temperatura média mensal (T °C) em Serpa, no período de 2020–2024 .....	24
Figura 7 - Precipitação mensal acumulada (P mm) e temperatura média mensal (T °C) em Serpa, no ano de 2025 (dados até 2 de setembro).....	25
Figura 8 - Mapa de solos da Herdade Vale do Chafariz.....	26
Figura 9 - Sistema de condução em cordão Royat unilateral .....	27
Figura 10 - Esquema da disposição dos tratamentos de rega (T1, T2 e T3) na parcela experimental da casta Antão Vaz.....	29
Figura 11 - Vista lateral da linha de videiras, com fitas sinalizadoras que marcam o início das videiras selecionadas para o ensaio (preta/amarela: 10 videiras por tratamento; branca/vermelha: 5 videiras para medições).....	29
Figura 12 - Distribuição dos pontos de medição do débito dos gotejadores na parcela experimental da casta Antão Vaz.....	30
Figura 13 - Medição do débito do gotejador com copo medidor graduado .....	31
Figura 14 - Instalação do tubo de rega sem gotejadores nos tratamentos sem rega até ao pintor e em sequeiro.....	32
Figura 15 - Bagos de uva da Casta Antão Vaz na fase de pintor (BBCH 81).....	33
Figura 16 - Frente e verso do medidor portátil SPAD-502 .....	34
Figura 17 - Consola (esquerda) e Fluorímetro (direita) do IRGA LI-6800 Portable Photosynthesis System.....	36
Figura 18 - Posicionamento do IRGA LI-6800 para medição das trocas gasosas em folhas do terço médio do sarmento.....	36
Figura 19 - Caixas de vindima identificadas segundo a codificação B(x)-T(y)-C(z) (Bloco, Tratamento, Cepa).....	38

Figura 20 - Amostras acondicionadas em sacos zip de grau alimentar, identificados segundo a codificação B(x)-T(y) .....	38
Figura 21 - Processamento laboratorial das amostras: mosto filtrado recolhido em provetas graduadas (esquerda) e fração sólida (películas e grainhas) pesada em placas de Petri previamente taradas (direita) .....	39
Figura 22 - Comparação entre uma linha (T2) de videiras debilitadas (esquerda) e uma linha de videiras saudáveis (direita), no Bloco 4 da parcela experimental (2025) ....	46
Figura 23 - Relação entre a fotossíntese líquida (A) e a condutância estomática (gs) na casta Antão Vaz .....	52
Figura 24 - Relação entre a fotossíntese líquida (A) e a transpiração (E) na casta Antão Vaz .....	53
Figura 25 - Relação entre a condutância estomática (gs) e a transpiração (E) na casta Antão Vaz .....	53
Figura 26 - Produção líquida média (kg) (n=12) por videira em diferentes modalidades de rega na casta Antão Vaz. Barras de erro representam o desvio-padrão. Valores com a mesma letra minúscula não diferem significativamente (teste Tukey, $p < 0,05$ ).....	55
Figura 27 - Peso médio do cacho (kg) (n=12) em diferentes modalidades de rega na casta Antão Vaz. Barras de erro representam o desvio-padrão. Valores com a mesma letra minúscula não diferem significativamente (teste Tukey, $p < 0,05$ ).....	56
Figura 28 - Produção média estimada por hectare ( $t\ ha^{-1}$ ) (n=12) em diferentes modalidades de rega na casta Antão Vaz. Barras de erro representam o desvio-padrão. Valores com a mesma letra minúscula não diferem significativamente (teste Tukey, $p < 0,05$ ).....	57
Figura 29 - Peso médio de 100 bagos de uva (g) (n=100) em diferentes modalidades de rega na casta Antão Vaz. Barras de erro representam o desvio-padrão. Valores com a mesma letra minúscula não diferem significativamente (teste Tukey, $p < 0,05$ ) .....	58
Figura 30 - Peso médio da massa (película + grainhas) em diferentes modalidades de rega na casta Antão Vaz. Barras de erro representam o desvio-padrão. Valores com a mesma letra minúscula não diferem significativamente (teste Tukey, $p < 0,05$ ) .....	58
Figura 31 - Volume médio de mosto (mL) em diferentes modalidades de rega na casta Antão Vaz. Barras de erro representam o desvio-padrão. Valores com a mesma letra minúscula não diferem significativamente (teste Tukey, $p < 0,05$ ).....	59

Figura 32 - Valores médios de pH do mosto em diferentes modalidades de rega na casta Antão Vaz. Barras de erro representam o desvio-padrão. Valores com a mesma letra minúscula não diferem significativamente (teste Tukey, $p < 0,05$ ).....	61
Figura 33 - Valores médios de sólidos solúveis (%Brix) em diferentes modalidades de rega na casta Antão Vaz. Barras de erro representam o desvio-padrão. Valores com a mesma letra minúscula não diferem significativamente (teste Tukey, $p < 0,05$ ) .....	61
Figura 34 - Valores médios de álcool provável (% v/v) em diferentes modalidades de rega na casta Antão Vaz. Barras de erro representam o desvio-padrão. Valores com a mesma letra minúscula não diferem significativamente (teste Tukey, $p < 0,05$ ) .....	62
Figura 35 - Valores médios de acidez titulável ( $\text{g L}^{-1}$ ) do mosto em diferentes modalidades de rega na casta Antão Vaz. Barras de erro representam o desvio-padrão. Valores com a mesma letra minúscula não diferem significativamente (teste Tukey, $p < 0,05$ ).....	63

## Lista de Abreviaturas

- ABA – Ácido abscísico
- A – Taxa líquida de assimilação de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ )
- ANOVA – Análise de variância
- ASAE – American Society of Agricultural Engineers
- CAT – Catalase
- COTR – Centro Operativo e de Tecnologia de Regadio
- CV – Coeficiente de variação
- CVq – Coeficiente de variação dos caudais
- CUDq – Coeficiente de uniformidade de distribuição dos caudais
- DGADR – Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural
- EFMA – Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva
- E – Taxa de transpiração (fluxo de vapor de água; nomenclatura internacional adotada na ecofisiologia e em aparelhos de medição de trocas gasosas, como o IRGA)
- ETc – Evapotranspiração cultural
- ET<sub>o</sub> – Evapotranspiração de referência
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations
- gs – Condutância estomática ao vapor de água
- HSD – Honest Significant Difference (teste de Tukey)
- IRGA – Infrared Gas Analyzer (Analisador Portátil de Gases por Infravermelhos)
- IVV – Instituto da Vinha e do Vinho
- NPK – Fertilizante ternário: Azoto (N), Fósforo (P) e Potássio (K)
- ns – Não significativo
- OIV – Organização Internacional da Vinha e do Vinho
- POD – Peroxidase
- PRD – Partial Rootzone Drying (Secagem Parcial da Zona Radicular)
- R<sup>2</sup> – Coeficiente de determinação
- RDI – Regulated Deficit Irrigation (Rega Deficitária Regulada)
- ROS – Espécies reativas de oxigénio
- SDI – Sustained Deficit Irrigation (Rega Deficitária Sustentada)
- SNISOLO – Sistema Nacional de Informação do Solo
- SOD – Superóxido dismutase

- SPAD – Soil Plant Analysis Development (Índice relativo de clorofila foliar)
- SPSS – Statistical Package for the Social Sciences
- WUE – Water Use Efficiency (Eficiência de uso da água)
- WUEintr – Eficiência intrínseca de uso da água
- WUEinst – Eficiência instantânea de uso da água
- $\Psi_f$  – Potencial hídrico foliar
- $\Psi_s$  – Potencial osmótico

## 1. Introdução

A viticultura é uma das atividades agrícolas mais antigas e relevantes a nível mundial, desempenhando um papel central não apenas na economia, mas também na identidade cultural de várias regiões vitivinícolas. Atualmente, a atividade vitivinícola enfrenta desafios significativos decorrentes das alterações climáticas, entre os quais se destacam o aumento das temperaturas médias, a irregularidade da precipitação e a maior frequência de secas prolongadas. Estes fenómenos, particularmente intensos no sul da Europa, afetam a fisiologia da videira e a composição da uva, com implicações diretas na qualidade do vinho. Neste contexto, a gestão eficiente da água assume um papel determinante, uma vez que tanto o défice como o excesso hídrico influenciam o equilíbrio vegetativo e produtivo da videira, comprometendo o seu rendimento e a qualidade final da produção (Cancela et al., 2016; Deloire et al., 2004).

A agricultura é responsável por 70 a 80% do consumo global de água em regiões áridas e semiáridas (FAO, 2011; Fereres & Soriano, 2007), pelo que a implementação de estratégias de rega sustentáveis é essencial para assegurar a viabilidade futura da produção agrícola. No setor vitivinícola, estratégias de rega deficitária têm demonstrado ser ferramentas eficazes para reduzir o consumo de água, controlar o crescimento vegetativo e preservar a qualidade da uva e do vinho. Quando corretamente aplicadas, permitem induzir um stress hídrico moderado que melhora a eficiência do uso da água e potencia a acumulação de compostos determinantes para a qualidade enológica (Ma et al., 2019).

A região do Alentejo ilustra de forma clara a problemática descrita nos parágrafos anteriores. Caracterizada por verões longos, quentes e secos, apresenta um défice hídrico estrutural que condiciona fortemente a viticultura. A casta branca Antão Vaz, autóctone e emblemática da sub-região da Vidigueira, destaca-se pela sua elevada tolerância ao calor e à seca, características que a tornam estratégica para a adaptação às alterações climáticas e para a preservação da identidade vitivinícola regional. Contudo, apesar da sua importância crescente desta casta, existem ainda poucos estudos que avaliem a sua resposta a diferentes regimes de disponibilidade hídrica, o que reforça a pertinência de investigações focadas no seu desempenho fisiológico, produtivo e qualitativo.

Neste enquadramento, o presente estudo teve como objetivo avaliar a resposta da casta Antão Vaz a três modalidades distintas de gestão hídrica: (i) a rega convencional praticada pelo agricultor, (ii) a ausência total de rega (sequeiro) e (iii) uma estratégia de rega deficitária regulada, em que o fornecimento de água ocorreu desde o pintor até à maturação. Através da análise de parâmetros fisiológicos (teor de clorofila e trocas gasosas), de produção (número e peso de cachos) e de qualidade da uva (composição tecnológica do

mosto), pretendeu-se compreender de que forma a disponibilidade hídrica influencia o desempenho desta casta em condições edafoclimáticas do Baixo Alentejo. A hipótese central é que a rega deficitária aplicada após o pintor poderá otimizar a eficiência do uso da água, assegurando níveis adequados de rendimento e qualidade da produção de uva, sem comprometer a sustentabilidade do recurso hídrico.

A dissertação encontra-se organizada em seis capítulos principais. Após esta Introdução, apresenta-se a Revisão da Literatura, onde são discutidos a evolução da viticultura, as características edafoclimáticas do Baixo Alentejo, a relevância da casta Antão Vaz e as estratégias de rega utilizadas na viticultura. No capítulo seguinte descrevem-se os Materiais e Métodos, incluindo a caracterização da área experimental, o delineamento do ensaio e as metodologias de avaliação executadas. Seguem-se os Resultados e Discussão, onde se analisam os efeitos das diferentes modalidades de rega, na fisiologia da videira e na quantidade e qualidade da produção. Por fim, na Conclusão sintetizam-se os principais contributos do estudo e apresentam-se perspectivas futuras para a gestão sustentável da rega na viticultura alentejana.

## **2. Revisão da Literatura**

## 2.1.Evolução Histórica e Importância da Viticultura

### 2.1.1. No Mundo

A viticultura tem origens milenares, com evidências de domesticação da videira (*Vitis vinífera* L.) datadas de cerca de 6000 a.C., na região correspondente aos atuais territórios da Geórgia, Arménia, Azerbaijão, Irão e Turquia. Investigações arqueológicas, incluindo análises químicas de resíduos em recipientes cerâmicos, evidenciam a produção de vinho no Neolítico. Com o passar dos séculos, a cultura da vinha disseminou-se por todo o Mediterrâneo, sendo impulsionada por civilizações como os Fenícios, Gregos e Romanos. Estes povos desempenharam um papel fundamental na difusão de castas e técnicas vitícolas, tendo os Romanos sido particularmente relevantes pela organização e regulamentação das práticas vitivinícolas nas regiões sob o seu controlo. A partir do século XVIII, surgiram os primeiros processos formais de delimitação de regiões vinícolas, destacando-se a região do Douro, em Portugal, como a primeira região demarcada do Mundo. No século XIX, a viticultura mundial enfrentou desafios como a filoxera, que devastou vinhedos europeus, obrigando à reestruturação do setor (Dong et al., 2023; McGovern, 2003; WinesofPortugal, 2025).

Atualmente, a vitivinicultura mundial enfrenta desafios relacionados com as alterações climáticas, mudanças nos padrões de consumo e globalização dos mercados. Em 2024, a área mundial de vinha situava-se nos 7,1 milhões de hectares, representando uma redução de 0,6% face ao ano anterior, tendência que se verifica pelo quarto ano consecutivo. Esta tendência é explicada pelo abandono de vinhas em regiões tradicionais como Espanha, China e Turquia, embora países como a Índia e a Rússia apresentem ligeiros crescimentos. A produção mundial de vinho em 2024 foi de aproximadamente 226 milhões de hectolitros, o valor mais baixo desde 1961, representando uma diminuição de cerca de 5% face a 2023. Paralelamente, o consumo mundial de vinho registou igualmente uma redução, fixando-se nos 214 milhões de hectolitros, também o valor mais baixo das últimas décadas. Apesar da diminuição generalizada na produção e no consumo, o comércio internacional de vinho manteve-se relativamente estável em 2024, com um volume de exportações de cerca de 99,8 milhões de hectolitros e um valor global de aproximadamente 36 mil milhões de euros, refletindo um preço médio de mercado de 3,60 euros por litro (IVV, 2024; OIV, 2025; ViniPortugal, 2024).

### 2.1.2. Em Portugal

Em Portugal, a viticultura tem um papel central na história e identidade nacional. A introdução da vinha no país, remonta ao período da presença fenícia e foi consolidada ao longo dos séculos pelos Gregos, Romanos e povos medievais. Durante o reinado de D. Dinis, no século XIII, a vitivinicultura foi promovida como uma atividade estruturante da economia rural, com políticas de expansão do cultivo da vinha e do comércio do vinho. Como referido anteriormente, a consagração da viticultura portuguesa foi pioneira no Mundo, tendo lugar com a demarcação da região do Douro em 1756, por iniciativa do Marquês de Pombal, que constituiu a primeira região vinícola regulamentada da Europa. Mais tarde, no século XX, com a entrada de Portugal na União Europeia, o setor vitivinícola beneficiou de apoios estruturais que permitiram a sua modernização, reconversão varietal, certificação e internacionalização (WinesofPortugal, 2025).

Em 2024, Portugal ocupou o décimo lugar mundial em área de vinha, com cerca de 173 mil hectares. A produção nacional de vinho ronda, em média, os 6 a 7 milhões de hectolitros anuais, tendo em 2024 alcançado 6,9 milhões de hectolitros, o que representa uma estabilidade face aos cinco anos anteriores. Apesar da estabilidade na produção, a área de vinha em Portugal registou uma redução de cerca de 5,1% em 2024, em linha com a tendência verificada noutros países da União Europeia. Esta contração pode estar associada a fenómenos como a substituição por outro tipo de culturas mais rentáveis e pressões de mercado (IVV, 2024; OIV, 2025). Ainda assim, a viticultura portuguesa continua a afirmar-se como um setor estratégico para a economia nacional, contribuindo para as exportações, fixação de populações em territórios rurais e preservação da paisagem e biodiversidade.

## 2.2. Viticultura no Baixo Alentejo

### 2.2.1. Encepamento

A região do Alentejo apresenta uma grande diversidade de castas autorizadas e recomendadas para a zona. A seleção varietal constitui um fator crítico para a adaptação ao contexto edafoclimático regional e às pressões impostas pelas alterações climáticas. No Baixo Alentejo, evidenciam-se castas bem adaptadas à seca, à radiação solar intensa e às elevadas temperaturas, tanto no grupo das tintas como das brancas (Gomes, 2018; IVV, 2024).

Entre as castas brancas, no Alentejo, a Antão Vaz destaca-se como a mais produzida (Tabela 1), pela sua elevada tolerância ao stress hídrico e à exposição solar, refletindo a sua boa adaptação às condições edafoclimáticas da região. Outras castas brancas de relevo incluem a Arinto, reconhecida pela sua acidez natural e persistência aromática, e a Roupeiro (também conhecida por Síria), que, embora menos resistente ao calor extremo, integra tradicionalmente os lotes brancos da região (Baioa, 2020; Cardoso, 2022; Gomes, 2018; IVV, 2024; Lopes et al., 2005).

No grupo das castas tintas, a Alicante Bouschet assume um papel central, tendo sido a casta mais cultivadas no Alentejo em 2024 (Tabela 1), provavelmente devido à sua capacidade de manter a produtividade e concentração fenólica em condições climáticas adversas. A casta Aragonez (ou Tinta Roriz) surge também entre as principais escolhas, pelas suas boas adaptações agronómicas. A Trincadeira, apesar da sua sensibilidade a doenças criptogâmicas, mostra bom desempenho em solos argilosos profundos, típicos do Baixo Alentejo. Outras variedades relevantes incluem a Touriga Nacional, cuja presença tem vindo a aumentar, e a Syrah, frequentemente utilizada para conferir estrutura e intensidade aromática aos lotes regionais (Gomes, 2018; IVV, 2024).

Na Tabela 1 pode-se observar o encepamento na região vitícola do Alentejo em 2024, referente à área total de 26.442 ha (IVV, 2024).

*Tabela 1 – Representatividade das castas tintas e brancas na Região Vitícola Alentejo, em 2024.*

<b>Casta</b>	<b>Cor</b>	<b>Encepamento (% área total)</b>
Alicante Bouschet	Tinta	17,6
Aragonez / Tinta Roriz / Tempranillo	Tinta	17,2
Trincadeira / Tinta Amarela / Trincadeira Preta	Tinta	9,4
Syrah / Shiraz	Tinta	9,0
Touriga Nacional	Tinta	6,2
Antão Vaz	Branca	5,3
Castelão / João de Santarém / Periquita	Tinta	4,1
Arinto / Pedernã	Branca	3,9
Touriga Franca	Tinta	3,3
Cabernet Sauvignon	Tinta	2,7

Síria / Roupeiro / Códega	Branca	2,5
Moreto	Tinta	1,5
Fernão Pires / Maria Gomes	Branca	1,5
Alfrocheiro / Tinta Bastardinha	Tinta	1,4
Verdelho	Branca	1,3
Petit Verdot	Tinta	1,3
Diagalves	Branca	1,1
Outras castas	-	10,7

Fonte: Adaptado de IVV, 2024

A necessidade de adaptação ao contexto climático atual tem motivado a investigação e valorização de castas autóctones com elevado potencial de resiliência. Ainda assim, algumas variedades continuam pouco estudadas, como é o caso da casta Antão Vaz, cuja importância para a viticultura alentejana e para a preservação da identidade regional reforça a necessidade de aprofundar o seu conhecimento.

#### 2.2.1.1.Casta Antão Vaz

A casta branca Antão Vaz é considerada como uma das mais representativas do Alentejo, com origem provável na sub-região da Vidigueira, onde se encontra a maior diversidade clonal e o maior número de vinhas velhas identificadas. Estudos ampelográficos indicam que não há sinónimas conhecidas para esta variedade noutras regiões, o que reforça a sua origem e a sua expressão territorial bem definida. A primeira menção oficial à casta surge na Coleção Ampelográfica de Évora, datada de 1890, embora só nas últimas décadas a casta Antão Vaz tenha conquistado um papel de destaque na vitivinicultura regional, muito por via da modernização tecnológica na produção de vinhos brancos (Baioa, 2020; Cardoso, 2022).

Do ponto de vista histórico, a origem do nome da casta está envolvida em lendas associadas à família de Luís Vaz de Camões e à relação com Vasco da Gama, figura ligada ao título de Conde da Vidigueira. Uma dessas histórias sugere que Antão Vaz de Camões, avô do poeta, teria orientado as propriedades de Vasco da Gama na região e inspirado o nome da casta. Uma outra versão mais anedótica aponta para uma expressão popular atribuída a Vasco da Gama "Antão, vaz ou não vaz!" como possível origem da designação.

Apesar da falta de confirmação histórica, estas narrativas reforçam o vínculo cultural entre a casta e a região da Vidigueira (Baioa, 2020).

A casta Antão Vaz, espécie *Vitis vinifera* L. subsp. *vinifera*, surgiu do cruzamento natural das castas Cayetana Blanca e João Domingos T, apresentando clorótipo A, típico das castas ibéricas. Morfologicamente, apresenta um pânpano de ápice aberto com margens rosadas, folhas adultas de tamanho médio, pentagonais, geralmente com cinco lóbulos e seio peciolar aberto (Figura 1), cachos médios de forma cilíndrico-cônica e bagos grandes (Figura 1), esferoidais, verde-amarelados, de película fina e polpa de consistência média. O porte da videira de Antão Vaz é prostrado a semi-ereto, com vigor médio a elevado e boa produtividade (Cunha et al., 2023; Ganesch, 2025; VCR, 2014). Relativamente às suas características de tolerância e suscetibilidade, a casta Antão Vaz apresenta baixa sensibilidade ao míldio (*Plasmopara viticola*) e ao oídio (*Erysiphe necator*), revelando, no entanto, alguma vulnerabilidade à podridão-cinzenta (*Botrytis cinerea*) e ao complexo das doenças de lenho como a esca (*Phaeomoniella chlamydospora*, *Phaeoacremonium minimum* e *Fomitiporia mediterranea*) e eutipiose (*Eutypa lata*). Prefere climas quentes e soalheiros, adaptando-se bem a solos profundos e férteis, embora sob condições de calor intenso tenda a perder acidez de forma acentuada. Do ponto de vista tecnológico, é uma casta valorizada pela produção de mostos pouco propensos à oxidação, e pela capacidade de originar vinhos encorpados, de aromas elegantes, frequentemente associados a frutos tropicais maduros e especiarias, com estrutura suficiente para envelhecimento, sobretudo quando vinificados com temperatura controlada (Cunha et al., 2023; Ganesch, 2025; VCR, 2014).



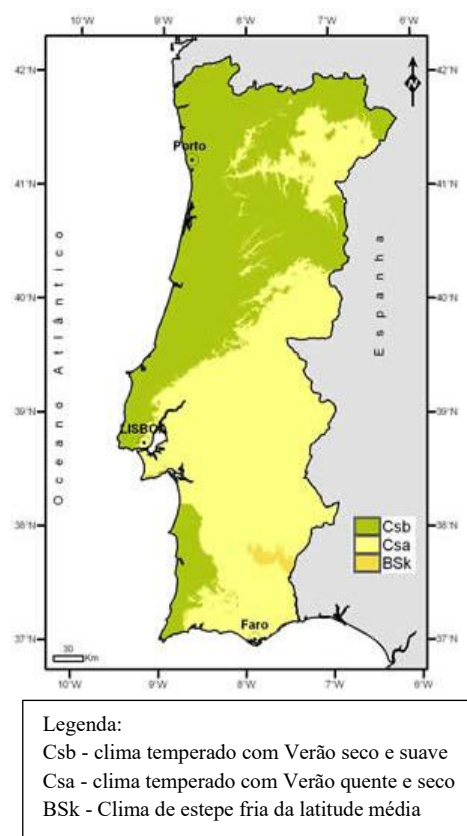
*Figura 1 – Folha e cacho de uvas da Casta Antão Vaz*

Do ponto de vista enológico, a casta Antão Vaz oferece uma notável versatilidade. Produz vinhos de cor citrina, com teor alcoólico tendencialmente moderado a elevado (12,5-13,5% vol.), estrutura robusta e bom volume de boca. Consoante a data de vindima e o estilo de vinificação, pode originar perfis aromáticos com notas de fruta tropical madura e especiarias, ou vinhos de maior frescura e mineralidade quando colhida precocemente ou fermentada em barrica. A sua aptidão para fermentações a temperatura controlada e estágio sobre borras finas reforça o seu potencial de guarda, sendo considerada uma casta branca com boa capacidade de envelhecimento (Cunha et al., 2023; Ganesch, 2025; VCR, 2014).

Atualmente, a casta Antão Vaz representa cerca de 25% dos encepamentos de castas brancas no Alentejo, com forte presença nos concelhos de Vidigueira, Cuba e Serpa. A sua predominância, embora recente, está associada à valorização comercial de vinhos brancos estruturados da região e ao reconhecimento crescente da casta em concursos e mercados internacionais (Baioa, 2020; Cardoso, 2022). Apesar do seu potencial e da sua relevância regional, os estudos específicos sobre esta variedade ainda são limitados, o que torna particularmente importante analisar as condições edafoclimáticas que moldam o seu desempenho no Baixo Alentejo.

#### 2.2.2. Características Edafoclimáticas e Impacto das Alterações Climáticas

O Baixo Alentejo, região inserida na categorização NUTS III, que engloba Concelhos como Beja, Serpa, Moura e Almodôvar, caracteriza-se maioritariamente por um clima mediterrânico, Csa na classificação de Köppen (Figura 2), com verões longos, secos e quentes, e invernos suaves e moderadamente chuvosos. As normais climatológicas para a estação de Beja (1991–2020) indicam uma temperatura média anual de 17,1 °C, com médias mínimas de inverno a rondar os 5,7 °C e máximas de verão a atingir em média 33,5 °C, podendo chegar a extremos de 45,4 °C. A precipitação média anual situa-se nos 540 mm, concentrada essencialmente nos meses de outono e inverno, registando-se valores muito reduzidos nos meses de verão, o que aumenta significativamente o risco de stress hídrico para as vinhas (IPMA, 2025; SPI, 2021).



