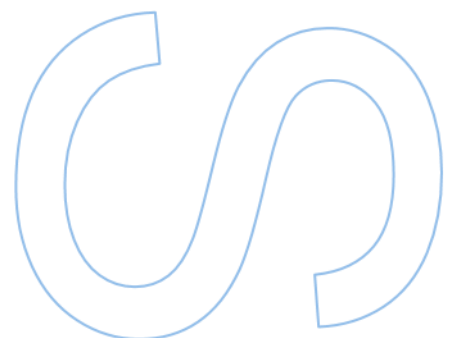
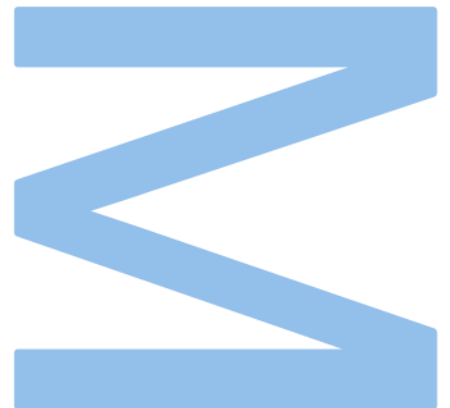


# Influência das alterações climáticas na viticultura da Ilha da Madeira: Bioclimatologia e Fenologia



João Paulo Ferreira dos Santos  
Dissertação no âmbito do Mestrado em Engenharia  
Agrónómica  
Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do  
Território 2024

# Influência das alterações climáticas na viticultura da Ilha da Madeira: Bioclimatologia e Fenologia



**João Paulo Ferreira dos Santos**

Dissertação no âmbito do Mestrado em Engenharia Agronómica

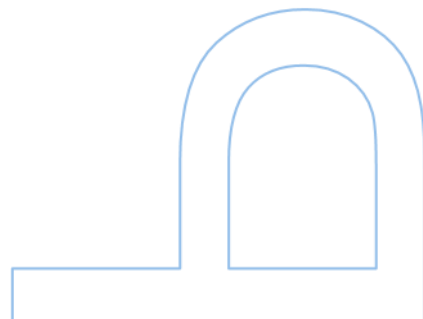
Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território  
2024

**Orientador**

Jorge Bernardo Lacerda de Queiroz, Professor Auxiliar, Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, FCUP

**Coorientador**

Susana Caldas Fonseca, Professora Auxiliar, Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, FCUP



*“Envelhecer é um processo extraordinário em que nos tornamos a pessoa que  
deveríamos ter sido”*

*David Bowie*

## Agradecimentos

Aos meus queridos pais, João Pedro e Maria Zita, agradeço pela educação que me proporcionaram e pelo apoio incondicional na minha incessante busca pela felicidade.

À minha esposa, Neli Azevedo, e às minhas filhas, Carolina e Catarina, pelo amor, apoio e incentivo que me sustentaram ao longo desta jornada de envelhecimento ativo.

Expresso a minha profunda gratidão ao Professor Doutor Jorge Bernardo Lacerda de Queiroz e à Professora Doutora Susana Caldas Fonseca pelo rigoroso acompanhamento, dedicação e entusiasmo que marcaram significativamente este trabalho. A exigência do Professor Jorge foi crucial na condução das minhas pesquisas, enquanto a Professora Susana foi indispensável na análise estatística, assegurando a integridade dos resultados apresentados.

Agradeço ao Exército português, representado pelo Sargento-Ajudante Amaro Sousa Rodrigues, pela generosidade em disponibilizar o alojamento na Messe do Exército do Porto, criando um ambiente acolhedor e familiar.

Meu sincero agradecimento ao Dr. Victor Prior, Diretor do Observatório Meteorológico do Funchal, cuja colaboração foi essencial não só para a concretização dos objetivos deste trabalho, mas também na obtenção dos dados meteorológicos ao longo de 13 anos. A precisão desses dados foi vital para a credibilidade das análises realizadas.

Estendo minha gratidão a Dr. Filipe Ricardo Rodrigues da Silva Sousa, Técnico Superior da Secretaria Regional da Agricultura e Pescas, pelo seu valioso contributo com dados estatísticos e georreferenciados das parcelas vitícolas.

Agradeço ao Sr. Leonel Pires Vieira, Assistente Técnico do IVBAM, pelo conhecimento transmitido durante o acompanhamento do ensaio agronómico e pela generosidade em partilhar informações sobre as práticas culturais regionais da videira, além de incentivar a investigação dos fenómenos que afetam o ciclo vegetativo tradicional da videira.

Aos professores da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, e a todos os colegas e amigos que, com seu apoio, incentivo e companhia, tornaram possível a realização do Mestrado em Engenharia Agronómica.

## Resumo

Este estudo investiga a influência das alterações climáticas na fenologia da videira na Ilha da Madeira, considerando a evolução das temperaturas entre 2011 e 2024. Com base nas médias de temperaturas horárias, foram quantificadas as horas de frio invernal anuais através dos modelos Utah, Low Chill e Taiwan. A relação entre as horas de frio e a produção vitícola entre 2011 e 2023 foi estudada em Câmara de Lobos (vertente sul), Santana e São Vicente (vertente norte), revelando diferenças significativas entre estas regiões.

Foram também investigados os índices bioclimáticos (Winkler, Huglin e Índice de Frescura Noturna) nos três principais municípios produtores de vinho Madeira, indicando uma aptidão moderada para a viticultura, com variações relevantes entre os microclimas das vertentes norte e sul da ilha e ao longo do tempo. Estes dados permitiram uma comparação com a classificação climática multicritério de Tonietto & Carbonneau e uma análise da correlação entre as horas de frio acumuladas e a produção de uvas.

Adicionalmente, a eficácia de reguladores de crescimento, como 6-Benziladenina e ácido abscísico, e do bioestimulante Erger (7%) + ActivErger (16%) foi avaliada na mitigação dos efeitos de invernos quentes e ondas de calor durante a dormência da videira. Os resultados mostraram que o bioestimulante foi mais eficaz, com 38% das videiras a apresentarem mais de 50% dos gomos evoluídos, em comparação com uma taxa de abrolhamento quase nula nos tratamentos com reguladores de crescimento e no controlo.

Estes resultados demonstram a importância de integrar práticas tradicionais com pesquisas científicas para garantir a sustentabilidade da viticultura na Madeira, enfrentando os desafios impostos pelas alterações climáticas.

**Palavras-chave:** Horas de frio, índices bioclimáticos, bioestimulantes, dormência, abrolhamento, reguladores de crescimento.

## Abstract

This study investigates the influence of climate change on grapevine phenology in Madeira Island, considering temperature trends from 2011 to 2024. Based on hourly temperature averages, winter chill hours were quantified using the Utah, Low Chill, and Taiwan models. The relationship between chill hours and grape production from 2011 to 2023 was examined in Câmara de Lobos (south), Santana, and São Vicente (north), revealing significant differences between these regions.

Bioclimatic indices (Winkler, Huglin, and Night Freshness Index) were also studied in the three main Madeira wine-producing municipalities, indicating moderate suitability for viticulture, with notable variations between the microclimates of the island's north and south slopes over time. These data allowed for comparisons with the Tonietto & Carboneau multi-criteria climate classification and an analysis of the correlation between accumulated chill hours and grape production.

Additionally, the effectiveness of growth regulators, such as 6-Benzyladenine and abscisic acid, and the biostimulant Erger (7%) + ActivErger (16%) was evaluated in mitigating the effects of warm winters and heatwaves during vine dormancy. The results showed that the biostimulant was more effective, with 38% of the vines showing more than 50% of buds evolved, compared to an almost null budburst rate in the treatments with growth regulators and the control.

These findings highlight the importance of integrating traditional practices with scientific research to ensure the sustainability of viticulture in Madeira, addressing the challenges posed by climate change.