*Figura 2 - Classificação climática de Köppen de Portugal Continental*

**Fonte:** IPMA, 2025

A região do Baixo Alentejo apresenta uma elevada diversidade edáfica, influenciada pela sua geologia e pelo clima mediterrânico seco que caracteriza a região. Nas zonas mais planas e argilosas, predominam os vertissolos, solos com elevada percentagem de argila, grande capacidade de retenção de água e comportamento expansivo-retrátil, o que condiciona o seu uso agrícola e a mecanização. Estes são comuns em áreas como Beja, Serpa ou Ferreira do Alentejo. Associados a substratos margosos e calcários, surgem os luvisolos, com textura fina a média, fertilidade moderada e bastante adequados para culturas como a vinha e o olival. Em regiões com relevo mais acidentado ou substratos xistosos, localizados sobretudo no sul e sudeste da região, dominam os leptossolos e cambissolos, solos de menor profundidade, mas com boa drenagem, utilizados tradicionalmente em sistemas de sequeiro e montado. Assim, a diversidade de classes de solo presentes no Baixo Alentejo condiciona a aptidão vitícola da região, influenciando o vigor das videiras, a escolha das castas e as estratégias de gestão cultural adotadas (DGADR, 2025; Florestas, 2022; IUSS Working Group WRB, 2015).

Para além destes fatores edafoclimáticos intrínsecos, a viticultura no Baixo Alentejo enfrenta ainda os efeitos das alterações climáticas, amplamente documentados em vários estudos, que evidenciam tendências de aumento da temperatura média, redução da precipitação anual e maior irregularidade nos padrões hídricos.

O aumento da concentração de gases com efeito de estufa, como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e óxidos de azoto (N<sub>2</sub>O), constitui a principal causa do aquecimento global. Desde o período pré-industrial, os níveis atmosféricos de CO<sub>2</sub> passaram de 280 ppm para valores superiores a 420 ppm, prevendo-se que continuem a aumentar até ao final do século. Esta alteração da composição atmosférica afeta diretamente a fisiologia da videira, modificando a atividade fotossintética, o crescimento vegetativo e a composição dos bagos, o que pode comprometer a qualidade do mosto e, consequentemente, do vinho (Blunden & Arndt, 2012; Greer & Weedon, 2013; Kizildeniz et al., 2018; Kuhn et al., 2013; Lambers et al., 2008; Long, 1991; Medrano, 2002; Meinshausen et al., 2011; Pachauri et al., 2014).

As projeções climáticas indicam que o sul da Europa será uma das regiões mais afetadas pelas alterações climáticas, com uma intensificação da aridez e da irregularidade na precipitação. No caso do Alentejo, a combinação de elevadas temperaturas, escassa precipitação e elevada evapotranspiração poderá comprometer a viabilidade da vitivinicultura em regime de sequeiro. Em oposição, regiões mais a Norte poderão experienciar um alargamento da janela fenológica favorável à maturação das uvas, embora sujeitas a novos riscos fitossanitários. Neste contexto, tornam-se decisivas medidas de adaptação, como a seleção de castas mais resilientes, técnicas de melhoramento genético, alterações na condução da videira e práticas culturais sustentáveis, como a mobilização reduzida do solo, o enrelvamento das entrelinhas e a rega deficitária controlada (Fraga et al., 2012; Fraga et al., 2013; Gomes, 2018; Kizildeniz et al., 2018; Pachauri et al., 2014).

As perspetivas futuras para o Baixo Alentejo apontam para uma redução da precipitação anual, aumento das temperaturas médias, maior número de noites tropicais, ondas de calor mais frequentes e períodos prolongados de seca. Estas alterações climáticas traduzem-se numa disponibilidade hídrica cada vez mais irregular ao longo do ciclo vegetativo da videira, afetando especialmente fases críticas como o pintor e a maturação. Tal instabilidade pode induzir desequilíbrios na relação entre açúcares e ácidos, comprometer a síntese de compostos fenólicos e reduzir o potencial aromático das uvas (Calderan et al., 2021; Cataldo et al., 2021; Kennedy et al., 2002; Lopes et al., 2011; Santillán et al., 2019; Scherrer et al., 2016).

### 2.3. Necessidades de Água da Videira

A videira é uma cultura tradicionalmente cultivada em regime de sequeiro, especialmente nas regiões de clima mediterrânico, onde o verão se caracteriza por ser longo, quente e seco. Esta condição climática, aliada à escassa precipitação durante o ciclo vegetativo, torna a disponibilidade hídrica um dos principais fatores limitantes à produção e qualidade das uvas (Lopes et al., 2001). Apesar de apresentar mecanismos de tolerância ao défice hídrico, como o desenvolvimento de sistema radicular profundo e a regulação estomática eficiente, a videira pode sofrer reduções significativas na produtividade e qualidade do fruto quando sujeita a stress hídrico severo e prolongado (Chaves et al., 2010; Schultz & Stoll, 2010).

Durante muitos anos, a rega da vinha para produção de vinho foi desincentivada na Europa, devido à perceção de que conduzia a vinhos mais diluídos, com menor teor alcoólico e fraca concentração de compostos fenólicos e aromáticos. Contudo, investigações recentes têm demonstrado que regimes de rega bem planeados, sobretudo quando aplicados de forma deficitária e controlada, podem contribuir positivamente para a sustentabilidade da produção, sem comprometer a qualidade enológica das uvas (Lopes, 2008; Ojeda et al., 2002).

A adoção crescente da rega na viticultura portuguesa, nomeadamente no Alentejo, resulta de dois fatores principais: a maior frequência de anos com verões extremamente secos, que afetam negativamente o vigor e a rentabilidade da cultura, e a necessidade de garantir uma produção estável e de qualidade perante um mercado cada vez mais competitivo. Neste contexto, a rega surge como uma ferramenta de gestão agronómica, cuja função principal é mitigar os efeitos negativos do stress hídrico e melhorar a eficiência do uso da água (Allen et al., 1998; Lopes et al., 2005; Pacheco, 2009; Tomaz & Raposo, 2016).

Ensaio realizados no sul de Portugal, em condições edafoclimáticas semelhantes às do Baixo Alentejo, demonstraram que estratégias de rega deficitária permitem manter ou até melhorar certos parâmetros de qualidade da uva, como a concentração de açúcares e compostos fenólicos, desde que aplicadas em fases estratégicas do ciclo fenológico (Lopes et al., 2001; Pacheco, 2009; Tomaz et al., 2015a). Estes resultados têm reforçado a relevância da rega como prática complementar essencial para garantir a resiliência da viticultura às alterações climáticas.

A nível fisiológico, a videira apresenta consumos hídricos moderados quando comparada com outras culturas. O seu uso sazonal de água, estimado pela evapotranspiração

da cultura (ETc), depende do clima, do solo e do vigor da copa, variando geralmente entre 300 e 600 mm em climas frescos e húmidos e 400 a 800 mm em regiões quentes e secas. O momento em que o défice hídrico ocorre é igualmente determinante: stress antes do pintor tende a limitar o crescimento do bago, enquanto após o pintor a sensibilidade da planta diminui, permitindo uma maior tolerância a défices moderados (Keller, 2020).

As castas diferem também no modo como regulam a transpiração em resposta ao défice hídrico. As isohídricas apresentam maior sensibilidade estomática, mantendo o potencial hídrico relativamente estável, ao passo que as anisohídricas mantêm maior transpiração e fotossíntese, mesmo à custa de maior descida do potencial hídrico. Entre as castas cultivadas no Alentejo, a Trincadeira e a Touriga Nacional aproximam-se do comportamento isohídrico, enquanto a Syrah é considerada anisohídrica (Keller, 2020). Esta diversidade de respostas fisiológicas explica parte da variabilidade observada nos ensaios de rega deficitária e reforça a necessidade de ajustar as estratégias de gestão da água às características de cada casta e *terroir*.

Assim, compreender os diversos métodos de rega e as estratégias deficitárias associadas constitui o passo seguinte para avaliar o seu impacto na fisiologia da videira e na qualidade da produção.

### 2.3.1. Métodos de Rega

A rega na viticultura pode assumir diferentes formas, desde métodos tradicionais, como a rega por superfície, até sistemas mais modernos, como a rega localizada. A escolha do tipo de rega depende de vários fatores, nomeadamente a disponibilidade de água, o tipo de solo, a topografia, o sistema de condução da vinha e os objetivos de produção. De um modo geral, a rega visa complementar a precipitação natural, assegurando níveis de humidade no solo compatíveis com o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo da videira, sobretudo em regiões de clima mediterrânico, onde os verões são longos e secos (COTR, 2009).

Entre os sistemas de rega por superfície, destaca-se a rega por alagamento ou por sulcos, utilizada sobretudo em terrenos planos e ainda presente em regiões vitícolas como Mendoza, na Argentina, onde se mantêm canais tradicionais de distribuição de água. Apesar da sua simplicidade e baixo custo de instalação, apresenta ineficiências significativas no uso da água, perdas por evaporação e dificuldades no controlo da dose aplicada. Em contrapartida, a rega por aspersão, mais comum em regiões com disponibilidade hídrica

abundante e aplicada pontualmente em vinhas de clima frio, como no norte de Itália, onde também serve como proteção contra geadas, permite cobrir grandes áreas com relativa uniformidade, mas potencia a perda de água por evaporação e pode favorecer o desenvolvimento de doenças fúngicas nas folhas e nos cachos (Allen et al., 1998; ArgentinaWineGuide, 2025; COTR, 2009; Davide et al., 2023). Nos sistemas mais eficientes, a rega localizada, em especial a rega por gota-a-gota, tornou-se a prática dominante em regiões vitícolas com escassez hídrica. Este sistema permite uma aplicação controlada da água junto à zona radicular da planta, reduzindo significativamente as perdas por evaporação e permitindo ajustar com precisão os volumes e a frequência da rega em função das necessidades fisiológicas da videira. Além disso, a rega gota-a-gota permite a fertirrega, isto é, a aplicação de nutrientes juntamente com a água da rega, o que contribui para uma gestão mais eficiente dos fatores de produção (Allen et al., 1998; COTR, 2009; Magalhães, 2008).

No contexto da viticultura moderna, com crescente escassez de água e exigências qualitativas do produto final, têm-se intensificado os estudos sobre estratégias de rega deficitária com o intuito de melhorar a produção e aumentar a sustentabilidade dos recursos naturais (Ojeda, 2007; Pacheco, 2009).

### 2.3.2. Conceito de Rega Deficitária e os Seus Efeitos

A rega deficitária na vinha é uma estratégia de gestão hídrica que consiste na aplicação de volumes de água inferiores às necessidades evapotranspirativas máximas da videira, de forma deliberada, com o objetivo de induzir um stress hídrico ligeiro a moderado. Esta abordagem visa modular o crescimento vegetativo, potenciar a qualidade da uva e, simultaneamente, otimizar a eficiência no uso da água, sem comprometer de forma significativa o rendimento. A sua relevância é maior em regiões de clima mediterrânico, onde a escassez de água é frequente durante o verão e as fases críticas do ciclo vegetativo da videira. A intensidade e o momento de aplicação do défice hídrico são determinantes para que os efeitos desejados se concretizem, sendo necessário um conhecimento aprofundado da fisiologia da videira e da dinâmica hídrica do solo (Chaves et al., 2010; Ferrão, 2014; Lopes, 2008).

Existem diferentes modalidades de aplicação da rega deficitária, cada uma com características específicas e impactos distintos na fisiologia da videira:

- A rega deficitária sustentada (Sustained Deficit Irrigation – SDI) mantém ao longo de todo o ciclo produtivo um fornecimento constante de água inferior às necessidades da cultura, normalmente entre 25% e 50% da evapotranspiração cultural (ETc). Esta estratégia resulta numa redução controlada do vigor vegetativo e pode aumentar a concentração de compostos fenólicos e aromáticos nas uvas, sobretudo em castas adaptadas a condições de seca (Dry & Loveys, 1998; Lopes et al., 2001; Matthews & Anderson, 1989);
- A rega deficitária controlada/regulada (Regulated Deficit Irrigation – RDI) consiste em aplicar restrições hídricas apenas em fases específicas do ciclo fenológico, tipicamente fora dos períodos críticos para a produtividade. Esta abordagem é muitas vezes utilizada para reduzir o crescimento vegetativo antes do pintor, preservando recursos hídricos para fases de maturação em que a água é mais determinante para a acumulação de açúcares e metabolitos secundários. O sucesso desta técnica depende da identificação correta das janelas de aplicação, podendo favorecer o aumento da relação folha/fruto e a melhoria da exposição dos cachos à radiação solar (Chaves et al., 2010; Girona et al., 2009; Ojeda et al., 2002).

Uma variante relevante no contexto de ensaios vitícolas é a rega após o pintor, em que a videira é mantida em regime de sequeiro durante as fases iniciais do ciclo e apenas começa a ser regada a partir do pintor até à colheita. Este regime procura aproveitar os efeitos benéficos do stress hídrico moderado na fase de crescimento dos bagos, seguido de um fornecimento hídrico que evite bloqueios de maturação e reduções excessivas de calibre, mantendo a qualidade e prevenindo quebras acentuadas de produção (Gomes, 2018; Tomaz et al., 2015b). Outra possibilidade é a rega até ao pintor, em que se assegura um fornecimento hídrico regular até ao início da mudança de cor das bagas, interrompendo-se depois completamente a rega. Este método, explorado em várias regiões vitícolas, induz um stress mais acentuado na fase final de maturação, o que pode favorecer a concentração de açúcares e compostos fenólicos, sobretudo em castas tintas, mas também aumentar o risco de redução de peso do bago e de perda de acidez em climas muito quentes (Ojeda et al., 2002);

- A secagem parcial da zona radicular (Partial Rootzone Drying – PRD) é outra abordagem, baseada na alternância da rega em diferentes metades do sistema radicular, simulando um stress hídrico parcial. Esta técnica estimula a síntese de ácido abscísico (ABA), reduz a condutância estomática e pode melhorar a eficiência

no uso da água, mantendo alguma atividade fotossintética e produtiva. Embora tecnicamente mais complexa, pode ser vantajosa em regiões onde a disponibilidade hídrica é limitada e a rega é realizada gota-a-gota (Chaves et al., 2010; Dry et al., 2001; Santos et al., 2004).

Os efeitos da rega deficitária dependem de múltiplos fatores: intensidade e duração do stress, momento de aplicação, características da casta, tipo de solo e condições climáticas. Entre os benefícios mais reportados encontram-se a redução do crescimento vegetativo excessivo, o aumento da relação folha/fruto, a melhoria da exposição dos cachos, a concentração de compostos fenólicos e aromáticos e, em alguns casos, a manutenção ou ligeiro aumento do rendimento. No entanto, uma aplicação inadequada pode levar a défices hídricos severos, com impacto negativo na fotossíntese, na síntese de metabolitos de qualidade e no volume final de produção (Lopes et al., 2011; Ohana-Levi et al., 2022; Santos et al., 2004).

A crescente escassez de água, agravada pelas alterações climáticas, reforça a importância da rega deficitária como ferramenta de gestão sustentável na viticultura. A sua adoção deve, contudo, basear-se em monitorização rigorosa do estado hídrico da planta e do solo, bem como num planeamento adaptado às condições específicas de cada vinha, garantindo o equilíbrio entre produtividade, qualidade e conservação dos recursos (Chaves et al., 2010; COTR, 2009; Gomes, 2018; Lopes, 2008; Ojeda, 2007).

#### 2.3.2.1. Respostas Fisiológicas e Bioquímicas ao Stress Hídrico

A videira é considerada uma cultura moderadamente resistente ao stress hídrico, graças a um conjunto de mecanismos fisiológicos e bioquímicos que lhe permitem adaptar-se a condições de baixa disponibilidade de água. O défice hídrico afeta prioritariamente o potencial hídrico foliar ( $\Psi_f$ ), induzindo a redução da condutância estomática ( $g_s$ ) e da taxa de transpiração, com impacto direto na fotossíntese líquida ( $A$ ). Esta resposta, amplamente documentada em diferentes cultivares e contextos climáticos, está frequentemente associada ao encerramento parcial dos estomas como estratégia de conservação hídrica (Medrano, 2002; Santos et al., 2004; Schultz & Stoll, 2009). Embora benéfica para limitar as perdas de água, a diminuição da atividade fotossintética conduz a uma menor produção de assimilados, podendo comprometer o crescimento vegetativo, o desenvolvimento dos cachos e o armazenamento de compostos de reserva (Flexas et al., 2006; Lopes et al., 2011; Van Leeuwen et al., 2018). A intensidade e o momento do stress, a duração, a casta e o sistema

de condução determinam o tipo e a magnitude da resposta (Hsiao, 2003; Lopes, 2008; Ojeda, 2007).

A videira, adaptada a ambientes mediterrânicos, aciona respostas fisiológicas e bioquímicas específicas consoante a intensidade e duração do défice hídrico no solo. Entre as alterações mais evidentes, destaca-se a redução do  $\Psi_f$ , o encerramento estomático e a consequente limitação da  $g_s$  e da  $A_n$ . Estes mecanismos visam preservar a homeostase celular e minimizar a perda de água, mas acarretam uma menor assimilação de carbono e redução da produtividade fotossintética (Chaves, 2002; Flexas, 2002; Medrano, 2002; Santos et al., 2004; Schultz, 2003).

A sinalização hormonal, especialmente via ácido abscísico (ABA), desempenha um papel central na resposta ao défice hídrico. O ABA é sintetizado predominantemente nas raízes em resposta à redução da disponibilidade hídrica, sendo transportado via xilema para as folhas, onde promove o encerramento estomático e regula a expressão génica associada à tolerância ao stress (Davies et al., 2005; Dodd, 2005; Wilkinson & Davies, 2002). Outras fitohormonas, como auxinas, citocininas, giberelinas, etileno e jasmonatos, interagem entre si, modulando o balanço entre crescimento e defesa, afetando a arquitetura da planta, o desenvolvimento radicular e a senescência foliar (Buesa et al., 2017).

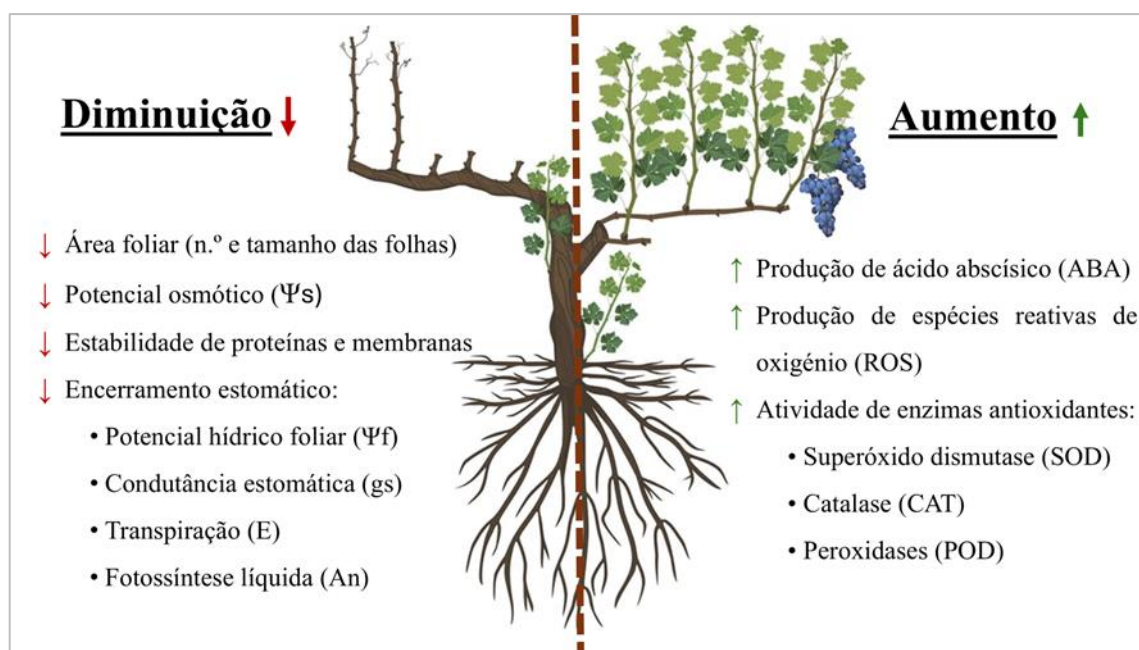
Ao nível bioquímico, as videiras sob défice hídrico acumulam solutos como prolina, manitol, glicina-betaína e açúcares solúveis, que contribuem para a manutenção do potencial osmótico ( $\Psi_s$ ) e estabilização de proteínas e membranas. Paralelamente, regista-se um aumento na atividade de enzimas antioxidantes, como a superóxido dismutase (SOD), a catalase (CAT) e as peroxidases (POD), que neutralizam espécies reativas de oxigénio (ROS) acumuladas durante o stress. Estes mecanismos protegem contra danos celulares, como peroxidação lipídica, desnaturação proteica e lesões no ADN, assegurando a funcionalidade dos organelos (Deluc et al., 2009; Hochberg et al., 2017; Keller, 2005; Santos et al., 2004).

A sensibilidade ao défice hídrico varia com o estágio fenológico. Fases vegetativas precoces podem beneficiar de um stress moderado, induzindo respostas adaptativas, enquanto fases reprodutivas críticas (vingamento, pintor e maturação) são mais vulneráveis, podendo o défice severo comprometer o desenvolvimento dos bagos e a qualidade final da produção (Cifre et al., 2005; Lopes et al., 2011; Lovisolo et al., 2010; Ojeda, 2007).

No âmbito experimental e prático, a avaliação do estado hídrico e das trocas gasosas da videira pode ser realizada através de medições com analisadores portáteis de fotossíntese, como o IRGA (Infrared Gas Analyzer), que quantifica parâmetros como a taxa de

fotossíntese, condutância estomática e transpiração, permitindo uma caracterização precisa da resposta fisiológica ao stress. Adicionalmente, o uso de medidores SPAD (Soil Plant Analysis Development) fornecem estimativas indiretas do teor relativo de clorofila nas folhas, servindo como indicador do estado nutricional e funcional do aparelho fotossintético. A integração destas ferramentas possibilita uma abordagem mais completa na monitorização do impacto da disponibilidade hídrica no desempenho fisiológico da videira (Ferrão, 2014).

As principais alterações fisiológicas e bioquímicas observadas em videiras sob défice hídrico encontram-se resumidas na Figura 3.



*Figura 3 - Respostas fisiológicas e bioquímicas da videira ao défice hídrico*

#### 2.3.2.2. Impacto da Rega Deficitária na Qualidade da Uva e do Vinho

A rega deficitária exerce influência determinante na maturação fenólica e aromática, no rendimento e na composição das uvas, refletindo-se diretamente na qualidade final do vinho. O impacto depende sobretudo da intensidade do défice hídrico e do momento em que este ocorre durante o ciclo fenológico, condicionando a síntese de compostos primários e secundários, a concentração de açúcares e ácidos orgânicos e a acumulação de metabolitos de interesse enológico (Chaves et al., 2007; Ojeda et al., 2002; Tomaz et al., 2015a).

Em condições de défice hídrico moderado e controlado, observa-se frequentemente uma redução do tamanho das bagas e consequente aumento da relação película/polpa, favorecendo a concentração de antocianinas e taninos, compostos fenólicos responsáveis pela cor, estrutura e longevidade dos vinhos tintos. O stress hídrico induz igualmente

alterações metabólicas que promovem a síntese de flavonóis e a degradação parcial de ácidos orgânicos, contribuindo para a modulação do equilíbrio açúcar/acidez (Kennedy et al., 2002; Pérez-Navarro et al., 2021; Trigo-Córdoba et al., 2014; Wang et al., 2019).

Nas castas brancas, como a Antão Vaz, o déficit hídrico controlado pode contribuir para maior concentração de precursores aromáticos e melhoria do equilíbrio açúcar/acidez, aspetos determinantes para a frescura e a expressão varietal. De forma geral, os efeitos positivos da rega deficitária tendem a ser mais evidentes quando o stress hídrico é aplicado após o pintor, fase em que a síntese de antocianinas atinge o seu máximo (Ferrão, 2014; Gomes, 2018; Keller, 2020; Tomaz et al., 2015a).

Por outro lado, défices hídricos severos ou prolongados reduzem a atividade fotossintética e limitam a acumulação de açúcares e compostos fenólicos, podendo atrasar ou mesmo bloquear a maturação. Nestes cenários, verifica-se perda de acidez, aumento do pH e degradação oxidativa de compostos de qualidade, resultando em vinhos desequilibrados e de reduzida aptidão tecnológica. Nas castas tintas, acrescenta-se ainda a maior degradação de antocianinas, que compromete a intensidade e a estabilidade da cor (Bouzas-Cid et al., 2018b; Girona et al., 2009; Matthews & Anderson, 1989; Van Leeuwen et al., 2018).

Quer a limitação severa, quer o excesso de água comprometem a qualidade, tornando necessária uma gestão criteriosa da rega para prevenir mostos diluídos ou bloqueios de maturação (Magalhães, 2008).

A síntese de compostos aromáticos é também fortemente modulada pelo regime hídrico. Compostos como terpenos, responsáveis por aromas florais e frutados; C13-norisoprenóides, associados a notas de fruta madura; e metoxipirazinas, ligadas a descritores vegetais, variam em função da disponibilidade de água. Défices moderados tendem a induzir maior concentração de precursores aromáticos, originando vinhos mais expressivos, enquanto a elevada disponibilidade hídrica durante a maturação favorece mostos mais diluídos e menos intensos aromaticamente (Des Gachons et al., 2005; Reynolds, 2010). Estes efeitos estão relacionados com a regulação fisiológica da planta e o equilíbrio vegetativo-frutificação, frequentemente controlado pela gestão da rega (Chaves et al., 2007; Santos et al., 2004).