**Keywords:** Chill hours, bioclimatic indices, biostimulants, dormancy, budburst, growth regulators.

# Índice

|                                                                                              |      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Lista de Figuras .....                                                                       | viii |
| Lista de Tabelas .....                                                                       | x    |
| Lista de Equações .....                                                                      | xii  |
| Lista de Abreviaturas .....                                                                  | xiii |
| 1. Introdução.....                                                                           | 1    |
| 2. Estado da arte .....                                                                      | 5    |
| 2.1. Aspectos gerais e fenologia da videira .....                                            | 5    |
| 2.1.1. Fenologia e ciclo vegetativo e reprodutivo da videira.....                            | 6    |
| 2.1.2. Dormência.....                                                                        | 10   |
| 2.1.3. Fatores endógenos na fase de dormência.....                                           | 11   |
| 2.1.4. Fatores exógenos na fase de dormência.....                                            | 11   |
| 2.2. Região Vitivinícola na Madeira .....                                                    | 12   |
| 2.2.1. Castas .....                                                                          | 13   |
| 2.2.2. Solo .....                                                                            | 15   |
| 2.2.3. Clima .....                                                                           | 17   |
| 2.3. Impacto das alterações climáticas na viticultura .....                                  | 19   |
| 2.3.1. Redução de horas de frio .....                                                        | 20   |
| 2.3.2. Ondas de calor .....                                                                  | 23   |
| 2.4. Horas de frio na fase de dormência.....                                                 | 24   |
| 2.4.1. Modelo de Utah .....                                                                  | 25   |
| 2.4.2. Modelo de Low Chill .....                                                             | 26   |
| 2.4.3. Modelo de Taiwan .....                                                                | 26   |
| 2.5. Índices bioclimáticos na viticultura.....                                               | 27   |
| 2.6. Utilização de bioestimulantes e reguladores de crescimento na quebra da dormência ..... | 30   |
| 2.6.1. Reguladores de crescimento .....                                                      | 31   |

|        |                                                                                                                                                   |    |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.6.2. | Bioestimulantes .....                                                                                                                             | 33 |
| 3.     | Material e Métodos .....                                                                                                                          | 34 |
| 3.1.   | Estudo das horas de frio na previsão da produção vitícola em três municípios da ilha da Madeira.....                                              | 34 |
| 3.2.   | Estudo dos índices bioclimáticos para a cultura da videira em três municípios da ilha da Madeira.....                                             | 36 |
| 3.3.   | Estudo da aplicação de reguladores de crescimento e bioestimulantes na quebra de dormência em videiras da casta Sercial, em Câmara de Lobos ..... | 36 |
| 3.3.1. | Campo de ensaio .....                                                                                                                             | 38 |
| 3.3.2. | Material vegetativo .....                                                                                                                         | 39 |
| 3.3.3. | Práticas culturais .....                                                                                                                          | 41 |
| 3.4.   | Análise estatística .....                                                                                                                         | 42 |
| 4.     | Resultados e discussão .....                                                                                                                      | 43 |
| 4.1.   | Estudo das horas de frio na previsão da produção de uva em três municípios da ilha da Madeira.....                                                | 43 |
| 4.2.   | Estudo dos Índices bioclimáticos para a cultura da videira em três municípios da ilha da Madeira.....                                             | 53 |
| 4.3.   | Estudo da aplicação de reguladores de crescimento e bioestimulantes na quebra de dormência em videiras da casta Sercial .....                     | 55 |
| 5.     | Considerações finais .....                                                                                                                        | 60 |
|        | Referências Bibliográficas .....                                                                                                                  | 65 |
|        | Anexo I – Apuramento Climatológico mensal .....                                                                                                   | 74 |
|        | Anexo II – Ficha técnica do ERGER.....                                                                                                            | 75 |
|        | Anexos III – Ficha técnica do ACTIV ERGER.....                                                                                                    | 76 |
|        | Anexo IV – Estatística Descritiva da Produção e Horas de frio obtidas pelo modelo de Taiwan .....                                                 | 77 |
|        | Anexos IV – Análises Químicas do campo de ensaio.....                                                                                             | 78 |
|        | Anexo V – Teste de Correlação entre horas de frio e produtividade.....                                                                            | 79 |

|                                                                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Anexo VI – Análise de variância (ANOVA) para o modelo de regressão entre Produção e Horas de Frio na estação de Câmara de Lobos. .... | 80 |
| Anexo VII – Resumo dos Índices Bioclimáticos .....                                                                                    | 81 |
| Anexos VIII – Teste de comparação das médias entre os diferentes tratamentos no abrolhamento dos gomos deixados na poda .....         | 82 |
| Anexo IX – Teste de comparação das médias entre os diferentes tratamentos no abrolhamento dos gomos hibernantes.....                  | 83 |