Em termos de rendimento, défices moderados geralmente não comprometem o número de cachos ou a produção total por cepa, mas reduzem o tamanho das bagas, aumentando a concentração de sólidos solúveis e compostos fenólicos. Já os défices severos conduzem a quebras significativas de produção e a alterações profundas no perfil químico

das uvas, limitando a qualidade enológica (Kennedy et al., 2002; Kovalenko et al., 2021; Ojeda et al., 2002; Roby et al., 2004; Spayd et al., 2002). Estratégias como a rega deficitária controlada e a secagem parcial da zona radicular constituem alternativas eficazes para aumentar a eficiência no uso da água (WUE) e conciliar sustentabilidade com qualidade (Flexas et al., 2010).

A qualidade final do vinho resulta, assim, da interação entre casta, *terroir* e regime hídrico. Nas castas tintas, a rega deficitária controlada pode potenciar a intensidade da cor, a estrutura tânica e a complexidade aromática; nas castas brancas, favorece a preservação da acidez e a expressão varietal dos aromas. Em ambos os casos, a gestão criteriosa da rega constitui uma ferramenta de precisão na viticultura, permitindo otimizar a utilização da água e alinhar o perfil sensorial dos vinhos com os objetivos enológicos (Deloire et al., 2004; Lopes et al., 2011; Pellegrino et al., 2005; Trigo-Córdoba et al., 2014).

De forma a sintetizar estes efeitos, a Figura 4 apresenta um esquema dos impactos do stress hídrico moderado e severo em diferentes fases fenológicas da videira.

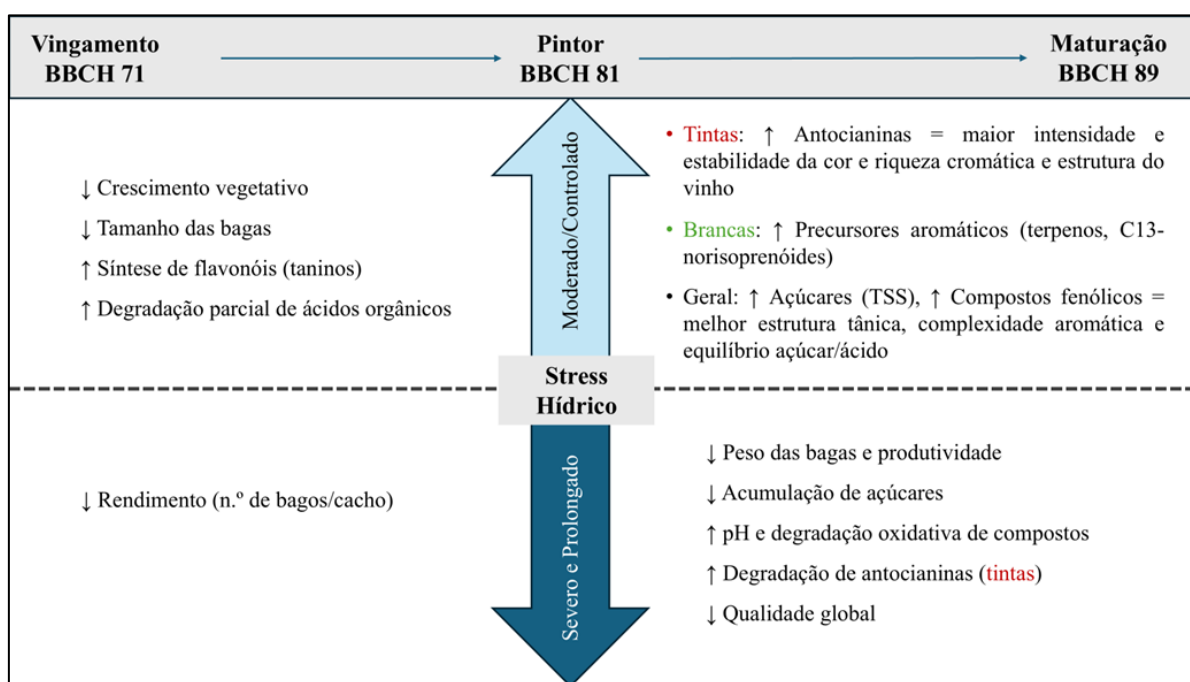


Figura 4 - Impacto do stress hídrico moderado e severo aplicado em diferentes fases fenológicas da videira na sua produção e desenvolvimento vegetativo

### **3. Material e Métodos**

### 3.1. Caracterização do Local do Ensaio

#### 3.1.1. Localização da Parcela

O ensaio experimental foi conduzido na Herdade Vale do Chafariz, propriedade da empresa *Monge e Filhas – Vinhos de Serpa, Lda.*, situada a cerca de 3 km da cidade de Serpa, no Baixo Alentejo (37°58'29.44"N; 7°36'5.98"W). A exploração possui uma área total de cerca de 38 ha, repartida entre olival (18 ha) e vinha (20 ha), onde se cultivam diversas castas tintas (Merlot, Syrah, Cabernet Sauvignon, Touriga Nacional, Petit Syrah e Alicante Bouschet) e brancas (Arinto, Antão Vaz, Chardonnay e Viognier), organizadas em talhões isolados com diferentes áreas de produção (Figura 5).

A casta Antão Vaz, utilizada no presente ensaio, encontra-se instalada na zona nordeste da herdade, em talhão contínuo com cerca de 1,25 ha. A sua localização específica dentro da exploração está assinalada na Figura 5, permitindo visualizar a delimitação do talhão utilizado no estudo.

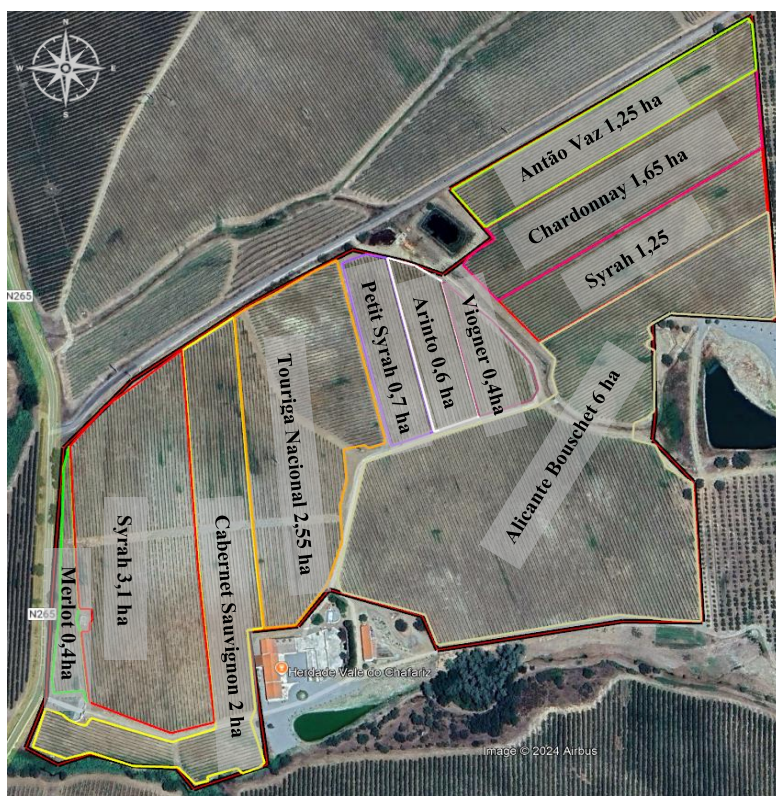


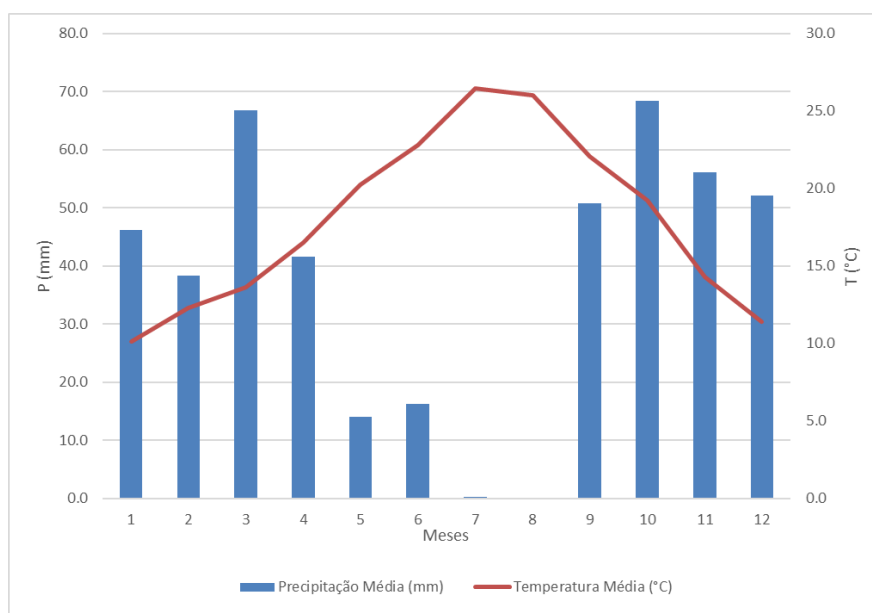
Figura 5 – Organização da vinha da Herdade Vale do Chafariz, com identificação das castas e respetivas áreas.

Fonte: Adaptado de Google Earth Pro

### 3.1.2. Condições Edafoclimáticas

- Clima

A parcela onde se realizou o ensaio encontra-se localizada em Serpa, na região do Baixo Alentejo, caracterizada por um clima mediterrânico, com verões longos, quentes e secos, e invernos curtos e chuvosos. A análise do período completo de 2020 a 2024 na estação meteorológica de Serpa, mostra uma temperatura média anual próxima dos 18 °C, com máximos absolutos próximos dos 45 °C e mínimas inferiores a –3 °C. A precipitação anual variou entre 238 mm (2023, ano mais seco) e 615 mm (2020, ano mais chuvoso), revelando forte variabilidade interanual. A evapotranspiração de referência (ET0) manteve-se sempre acima dos 1200 mm por ano, confirmando um défice hídrico estrutural característico da região. Como se pode observar na Figura 6, a média mensal de precipitação e temperatura no período de 2020 a 2024 evidencia o padrão climático típico de Serpa, com concentrações de chuva no outono/inverno e forte aridez estival (COTR, 2025).

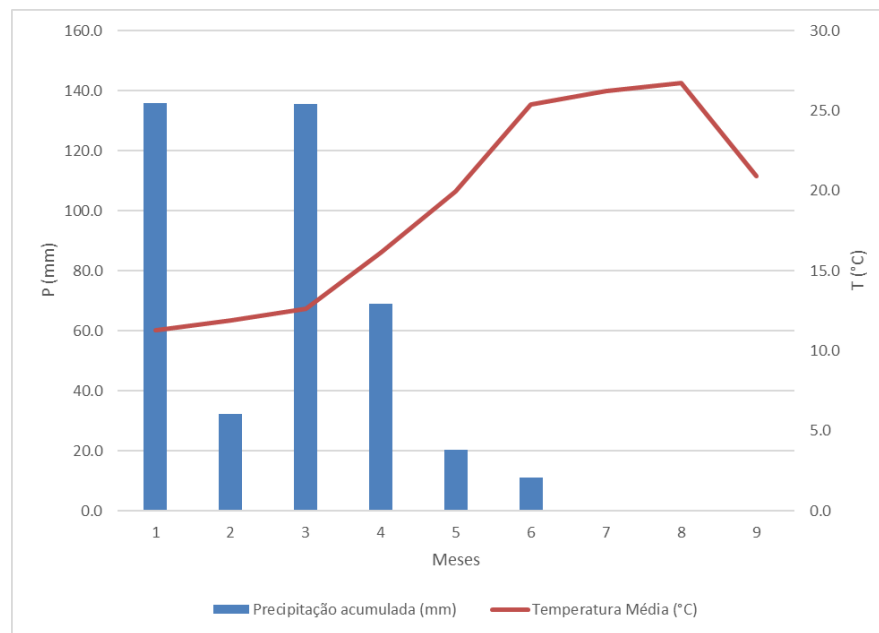


*Figura 6 - Precipitação média mensal (P mm) e temperatura média mensal (T °C) em Serpa, no período de 2020–2024*

**Fonte:** Adaptado de COTR, 2025

Em 2025, os dados disponíveis até 2 de setembro mostram uma temperatura média anual próxima dos 18 °C, em linha com o registado nos anos anteriores, mas com picos de calor superiores a 44 °C e mínimas que desceram abaixo dos 0 °C. No que respeita à precipitação, este foi o ano mais chuvoso do período analisado até essa data, com um total de 404 mm, valor superior ao observado nos mesmos meses em 2021 (388 mm), 2024 (357

mm), 2020 (330 mm), 2022 (200 mm) e 2023 (97 mm). Destaca-se ainda que a precipitação se distribuiu de forma mais prolongada durante a primavera, com totais elevados em janeiro e março, contrastando com os padrões médios dos anos anteriores. Contudo, a ausência de precipitação no verão manteve-se, reforçando o défice hídrico característico da região (Figura 7) (COTR, 2025).

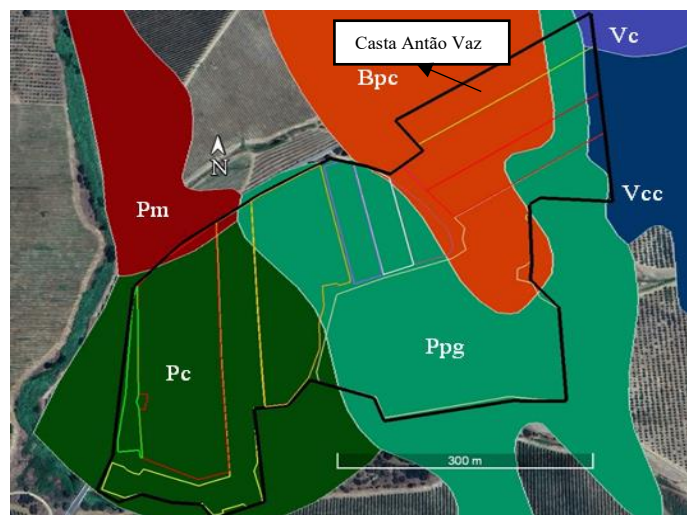


*Figura 7 - Precipitação mensal acumulada (P mm) e temperatura média mensal (T °C) em Serpa, no ano de 2025 (dados até 2 de setembro)*

**Fonte:** Adaptado de COTR, 2025

- Solo

A caracterização edáfica da exploração foi realizada com recurso ao Sistema Nacional de Informação do Solo (SNISOLO), a partir do qual foi possível identificar as diferentes classes de solo presentes na herdade (Figura 8). Verificou-se que, no talhão correspondente à casta Antão Vaz, predomina a unidade cartográfica “Bpc” - barros pretos calcários muito descarbonatados, derivados de dioritos ou gabros. Estes solos, pertencentes ao grupo dos Vertisols (IUSS Working Group WRB, 2015), apresentam uma textura muito argilosa, pH tendencialmente básico e uma boa capacidade de retenção de água, ainda que possam revelar limitações de drenagem devido à baixa permeabilidade. São considerados solos de fertilidade moderada a elevada, características que favorecem a viticultura em regiões marcadas por défice hídrico estival, como o Baixo Alentejo (Cardoso, 1965).



*Figura 8 - Mapa de solos da Herdade Vale do Chafariz*

**Fonte:** Adaptado de SNISOLO e Google Earth

### 3.1.3. Caracterização do Material Vegetal

A área experimental corresponde à casta Antão Vaz, plantada em 2013. O porta-enxerto utilizado foi o 99 *Richter*, frequentemente escolhido na região devido à sua boa adaptação a solos argilosos e à resistência moderada à seca.

A instalação da vinha seguiu um compasso de 2,80 m × 1,10 m, o que corresponde a uma densidade de cerca de 3.247 videiras ha<sup>-1</sup>, com as linhas orientadas no sentido NE–SW (~59° a partir do Norte), assegurando uma exposição solar equilibrada das copas ao longo do dia. O sistema de condução adotado é o cordão *Royat* unilateral (Figura 9), em que o braço produtivo da videira (cordão) se desenvolve apenas para um lado do tronco, mantendo-se de forma permanente ao longo dos anos, com talões de poda distribuídos regularmente ao longo do cordão.

A carga à poda foi determinada através da contagem do número de gomos deixados por videira. Com base neste valor, foi calculado o índice de fertilidade potencial, definido pela razão entre o número de cachos formados e o número de gomos deixados à poda.

A estrutura de suporte da vinha inclui quatro níveis principais: o tubo de rega, colocado a cerca de 0,50 m do solo; o primeiro arame de suporte da parreira, a aproximadamente 0,70 m; e outros dois arames superiores, situados a cerca de 1,00 m e 1,70 m, destinados à condução e estabilização dos lançamentos durante a fase vegetativa, garantindo a sustentação da folhagem e dos cachos.

Nos últimos anos, a parcela apresentou uma produtividade média de 12 t ha<sup>-1</sup>, valor que reflete a regularidade produtiva da casta nas condições edafoclimáticas do Baixo

Alentejo. Do ponto de vista fitossanitário, a vinha tem-se mantido em bom estado geral, não se registando problemas relevantes, apresentando um vigor homogéneo ao longo do talhão.



*Figura 9 - Sistema de condução em cordão Royat unilateral*

#### 3.1.4. Sistema de Rega Instalado

A exploração encontra-se equipada com um sistema de rega localizada gota-a-gota, instalado em 2013, aquando da plantação da vinha. Cada linha de videiras dispõe de uma lateral equipada com gotejadores duplos autocompensantes, espaçados a 1 m, cujo caudal não era conhecido, pelo que se procedeu posteriormente à avaliação do sistema para a sua determinação.

O tubo de rega encontra-se instalado a cerca de 0,50 m do solo, de modo a minimizar danos por roedores e a facilitar as operações culturais. O sistema é alimentado por um filtro de malha automático, que assegura a limpeza da água de rega. A pressão de funcionamento medida foi de 6,1 bar à entrada do sistema de filtragem e de 5,8–5,9 bar à saída, valores considerados adequados para o correto funcionamento dos emissores.

A rega é organizada por setores de aproximadamente 5,5 ha, pelo que a parcela de Antão Vaz não dispõe de um controlo independente, sendo regada em simultâneo com outras castas incluídas no mesmo setor.

Durante a campanha de 2025, a exploração aplicou o regime de rega habitual do produtor, correspondente a três regas semanais (às segundas, quartas e sextas-feiras), com 4 horas de duração por turno, perfazendo um total de 12 horas semanais. A determinação da

dotação de rega foi efetuada a partir do número de gotejadores por videira, do caudal médio obtido na avaliação do sistema, do número de videiras por hectare e do total de horas de rega aplicadas semanalmente.

### 3.1.5. Operações Culturais Realizadas em 2025

Durante o período experimental foram realizadas operações culturais na parcela da casta Antão Vaz que, embora não constitui objeto de avaliação direta, são apresentadas para contextualizar as condições em que decorreu o ensaio.

No total, realizaram-se oito tratamentos fitofarmacêuticos, maioritariamente dirigidos ao controlo de míldio e oídio (Apêndice A). Paralelamente, procedeu-se a uma intervenção mecânica, no dia 3 de maio, com triturador de correntes para contenção da vegetação espontânea na entrelinha.

No que respeita a nutrição das videiras, foi aplicada via fertirrega a partir de 9 de junho de 2025, o adubo ternário (NPK) líquido 16-8-4 U. A aplicação foi repartida por aproximadamente 10 turnos de rega, totalizando uma dose acumulada de cerca de 200 L ha<sup>-1</sup> ao longo da campanha.

## 3.2. Delineamento do Ensaio

### 3.2.1. Organização da Parcela Experimental e Seleção das Videiras

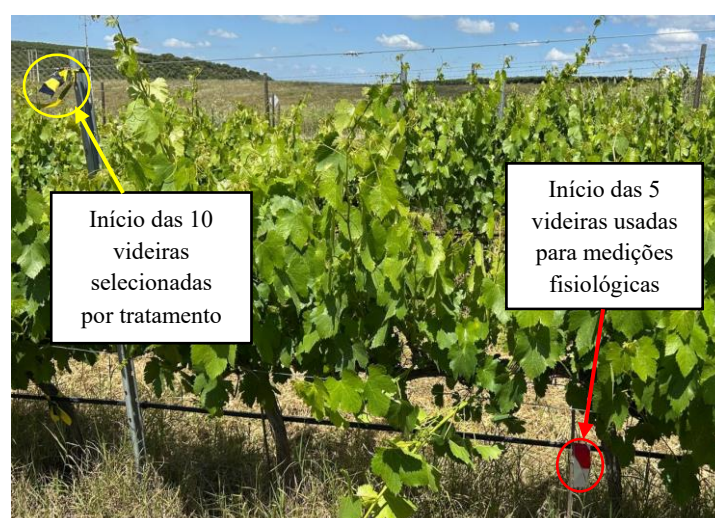
A parcela de Antão Vaz destinada ao ensaio é composta por 16 linhas de videiras. Para a instalação dos tratamentos experimentais, a área foi dividida em quatro blocos, dois localizados na parte inferior e dois na parte superior da parcela, de modo a contemplar o ligeiro declive do terreno. Para reduzir a influência de efeitos de bordadura, foram excluídas as duas linhas situadas nas extremas da parcela e as duas que confinam com a casta adjacente (Figura 10).

Foram estabelecidos três tratamentos relacionados com a rega deficitária: T1 – rega do agricultor, T2 – rega deficitária (rega após o pintor (BBCH 81 (Lorenz et al., 1995)) e T3 – sem rega (sequeiro). Os tratamentos foram distribuídos em linhas alternadas, intercaladas por linhas de separação, e organizados de forma que cada bloco contemplasse as três modalidades. Como se pode observar na Figura 10, no Bloco 1 a sequência foi T1, T2 e T3; no Bloco 2 a ordem foi T3, T1 e T2; no Bloco 3 T3, T1 e T2; e no Bloco 4 adotou-se a alternância T3, T2 e T1, garantindo a aleatorização e representatividade do ensaio.



*Figura 10 - Esquema da disposição dos tratamentos de rega (T1, T2 e T3) na parcela experimental da casta Antão Vaz.*

Em cada linha selecionada para tratamento, foram marcadas 10 videiras consecutivas, das quais apenas as 5 centrais foram utilizadas para recolha de dados, de modo a evitar interferências resultantes da manipulação dos tubos de rega ou de efeitos de bordadura. As videiras experimentais foram devidamente identificadas no campo com recurso a fitas sinalizadoras (Figura 11).



*Figura 11 - Vista lateral da linha de videiras, com fitas sinalizadoras que marcam o início das videiras selecionadas para o ensaio (preta/amarela: 10 videiras por tratamento; branca/vermelha: 5 videiras para medições)*

### 3.2.2. Avaliação da Uniformidade do Sistema de Rega

Antes da implementação dos tratamentos experimentais, foi realizada a avaliação do sistema de rega da parcela da casta Antão Vaz, de forma a verificar o caudal debitado e a uniformidade de distribuição da água.

As medições foram realizadas no dia 2 de junho de 2025, coincidindo com o início da campanha de rega da exploração. A escolha desta data deveu-se ao facto de, nesse ano, a precipitação primaveril ter ocorrido de forma mais prolongada do que o habitual, permitindo atrasar o início da rega. Assim, considerou-se relevante proceder à avaliação do sistema de rega logo no arranque da campanha, garantindo a verificação das condições de funcionamento antes da implementação dos tratamentos experimentais.

O critério de amostragem seguiu uma estratégia de cobertura sistemática: foram selecionados quatro laterais, correspondendo ao início, 1/3, 2/3 e fim da parcela. Em cada lateral, realizaram-se medições em quatro posições ao longo do ramal (início, 1/3, 2/3 e fim), permitindo contemplar possíveis variações de caudal ao longo da extensão do sistema. Em cada ponto, foram avaliados quatro gotejadores consecutivos, resultando num conjunto representativo de amostras. A Figura 12 demonstra de forma esquemática a distribuição dos pontos amostrados ao longo da parcela.



*Figura 12 - Distribuição dos pontos de medição do débito dos gotejadores na parcela experimental da casta Antão Vaz*

**Fonte:** Adaptado de Google Earth Pro

As medições foram realizadas com recurso a um copo medidor graduado (Figura 13) e a um cronómetro, recolhendo o volume de água emitido durante um minuto e convertendo os valores obtidos para litros por hora (L h<sup>-1</sup>).



*Figura 13 - Medição do débito do gotejador com copo medidor graduado*

De salientar que o sistema de rega, instalado em 2013, já apresenta vários anos de utilização, sendo sujeito a limpezas anuais para garantir a manutenção da sua eficiência. A avaliação do sistema seguiu uma simplificação dos standards definidos pela *American Society of Agricultural Engineers* (ASAE, 2003), considerando apenas a medição dos caudais dos emissores. Os resultados foram tratados em folha de cálculo disponibilizada pelos orientadores (Apêndice B), permitindo determinar o caudal médio, bem como os principais indicadores de uniformidade: o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUDq) e o coeficiente de variação dos caudais (CVq). Estes parâmetros, calculados de acordo com as fórmulas matemáticas (1) e (2), fornecem uma caracterização objetiva do desempenho do sistema de rega em termos de uniformidade de aplicação da água.

$$CUDq = \frac{\overline{q \text{ mín.}}}{\bar{q}} \times 100 \quad (1)$$

$$CVq = \frac{\sigma}{\bar{q}} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

- CUDq – Coeficiente de uniformidade de distribuição (%);
- $\overline{q \text{ mín.}}$  – Média dos caudais do quartil mínimo (L h<sup>-1</sup>);
- $\bar{q}$  – Caudal médio (L h<sup>-1</sup>);
- CVq – Coeficiente de variação dos caudais (%);
- $\sigma$  – Desvio padrão dos caudais (L h<sup>-1</sup>).

### 3.2.3. Implementação dos Tratamentos de Rega

Para a implementação dos tratamentos de rega deficitária, procedeu-se à substituição parcial do sistema de rega nas linhas correspondentes aos tratamentos T2 (rega deficitária) e T3 (sem rega). Para tal, adquiriu-se tubo de polietileno de 1/2 x 4 kg (PEGO 1/2X4KG R100 02404190053 71 M), sem gotejadores integrados, que foi instalado nas secções correspondentes às videiras seleccionadas. O tubo foi ligado ao sistema original através de uniões de 16 mm, efetuando-se um corte no tubo instalado e a ligação subsequente ao tubo cego, de modo que apenas as plantas seleccionadas ficassem privadas de rega, sem comprometer o funcionamento do restante ramal (Figura 14).

A instalação foi realizada nas 10 videiras seleccionadas em cada linha de tratamento, correspondentes a cada unidade experimental, garantindo a homogeneidade do ensaio. No total, foram substituídos aproximadamente 88 metros de tubo cego, correspondentes às 80 videiras abrangidas pelos tratamentos T2 e T3 (20 por bloco), considerando o compasso de 1,10 m entre plantas.



*Figura 14 - Instalação do tubo de rega sem gotejadores nos tratamentos sem rega até ao pintor e em sequeiro*

No dia 3 de junho de 2025, após o arranque da campanha de rega e a realização da avaliação do sistema, foram instalados tubos cegos nas linhas dos tratamentos T2 e T3, assegurando que estas plantas não recebessem água desde o início do ensaio. Este procedimento teve como objetivo garantir que as modalidades com restrição hídrica não fossem sujeitas a fornecimento de água que pudesse comprometer a validade experimental.

No tratamento T2 (rega deficitária), o tubo original com gotejadores foi reinstalado a 4 de agosto de 2025, coincidindo com a fase de pintor da casta Antão Vaz, caracterizada pelo início da translucidez das bagas e pela visibilidade das sementes (Figura 15). A partir desta data, as plantas voltaram a receber rega, assegurando a aplicação de água até à maturação.



*Figura 15 - Bagos de uva da Casta Antão Vaz na fase de pintor (BBCH 81)*

### **3.3. Variáveis Avaliadas e Metodologias de Medição na Casta Antão Vaz**

#### **3.3.1. Parâmetros Fisiológicos**

O acompanhamento da cultura incluiu observações visuais e registo fotográfico semanal da evolução do estado vegetativo e reprodutivo das videiras, complementado com medições não destrutivas em diferentes fases fenológicas. Para tal, foram utilizados dois equipamentos portáteis: o medidor de clorofila SPAD-502 (Konica Minolta, Japão), que permite estimar indiretamente o teor de clorofila foliar; e o analisador portátil de gases por infravermelhos LI-6800 (LI-COR Biosciences, EUA), utilizado para a determinação das trocas gasosas ao nível foliar. As medições foram realizadas em momentos representativos do ciclo da videira, de forma a caracterizar a resposta fisiológica da casta Antão Vaz às diferentes modalidades de rega deficitária.

- **Medição do teor de clorofila**

As medições do teor relativo de clorofila foliar foram realizadas com o medidor portátil SPAD-502 (Figura 16). Este equipamento baseia-se na medição da transmitância da

luz em dois comprimentos de onda, o vermelho (650 nm) e infravermelho próximo (940 nm), convertendo a razão entre ambos num valor numérico expresso em unidades SPAD. Estes valores correspondem a um índice relativo do conteúdo de clorofila da folha, o qual pode ser correlacionado com o estado nutricional em azoto e, em alguns casos, com o potencial produtivo da videira.



*Figura 16 - Frente e verso do medidor portátil SPAD-502*

Antes de cada campanha de medições, o equipamento foi ligado e calibrado de acordo com as instruções do fabricante, seguindo o protocolo definido para o ensaio (Apêndice C). Assegurou-se a leitura inicial em vazio (“CAL”) e a limpeza da zona de contacto. Para garantir a fiabilidade dos registos, evitaram-se folhas sobrepostas, com sintomas de doença, danos mecânicos ou áreas vazias na lâmina foliar.

Em cada videira foram seleccionadas três folhas adultas, totalmente expandidas, fisiologicamente ativas e sãs. Evitaram-se as folhas basais (em senescência) e as apicais (jovens), assegurando comparabilidade entre tratamentos. Foram realizadas cinco leituras na página superior da folha, correspondendo cada uma a um dos seus lóbulos. Avaliaram-se cinco videiras por tratamento, em três tratamentos e quatro blocos, o que correspondeu a um total de 900 leituras por data ( $5 \text{ leituras} \times 3 \text{ folhas} \times 5 \text{ plantas} \times 3 \text{ tratamentos} \times 4 \text{ blocos}$ ).

As medições decorreram no período da manhã (08h00–11h00), reduzindo a influência das variações diurnas na fotossíntese. O critério de seleção das folhas variou em função da fase fenológica (escala BBCH conforme Lorenz et al., 1995):

- 15 de maio de 2025 – floração/vingamento (BBCH 65–70): folha oposta à inflorescência superior;

- 2 de julho de 2025 – desenvolvimento dos bagos (BBCH 75–79): folhas adultas totalmente expandidas;
- 18 de agosto de 2025 – pintor avançado (BBCH 83), cerca de duas semanas após o reinício da rega no tratamento T2: folhas do terço médio do sarmento;
- 12 de setembro de 2025 – plena maturação (BBCH 89): folhas do terço médio do sarmento; a medição foi realizada poucos dias após a vindima (8 de setembro).

Todos os valores foram registados em fichas próprias e transferidos para folhas de cálculo (Excel). Em caso de leitura anómala, o equipamento emitia sinal sonoro e apresentava traços (“---”) no visor, repetindo-se a medição.

#### • **Medição das trocas gasosas**

As medições de trocas gasosas foram realizadas com recurso a um LI-6800 Portable Photosynthesis System (Figura 17), equipamento que permite determinar de forma não destrutiva a assimilação líquida de CO<sub>2</sub> e a transpiração foliar. O funcionamento baseia-se na medição dos diferenciais de CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O entre o ar de entrada e de saída de uma câmara foliar, permitindo calcular parâmetros fisiológicos fundamentais, nomeadamente a taxa líquida de assimilação de CO<sub>2</sub>, também designada por fotossíntese líquida ( $A$ ,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), a condutância estomática ao vapor de água ( $g_s$ ,  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) e a transpiração ( $E$ ,  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). A partir destes parâmetros é ainda possível determinar a eficiência de uso da água instantânea ( $\text{WUE}_{\text{inst}}$ ) e a eficiência de uso da água intrínseca ( $\text{WUE}_{\text{intr}}$ ), de acordo com as fórmulas (3) e (4).

$$\text{WUE}_{\text{inst}} = \frac{A}{E} \quad (3)$$

$$\text{WUE}_{\text{intr}} = \frac{A}{g_s} \quad (4)$$

Onde:

- $\text{WUE}_{\text{inst}}$  – Eficiência de uso da água instantânea ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$ );
- $\text{WUE}_{\text{intr}}$  – Eficiência de uso da água intrínseca ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$ );
- $A$  – Taxa líquida de assimilação de CO<sub>2</sub> ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ );
- $E$  – Transpiração ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) (nomenclatura internacional adotada na ecofisiologia e em aparelhos de medição de trocas gasosas, como o IRGA);
- $g_s$  – Condutância estomática ao vapor de água ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ).

A  $WUE_{intr}$  reflete a eficiência fisiológica da planta, uma vez que expressa a assimilação de  $CO_2$  em função da abertura estomática, enquanto a  $WUE_{inst}$  traduz a quantidade de água transpirada por cada unidade de carbono fixado, sendo fortemente influenciada pelas condições ambientais no momento da medição.



*Figura 17 - Consola (esquerda) e Fluorímetro (direita) do IRGA LI-6800 Portable Photosynthesis System*

Antes de cada medição, o sistema foi calibrado e preparado de acordo com as recomendações do fabricante, seguindo o protocolo definido para o ensaio (Apêndice C), assegurando a estabilização dos parâmetros antes do início das medições. As avaliações decorreram no período da manhã (09h00–11h00), em folhas adultas, totalmente expandidas, fisiologicamente ativas e sãs. Evitaram-se as folhas basais (em senescência) e as apicais (jovens), bem como folhas com danos mecânicos ou fitossanitários. Todas as medições incidiram sobre folhas do terço médio do sarmento, com exposição solar direta e homogênea entre tratamentos, assegurando a comparabilidade dos dados (Figura 18).



*Figura 18 - Posicionamento do IRGA LI-6800 para medição das trocas gasosas em folhas do terço médio do sarmento*

Em cada data de amostragem, foram avaliadas três folhas por tratamento em cada bloco, totalizando 36 medições por data (3 tratamentos  $\times$  4 blocos  $\times$  3 folhas). As folhas foram selecionadas de entre as cinco videiras previamente marcadas para o ensaio. Optou-se por um número inferior de medições face ao SPAD, dado que cada leitura com o IRGA é mais demorada, o que poderia alargar excessivamente a janela de medição e comprometer a fiabilidade dos resultados obtidos no período recomendado (09h00–11h00).

As avaliações foram realizadas em diferentes fases fenológicas do ciclo da casta Antão Vaz (escala BBCH Lorenz et al., 1995):

- 14 de julho de 2025 – desenvolvimento dos bagos (BBCH 75–79), em folhas adultas e completamente expandidas;
- 19 de agosto de 2025 – pintor avançado (BBCH 83), cerca de duas semanas após o reinício da rega no tratamento T1, avaliando folhas do terço médio do sarmento;
- 11 de setembro de 2025 – plena maturação (BBCH 89), avaliando folhas do terço médio do sarmento; a medição foi realizada poucos dias após a vindima (8 de setembro).

Os dados foram registados automaticamente pelo sistema e exportados em formato Excel, devidamente identificados por bloco, tratamento e data, para posterior análise estatística.

### 3.3.2. Parâmetros de Produtividade e Qualidade Tecnológica da Uva

A avaliação da produtividade e da qualidade tecnológica da uva foi realizada no dia 8 de setembro de 2025, coincidindo com a data indicada pelo produtor para a vindima mecanizada, determinada a partir do controlo de maturação. Antecipando a colheita, procedeu-se à recolha manual da produção total das cepas definidas no ensaio. Em cada tratamento foram colhidas três cepas por bloco, totalizando 36 unidades experimentais. A colheita foi efetuada com tesouras de poda, depositando-se os cachos em caixas de vindima higienizadas e identificadas segundo a codificação B(x)-T(y)-C(z) (Bloco, Tratamento, Cepa), como ilustrado na Figura 19. Todas as caixas foram pesadas individualmente numa balança, permitindo determinar a produção líquida de cada cepa e o número total de cachos colhidos, a partir dos quais se calcularam a produção média por videira, o peso médio do cacho e a extrapolação do rendimento por hectare, considerando a densidade de plantação de 3.247 videiras ha<sup>-1</sup>.



*Figura 19 - Caixas de vindima identificadas segundo a codificação B(x)-T(y)-C(z) (Bloco, Tratamento, Cepa)*

Após a pesagem, foram retiradas subamostras de 100 bagos representativos por tratamento ( $n = 12$  amostras no total), colhidos aleatoriamente de diferentes cachos e descartando bagos com sintomas de doença ou danos mecânicos. As amostras foram acondicionadas em sacos zip de grau alimentar, devidamente identificados com a codificação B(x)-T(y), conforme exemplificado na Figura 20, e mantidas em refrigeração até às análises laboratoriais, realizadas no dia 9 de setembro de 2025.



*Figura 20 - Amostras acondicionadas em sacos zip de grau alimentar, identificados segundo a codificação B(x)-T(y)*

No laboratório, cada saco foi pesado e, posteriormente, subtraída a tara correspondente. Os bagos foram esmagados manualmente e o mosto obtido filtrado através

de tecido de musseline, separando a fração líquida da sólida. O volume do mosto foi medido em provetas graduadas, enquanto a fração sólida (películas, grainhas e resíduos) foi pesada em placas de Petri previamente taradas, de modo a registrar a massa fresca separada (Figura 21).



*Figura 21 - Processamento laboratorial das amostras: mosto filtrado recolhido em provetas graduadas (esquerda) e fração sólida (películas e grainhas) pesada em placas de Petri previamente taradas (direita)*

O mosto recolhido serviu de base às análises físico-químicas de composição tecnológica, realizadas no laboratório. Foram determinados os seguintes parâmetros:

- pH, medido em potenciômetro digital (HALO™ pH PROBE FC2022, Hanna Instruments), calibrado com soluções tampão pH 4,00 e 7,00;
- Sólidos solúveis totais (°Brix) e álcool provável, determinados em refratômetro portátil digital (OPTi Duo, Bellingham + Stanley), com leituras em duplicado;
- Acidez total titulável, determinada segundo o método oficial da OIV (OIV-MA-AS313-01, Total Acidity Type I), utilizando solução de NaOH 0,05 N, indicador bromotimol azul e solução tampão pH 7 para fixação do padrão de cor. Para esta análise, 25 mL de água desgaseificada, 1 mL de indicador e 5 mL de mosto foram titulados até ao ponto de viragem, com repetição em duplicado (30 mL de água), registrando-se os volumes gastos em bureta de 25 mL.

Todas as medições foram registradas em fichas próprias e transferidas para folhas de cálculo eletrônicas (Excel), para posterior análise estatística. Em apêndice (Apêndice D) encontra-se descrito de forma detalhada o protocolo seguido para a colheita e análises laboratoriais, permitindo a consulta integral do procedimento metodológico adotado.

### 3.4. Processamento e Tratamento de Dados

O tratamento estatístico dos dados foi realizado no software IBM SPSS Statistics (versão 29.0.1.1). Os dados foram previamente organizados em folhas de cálculo e avaliados quanto aos pressupostos de normalidade, através do teste de Shapiro–Wilk, e de homogeneidade de variâncias, pelo teste de Levene.

A comparação entre tratamentos foi efetuada por meio de análises de variância (ANOVA), considerando o delineamento experimental em blocos casualizados. Sempre que se verificaram diferenças estatisticamente significativas ( $p < 0,05$ ), procedeu-se à comparação múltipla de médias através do teste de Tukey HSD.

Os resultados são apresentados sob a forma de média  $\pm$  desvio padrão. Adicionalmente, foram elaborados gráficos de dispersão no Microsoft Excel para explorar as relações entre os parâmetros de trocas gasosas (A, gs e E) obtidos com o IRGA, recorrendo ao coeficiente de determinação ( $R^2$ ) como indicador da força de associação entre variáveis.

#### **4. Resultados e Discussão**

## 4.1. Avaliação do Sistema de Rega

### 4.1.1. Desempenho do Sistema

Antes da implementação dos tratamentos experimentais, avaliou-se o desempenho do sistema de rega na parcela de Antão Vaz, de forma a confirmar a sua adequação às condições do ensaio.

O sistema de rega apresentou um caudal médio de  $1,41 \text{ L h}^{-1}$ , com um coeficiente de uniformidade de distribuição (CUDq) de 87,2% e um coeficiente de variação (CV) de 9,0% (Tabela 2), valores que, segundo as normas da ASAE (2003), correspondem a um desempenho bom e hidraulicamente aceitável para sistemas de rega em campo. Estes resultados indicam uma distribuição de água homogênea entre emissores, garantindo que as diferenças observadas entre tratamentos resultam essencialmente da estratégia de rega aplicada e não de falhas do sistema.

*Tabela 2 - Resultados da avaliação do sistema de rega na parcela de Antão Vaz.*

Parâmetro	Valor obtido	Classificação
Caudal médio ( $\text{L h}^{-1}$ )	1,41	---
Coeficiente de uniformidade (%)	87,2	Bom
Coeficiente de variação (%)	9,0	Aceitável

O trabalho de Domingues (2025), embora desenvolvido em pomares e não em vinha, segue os mesmos critérios de avaliação definidos pela ASAE (1996; 2003), servindo como referência metodológica para a interpretação dos resultados obtidos neste ensaio, realizados em condições reais de campo, onde fatores como pressão variável, declive ou pequenas perdas de carga podem afetar ligeiramente a uniformidade do sistema.

Para confirmar a homogeneidade do estado hídrico entre plantas é, contudo, recomendável complementar a avaliação hidráulica com medições fisiológicas, como a condutância estomática (gs), reconhecida como indicador fiável do estado hídrico da videira (Cifre et al., 2005; Pellegrino et al., 2005).

### 4.1.2. Dotação Hídrica por Tratamento

Conforme apresentado na Tabela 3, a precipitação total registada durante o ciclo vegetativo foi de 165,7 mm, correspondendo a uma precipitação efetiva estimada em 132,5 mm, calculada considerando 80% da precipitação real.

As dotações de rega aplicadas nos diferentes tratamentos foram estimadas a partir do caudal médio dos gotejadores ( $1,41 \text{ L h}^{-1}$ ), determinado previamente no sistema de rega, do número médio de emissores por planta (1,1 por videira) e do tempo total de rega efetuado em cada tratamento: 168 horas no T1; 60 horas no T2; e 0 horas no T3. O volume aplicado por planta foi obtido pela fórmula (5) correspondendo a  $260,6 \text{ L planta}^{-1}$  no T1 e  $93,1 \text{ L planta}^{-1}$  no T2.

$$V_{aplic} = q_{\text{médio}} \times n_{\text{gotej}} \times H \quad (5)$$

Onde:

- $V_{aplic}$  – volume de água aplicado por planta ( $\text{L planta}^{-1}$ );
- $q_{\text{médio}}$  – caudal médio do gotejador ( $\text{L H}^{-1}$ );
- $n_{\text{gotej}}$  – número de gotejadores por planta;
- $H$  - número total de horas de rega.

Considerando uma eficiência de aplicação de 90%, as quantidades efetivamente infiltradas no solo foram de  $234,5 \text{ L planta}^{-1}$  e  $83,8 \text{ L planta}^{-1}$ , respetivamente.

A conversão para lâmina de rega (mm) foi realizada considerando a área ocupada por cada videira ( $2,8 \text{ m}^2$ ), resultando em 83,8 mm para o T1 e 29,9 mm para o T2. Somando a precipitação efetiva à rega efetiva, os valores totais de água disponível ao longo do ciclo foram de 216,3 mm para o T1 (rega do agricultor), 162,4 mm para o T2 (rega até ao pintor) e 132,5 mm para o T3 (sem rega).

Em termos de volume por hectare, estas dotações correspondem aproximadamente a  $2\,163 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ,  $1\,624 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  e  $1\,325 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , respetivamente.

*Tabela 3 - Dotação hídrica por tratamento (precipitação e rega, valores reais e efetivos). T1 – rega do agricultor; T2 – rega deficitária; T3 – sem rega.*

Tratamento	Precipitação real (mm)	Precipitação efetiva (mm)	Rega total ( $\text{L planta}^{-1}$ )	Rega efetiva (L)	Rega efetiva (mm)	Água recebida pela planta (mm)
<b>T1</b>	165.7	132.5	260.6	234.5	83.8	216.3
<b>T2</b>	165.7	132.5	93.1	83.8	29.9	162.4
<b>T3</b>	165.7	132.5	0.0	0.0	0.0	132.5

Nota: O volume de rega foi calculado com base no caudal médio dos gotejadores avaliado no sistema ( $1,41 \text{ L h}^{-1}$ ), considerando 1,1 emissores por videira, compasso de  $2,80 \times 1,10 \text{ m}$ , eficiência de aplicação de 90% e um total de 168 h (T1), 60 h (T2) e 0 h (T3) de rega.

As dotações aplicadas situam-se abaixo das médias recomendadas para a região. Segundo a EDIA (2025), a dotação de referência em 2025 para a cultura da vinha na área de influência do Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva (EFMA) foi de 2 300 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, equivalente a 230 mm de água. Considerando o volume total de água recebido pela cultura, o tratamento T1 apresentou um valor próximo do valor de referência regional, enquanto T2 e T3 corresponderam a regimes com fornecimentos de água mais baixos.

De acordo com Keller (2020), o consumo hídrico anual da vinha em climas quentes e com ciclos vegetativos longos varia entre 400 e 800 mm, incluindo precipitação e rega. Os valores totais observados neste ensaio, entre 132,5 e 216.3 mm, representam uma fração substancialmente inferior a esse intervalo, refletindo a adoção deliberada de estratégias de rega deficitária controlada (RDI) adequadas às condições mediterrânicas de Serpa, onde a limitação hídrica é frequentemente usada como ferramenta de gestão da qualidade. Keller (2020) salienta que dotações reduzidas, quando aplicadas em momentos estratégicos do ciclo, podem aumentar a eficiência no uso da água (WUE) e melhorar a qualidade da uva, especialmente em castas de maior tolerância ao stress.

Assim, a dotação aplicada em T1 pode ser considerada suficiente para manter a atividade fisiológica sem stress acentuado, enquanto T2 e T3 impuseram condições de défice moderado a severo, adequadas para avaliar o impacto do stress hídrico nas respostas fisiológicas e na qualidade da uva. Este gradiente de disponibilidade de água, bem definido entre tratamentos, assegura a representatividade experimental necessária para a análise das respostas da casta Antão Vaz em contexto de rega deficitária.

## **4.2. Resposta Fisiológica da Casta Antão Vaz**

### **4.2.1. Fenologia e Fertilidade das Videiras**





#### **4.2.1.1. Evolução Fenológica**

Ao longo do ciclo vegetativo da videira realizaram-se visitas semanais à parcela experimental, acompanhadas por registos fotográficos obtidos sempre do mesmo ponto de observação. Este procedimento permitiu documentar a evolução fenológica da casta Antão Vaz, assegurando uma sequência comparável entre semanas.

Com base nestas observações foi elaborado um cronograma que sintetiza os principais estados fenológicos registados ao longo do ensaio (Tabela 4). Este registo

evidencia a progressão da videira desde a floração até à vindima, permitindo contextualizar temporalmente os resultados instrumentais e produtivos apresentados nos seguintes pontos.

*Tabela 4 - Cronograma dos estados fenológicos principais da casta Antão Vaz (2025)*

<b>Estado fenológico</b>	<b>Código BBCH</b>	<b>Data observação</b>	<b>Registo fotográfico</b>	<b>Observações</b>
Floração/alimpa	65-70	21/05/2025		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inflorescências em plena floração e início do vingamento dos frutos.</li> </ul>
Desenvolvimento dos bagos	75-79	04/06/2025		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bagos em crescimento ativo.</li> </ul>
Pintor	81-83	09/08/2025		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Início da mudança de cor;</li> <li>• Polpa começa a ficar translúcida e as sementes visíveis.</li> </ul>
Maturação	89	08/09/2025		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bagos maduros e prontos para a colheita.</li> </ul>

As fotografias revelaram de forma clara a progressão dos diferentes estados fenológicos, ilustrando a sequência de crescimento e maturação da videira. Contudo, não se observaram diferenças visuais relevantes entre as três modalidades de rega testadas,

reforçando a necessidade de medições instrumentais e análises quantitativas para caracterizar os efeitos da rega deficitária.

Durante as visitas de campo foi identificada uma situação de heterogeneidade localizada no Bloco 4, correspondente ao tratamento T2; observaram-se videiras com vigor reduzido e sintomas de debilidade face às restantes plantas. Na Figura 22, à esquerda, a linha de videiras debilitadas e, à direita, uma linha de videiras saudáveis, evidenciando esta distinção.



Figura 22 - Comparação entre uma linha (T2) de videiras debilitadas (esquerda) e uma linha de videiras saudáveis (direita), no Bloco 4 da parcela experimental (2025)

#### 4.2.1.2. Índice de Fertilidade da Videira

O número médio de gomos por vara variou entre  $12,00 \pm 1,54$  (T3 – sem rega) e  $14,00 \pm 3,49$  (T2 – rega deficitária), sem diferenças estatisticamente significativas entre tratamentos ( $p > 0,05$ ). O número de cachos por cepa apresentou valores entre  $19,33 \pm 6,23$  (T2) e  $24,25 \pm 9,54$  (T1), também sem diferenças significativas ( $p > 0,05$ ). O índice de fertilidade, calculado pela razão entre o número de cachos e o número de gomos, variou entre  $1,50 \pm 0,67$  (T2) e  $1,94 \pm 0,76$  (T1), não apresentando diferenças estatisticamente relevantes ( $p = 0,294$ ).

Tabela 5 - Carga à poda, n° de cachos por cepa e índice de fertilidade médio da casta Antão Vaz nos diferentes tratamentos (n=12). T1 – rega do agricultor; T2 – rega deficitária; T3 – sem rega.