## Lista de Figuras

|                                                                                                                                                                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Registo da temperatura máxima (linha) entre dezembro e fevereiro do ano seguinte na estação meteorológica da Quinta Grande, Câmara de Lobos, e a produtividade da Casta Sercial (barras) entre 2010 e 2023 no Município de Câmara de Lobos (IVBAM, 2024). .... | 2  |
| Figura 2 - Videiras da casta "Sercial" no Concelho de Câmara de Lobos em 2020 e 2024. ....                                                                                                                                                                                | 2  |
| Figura 3 - Representação temporal e fenológica do ciclo vegetativo da videira pela escala de Baggioolini. (Adaptado de Magalhães, 2008). ....                                                                                                                             | 8  |
| Figura 4 - Representação temporal e fenológica do ciclo reprodutivo da videira. (Adaptado de Magalhães, 2008). ....                                                                                                                                                       | 8  |
| Figura 5 - Distribuição regional da área ocupada pelas principais castas vitícolas em 2018, com classificação dos tipos de solos por município (Madeirawine, 2024). ....                                                                                                  | 16 |
| Figura 6 - Normal climatológica da Estação nº 522 Funchal (IPMA, 2022). ....                                                                                                                                                                                              | 17 |
| Figura 7 – Localização das parcelas vitícolas nos três municípios da Ilha da Madeira. ....                                                                                                                                                                                | 35 |
| Figura 8 - Campo de ensaio com o delineamento experimental das videiras. ....                                                                                                                                                                                             | 37 |
| Figura 9 - Campo de ensaio. ....                                                                                                                                                                                                                                          | 39 |
| Figura 10 - Videira da Casta Sercial. ....                                                                                                                                                                                                                                | 40 |
| Figura 11 - Passaporte fitossanitário do material vegetal utilizado no estudo. ....                                                                                                                                                                                       | 41 |
| Figura 12 - Evolução das temperaturas máxima, média e mínima entre 2011 e 2024, nos meses de (dezembro e no município de Câmara de Lobos. ....                                                                                                                            | 43 |
| Figura 13 - Evolução das temperaturas máxima, média e mínima entre 2011 e 2024, no município de Santana. ....                                                                                                                                                             | 45 |
| Figura 14 - Evolução das temperaturas máxima, média e mínima entre 2011 e 2024, no município de São Vicente. ....                                                                                                                                                         | 46 |
| Figura 15 - Registo de horas de frio no período de inverno, entre 2011/12 e 2023/24, de acordo com os modelos de Taiwan, Low Chill e Utah, em três estações meteorológicas da Ilha da Madeira. ....                                                                       | 49 |
| Figura 16 – Gráfico de dispersão que apresenta a correlação entre a produção anual de uvas (em toneladas) e as HF anuais acumuladas segundo o modelo Taiwan entre 2012 e 2023 no município de Câmara de Lobos. ....                                                       | 51 |
| Figura 17 - Evolução das temperaturas máxima (T. máx.) e mínima (T. mín.) diárias, bem como das horas de frio (HF) diárias, no período entre 1 de dezembro de 2023 e 29 de fevereiro de 2024, de acordo com o modelo Taiwan, no município de Câmara de Lobos. ....        | 52 |
| Figura 18 - Índices bioclimáticos (Índice de Winkler, Índice de Huglin e Índice de Frescura das noites) nos três principais municípios produtores de vinho Madeira (Câmara de Lobos, Santana e São Vicente) entre 2011 e 2023. ....                                       | 55 |
| Figura 19 - Campo de ensaio em 06-07-2024. ....                                                                                                                                                                                                                           | 56 |

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 20 - Linha com o tratamento (EG 7% + Ac 16%) em 06-07-2024. ....                                       | 56 |
| Figura 21 - Média das videiras que atingiram 50% ou mais de gomos evoluídos por tratamento.<br>.....          | 58 |
| Figura 22 - Videiras de castas de uva branca, no município de Câmara de Lobos em 06 de<br>julho de 2024. .... | 59 |

## Lista de Tabelas

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Classificação das espécies mais cultivadas dentro do género <i>Vitis</i> .....                                                                                                                                                                                                                   | 5  |
| Tabela 2 - Níveis e fatores que influenciam a fase de dormência (Lang <i>et al.</i> , 1987).....                                                                                                                                                                                                            | 11 |
| Tabela 3 - Projeções da evolução da temperatura para o Arquipélago da Madeira, com base nos cenários SSP's para o séc. XXI, referenciadas na normal climática entre 1981 e 2020 (OCM, 2023).....                                                                                                            | 18 |
| Tabela 4 - Projeções da evolução da taxa de precipitação (em %) para o Arquipélago da Madeira, com base nos cenários SSPs para o séc. XXI, referenciadas na normal climática entre 1981 e 2020 (OCM, 2023).....                                                                                             | 19 |
| Tabela 5 - Horas de frio com base na temperatura em três modelos.....                                                                                                                                                                                                                                       | 25 |
| Tabela 6 - Classificação multicritério da aptidão vitícola de acordo com Índice de Winkler, Índice Heliotérmico e Índice de Frescura das noites. ....                                                                                                                                                       | 30 |
| Tabela 7 - Localização e altitude das estações meteorológicas.....                                                                                                                                                                                                                                          | 34 |
| Tabela 8 - Quadro de tratamentos e resultados esperados. ....                                                                                                                                                                                                                                               | 38 |
| Tabela 9 - Caracterização ampelográfica da casta Sercial (Cunha <i>et al.</i> , 2012). ....                                                                                                                                                                                                                 | 40 |
| Tabela 10 - Temperaturas médias, máximas e mínimas na estação meteorológica 984 - Quinta Grande, no Concelho de Câmara de Lobos. ....                                                                                                                                                                       | 44 |
| Tabela 11 - Temperaturas médias, máximas e mínimas na estação meteorológica 960, no Concelho de Santana. ....                                                                                                                                                                                               | 45 |
| Tabela 12 - Apuramento das temperaturas médias, máximas e mínimas na estação meteorológica 967 no Concelho de São Vicente. ....                                                                                                                                                                             | 46 |
| Tabela 13 – Número de hoas de frio durante o inverno, entre os anos 2011 e 2023, registadas em três estações meteorológicas (São Vicente, Santana e Câmara de Lobos), utilizando três modelos distintos (Taiwan, Low Chill e Utah) e da produção total de uvas por município.....                           | 47 |
| Tabela 14 - Correlação de Pearson entre a produção (ton.) no período de 2012 a 2023 e as horas de frio registadas nos invernos anteriores, segundo os modelos de Taiwan, para as estações de Câmara de Lobos, Santana e São Vicente. ....                                                                   | 50 |
| Tabela 15 - Resumo das temperaturas médias, máximas e mínimas, número de HF obtidas pelo modelo de Taiwan e quantidade de horas com temperaturas superiores a 25 °C e inferiores a 10 °C na estação meteorológica 984 - Quinta Grande, no concelho de Câmara de Lobos, nos meses da estação de inverno..... | 52 |
| Tabela 16 - Comparação das médias dos índices de Winkler(WI), de Huglin (HI) e do índice de Frescura das noites(IF) nos três municípios: Câmara de Lobos, Santana e São Vicente entre 2011 e 2023.....                                                                                                      | 54 |
| Tabela 17 - Classificação dos índices bioclimáticos (WI, HI e IF) nos municípios de Câmara de Lobos, Santana e São Vicente na Ilha da Madeira em 2023.....                                                                                                                                                  | 55 |

|                                                                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 18 - Percentagem de gomos dormentes (Média e Desvio padrão) nos cinco tratamentos, avaliando 32 videiras por tratamento. ....        | 57 |
| Tabela 19 - Número de gomos hibernantes evoluídos (Média e Desvio padrão) nos cinco tratamentos, avaliando 32 videiras por tratamento. .... | 59 |