Tratamento	Gomos/cepa	Cachos/cepa	Índice de fertilidade
T1	$12,58 \pm 1,88$ a	$24,25 \pm 9,54$ a	$1,94 \pm 0,76$ a
T2	$14,00 \pm 3,49$ a	$19,33 \pm 6,23$ a	$1,50 \pm 0,67$ a
T3	$12,00 \pm 1,54$ a	$22,00 \pm 8,26$ a	$1,84 \pm 0,69$ a
Significância	ns	ns	ns
Valores com a mesma letra minúscula na mesma coluna não diferem significativamente (teste Tukey, $p < 0,05$ ); ns → Não significativo			

A semelhança entre tratamentos indica que as videiras iniciaram o ciclo com um potencial produtivo equivalente. Assim, por não se verificarem diferenças significativas nestes parâmetros, o fator de variância foi considerado uniforme, sendo excluído das análises seguintes focadas nos efeitos da rega sobre os restantes parâmetros avaliados.

#### 4.2.2. Teor de Clorofila (SPAD)

A medição do teor de clorofila (índice SPAD) na casta Antão Vaz foi realizada em quatro momentos do ciclo vegetativo: 15 de maio, 2 de julho, 18 de agosto e 12 de setembro, correspondentes às fases de floração/alimpa, desenvolvimento dos bagos, pintor avançado e maturação, respetivamente. Os valores médios por tratamento encontram-se apresentados na Tabela 6.

*Tabela 6 - Valores médios ( $\pm$  desvio padrão) do teor de clorofila (SPAD) em diferentes modalidades de rega (n=300) e datas na casta Antão Vaz. T1 – rega do agricultor; T2 – rega deficitária; T3 – sem rega.*

Data	T1	T2	T3	Significância <sup>2</sup>
15/05	38,54 $\pm$ 3,16 Ab	38,39 $\pm$ 2,79 Aa	38,65 $\pm$ 3,91 Ab	ns
02/07	41,21 $\pm$ 3,33 Aa	39,31 $\pm$ 4,31 Ba	40,22 $\pm$ 3,53 ABa	<0,001
18/08	36,37 $\pm$ 4,40 Ac	34,75 $\pm$ 5,23 Ab	32,95 $\pm$ 4,22 Bc	<0,001
12/09	35,22 $\pm$ 4,70 Ad	34,64 $\pm$ 5,51 Ab	32,34 $\pm$ 5,16 Bc	<0,001
<b>Significância<sup>1</sup></b>	<0,001	<0,001	<0,001	---

<sup>1</sup>Valores com a mesma letra minúscula na mesma coluna não diferem significativamente (teste Tukey,  $p < 0,05$ );  
<sup>2</sup>Valores com a mesma letra maiúscula na mesma linha não diferem significativamente (teste Tukey,  $p < 0,05$ ).  
ns → Não significativo

Na primeira data (15/05), correspondente à floração/alimpa, os valores médios de SPAD foram semelhantes entre os três tratamentos, variando entre 38,39 (T2) e 38,65 (T3), não se registando diferenças estatisticamente significativas ( $p > 0,05$ ).

Na segunda avaliação (02/07), durante o desenvolvimento dos bagos, observaram-se diferenças significativas entre tratamentos ( $p < 0,001$ ). O valor de SPAD mais elevado foi registado no tratamento T1 (41,21), seguido de T3 (40,22) e T2 (39,31). O tratamento T1 apresentou valores significativamente superiores a T2, enquanto T3 mostrou um valor intermédio, sem diferenças significativas em relação a ambos (Tukey,  $p < 0,05$ ).

No pintor avançado (18/08), verificou-se uma diminuição acentuada dos valores médios de SPAD em todos os tratamentos, mantendo-se diferenças significativas entre eles ( $p < 0,001$ ). O tratamento T1 (rega do agricultor) apresentou novamente o valor mais elevado

(36,37), seguido de T2 (34,75) e T3 (32,95), sendo este último significativamente inferior aos restantes.

Na maturação (12/09), os valores de SPAD das folhas continuaram a decrescer, com diferenças significativas entre tratamentos ( $p < 0,001$ ). O tratamento sem rega (T3) apresentou o teor de clorofila mais baixo (32,34), enquanto T1 (35,22) e T2 (34,64) apresentaram valores superiores e estatisticamente semelhantes ( $p > 0,05$ ).

Com a exceção da segunda leitura, observou-se uma diminuição progressiva dos valores de SPAD nas folhas da videira ao longo do ciclo vegetativo em todos os tratamentos, mais pronunciada nas modalidades com menor disponibilidade hídrica. A análise de variância revelou diferenças significativas entre as datas em cada tratamento ( $p < 0,001$ ), evidenciando uma redução consistente do teor de clorofila nas folhas desde o desenvolvimento dos bagos até à maturação.

A medição do teor relativo de clorofila reflete o conteúdo relativo de clorofila das folhas e, de forma indireta, o teor de azoto, dada a relação entre ambos os parâmetros em *Vitis vinífera* (Cocco et al., 2021; Pellegrino et al., 2005; Verdenal et al., 2021). A rega levada a cabo pelo agricultor (T1) apresentou valores superiores de clorofila relativamente ao sequeiro (T3) a partir do pintor, o que poderá significar um melhor estado fisiológico e nutricional das plantas que beneficiaram de rega durante todo o ciclo vegetativo.

Os valores médios apresentados na Tabela 6 evidenciaram um aumento do índice SPAD durante o desenvolvimento dos bagos, seguido de redução a partir do pintor e durante a maturação. Este comportamento indica que o teor de azoto foliar foi mais elevado nas fases de maior vigor vegetativo, quando predominam folhas jovens e metabolicamente ativas, diminuindo posteriormente devido à redistribuição do azoto para os cachos e novas zonas de crescimento, e ao início da senescência foliar.

Apesar de se terem verificado diferenças significativas entre dotações de rega, estas não alteraram o padrão fisiológico geral de variação da clorofila, que se manteve consistente com o comportamento habitual da videira. Estudos de Würz et al. (2021, 2023) descrevem tendência semelhante em outras castas brancas, com acréscimo do índice SPAD até ao estado fenológico “grão ervilha”, seguido de redução no pintor e de valores mais baixos na maturação. Assim, os resultados obtidos para a Antão Vaz confirmam que, embora as dotações hídricas tenham influenciado a magnitude dos valores de SPAD, a evolução temporal da clorofila manteve-se dentro da dinâmica fisiológica normal da espécie.

#### 4.2.3. Trocas Gasosas (IRGA)

A medição das trocas gasosas foi realizada em três momentos representativos do ciclo vegetativo da casta Antão Vaz sendo 14/07, 19/08 e 11/09, correspondendo, respetivamente, ao desenvolvimento dos bagos, pintor avançado e maturação (Tabela 7). Foram avaliadas a taxa líquida de assimilação de CO<sub>2</sub> (A), a taxa de transpiração (E) e a condutância estomática (gs), parâmetros diretamente associados à atividade fotossintética e ao estado hídrico da planta.

*Tabela 7 - Valores médios ( $\pm$  desvio padrão) da taxa líquida de assimilação de CO<sub>2</sub> (A), transpiração (E), condutância estomática (gs) em diferentes modalidades de rega (n=12) e datas na casta Antão Vaz. T1 – rega do agricultor; T2 – rega deficitária; T3 – sem rega.*

Variável	Tratamento	Data			Sig. <sup>1</sup>
		14/07	19/08	11/09	
A ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	T1	17,25 $\pm$ 3,31 Aa	10,81 $\pm$ 2,16 Ab	7,49 $\pm$ 1,77 Ac	<0,001
	T2	13,38 $\pm$ 2,42 Aa	10,07 $\pm$ 2,19 ABab	6,64 $\pm$ 1,53 Ab	<0,001
	T3	13,53 $\pm$ 2,45 Aa	8,11 $\pm$ 1,84 Bb	8,93 $\pm$ 1,48 Ab	<0,001
E ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	T1	4,03 $\pm$ 0,76 Aa	2,16 $\pm$ 0,47 Ab	1,42 $\pm$ 0,29 Ac	<0,001
	T2	2,98 $\pm$ 0,64 Aa	1,77 $\pm$ 0,37 ABb	1,23 $\pm$ 0,27 Ab	<0,001
	T3	3,18 $\pm$ 0,59 Aa	1,45 $\pm$ 0,34 Bb	1,66 $\pm$ 0,32 Ab	<0,001
gs ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	T1	0,309 $\pm$ 0,07 Aa	0,151 $\pm$ 0,03 Ab	0,097 $\pm$ 0,02 Ab	<0,001
	T2	0,216 $\pm$ 0,05 Aa	0,121 $\pm$ 0,03 ABb	0,081 $\pm$ 0,02 Ab	<0,001
	T3	0,228 $\pm$ 0,04 Aa	0,097 $\pm$ 0,02 Bb	0,113 $\pm$ 0,02 Ab	<0,001
Significância <sup>2</sup>		ns	<0,001	ns	---

<sup>1</sup>Valores com a mesma letra minúscula na mesma linha não diferem significativamente (teste Tukey,  $p < 0,05$ );

<sup>2</sup>Valores com a mesma letra maiúscula na mesma coluna não diferem significativamente (teste Tukey,  $p < 0,05$ ).

ns → Não significativo

Na primeira data (14/07), correspondente ao início do período de observação, os valores médios de assimilação de CO<sub>2</sub> (A) variaram entre 13,38  $\pm$  2,42 (T2) e 17,25  $\pm$  3,31  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (T1), sem diferenças estatisticamente significativas entre tratamentos ( $p > 0,05$ ). De forma semelhante, a taxa de transpiração (E) oscilou entre 2,98  $\pm$  0,64 e 4,03  $\pm$  0,76  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , e a condutância estomática (gs) entre 0,216  $\pm$  0,05 e 0,309  $\pm$  0,07  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , também sem diferenças significativas. Estes resultados sugerem que, nesta fase, a disponibilidade de água foi suficiente para manter a atividade fotossintética e estomática equilibrada entre as modalidades de rega.

Na segunda data (19/08), correspondente ao pintor, verificaram-se diferenças altamente significativas entre tratamentos ( $p < 0,001$ ) para as três variáveis. A assimilação de CO<sub>2</sub> apresentou valores médios de 10,81  $\pm$  2,16 (T1), 10,07  $\pm$  2,19 (T2) e 8,11  $\pm$  1,84  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (T3), com T1 a registar valor significativamente superior a T3, enquanto T2 apresentou um valor intermédio (padrão A; AB; B). Padrões semelhantes foram

observados para a taxa de transpiração ( $2,16 \pm 0,47$ ,  $1,77 \pm 0,37$  e  $1,45 \pm 0,34$  mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) e para a condutância estomática ( $0,151 \pm 0,03$ ,  $0,121 \pm 0,03$  e  $0,097 \pm 0,02$  mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, respetivamente). Estes resultados indicam uma redução progressiva da atividade fotossintética e das trocas gasosas à medida que a disponibilidade de água diminuiu, com efeito mais acentuado no tratamento sem rega (T3).

Na última data (11/09), em plena maturação, não se observaram diferenças significativas entre tratamentos ( $p > 0,05$ ). Os valores de A oscilaram entre  $6,64 \pm 1,53$  (T2) e  $8,93 \pm 1,48$  μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (T3), enquanto E variou entre  $1,23 \pm 0,27$  e  $1,66 \pm 0,32$  mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, e gs entre  $0,081 \pm 0,02$  e  $0,113 \pm 0,02$  mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, sem diferenças significativas.

No que respeita à evolução temporal, todas as variáveis apresentaram reduções significativas entre 14/07 e 19/08, mantendo-se estáveis entre 19/08 e 11/09 ( $p < 0,001$ ). Este comportamento foi comum aos três tratamentos.

De forma geral, os resultados demonstram uma diminuição da assimilação, transpiração e condutância estomática ao longo do ciclo, refletindo a influência do défice hídrico progressivo.

A avaliação dos indicadores de eficiência do uso da água (WUE) permitiu analisar a resposta fisiológica da casta Antão Vaz aos diferentes regimes de rega ao longo do ciclo vegetativo (Tabela 8). Foram consideradas duas variáveis: a WUE intrínseca (WUE<sub>intr.</sub>; relação A/gs) e a WUE instantânea (WUE<sub>inst.</sub>; relação A/E), que expressam, respetivamente, a eficiência fotossintética em função da condutância estomática e da transpiração.

*Tabela 8 - Valores médios ( $\pm$  desvio padrão) da eficiência do uso da água (WUE intrínseca e instantânea) em diferentes modalidades de rega (n=12) e datas na casta Antão Vaz. T1 – rega do agricultor; T2 – rega deficitária; T3 – sem rega.*

Variável	Tratamento	Data			Sig. <sup>1</sup>
		14/07	19/08	11/09	
WUE intr.	T1	$57,70 \pm 8,08$ Ab	$72,94 \pm 8,74$ Ba	$76,83 \pm 14,04$ Aa	<0,001
	T2	$63,41 \pm 17,95$ Ab	$89,09 \pm 18,09$ Aa	$81,62 \pm 25,25$ Aab	<0,001
	T3	$62,97 \pm 17,95$ Ab	$85,35 \pm 12,74$ ABa	$80,80 \pm 12,55$ Aa	<0,001
WUE inst.	T1	$4,64 \pm 1,22$ Ab	$5,98 \pm 1,04$ Aa	$5,31 \pm 1,57$ Aa	<0,001
	T2	$4,40 \pm 0,93$ Ab	$5,67 \pm 0,77$ Ba	$5,46 \pm 0,75$ Aab	<0,001
	T3	$4,32 \pm 0,38$ Ab	$5,05 \pm 0,50$ ABa	$5,20 \pm 0,84$ Aa	<0,001
Significância <sup>2</sup>		ns	<0,001	ns	---

<sup>1</sup>Valores com a mesma letra minúscula na mesma linha não diferem significativamente (teste Tukey,  $p < 0,05$ );

<sup>2</sup>Valores com a mesma letra maiúscula na mesma coluna não diferem significativamente (teste Tukey,  $p < 0,05$ ).

ns → Não significativo

Na primeira avaliação (14/07), os valores médios de WUE<sub>intr</sub> variaram entre  $57,70 \pm 8,08$  no tratamento T1,  $63,41 \pm 17,95$  em T2 e  $62,97 \pm 17,95$  em T3, sem diferenças estatisticamente significativas entre tratamentos ( $p > 0,05$ ). Na mesma data, a WUE<sub>inst</sub> apresentou valores de  $4,64 \pm 1,22$  (T1),  $4,40 \pm 0,93$  (T2) e  $4,32 \pm 0,38$  (T3), também sem diferenças significativas entre modalidades de rega ( $p > 0,05$ ). Estes resultados indicam que, no início do verão, as condições hídricas ainda não haviam provocado contrastes fisiológicos relevantes entre os tratamentos.

Na segunda leitura (19/08), correspondente ao estado fenológico de pintor avançado, observaram-se diferenças significativas entre tratamentos na WUE<sub>intr</sub> ( $p < 0,001$ ). O valor mais elevado foi registado em T2 ( $89,09 \pm 18,09$ ), seguido de T3 ( $85,35 \pm 12,74$ ) e T1 ( $72,94 \pm 8,74$ ). O tratamento T2 apresentou valores significativamente superiores a T1, enquanto T3 mostrou um valor intermédio, não diferindo estatisticamente de ambos (Tukey,  $p < 0,05$ ). Para a WUE<sub>inst</sub>, embora se tenham observado valores médios mais altos em T1 ( $5,98 \pm 1,04$ ), comparativamente a T2 ( $5,67 \pm 0,77$ ) e T3 ( $5,05 \pm 0,50$ ), as diferenças entre tratamentos não foram estatisticamente significativas ( $p > 0,05$ ).

Na última avaliação (11/09), correspondente à maturação, a WUE<sub>intr</sub> manteve diferenças significativas entre tratamentos ( $p < 0,001$ ), com os valores mais elevados observados em T2 ( $81,62 \pm 25,25$ ), seguidos de T3 ( $80,80 \pm 12,55$ ) e T1 ( $76,83 \pm 14,04$ ). No entanto, as diferenças entre T1 e T3 deixaram de ser significativas, evidenciando uma tendência de convergência dos valores à medida que o ciclo vegetativo avançou. Para a WUE<sub>inst</sub>, os valores variaram entre  $5,31 \pm 1,57$  (T1),  $5,46 \pm 0,75$  (T2) e  $5,20 \pm 0,84$  (T3), sem diferenças estatisticamente significativas entre tratamentos ( $p > 0,05$ ).

Analisando a variação temporal dentro de cada tratamento, observaram-se diferenças significativas entre datas para ambas as variáveis ( $p < 0,001$  na maioria dos casos). Na WUE<sub>intr</sub>, os valores aumentaram significativamente de julho para agosto em todos os tratamentos (Tukey,  $p < 0,05$ ), refletindo uma maior eficiência fisiológica associada à redução da condutância estomática e à adaptação ao défice hídrico durante o pintor. Entre agosto e setembro, os valores estabilizaram ou diminuíram ligeiramente, sem diferenças significativas, sugerindo uma atenuação da resposta adaptativa na fase de maturação. Um padrão semelhante foi observado na WUE<sub>inst</sub>, com um aumento entre julho e agosto, seguido de estabilização até setembro, embora sem diferenças significativas globais entre tratamentos.

De forma geral, os resultados evidenciam que a rega deficitária (T2) promoveu maior eficiência no uso da água em comparação com a rega convencional (T1), sem comprometer

o desempenho fisiológico das plantas. A evolução temporal da WUE mostra que as videiras ajustaram progressivamente a sua atividade fotossintética e a condutância estomática em resposta à limitação hídrica, com valores máximos durante o pintor, fase crítica de acumulação de compostos e elevada exigência metabólica.

Após a análise dos indicadores de WUE obtidos a partir das medições realizadas com o IRGA, procedeu-se à avaliação das relações funcionais entre as variáveis fisiológicas determinadas, a taxa líquida de assimilação de CO<sub>2</sub> (A), a condutância estomática (gs) e transpiração (E), de forma a caracterizar os padrões de resposta fotossintética da videira sob os diferentes regimes de rega.

Observou-se uma forte associação positiva entre a condutância estomática (gs) e a taxa líquida de assimilação de CO<sub>2</sub> (A), ajustada a um modelo exponencial (Figura 23). O coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,8633$ ) evidencia um elevado grau de correlação entre ambas as variáveis, sugerindo que o aumento da condutância estomática está acompanhado por um incremento acentuado da taxa fotossintética.

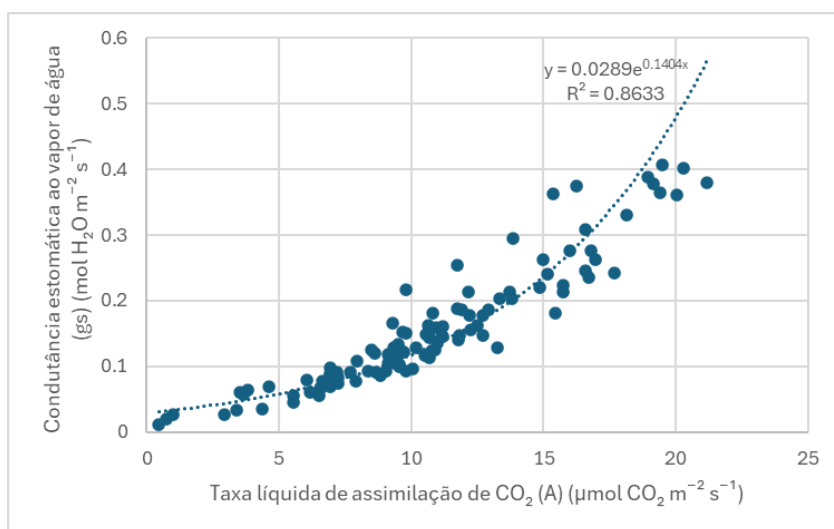


Figura 23 - Relação entre a fotossíntese líquida (A) e a condutância estomática (gs) na casta Antão Vaz

Na Figura 24, é apresentada a relação entre a taxa de transpiração (E) e a taxa líquida de assimilação de CO<sub>2</sub> (A), ajustada a um modelo polinomial de segundo grau. Verificou-se igualmente uma correlação muito forte entre as duas variáveis ( $R^2 = 0,9118$ ), indicando que os valores mais elevados de transpiração coincidiram com maiores taxas de assimilação de carbono.

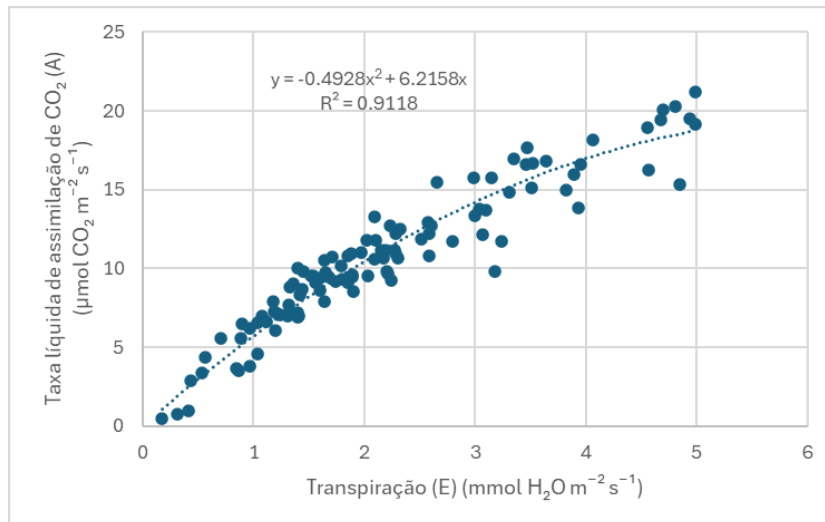


Figura 24 - Relação entre a fotossíntese líquida (A) e a transpiração (E) na casta Antão Vaz

Por sua vez, a Figura 25 mostra a relação linear entre a condutância estomática (gs) e a taxa de transpiração (E), com um coeficiente de determinação ainda mais elevado ( $R^2 = 0,9844$ ), refletindo uma associação praticamente direta entre ambas as variáveis. O comportamento observado demonstra que a transpiração aumenta proporcionalmente com a abertura estomática, com um ajustamento linear muito consistente ( $y = 0,0798x - 0,0193$ ).

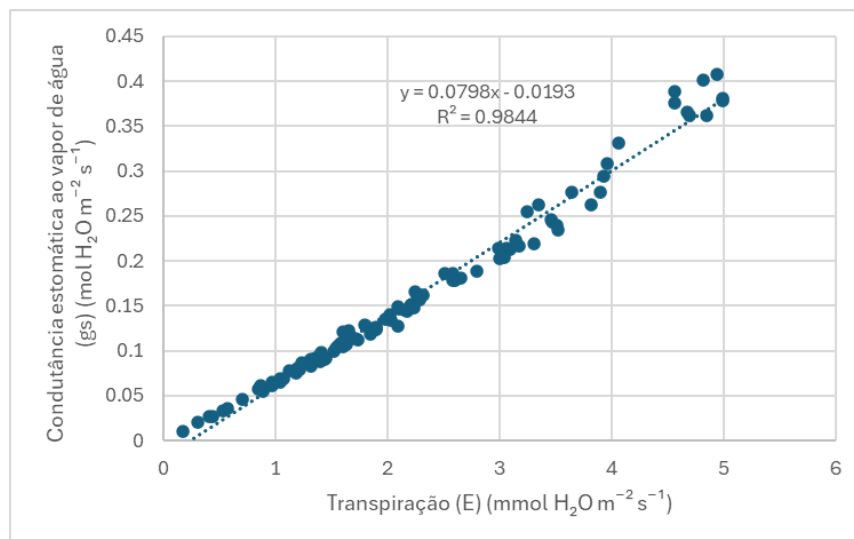


Figura 25 - Relação entre a condutância estomática (gs) e a transpiração (E) na casta Antão Vaz

De forma geral, as variáveis de trocas gasosas como a taxa líquida de assimilação de  $\text{CO}_2$  (A), condutância estomática (gs) e transpiração (E) apresentaram valores semelhantes entre tratamentos, sem diferenças estatisticamente significativas na maioria das datas de avaliação. Este resultado sugere que, nas condições do presente ensaio, a disponibilidade

hídrica não foi suficientemente contrastante para provocar alterações expressivas na atividade fotossintética da casta Antão Vaz.

Estudos prévios, como o de Prieto et al., (2010) demonstraram que o agravamento do déficit hídrico conduz geralmente a uma diminuição simultânea de  $g_s$  e  $A$ , acompanhada por um aumento temporário da eficiência intrínseca no uso da água ( $WUE_i = A/g_s$ ) sob níveis moderados de stress. No entanto, este padrão clássico não se verificou de forma significativa no presente ensaio, onde os valores de  $A$ ,  $g_s$  e  $E$  se mantiveram relativamente estáveis entre tratamentos.

Resultados semelhantes de estabilidade fisiológica sob déficit hídrico moderado foram também descritos por Linhart et al., (2023) em diferentes cultivares de *Vitis vinifera*, confirmando que, em determinadas condições, as videiras conseguem manter taxas de assimilação e condutância estomática estáveis apesar da redução da disponibilidade de água.

Assim, os resultados obtidos para a casta Antão Vaz indicam uma resposta fisiológica conservativa, típica de castas adaptadas a ambientes mediterrânicos, caracterizada pela manutenção da atividade fotossintética e pela ausência de variações significativas das trocas gasosas face à limitação hídrica. Este comportamento reflete a eficiência adaptativa da videira, permitindo preservar o equilíbrio entre a assimilação de carbono e a transpiração mesmo sob condições de menor disponibilidade de água (Cataldo et al., 2021; Stahl, 2017).

#### **4.3. Produção e Qualidade da Uva da Casta Antão Vaz**

##### **4.3.1. Produção por Videira e Rendimento por Hectare**

O presente ensaio decorreu num único ciclo vegetativo, o que constitui uma limitação relevante em culturas perenes como a videira. A *Vitis vinifera* apresenta uma elevada capacidade de armazenamento e mobilização de reservas orgânicas, principalmente hidratos de carbono e compostos azotados, que se acumulam nas raízes e na madeira durante o período de dormência e são utilizadas na rebentação para sustentar o crescimento inicial. Este mecanismo de compensação fisiológica permite à videira manter níveis de vigor e de produção relativamente estáveis, mesmo sob défices hídricos moderados ou em anos de precipitação irregular, atenuando o impacto imediato da limitação de água (Guilpart et al., 2014).

Quando o stress hídrico se prolonga por vários ciclos, a reposição dessas reservas pode ser comprometida, refletindo-se numa menor fertilidade dos gomos e num decréscimo

gradual da produtividade em campanhas seguintes. Assim, os efeitos da restrição hídrica não se manifestam necessariamente no mesmo ano em que ocorre, sendo necessária a observação continuada da vinha ao longo de vários anos para compreender a resposta acumulada da planta ao regime de rega.

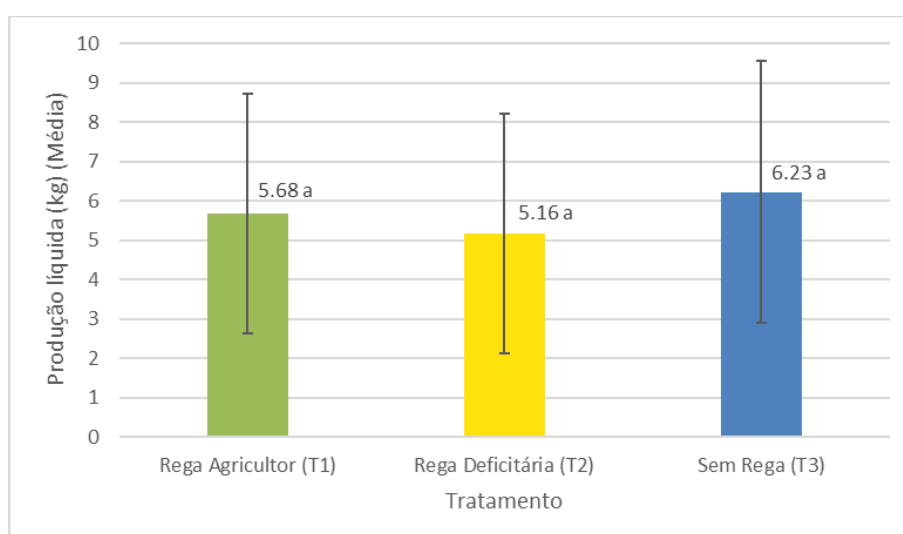
A avaliação da colheita permitiu analisar o impacto dos diferentes regimes de rega na produtividade da casta Antão Vaz. Foram considerados quatro parâmetros principais: número de cachos por cepa; produção por cepa; peso médio dos cachos; e produção estimada por hectare (Tabela 9).

*Tabela 9 – Valores médios ( $\pm$  desvio padrão) do número de cachos, produção por cepa, peso médio do cacho e produção média por hectare estimada em diferentes modalidades de rega (n=12) na casta Antão Vaz. T1 – rega do agricultor; T2 – rega deficitária; T3 – sem rega.*

Tratamento	Produção por cepa (kg)	Peso médio do cacho (kg)	Produção média estimada por hectare (ton ha <sup>-1</sup> )
T1	5,68 $\pm$ 3,04 a	0,226 $\pm$ 0,051 a	18,45 $\pm$ 9,85 a
T2	5,16 $\pm$ 3,05 a	0,246 $\pm$ 0,107 a	16,74 $\pm$ 9,91 a
T3	6,23 $\pm$ 3,33 a	0,274 $\pm$ 0,073 a	20,24 $\pm$ 10,80 a
Significância	ns	ns	ns

Valores com a mesma letra minúscula na mesma coluna não diferem significativamente (teste Tukey,  $p < 0,05$ );  
ns → Não significativo

A produção de uva por cepa apresentou valores médios compreendidos entre 5,16 kg (T2) e 6,23 kg (T3), sem diferenças significativas entre tratamentos ( $p > 0,05$ ), indicando que, no contexto do ensaio, o regime hídrico mais restritivo não comprometeu a produtividade global da cepa (Figura 26).



*Figura 26 - Produção líquida média (kg) (n=12) por videira em diferentes modalidades de rega na casta Antão Vaz. Barras de erro representam o desvio-padrão. Valores com a mesma letra minúscula não diferem significativamente (teste Tukey,  $p < 0,05$ )*

O peso médio dos cachos oscilou entre 0,226 kg (T1) e 0,274 kg (T3), igualmente sem diferenças estatisticamente significativas ( $p > 0,05$ ). Os resultados evidenciam uma tendência de aumento do peso médio dos cachos nas condições de menor disponibilidade hídrica, o que poderá estar relacionado com mecanismos de compensação fisiológica e ajustamento do tamanho dos bagos (Figura 27).

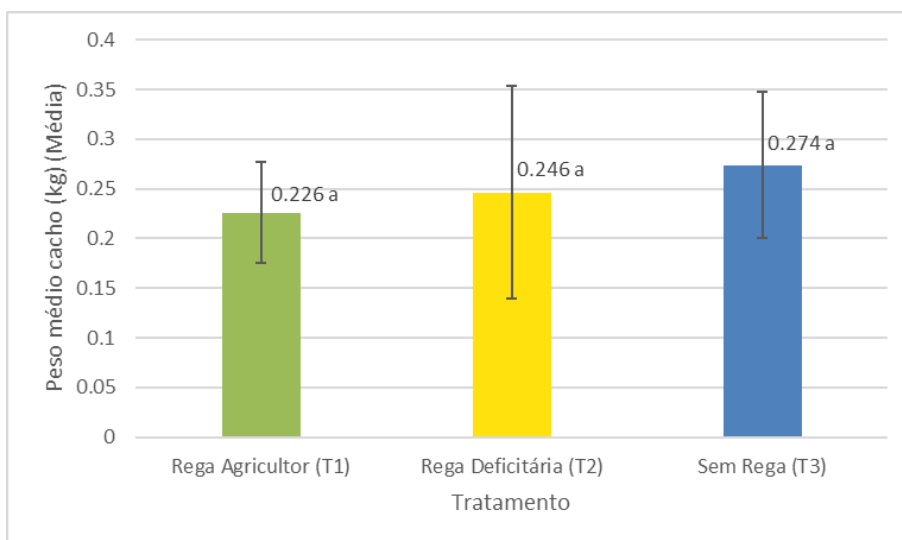


Figura 27 - Peso médio do cacho (kg) ( $n=12$ ) em diferentes modalidades de rega na casta Antão Vaz. Barras de erro representam o desvio-padrão. Valores com a mesma letra minúscula não diferem significativamente (teste Tukey,  $p < 0,05$ )

Com base no compasso de plantação de 3,08 m<sup>2</sup> por videira, estimou-se a produção média por hectare para cada tratamento. Os valores variaram entre  $16,74 \pm 9,91$  t ha<sup>-1</sup> (T2) e  $20,24 \pm 10,80$  t ha<sup>-1</sup> (T3), sem diferenças estatisticamente significativas entre tratamentos ( $p > 0,05$ ). Apesar da ausência de significância, observa-se uma tendência para maior rendimento no tratamento sem rega (T3), seguido de T1 ( $18,45 \pm 9,85$  t ha<sup>-1</sup>). Estes resultados sugerem que, nas condições edafoclimáticas do ensaio, o déficit hídrico moderado não comprometeu a produtividade por área, refletindo a boa adaptação da casta Antão Vaz a regimes de menor disponibilidade de água (Figura 28).

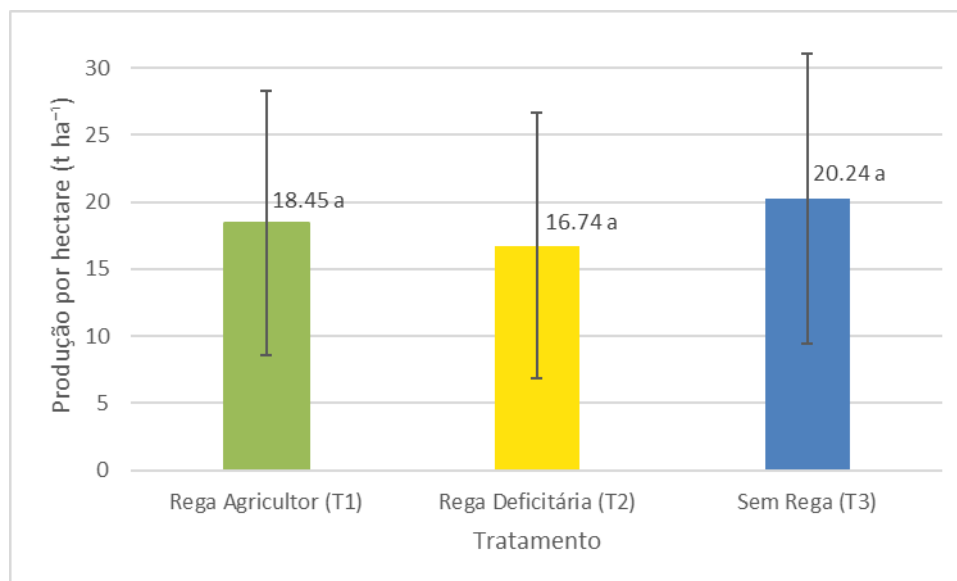


Figura 28 - Produção média estimada por hectare ( $t\ ha^{-1}$ ) ( $n=12$ ) em diferentes modalidades de rega na casta Antão Vaz. Barras de erro representam o desvio-padrão. Valores com a mesma letra minúscula não diferem significativamente (teste Tukey,  $p < 0,05$ )

Para além da produção ao nível dos cachos, foram avaliados parâmetros relacionados com a dimensão e rendimento dos bagos: peso fresco de 100 bagos, volume de mosto e peso da massa (película + grainhas) (Tabela 10).

Tabela 10 – Valores médios ( $\pm$  desvio padrão) do peso fresco de 100 bagos, volume de mosto e peso da massa (película e grainha) em diferentes modalidades de rega na casta Antão Vaz. T1 – rega do agricultor; T2 – rega deficitária; T3 – sem rega.

Tratamento	Peso fresco 100 bagos (g)	Volume mosto (mL)	Peso massa (g)
T1	262,73 $\pm$ 37,90 a	158,00 $\pm$ 27,71 a	83,63 $\pm$ 8,59 a
T2	276,67 $\pm$ 8,57 a	168,00 $\pm$ 12,17 a	86,63 $\pm$ 7,12 a
T3	256,00 $\pm$ 5,70 a	156,67 $\pm$ 8,08 a	81,70 $\pm$ 6,67 a
<b>Significância</b>	ns	ns	ns

Valores com a mesma letra minúscula na mesma coluna não diferem significativamente (teste Tukey,  $p < 0,05$ );  
ns → Não significativo

O peso médio de 100 bagos variou entre 256,00 g (T3) e 276,67 g (T2), sem diferenças significativas, embora se tenha observado uma ligeira tendência para valores superiores no tratamento T2. Este comportamento pode estar associado a uma variação natural entre plantas ou a pequenos efeitos do regime hídrico, mas não é suficiente para concluir que o défice moderado favoreceu o desenvolvimento dos bagos (Figura 29).

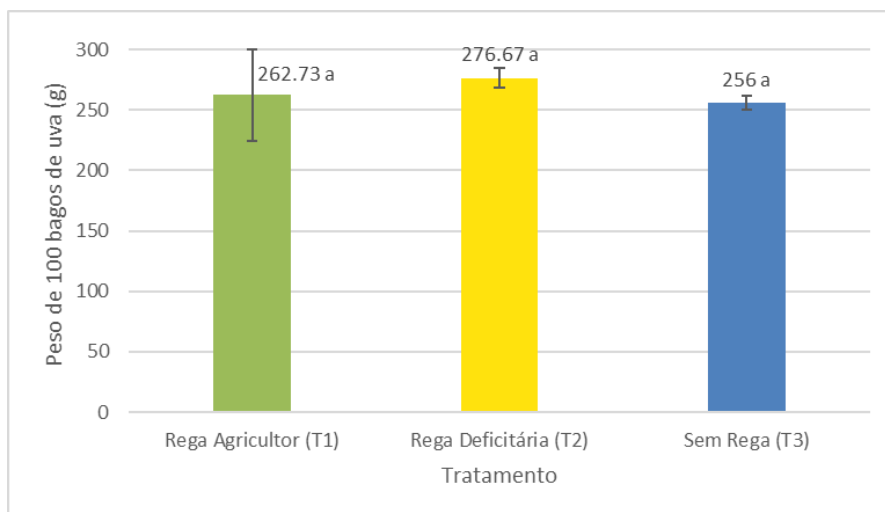


Figura 29 - Peso médio de 100 bagos de uva (g) ( $n=100$ ) em diferentes modalidades de rega na casta Antão Vaz. Barras de erro representam o desvio-padrão. Valores com a mesma letra minúscula não diferem significativamente (teste Tukey,  $p < 0,05$ )

O peso médio da massa (película + grainhas) oscilou entre 81,70 g (T3) e 86,63 g (T2), também sem diferenças significativas ( $p > 0,05$ ). A ausência de um padrão consistente indica que o regime de rega teve impacto reduzido sobre a acumulação de matéria fresca nos bagos (Figura 30).

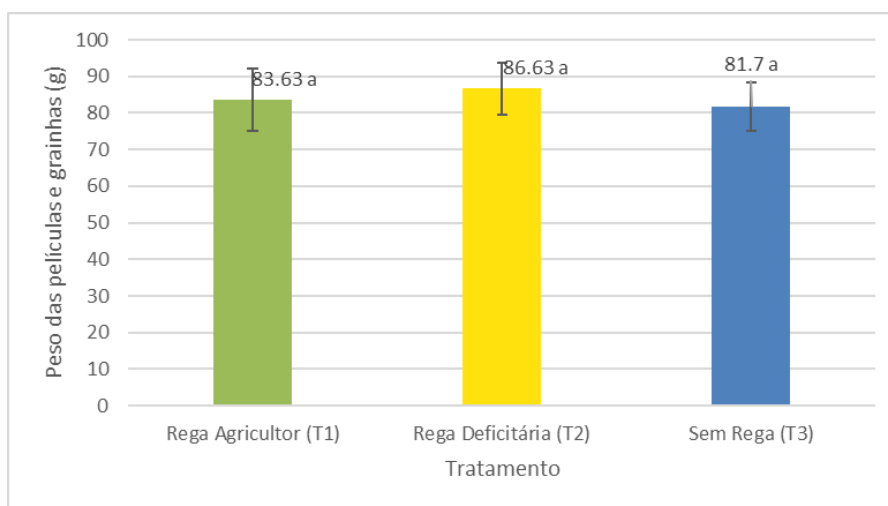


Figura 30 - Peso médio da massa (película + grainhas) em diferentes modalidades de rega na casta Antão Vaz. Barras de erro representam o desvio-padrão. Valores com a mesma letra minúscula não diferem significativamente (teste Tukey,  $p < 0,05$ )

O volume de mosto apresentou valores compreendidos entre 156,67 mL (T3) e 168,00 mL (T2), sem diferenças significativas ( $p > 0,05$ ). A semelhança entre tratamentos confirma que a limitação hídrica não comprometeu a suculência dos bagos, mantendo-se a proporção de polpa relativamente estável entre modalidades (Figura 31).

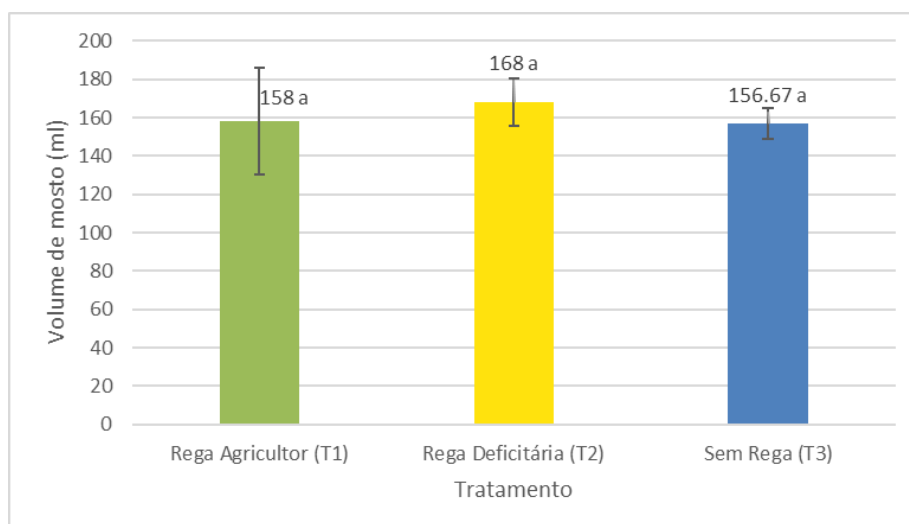


Figura 31 - Volume médio de mosto (mL) em diferentes modalidades de rega na casta Antão Vaz. Barras de erro representam o desvio-padrão. Valores com a mesma letra minúscula não diferem significativamente (teste Tukey,  $p < 0,05$ )

Apesar das distintas dotações de rega aplicadas, incluindo um tratamento que não recebeu qualquer rega (T3), a produção manteve-se estável, sugerindo que as condições climáticas do ano experimental proporcionaram uma disponibilidade hídrica suficiente para o desenvolvimento reprodutivo normal da videira.

No que respeita aos componentes de produção, o peso de 100 bagos, o volume de mosto e o peso médio das películas e das grainhas não apresentaram diferenças significativas entre tratamentos. Esta uniformidade pode ser explicada pelo carácter húmido do ano de estudo, que atenuou os efeitos do défice nas videiras sem rega, permitindo manter níveis adequados de hidratação dos bagos.

De acordo com Lopes (2008), o défice hídrico pode afetar o desenvolvimento dos bagos dependendo da sua intensidade e do momento em que ocorre, sendo a fase de multiplicação celular a mais determinante para o tamanho final. No presente ensaio, a estabilidade do peso e volume dos bagos sugere que o défice aplicado não coincidiu com essa fase crítica, nem atingiu severidade suficiente para reduzir a expansão celular.

Comportamentos semelhantes foram observados por Bouzas-Cid et al., (2018a) em vinhas das denominações de origem Rías Baixas e Ribeiro, onde não se verificaram diferenças no peso médio dos cachos e dos bagos entre tratamentos regados e não regados, atribuídas à capacidade das videiras de ajustar o seu crescimento vegetativo e reprodutivo, atuando com poder tampão, ou seja, capacidade de compensar variações hídricas através da redistribuição interna dos recursos da planta.

Em contraste, Cataldo et al., (2021) relataram em Sauvignon Blanc reduções significativas no peso dos cachos e dos bagos sob déficit hídrico, atribuídas à desidratação do pericarpo e redução do volume de mosto, fenómeno também descrito por Ojeda et al., (2002) em estudos sobre stress hídrico pós-pintor. Estas diferenças podem estar associadas à maior resiliência da casta Antão Vaz e às condições mediterrânicas do Baixo Alentejo, onde a videira apresenta elevada tolerância a défices moderados.

De forma geral, os resultados obtidos indicam que, nas condições deste ensaio, a rega deficitária não comprometeu o rendimento nem alterou significativamente a estrutura dos bagos, mantendo uma produção equilibrada e compatível com a resposta fisiológica típica da videira em anos de precipitação moderada.

#### 4.3.2. Composição Tecnológica do Mosto

A avaliação dos parâmetros de composição do mosto permitiu analisar o efeito dos regimes de rega na qualidade tecnológica da uva da casta Antão Vaz. Foram considerados o pH, os sólidos solúveis (°Brix), o álcool provável e a acidez titulável, indicadores fundamentais para caracterizar o potencial enológico do mosto Tabela 11.

*Tabela 11 - Valores médios ( $\pm$  desvio padrão) de pH, sólidos solúveis (°Brix), álcool provável (% v/v) e acidez titulável ( $\text{g L}^{-1}$ ) do mosto em diferentes modalidades de rega na casta Antão Vaz. T1 – rega do agricultor; T2 – rega deficitária; T3 – sem rega.*

Tratamento	pH	Sólidos solúveis (°Brix)	Álcool provável (% v/v)	Acidez titulável ( $\text{g L}^{-1}$ )
T1	$4,04 \pm 0,23$ a	$22,08 \pm 2,13$ a	$12,83 \pm 1,45$ a	$2,66 \pm 0,46$ a
T2	$3,99 \pm 0,12$ a	$22,59 \pm 0,93$ a	$13,16 \pm 0,64$ a	$2,77 \pm 0,47$ a
T3	$3,90 \pm 0,19$ a	$21,39 \pm 1,70$ a	$12,33 \pm 1,46$ a	$2,76 \pm 0,42$ a
<b>Significância</b>	ns	ns	ns	ns

Valores com a mesma letra minúscula na mesma coluna não diferem significativamente (teste Tukey,  $p < 0,05$ );  
ns → Não significativo

O pH do mosto variou entre 3,90 (T3) e 4,04 (T1), sem diferenças estatisticamente significativas entre tratamentos ( $p > 0,05$ ). Observou-se uma ligeira tendência para valores de pH mais elevados no tratamento T1 e mais baixos em T3, o que poderá estar associado a uma maior disponibilidade hídrica no T1 e à consequente diluição dos ácidos orgânicos (Figura 32).

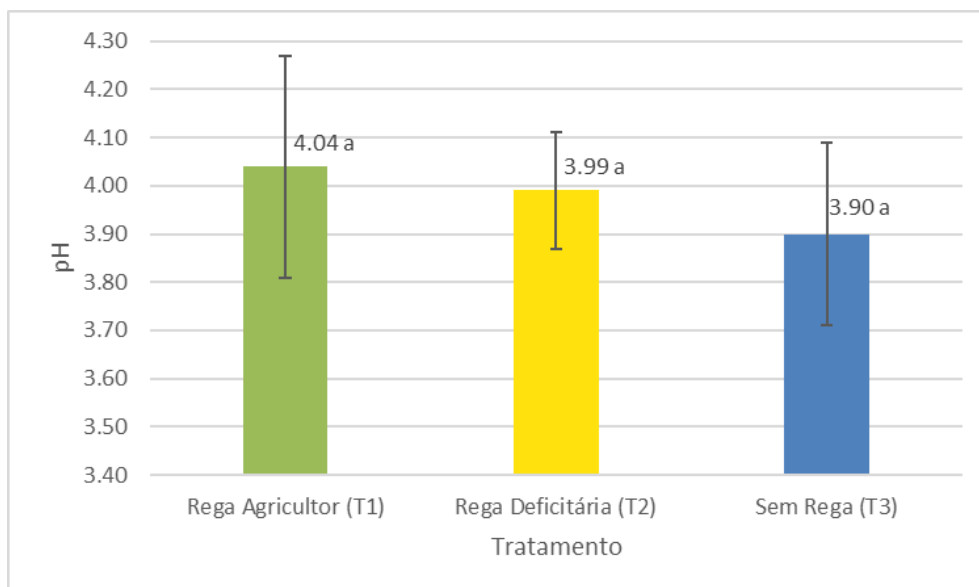


Figura 32 - Valores médios de pH do mosto em diferentes modalidades de rega na casta Antão Vaz. Barras de erro representam o desvio-padrão. Valores com a mesma letra minúscula não diferem significativamente (teste Tukey,  $p < 0,05$ )

Os sólidos solúveis variaram entre 21,39 °Brix (T3) e 22,59 °Brix (T2), sem diferenças estatisticamente significativas entre tratamentos ( $p > 0,05$ ). As variações numéricas observadas ( $T2 > T1 > T3$ ) não permitem inferir um efeito do regime de rega na acumulação de açúcares (Figura 33).

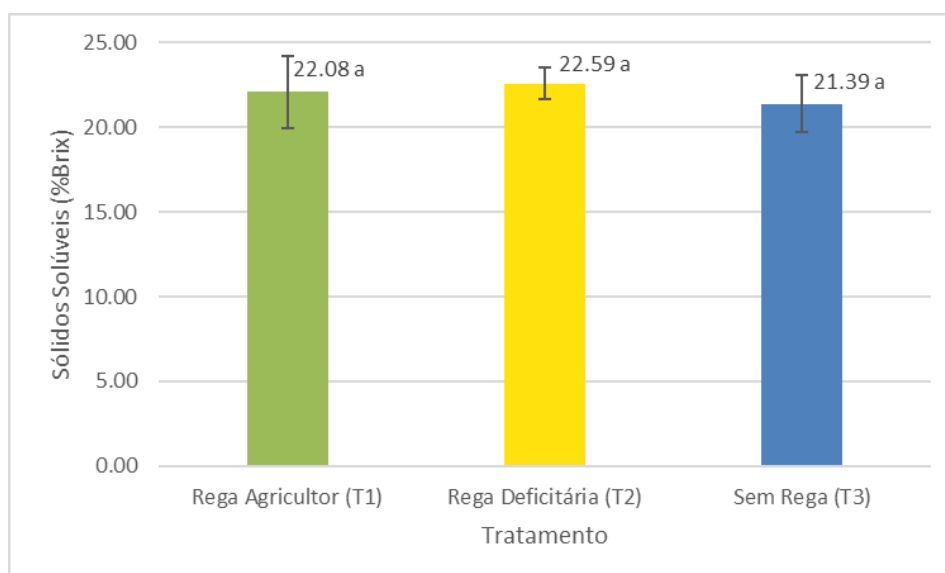


Figura 33 - Valores médios de sólidos solúveis (%Brix) em diferentes modalidades de rega na casta Antão Vaz. Barras de erro representam o desvio-padrão. Valores com a mesma letra minúscula não diferem significativamente (teste Tukey,  $p < 0,05$ )

O álcool provável, calculado a partir do teor de sólidos solúveis, variou entre 12,33% v/v (T3) e 13,16% v/v (T2), sem diferenças estatisticamente significativas entre tratamentos ( $p > 0,05$ ). A ligeira variação observada acompanha a tendência verificada nos sólidos solúveis, refletindo a relação direta entre o teor de açúcares e o potencial alcoólico do mosto, sem que se tenha verificado influência evidente do regime de rega (Figura 34).

De forma geral, os valores obtidos situam-se dentro da gama habitualmente observada em vinhos monovarietais da casta Antão Vaz disponíveis no mercado, cujos teores alcoólicos variam, de acordo com observação direta, entre cerca de 12 % e 13,5 % v/v. Este enquadramento confirma que as uvas colhidas apresentaram um nível de maturação tecnológica compatível com os padrões comerciais e enológicos característicos da casta.

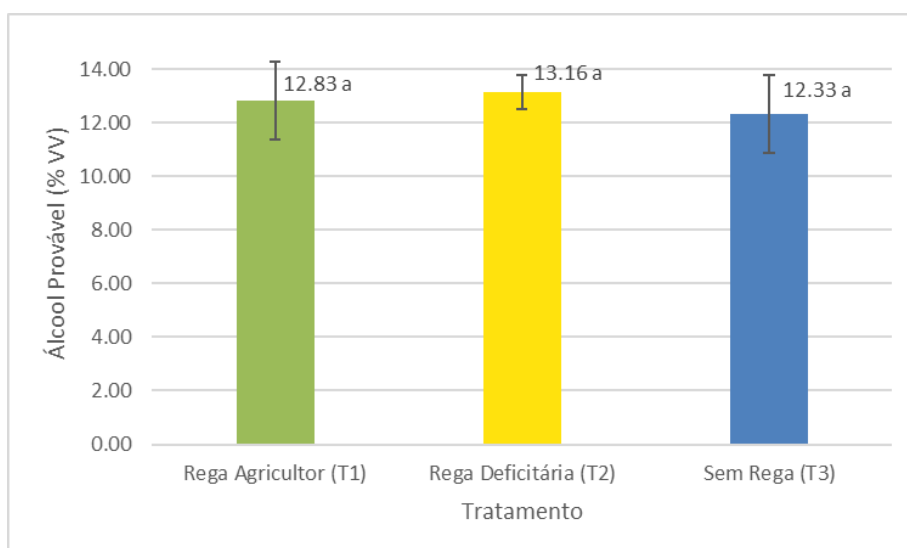


Figura 34 - Valores médios de álcool provável (% v/v) em diferentes modalidades de rega na casta Antão Vaz. Barras de erro representam o desvio-padrão. Valores com a mesma letra minúscula não diferem significativamente (teste Tukey,  $p < 0,05$ )

A acidez titulável variou entre 2,66 g L<sup>-1</sup> (T1) e 2,77 g L<sup>-1</sup> (T2), sem diferenças estatisticamente significativas entre tratamentos ( $p > 0,05$ ). Observou-se apenas uma ligeira tendência para valores mais elevados nos tratamentos com menor disponibilidade hídrica (T2 e T3), sem que se possa atribuir um efeito claro do regime de rega (Figura 35).

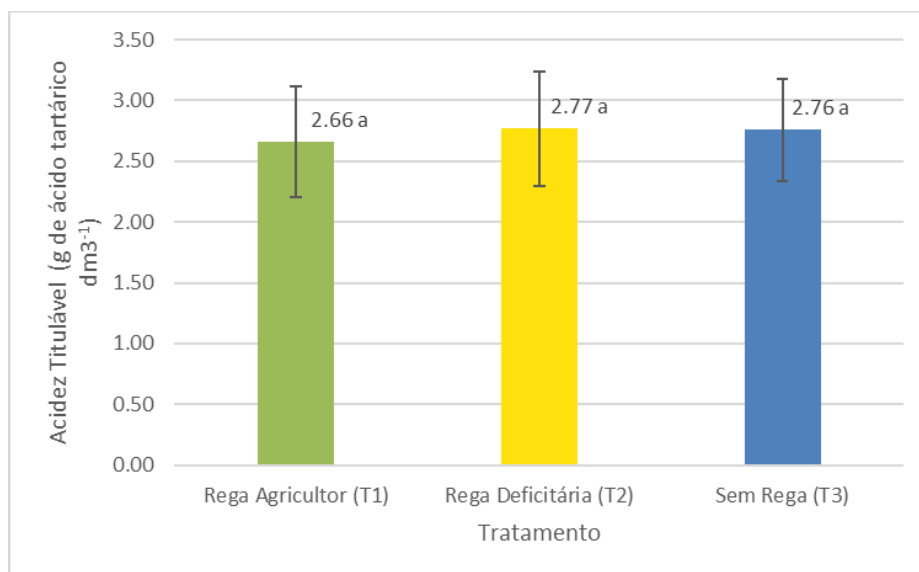


Figura 35 - Valores médios de acidez titulável ( $\text{g L}^{-1}$ ) do mosto em diferentes modalidades de rega na casta Antão Vaz. Barras de erro representam o desvio-padrão. Valores com a mesma letra minúscula não diferem significativamente (teste Tukey,  $p < 0,05$ )

No presente ensaio, os parâmetros de composição tecnológica do mosto apresentaram valores muito semelhantes entre tratamentos, sem diferenças significativas nem tendências consistentes associadas ao regime hídrico. Esta estabilidade sugere que, nas condições do ano experimental, a disponibilidade de água foi suficiente para garantir uma maturação equilibrada, mesmo no tratamento sem rega, refletindo o carácter relativamente húmido do ano durante o ciclo vegetativo e a resiliência fisiológica da casta Antão Vaz.

Comportamentos semelhantes foram relatados por Bouzas-Cid et al., (2018a) e (Cancela et al., 2016) em castas brancas de regiões atlânticas, onde a rega ligeira não provocou alterações significativas na composição dos mostos. Estes autores atribuíram essa estabilidade à elevada precipitação e à capacidade da videira em manter o equilíbrio entre crescimento vegetativo e reprodutivo, mesmo sob variações moderadas de disponibilidade hídrica.

Em contraste, estudos conduzidos sob condições mais secas ou com défices hídricos controlados mostram respostas mais marcadas. Cataldo et al., (2021) observaram em Sauvignon Blanc que o défice moderado aumentou o teor de açúcares e reduziu a acidez, enquanto Kovalenko et al., (2021) e Ju et al., (2019) relataram comportamento semelhante em castas tintas, com maior °Brix e potencial alcoólico e menor acidez sob limitação hídrica. Este comportamento poderá estar associado à plasticidade fisiológica da videira, frequentemente descrita como capacidade de ajustar a sua atividade fotossintética e

produtiva sob condições de déficit hídrico, mantendo a produção dentro de limites normais (Chaves et al., 2010; Lopes, 2008).

Por outro lado, López et al., (2007) verificaram que, em condições semiáridas, défices hídricos aplicados em fases tardias podem induzir aumento da acidez e redução do pH, demonstrando que o momento e a intensidade do déficit são determinantes na resposta enológica. No presente ensaio, a rega deficitária foi aplicada após o pintor, coincidindo com um período em que a casta Antão Vaz tende a apresentar menor sensibilidade a variações hídricas, o que poderá justificar a uniformidade estatística observada entre tratamentos. Ainda assim, observou-se que os tratamentos com menor disponibilidade de água (T2 e T3) apresentaram valores de pH ligeiramente inferiores e acidez titulável ligeiramente superior em relação ao tratamento com rega do agricultor (T1), o que está em linha com o comportamento descrito por López et al., (2007) para situações de déficit hídrico moderado (Figura 33 e Figura 35).

Em síntese, os resultados obtidos demonstram uma composição tecnológica semelhante entre tratamentos, com variações discretas e não significativas nos parâmetros de maturação. Estes dados indicam que, nas condições do presente ensaio, a disponibilidade hídrica teve impacto reduzido na composição do mosto, mantendo-se valores adequados à produção de vinhos brancos equilibrados.

## **5. Conclusão**

A presente dissertação teve como objetivo principal avaliar a resposta da casta Antão Vaz a três modalidades de gestão hídrica no Baixo Alentejo: rega convencional (T1), rega deficitária aplicada após o pintor (T2) e ausência total de rega (T3).

Os resultados obtidos evidenciam que o comportamento fisiológico da casta Antão Vaz foi equilibrado face às diferentes disponibilidades de água. Verificou-se uma diminuição gradual do teor de clorofila (SPAD) ao longo do ciclo vegetativo, associada à evolução natural da maturação. No entanto, observaram-se diferenças significativas na fase do pintor, com valores mais elevados no tratamento regado (T1), o que indica uma melhor manutenção da atividade fotossintética sob maior disponibilidade hídrica. No conjunto das avaliações, a variação observada demonstra a capacidade da casta para ajustar o seu funcionamento fisiológico às condições de défice hídrico.

A análise das trocas gasosas (IRGA) evidenciou que as diferenças entre tratamentos ocorreram essencialmente durante o pintor, fase de maior exigência fisiológica. A assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (A), a transpiração (E) e a condutância estomática (gs) apresentaram reduções nos tratamentos com menor disponibilidade de água, registando-se diferenças significativas entre T1 e T3. Apesar disso, a atividade fotossintética manteve-se estável, demonstrando que os défices hídricos aplicados não atingiram severidade suficiente para comprometer o funcionamento fisiológico da videira. Observou-se ainda uma tendência para maior eficiência intrínseca no uso da água (WUE<sub>intr</sub>) nos regimes deficitários (T2 e T3), refletindo a capacidade da casta em otimizar a utilização da água através de um controlo estomático eficaz. Este comportamento indica uma regulação estomática adaptada ao défice hídrico, permitindo à videira controlar a perda de água sem comprometer a assimilação de carbono. Assim, a casta Antão Vaz revela um comportamento fisiológico conservador, característico de variedades com estratégia próxima da isohídrica e bem ajustadas às condições áridas do clima mediterrânico do Baixo Alentejo.

No que respeita à vertente produtiva da videira e aos parâmetros tecnológicos do mosto, não se observaram diferenças estatisticamente significativas entre tratamentos, abrangendo a produção por cepa, o peso médio dos cachos, a produção por hectare e a composição tecnológica dos mostos. Esta estabilidade demonstra que o défice hídrico aplicado não atingiu níveis capazes de comprometer a produtividade ou a qualidade da uva, refletindo a boa adaptação da casta Antão Vaz às condições climáticas do Baixo Alentejo.

Importa ainda salientar que o presente estudo foi conduzido num único ciclo vegetativo, o que constitui uma limitação em culturas perenes como a vinha. A videira possui mecanismos de compensação fisiológica que lhe permitem mobilizar reservas acumuladas

nas raízes e na madeira, mantendo o vigor e a produção em anos de menor disponibilidade hídrica. No entanto, a persistência do stress ao longo de vários ciclos pode reduzir essas reservas e afetar o crescimento e a fertilidade dos gomos. Assim, a avaliação contínua ao longo de diferentes anos será essencial para compreender plenamente a resposta acumulada da casta à restrição de água.

Com base nas observações realizadas, a casta Antão Vaz evidencia um comportamento fisiológico conservador, caracterizado por uma regulação estomática eficiente e uma utilização racional da água, assegurando o equilíbrio entre produtividade e adaptação ao ambiente. Esta resposta confirma o seu potencial para sistemas de viticultura sustentáveis em contextos de escassez hídrica, reforçando a sua relevância para o futuro da viticultura no Baixo Alentejo.

O presente trabalho constitui um contributo para a caracterização experimental da casta Antão Vaz sob diferentes regimes de rega, oferecendo informação científica útil para a gestão sustentável da água na viticultura regional. No futuro, será essencial prolongar o estudo ao longo de vários anos e sob condições climáticas contrastantes, de modo a quantificar os efeitos cumulativos do défice hídrico. A inclusão de novas variáveis de estudo, como o potencial hídrico da folha, em conjunto com a utilização de sensores de humidade do solo para monitorização contínua, permitirá uma caracterização mais rigorosa do estado hídrico da videira e uma calibração mais precisa da rega deficitária. A vinificação diferenciada das uvas provenientes de cada tratamento constituiria outro passo relevante, permitindo avaliar como as restrições hídricas influenciam a composição fenólica e aromática dos vinhos. Tal abordagem forneceria informação prática aos produtores, ajudando-os a ajustar a estratégia de rega em função do perfil sensorial pretendido. Seria igualmente interessante avaliar a resposta da casta Antão Vaz em diferentes tipos de solo, comparando a performance em solos argilosos profundos com solos xistosos ou mais superficiais, uma vez que a capacidade de retenção de água influencia fortemente a tolerância ao stress. Por fim, a comparação com outras castas regionais de comportamento mais isohídrico ou anisohídrico poderá contribuir para posicionar fisiologicamente a casta Antão Vaz e reforçar o seu papel como referência varietal para regiões de clima seco.

Em síntese, este estudo confirma a estabilidade fisiológica, produtiva e qualitativa da casta Antão Vaz sob défices hídricos moderados, demonstrando que possui mecanismos de regulação estomática e de utilização eficiente da água que lhe conferem uma boa resiliência às condições mediterrânicas do Baixo Alentejo.

## **6. Referências Bibliográficas**

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration—Guidelines for computing crop water requirements—FAO Irrigation and drainage paper 56*.
- ArgentinaWineGuide. (2025). *Argentina Wine Guide | The Argentine Wine Industry—Mendoza's Irrigation System*.  
[https://www.argentinawineguide.com/resources/irrigation.html?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.argentinawineguide.com/resources/irrigation.html?utm_source=chatgpt.com)
- ASAE. (2003). Field evaluation of microirrigation systems. *American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph*, 760–765.
- Baioa, M. (2020). Antão Vaz, a casta que gosta de olhar para a Serra do Mendro. *Diário do Alentejo*, 23–25.
- Blunden, J., & Arndt, D. S. (2012). State of the Climate in 2011. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(7), S1–S282.  
<https://doi.org/10.1175/2012BAMSStateoftheClimate.1>
- Bouzas-Cid, Y., Díaz-Losada, E., Trigo-Córdoba, E., Falqué, E., Orriols, I., Garde-Cerdán, T., & Mirás-Avalos, J. M. (2018a). Effects of irrigation over three years on the amino acid composition of Albariño ( *Vitis vinifera* L) musts and wines in two different terroirs. *Scientia Horticulturae*, 227, 313–325.  
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.05.005>
- Bouzas-Cid, Y., Falqué, E., Orriols, I., & Mirás-Avalos, J. M. (2018b). Effects of irrigation over three years on the amino acid composition of Treixadura (*Vitis vinifera* L.) musts and wines, and on the aromatic composition and sensory profiles of its wines. *Food Chemistry*, 240, 707–716. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.013>
- Buesa, I., Pérez, D., Castel, J., Intrigliolo, D. S., & Castel, J. R. (2017). Effect of deficit irrigation on vine performance and grape composition of *Vitis vinifera* L. cv. Muscat of Alexandria: Effect of seasonal vine water stress on water use. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 23(2), 251–259. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12280>
- Calderan, A., Sivilotti, P., Braidotti, R., Mihelčič, A., Lisjak, K., & Vanzo, A. (2021). Managing moderate water deficit increased anthocyanin concentration and proanthocyanidin galloylation in “Refošk” grapes in Northeast Italy. *Agricultural Water Management*, 246, 106684. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106684>
- Cancela, J. J., Trigo-Córdoba, E., Martínez, E. M., Rey, B. J., Bouzas-Cid, Y., Fandiño, M., & Mirás-Avalos, J. M. (2016). Effects of climate variability on irrigation scheduling

- in white varieties of *Vitis vinifera* (L.) of NW Spain. *Agricultural Water Management*, 170, 99–109. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.01.004>
- Cardoso, C. S. da C. (2022). *Vinificação da Casta Antão-Vaz: Com e sem a aplicação de um indutor de compostos aromáticos* [Universidade NOVA de Lisboa]. [https://run.unl.pt/bitstream/10362/158849/1/Cardoso\\_2022.pdf](https://run.unl.pt/bitstream/10362/158849/1/Cardoso_2022.pdf)
- Cataldo, E., Salvi, L., & Mattii, G. B. (2021). Effects of irrigation on ecophysiology, sugar content and thiol precursors (3-S-cysteinylhexan-1-ol and 3-S-glutathionylhexan-1-ol) on cv. Sauvignon Blanc. *Plant Physiology and Biochemistry*, 164, 247–259. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.04.029>
- Chaves, M. M. (2002). How Plants Cope with Water Stress in the Field? Photosynthesis and Growth. *Annals of Botany*, 89(7), 907–916. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf105>
- 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. *Annals of Applied Biology*, 150(2), 237–252. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2006.00123.x>
- Chaves, M. M., Zarrouk, O., Francisco, R., Costa, J. M., Santos, T., Regalado, A. P., Rodrigues, M. L., & Lopes, C. M. (2010). Grapevine under deficit irrigation: Hints from physiological and molecular data. *Annals of Botany*, 105(5), 661–676. <https://doi.org/10.1093/aob/mcq030>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.10.005>
- Cocco, A., Mercenaro, L., Muscas, E., Mura, A., Nieddu, G., & Lentini, A. (2021). Multiple Effects of Nitrogen Fertilization on Grape Vegetative Growth, Berry Quality and Pest Development in Mediterranean Vineyards. *Horticulturae*, 7(12), 530. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7120530>
- COTR. (2025). *SAGRA - Sistema Agrometeorológico para a Gestão da Rega no Alentejo (Agrometeorological System for Irrigation Management in Alentejo)*. Sistemas de Apoio à Decisão. <https://www.cotr.pt/servicos/sagranet.php>
- COTR, C. O. e de T. de R. (2009). “Benchmarking” na Rega e Boas Práticas de Gestão da Rega da Vinha.
- Cunha, J., Baeta, F., & Eiras-Dias, J. (2023). *Base de Dados da Coleção Ampelográfica Nacional, EVN*. [www.INIAV.pt](http://www.INIAV.pt)

- Davide, B., Martino, B., Lucio, B., Sara, C., Daniele, F., Daniele, M., Davide, M., Bianca, O., Carola, P., & Claudio, G. (2023). Effect of multifunctional irrigation on grape quality: A case study in Northern Italy. *Irrigation Science*, 41(4), 521–542. <https://doi.org/10.1007/s00271-022-00837-4>
- Davies, W. J., Kudoyarova, G., & Hartung, W. (2005). Long-distance ABA Signaling and Its Relation to Other Signaling Pathways in the Detection of Soil Drying and the Mediation of the Plant's Response to Drought. *Journal of Plant Growth Regulation*, 24(4), 285. <https://doi.org/10.1007/s00344-005-0103-1>
- Deloire, A., Carbonneau, A., Wang, Z., & Ojeda, H. (2004). Vine and water: A short review. *OENO One*, 38(1), 1. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2004.38.1.932>
- Deluc, L. G., Quilici, D. R., Decendit, A., Grimplet, J., Wheatley, M. D., Schlauch, K. A., Mérillon, J.-M., Cushman, J. C., & Cramer, G. R. (2009). Water deficit alters differentially metabolic pathways affecting important flavor and quality traits in grape berries of Cabernet Sauvignon and Chardonnay. *BMC Genomics*, 10, 212. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-10-212>
- Des Gachons, C. P., Leeuwen, C. V., Tominaga, T., Soyer, J., Gaudillère, J., & Dubourdieu, D. (2005). Influence of water and nitrogen deficit on fruit ripening and aroma potential of *Vitis vinifera* L cv Sauvignon blanc in field conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(1), 73–85. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1919>
- DGADR, D.-G. de A. e D. R. (2025). *Início*. <https://snisolos.dgadr.gov.pt/>
- Dodd, I. C. (2005). Root-To-Shoot Signalling: Assessing The Roles of 'Up' In the Up and Down World of Long-Distance Signalling In Planta. *Plant and Soil*, 274(1–2), 251–270. <https://doi.org/10.1007/s11104-004-0966-0>
- Domingues, M. D. C. A. (2025). *Desempenho Hidráulico e Eficiência Agronómica de Sistemas de Rega Gota-a-Gota em Amendoal e Olival* [Dissertação de Mestrado]. Instituto Politécnico de Beja - Escola Superior Agrária.
- Dong, Y., Duan, S., Xia, Q., Liang, Z., Dong, X., Margaryan, K., Musayev, M., Goryslavets, S., Zdunić, G., Bert, P.-F., Lacombe, T., Maul, E., Nick, P., Bitskinashvili, K., Bisztray, G. D., Drori, E., De Lorenzis, G., Cunha, J., Popescu, C. F., ... Chen, W. (2023). Dual domestications and origin of traits in grapevine evolution. *Science*, 379(6635), 892–901. <https://doi.org/10.1126/science.add8655>
- Dry, P. R., & Loveys, B. R. (1998). Factors influencing grapevine vigour and the potential for control with partial rootzone drying. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 4(3), 140–148. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.1998.tb00143.x>

- Dry, P. R., Loveys, B. R., McCarthy, M. G., & Stoll, M. (2001). Strategic irrigation management in Australian vineyards. *OENO One*, 35(3), 129. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2001.35.3.1699>
- EDIA. (2025). *Plano Anual de Utilização de Água no EFMA—Campanha de 2025*. [https://www.edia.pt/wp-content/uploads/2025/01/PAUA-2025\\_vf.pdf](https://www.edia.pt/wp-content/uploads/2025/01/PAUA-2025_vf.pdf)
- FAO, F. A. A. O. (2011). *The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture* (0 ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203142837>
- Fereres, E., & Soriano, M. A. (2007). Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany*, 58(2), 147–159. <https://doi.org/10.1093/jxb/erl165>
- Ferrão, M. T. de L. M. (2014). *Efeito da rega deficitária no vigor, produção e qualidade da casta Alvarinho (Vitis vinifera, L.) na Região dos Vinhos Verdes* [Mestrado]. Universidade de Lisboa.
- Flexas, J. (2002). Drought-inhibition of Photosynthesis in C3 Plants: Stomatal and Non-stomatal Limitations Revisited. *Annals of Botany*, 89(2), 183–189. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf027>
- Flexas, J., Bota, J., Galmés, J., Medrano, H., & Ribas-Carbó, M. (2006). Keeping a positive carbon balance under adverse conditions: Responses of photosynthesis and respiration to water stress. *Physiologia Plantarum*, 127(3), 343–352. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2006.00621.x>
- Flexas, J., Galmés, J., Gallñ, A., Gulhas, J., Pou, A., Ribas-Carbo, M., Tomas, M., & Medrano, H. (2010). *Improving water use efficiency in grapevines: Potential physiological targets for biotechnological improvement*. 16. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1755-0238.2009.00057.x>
- Florestas. (2022). *Estudo do solo: Pedologia e cartas do solo em Portugal* [O estudo do solo: a pedologia e as cartas de solo em Portugal]. <https://florestas.pt/conhecer/o-estudo-do-solo-a-pedologia-e-as-cartas-de-solo-em-portugal/>
- Fraga, H., Malheiro, A. C., Moutinho-Pereira, J., & Santos, J. A. (2013). An overview of climate change impacts on European viticulture. *Food and Energy Security*, 1(2), 94–110. <https://doi.org/10.1002/fes3.14>
- Fraga, H., Santos, J. A., Malheiro, A. C., & Moutinho-Pereira, J. (2012). *Climate Change Projections for the Portuguese Viticulture Using a Multi-Model Ensemble*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.5126.6647>
- Ganesch, J. K.-I. (JKI), Federal Research Centre for Cultivated Plants, Institute for Grapevine Breeding, Geilweilerhof ,Siebeldingen, Röckel Franco, Erika Maul,

- Reinhard Töpfer, Alina. (2025). *ANTAO VAZ*.  
<https://www.vivc.de/index.php?r=passport%2Fview&id=493>
- Girona, J., Marsal, J., Mata, M., Del Campo, J., & Basile, B. (2009). Phenological sensitivity of berry growth and composition of Tempranillo grapevines ( *Vitis vinifera* L.) to water stress. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 15(3), 268–277. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2009.00059.x>
- Gomes, J. J. B. (2018). *Influência do sistema de manutenção do solo na entrelinha da vinha, no vigor, na produção e na qualidade do mosto nas Castas Arinto e Antão Vaz*.
- Greer, D. H., & Weedon, M. M. (2013). The impact of high temperatures on *Vitis vinifera* cv. Semillon grapevine performance and berry ripening. *Frontiers in Plant Science*, 4, 491. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00491>
- Guilpart, N., Metay, A., & Gary, C. (2014). Grapevine bud fertility and number of berries per bunch are determined by water and nitrogen stress around flowering in the previous year. *European Journal of Agronomy*, 54, 9–20. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.11.002>
- Hochberg, U., Windt, C. W., Ponomarenko, A., Zhang, Y.-J., Gersony, J., Rockwell, F. E., & Holbrook, N. M. (2017). Stomatal Closure, Basal Leaf Embolism, and Shedding Protect the Hydraulic Integrity of Grape Stems. *Plant Physiology*, 174(2), 764–775. <https://doi.org/10.1104/pp.16.01816>
- Hsiao, T. (2003). Plant Responses to Water Stress. *Annual Review of Plant Biology*, 24, 519–570. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.24.060173.002511>
- IPMA. (2025). *Normal Climatológica – Beja 1991-2020*. [https://www.ipma.pt/bin/file.data/climate-normal/cn\\_91-20\\_BEJA.pdf](https://www.ipma.pt/bin/file.data/climate-normal/cn_91-20_BEJA.pdf)
- IUSS Working Group WRB. (2015). *World reference base for soil resources 2014 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps* (No. 106; World Soil Resources Reports). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <https://doi.org/10.29003/m4174.978-5-317-07235-3>
- IVV, I. da V. e do V. (2024). *Anuário 2023*.
- Ju, Y., Yang, B., He, S., Tu, T., Min, Z., Fang, Y., & Sun, X. (2019). Anthocyanin accumulation and biosynthesis are modulated by regulated deficit irrigation in Cabernet Sauvignon (*Vitis Vinifera* L.) grapes and wines. *Plant Physiology and Biochemistry*, 135, 469–479. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.11.013>
- Keller, M. (2005). *ESTRATÉGIAS DE IRRIGAÇÃO DE UVAS BRANCAS E TINTAS*.
- Keller, M. (2020). *The science of grapevines* (3rd ed). Academic press.

- Kennedy, J. A., Matthews, M. A., & Waterhouse, A. L. (2002). Effect of Maturity and Vine Water Status on Grape Skin and Wine Flavonoids. *American Journal of Enology and Viticulture*, 53(4), 268–274. <https://doi.org/10.5344/ajev.2002.53.4.268>
- Kizildeniz, T., Irigoyen, J. J., Pascual, I., & Morales, F. (2018). Simulating the impact of climate change (elevated CO<sub>2</sub> and temperature, and water deficit) on the growth of red and white Tempranillo grapevine in three consecutive growing seasons (2013–2015). *Agricultural Water Management*, 202, 220–230. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.02.006>
- Kovalenko, Y., Tindjau, R., Madilao, L. L., & Castellarin, S. D. (2021). Regulated deficit irrigation strategies affect the terpene accumulation in Gewürztraminer (*Vitis vinifera* L.) grapes grown in the Okanagan Valley. *Food Chemistry*, 341, 128172. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128172>
- Kuhn, N., Guan, L., Dai, Z. W., Wu, B.-H., Lauvergeat, V., Gomès, E., Li, S.-H., Godoy, F., Arce-Johnson, P., & Delrot, S. (2013). Berry ripening: Recently heard through the grapevine. *Journal of Experimental Botany*, 65(16), 4543–4559. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert395>
- Lambers, H., Chapin, F. S., & Pons, T. L. (2008). *Plant Physiological Ecology*. Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-78341-3>
- Linhart, L., Moretti, B., Herrera, J. C., & Forneck, A. (2023). Maximum stomatal conductance rather than stomatal sensitivity to drought differentiates the PIWI grapevine cultivar Sauvignier gris from Muscaris and Donauriesling. *OENO One*, 57(2), 129–138. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2023.57.2.7307>
- Long, S. P. (1991). Modification of the response of photosynthetic productivity to rising temperature by atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations: Has its importance been underestimated? *Plant, Cell & Environment*, 14(8), 729–739. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1991.tb01439.x>
- Lopes, C. (2008). *REGA DA VINHA*. Universidade Técnica de Lisboa.
- Lopes, C. M., Barroso, J., Madeira, J., Vicente-Paulo, J., Cabrita, M. J., Pacheco, C., Rodrigues, M. L., Santos, T., & Chaves, M. M. (2001). Rega da vinha no Alentejo. Dotações e época de aplicação. *Actas 5º Simp. Vitivinicultura do Alentejo, ATEVA/CVRA, Évora, 23-25 Maio 2001*. <https://repositorio.ulisboa.pt/handle/10400.5/23160>
- Lopes, C. M., Monteiro, A., Afonso, J. M., Carvalho, L., Melicias, J., Abrantes, M. L., Páscoa, I., Moreira, I., Guimarães, J., & Coelho, J. F. (2005). *Tecnologia vitícola*

- para optimização do potencial qualitativo. Manutenção do solo e gestão da folhagem* [Report]. s.n. <https://repositorio.ulisboa.pt/handle/10400.5/23551>
- Lopes, C. M., Santos, T. P., Monteiro, A., Rodrigues, M. L., Costa, J. M., & Chaves, M. M. (2011). Combining cover cropping with deficit irrigation in a Mediterranean low vigor vineyard. *Scientia Horticulturae*, 129(4), 603–612. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.04.033>
- 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(7), 491–507. <https://doi.org/10.1080/09637480701311801>
- Lorenz, D. H., Eichhorn, K. W., Bleiholder, H., Klose, R., Meier, U., & Weber, E. (1995). Growth Stages of the Grapevine: Phenological growth stages of the grapevine (*Vitis vinifera* L. ssp. *vinifera*)—Codes and descriptions according to the extended BBCH scale. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 1(2), 100–103. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.1995.tb00085.x>
- Lovisol, C., Perrone, I., Carra, A., Ferrandino, A., Flexas, J., Medrano, H., & Schubert, A. (2010). Drought-induced changes in development and function of grapevine (*Vitis* spp.) organs and in their hydraulic and non-hydraulic interactions at the whole-plant level: A physiological and molecular update. *Functional Plant Biology*, 37(2), 98. <https://doi.org/10.1071/FP09191>
- Ma, X., Sanguinet, K. A., & Jacoby, P. W. (2019). Performance of direct root-zone deficit irrigation on *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon production and water use efficiency in semi-arid southcentral Washington. *Agricultural Water Management*, 221, 47–57. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.04.023>
- Magalhães, N. (2008). *Tratado de Viticultura* (1ª Edição). O Chaves Ferreira - Publicações, S.A. <https://pt.scribd.com/document/673512059/Tratado-de-Viticultura-Prof-Nuno-Magalhaes>
- Matthews, M. A., & Anderson, M. M. (1989). Reproductive Development in Grape ( *Vitis vinifera* L.): Responses to Seasonal Water Deficits. *American Journal of Enology and Viticulture*, 40(1), 52–60. <https://doi.org/10.5344/ajev.1989.40.1.52>
- McGovern, P. E. (com Internet Archive). (2003). *Ancient wine: The search for the origins of viniculture*. Princeton : Princeton University Press. <http://archive.org/details/ancientwinesearc0000mcgo>

- Medrano, H. (2002). Regulation of Photosynthesis of C3 Plants in Response to Progressive Drought: Stomatal Conductance as a Reference Parameter. *Annals of Botany*, 89(7), 895–905. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf079>
- Meinshausen, M., Smith, S. J., Calvin, K., Daniel, J. S., Kainuma, M. L. T., Lamarque, J.-F., Matsumoto, K., Montzka, S. A., Raper, S. C. B., Riahi, K., Thomson, A., Velders, G. J. M., & Van Vuuren, D. P. P. (2011). The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300. *Climatic Change*, 109(1–2), 213–241. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0156-z>
- Ohana-Levi, N., Ben-Gal, A., Munitz, S., & Netzer, Y. (2022). Grapevine crop evapotranspiration and crop coefficient forecasting using linear and non-linear multiple regression models. *Agricultural Water Management*, 262, 107317. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107317>
- OIV. (2025). *OIV-State\_of\_the\_World\_Vine-and-Wine-Sector-in-2024*.
- Ojeda, H. (2007). *REGA QUALITATIVA DE PRECISÃO DA VINHA*.
- 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*.
- Pachauri, R. K., Mayer, L., & IPCC (Eds.). (2014). *Climate change 2014: Synthesis report*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Pacheco, A. J. D. (2009). *Análise económica e optimização da rega localizada em pereira (Pyrus communis L.) cv. Rocha. Potencial hídrico foliar e crescimento dos frutos como indicadores para a gestão da rega*. Universidade Técnica de Lisboa.
- Pellegrino, A., Lebon, E., Simonneau, T., & Wery, J. (2005). Towards a simple indicator of water stress in grapevine (*Vitis vinifera* L.) based on the differential sensitivities of vegetative growth components. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 11(3), 306–315. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2005.tb00030.x>
- Pérez-Navarro, J., Izquierdo-Cañas, P. M., Mena-Morales, A., Martínez-Gascueña, J., Chacón-Vozmediano, J. L., García-Romero, E., Hermosín-Gutiérrez, I., & Gómez-Alonso, S. (2021). Genotypic variation in phenolic composition of novel white grape genotypes (*Vitis vinifera* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 102, 103987. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103987>
- Prieto, J. A., Lebon, É., & Ojeda, H. (2010). Stomatal behavior of different grapevine cultivars in response to soil water status and air water vapor pressure deficit. *OENO One*, 44(1), 9. <https://doi.org/10.20870/oenone.2010.44.1.1459>

- Reynolds, A. G. (2010). *Viticultural and vineyard management practices and their effects on grape and wine quality*.
- Roby, G., Harbertson, J. F., Adams, D. A., & Matthews, M. A. (2004). Berry size and vine water deficits as factors in winegrape composition: Anthocyanins and tannins. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 10(2), 100–107. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2004.tb00012.x>
- Santillán, D., Iglesias, A., La Jeunesse, I., Garrote, L., & Sotes, V. (2019). Vineyards in transition: A global assessment of the adaptation needs of grape producing regions under climate change. *Science of The Total Environment*, 657, 839–852. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.079>
- Santos, T., Lopes, C. M., Rodrigues, L., Souza, C., Maroco, J., Pereira, J. S., & Chaves, M. M. (2004). Influência da estratégia de rega no crescimento vegetativo e qualidade da uva. *Actas 6º Simp. de Vitivinicultura do Alentejo, ATEVA/CVRA, Évora, 26-28 Maio 2004*. <https://repositorio.ulisboa.pt/handle/10400.5/23155>
- Scherrer, S. C., Fischer, E. M., Posselt, R., Liniger, M. A., Croci-Maspoli, M., & Knutti, R. (2016). Emerging trends in heavy precipitation and hot temperature extremes in Switzerland. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121(6), 2626–2637. <https://doi.org/10.1002/2015JD024634>
- Schultz, H. R. (2003). Differences in hydraulic architecture account for near-isohydric and anisohydric behaviour of two field-grown *Vitis vinifera* L. cultivars during drought. *Plant, Cell & Environment*, 26(8), 1393–1405. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2003.01064.x>
- Schultz, H. R., & Stoll, M. (2009). *Some critical issues in environmental physiology of grapevines: Future challenges and current limitations*.
- Schultz, H. R., & Stoll, M. (2010). Some critical issues in environmental physiology of grapevines: Future challenges and current limitations. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 16(s1), 4–24. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2009.00074.x>
- Spayd, S. E., Tarara, J. M., Mee, D. L., & Ferguson, J. C. (2002). Separation of Sunlight and Temperature Effects on the Composition of *Vitis vinifera* cv. Merlot Berries. *American Journal of Enology and Viticulture*, 53(3), 171–182. <https://doi.org/10.5344/ajev.2002.53.3.171>
- SPI, S. P. da I. (2021). *Vulnerabilidades Climáticas Atuais*.

- Stahl, G. T. (2017). *STOMATAL CONDUCTANCE AS AN IRRIGATION SCHEDULING TOOL IN GRAPEVINE*. WASHINGTON STATE UNIVERSITY Department of Horticulture.
- Tomaz, A., Coletto Martinez, J. M., & Arruda Pacheco, C. (2015a). Yield and quality responses of ‘Aragonez’ grapevines under deficit irrigation and different soil management practices in a mediterranean climate. *Ciência e Técnica Vitivinícola*, 30(1), 9–20. <https://doi.org/10.1051/ctv/20153001009>
- Tomaz, A., Martinez, M. C., & Pacheco, A. (2015b). *RENDIMENTO E QUALIDADE DA PRODUÇÃO DE UMA VINHA PLANTADA EM VERTISSOLOS SOB CONDIÇÕES DE CONFORTO HÍDRICO E DE DÉFICE HÍDRICO*.
- Tomaz, A., & Raposo, M. A. (2016). *Eficiência da rega em ambiente mediterrânico: O caso de uma vinha no Baixo Alentejo*.
- Trigo-Córdoba, E., Bouzas-Cid, Y., Orriols-Fernández, I., & Mirás-Avalos, J. M. (2014). Irrigation effects on the sensory perception of wines from three white grapevine cultivars traditional from Galicia (Albariño, Godello and Treixadura). *Ciência e Técnica Vitivinícola*, 29(2), 71–80. <https://doi.org/10.1051/ctv/20142902071>
- Van Leeuwen, C., Roby, J.-P., & De Rességuier, L. (2018). Soil-related terroir factors: A review. *OENO One*, 52(2), 173–188. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2018.52.2.2208>
- VCR, V. C. R. sca. (2014). *CATÁLOGO GERAL DAS CASTAS E DOS CLONES DE UVA DE VINHO E DE MESA*.
- Verdenal, T., Dienes-Nagy, Á., Spangenberg, J. E., Zufferey, V., Spring, J.-L., Viret, O., Marin-Carbonne, J., & Van Leeuwen, C. (2021). Understanding and managing nitrogen nutrition in grapevine: A review. *OENO One*, 55(1), 1–43. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2021.55.1.3866>
- ViniPortugal. (2024). *Indústria do Vinho 2023*.
- Wang, J., Abbey, T., Kozak, B., Madilao, L. L., Tindjau, R., Del Nin, J., & Castellarin, S. D. (2019). Evolution over the growing season of volatile organic compounds in Viognier (*Vitis vinifera* L.) grapes under three irrigation regimes. *Food Research International*, 125, 108512. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108512>
- Wilkinson, S., & Davies, W. J. (2002). ABA-based chemical signalling: The co-ordination of responses to stress in plants. *Plant, Cell & Environment*, 25(2), 195–210. <https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00824.x>

- WinesofPortugal. (2025). *História de Portugal*.  
<https://winesofportugal.com/pt/descobrir/historia/>
- Würz, D. A., Brighenti, A. F., Bem, B. P. de, Allebrandt, R., & Rufato, L. (2021). *Teor de clorofila em folhas de videira ‘Cabernet Franc’ em função do aumento da carga de gemas*. 12(34), 17–22.
- Würz, D. A., Brighenti, A. F., & Rufato, L. (2023). Avaliação do teor de clorofila da videira ‘Sauvignon Blanc’ em função do aumento da carga de gemas. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, 22(3), 504–508. <https://doi.org/10.5965/223811712232023504>

## **7. Apêndices**

*Apêndice A - Tratamentos fitossanitários realizados na parcela experimental da casta Antão Vaz durante o a campanha de 2025*

Data	Alvo principal	Substância ativa	Concentração
31/03	Míldio	Folpete + fosetil-alumínio	300 g hL <sup>-1</sup>
08/04	Míldio	Dimetomorfe + folpete + fosetil-alumínio	300 g hL <sup>-1</sup>
14/04	Míldio	Dimetomorfe + folpete + fosetil-alumínio	300 g hL <sup>-1</sup>
24/04	Oídio + Míldio	Enxofre + iprovalicarbe + folpete	400 g hL <sup>-1</sup> + 130 g hL <sup>-1</sup>
06/05	Oídio + Míldio	Enxofre + metalaxil-M + folpete	400 g hL <sup>-1</sup> + 200 g hL <sup>-1</sup>
18/05	Oídio	Penconazol	30 mL ha <sup>-1</sup>
09/06	Oídio	Penconazol	30 mL ha <sup>-1</sup>
21/06	Oídio	Piriofenona	300 mL ha <sup>-1</sup>

*Apêndice B – Resultados calculados da avaliação do sistema de rega da exploração Vale de Chafariz efetuada a 2 de junho de 2025*

	A	B	C
1	<b>RESULTADOS</b>		
2	<b>Resultados - Uniformidade dos caudais</b>		
3	<b>Caudal médio medido nos gotejadores:</b>		
4	Volume médio recolhido (ml)	23.52	
5	Tempo de medição (min)	1	
6	<b>q médio - caudal médio (L h<sup>-1</sup>):</b>	1.41	
7	<b>Desvio do caudal médio ao caudal nominal:</b>		
8	<b>DesvMédio (%):</b>	-6.3%	
9	<b>Desvio absoluto:</b>		
10	<b>DAq (-)</b>	0.1018	
11	<b>Desvio padrão:</b>		
12	<b>DPq (L h<sup>-1</sup>)</b>	0.1269	
13	<b>Coeficiente de Uniformidade de Distribuição:</b>		
14	<b>CUDq (%)</b>	87.18%	Boa
15	<b>Coeficiente de Variação dos Caudais:</b>		
16	<b>CVq (%)</b>	9.00%	Aceitável
17			
18			

Kevin Ramani | Dissertação Mestrado Engenharia Agronómica | Universidade de Évora  
Resposta da Casta Antão Vaz à Rega Deficitária numa Exploração do Baixo Alentejo

## **Protocolo Prático 1 – Medições fisiológicas com SPAD e IRGA**

### **I. Objetivo**

Avaliar o estado fisiológico da casta Antão Vaz em diferentes modalidades de rega, através de medições não destrutivas do teor relativo de clorofila foliar e das trocas gasosas, caracterizando a resposta fisiológica da cultura ao longo do ciclo vegetativo.

### **II. Material e Equipamentos**

- Medidor de clorofila SPAD-502 (Konica Minolta, Japão).
- Sistema portátil de medição de trocas gasosas LI-6800 Portable Photosynthesis System (LI-COR Biosciences, EUA).
- Tripé e cabos de ligação do LI-6800.
- Água destilada, cápsula de CO<sub>2</sub>, soda lime e gel de sílica (Sorbead).
- Fichas de registo e folhas de cálculo eletrónicas (Excel).
- Fitas sinalizadoras para identificação das videiras amostradas.

### **III. Procedimento**

#### **A) Medições com SPAD**

##### **1. Preparação do equipamento:**

- Inserir as pilhas (se necessário) e verificar que a zona de medição está limpa.
- Ligar o aparelho e efetuar a calibração inicial sem folha (mensagem “CAL” no visor).

##### **2. Condições da medição:**

- Evitar folhas sobrepostas, doentes ou com espaços vazios.
- Horário: 08h00–11h00.

##### **3. Seleção das folhas:**

Por videira, selecionar três folhas adultas completamente expandidas, fisiologicamente ativas e sãs. Devem evitar-se as folhas basais (mais velhas, tendem a apresentar valores mais baixos devido à senescência) e as folhas apicais (muito jovens,

com valores mais altos e inconsistentes). As medições devem ser realizadas sempre na mesma exposição solar, de modo a reduzir a variabilidade. A escolha da folha variou de acordo com a fase fenológica:

- Floração (BBCH 65–70): folha oposta à inflorescência superior;
- Desenvolvimento dos bagos (BBCH 75–79): folhas adultas totalmente expandidas;
- Pintor (BBCH 81–83): folhas do terço médio do sarmento;
- Colheita (BBCH 89): folhas do terço médio do sarmento.

#### **4. Número de medições:**

Cinco leituras por folha (uma em cada lóbulo), cinco videiras por tratamento, três tratamentos e quatro blocos, perfazendo 900 leituras por data.

#### **5. Parâmetros registados:**

Todos os valores devem ser registados em fichas próprias e transferidos para Excel. Em caso de leitura anómala, o aparelho emite um sinal sonoro e no visor surgem traços “---”, devendo a leitura ser repetida.

### **B) Medições com IRGA (LI-6800)**

#### **1. Preparação do equipamento:**

- Montar o aparelho no tripé e ligar os cabos que interligam a câmara foliar com a consola.
- Verificar os reagentes: encher reservatório com água destilada, introduzir cápsula de CO<sub>2</sub> e substituir soda lime e gel de sílica (Sorbead) quando necessário.
- Ligar o aparelho e realizar as calibrações automáticas até todos os parâmetros indicarem estabilidade.

#### **6. Condições da medição:**

- Evitar folhas sobrepostas, doentes ou com espaços vazios.
- Horário: 09h00–11h00.

#### **7. Seleção das folhas:**

Folhas adultas, completamente expandidas, fisiologicamente ativas e sãs, evitando-se as folhas basais (mais velhas, em início de senescência) e as apicais (muito jovens, metabolicamente instáveis). As medições foram realizadas em folhas do terço médio do sarmento, com exposição solar direta e homogénea entre tratamentos, assegurando a comparabilidade dos dados. Apenas foram consideradas folhas sem danos mecânicos ou fitossanitários, de modo a não comprometer a fiabilidade das medições.

#### **8. Execução:**

- Introduzir a folha na câmara do LI-6800.
- Aguardar estabilização e registar automaticamente os dados.

#### **9. Número de medições:**

Três folhas por tratamento em cada data, totalizando 36 medições por data.

Datas: 14 de julho de 2025 (BBCH 75–79) e 19 de agosto de 2025 (BBCH 83, duas semanas após reinício da rega no T1).

#### **10. Parâmetros registados:**

Os parâmetros registados foram a taxa líquida de assimilação de  $\text{CO}_2$  (A), a condutância estomática ao vapor de água (gsw) e a transpiração (E), considerados suficientes para caracterizar a resposta fisiológica da videira às diferentes modalidades de rega.

#### **11. Encerramento:**

No final das medições, guardar os ficheiros de dados em formato Excel, devidamente identificados por bloco, tratamento e data, para posterior análise estatística.

Kevin Ramani | Dissertação Mestrado Engenharia Agronómica | Universidade de Évora  
Resposta da Casta Antão Vaz à Rega Deficitária numa Exploração do Baixo Alentejo

## **Protocolo Prático 2 – Colheita e Análises do Mosto**

### **I. Objetivo**

Caracterizar a produtividade e a qualidade tecnológica da uva da casta Antão Vaz em função das diferentes modalidades de rega aplicadas no ensaio experimental. Para tal, a colheita integral das cepas selecionadas permitiu quantificar a produção por planta e por tratamento (número de cachos, produção em quilogramas por cepa e peso médio do cacho). Paralelamente, a recolha de amostras representativas de bagos possibilitou a análise da composição do mosto, incluindo parâmetros físico-químicos fundamentais: sólidos solúveis totais (°Brix), álcool provável, pH e acidez titulável.

### **II. Material e Equipamentos**

#### **Campo**

- Tesouras de poda e luvas de proteção.
- 36 caixas de colheita (higienizadas), identificadas com etiquetas (código B–T–C).
- Etiquetas resistentes, fita-cola e caneta permanente para identificação.
- Balança de campo portátil.
- Sacos zip de grau alimentar (12 unidades).
- Caixa isotérmica com acumuladores de frio.

#### **Laboratório**

- Balança de precisão (Mettler PJ4000).
- Placas de Petri taradas.
- Funil e musseline (filtração do mosto).
- Provetas graduadas.
- Pipetas de transferência descartáveis.
- Potenciômetro digital (HALO™ pH PROBE FC2022, Hanna Instruments).
- Refratômetro digital portátil (OPTi Duo, Bellingham + Stanley).
- Bureta de 25 mL e pipetas graduadas de vidro.
- Erlenmeyer (250 mL).
- Água desgaseificada.
- Indicador bromotimol azul.
- Solução tampão pH 7.
- Solução de NaOH 0,05 N.

### **III. Procedimentos**

#### **A) Colheita e Produtividade (Campo)**

1. Colher manualmente todos os cachos de 3 cepas por tratamento em cada bloco (36 cepas no total).
2. Depositar os cachos em caixas de vindima identificadas com a codificação B(x)–T(y)–C(z) (Bloco – Tratamento – Cepa).
3. Contar o número de cachos por cepa.
4. Pesar cada caixa individualmente e registar o peso bruto (uvas + caixa).
5. Calcular a produção líquida por cepa (peso da caixa – tara).
6. Determinar a produção média por cepa, o peso médio do cacho e extrapolar o rendimento por hectare, considerando 3.247 videiras ha<sup>-1</sup>.

#### **B) Amostragem (Campo)**

1. Selecionar aleatoriamente 100 bagos representativos por tratamento (12 amostras no total).
2. Recolher bagos de diferentes cachos e posições (evitando bagos danificados ou com sintomas de doença).
3. Acondicionar em sacos zip de grau alimentar, identificados com a codificação B(x)–T(y).
4. Transportar em caixa isotérmica e conservar em refrigeração até às análises laboratoriais

#### **C) Preparação do Mosto (Laboratório)**

1. Pesar cada saco de bagos e registar o peso líquido (subtraindo a tara).
2. Esmagar manualmente os bagos, evitando a trituração excessiva das grainhas.
3. Filtrar o mosto através de tecido de musseline.
4. Medir o volume do mosto em provetas graduadas.
5. Pesar a fração sólida (películas, grainhas e resíduos) em placas de Petri previamente taradas.

#### **D) Análises do Mosto (Laboratório)**

1. pH: medido em potenciômetro digital, em duplicado.
2. Sólidos solúveis totais (°Brix): determinados em refratômetro digital, em duplicado.
3. Álcool provável: estimado a partir dos valores de °Brix, em duplicado.
4. Acidez total titulável: segundo o método OIV-MA-AS313-01 (*Total Acidity Type I*).
  - Primeira titulação (ensaio preliminar): colocar 25 mL de água desgaseificada, 1 mL de solução de bromotimol azul e 5 mL de mosto em Erlenmeyer. Titular com NaOH 0,05 N até à viragem da cor (azul-esverdeado). Em seguida, adicionar 5 mL de solução tampão pH 7, estabelecendo o padrão de cor para as titulações seguintes.
  - Titulações de medição (duplicado): repetir o ensaio com 30 mL de água desgaseificada, 1 mL de bromotimol azul e 5 mL de mosto. Titular com NaOH 0,05 N até se obter a mesma cor da titulação preliminar (sem adição de tampão nesta fase).
  - O volume de NaOH gasto nas duas titulações de medição foi registado para cálculo da acidez total, expressa em g L<sup>-1</sup> de ácido tartárico.

Todos os resultados devem ser registados em fichas próprias e transferidos para folhas de cálculo (Excel), devidamente identificadas por tratamento e bloco, para análise estatística posterior.