## Lista de Equações

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Equação 1 - Fórmula de cálculo de horas de Frio (Richardson <i>et al.</i> , 1974) .....   | 24 |
| Equação 2 - Fórmula do índice de Winkler (Winkler, 1974). .....                           | 28 |
| Equação 3 - Fórmula do índice Heliotérmico de Huglin ((Huglin, 1978).....                 | 28 |
| Equação 4 - Fator de correção para o cálculo do índice de Huglin (Huglin, 1978). .....    | 28 |
| Equação 5 - Fórmula do Índice de Frescura das noites (Tonietto & Carbonneau, 1999). ..... | 30 |
| Equação 6 - Taxa de abrolhamento (%) .....                                                | 38 |

## Lista de Abreviaturas

|       |                                                     |
|-------|-----------------------------------------------------|
| ABA   | Ácido abscísico                                     |
| BAP   | 6-benzilaminopurina                                 |
| CAN   | Coleção Ampelográfica Nacional                      |
| DGAV  | Direção Geral da Alimentação e Veterinária          |
| DGES  | Direção Geral do Ensino Superior                    |
| FCT   | Fundação para a Ciência e a Tecnologia              |
| FCUP  | Faculdade de Ciências da Universidade do Porto      |
| DOP   | Denominação de Origem Protegida                     |
| DREM  | Direção Regional de Estatística da Madeira          |
| EBIC  | European Biostimulants Industry Council             |
| HF    | Horas de frio                                       |
| IGP   | Indicação Geográfica Protegida                      |
| IPCC  | Intergovernmental Panel on Climate Change           |
| IPMA  | Instituto Português do Mar e da Atmosfera           |
| IVBAM | Instituto do Vinho, Bordado e Artesanato da Madeira |
| OIV   | International Organisation of Vine and Wine         |
| RAM   | Região Autónoma da Madeira                          |
| VIVC  | Vitis International Variety Catalogue               |

# 1. Introdução

A viticultura é uma atividade ancestral que tem desempenhado um papel crucial na economia e cultura da Ilha da Madeira. Esta região é amplamente reconhecida pela produção de vinhos de alta qualidade, fruto do conhecimento acumulado ao longo de gerações (Vieira, 1991). As vinhas, com os seus ciclos naturais de crescimento e repouso, representam a resiliência e adaptabilidade dos viticultores madeirenses às condições climáticas tradicionais. No entanto, as alterações climáticas representam para a viticultura um grande desafio, exigindo uma abordagem inovadora que combine conhecimentos ancestrais com soluções atuais baseadas na evidência científica (Lopez-Bustins *et al.*, 2014).

Para justificar as quebras de produção da casta Sercial em determinados anos, observou-se que, sempre que as temperaturas ultrapassavam os 25 °C durante os meses de inverno, ocorria uma redução na produção nos dois anos seguintes. Para justificar as quebras de produção da casta Sercial em determinados anos, verificou-se que, sempre que as temperaturas ultrapassavam os 25 °C durante os meses de inverno, a produção apresentava uma redução nos dois anos subsequentes. No entanto, esse padrão não se confirmou em 2021 e 2023 (Figura 1), anos em que as 192 e 111 horas de temperaturas inferiores a 10 °C, respetivamente, e, segundo o modelo de Taiwan, as 746,5 e 666 horas de frio, contribuíram para o aumento da produção.

No primeiro ano, as quebras de produção eram consequência da baixa taxa de abrolhamento, enquanto no segundo ano a diminuição era resultado da menor disponibilidade de varas na poda, uma vez que o abrolhamento tardio não permitiu o desenvolvimento adequado das varas, que acabaram por perder vitalidade antes do início do novo ciclo vegetativo. Além disso, os gomos reprodutivos podem ter sofrido uma indução e diferenciação floral deficientes, o que comprometeu o seu desenvolvimento, refletindo-se apenas no segundo ciclo vegetativo, quando ocorre a formação das inflorescências.

Este estudo vai além da simples observação, procurou estabelecer uma ligação entre os fenómenos e as mudanças climáticas sazonais e as alterações climática. Ao integrar conhecimentos de ecologia, a fenologia ofereceu perspetivas valiosas sobre o impacto do clima nos ciclos naturais das plantas

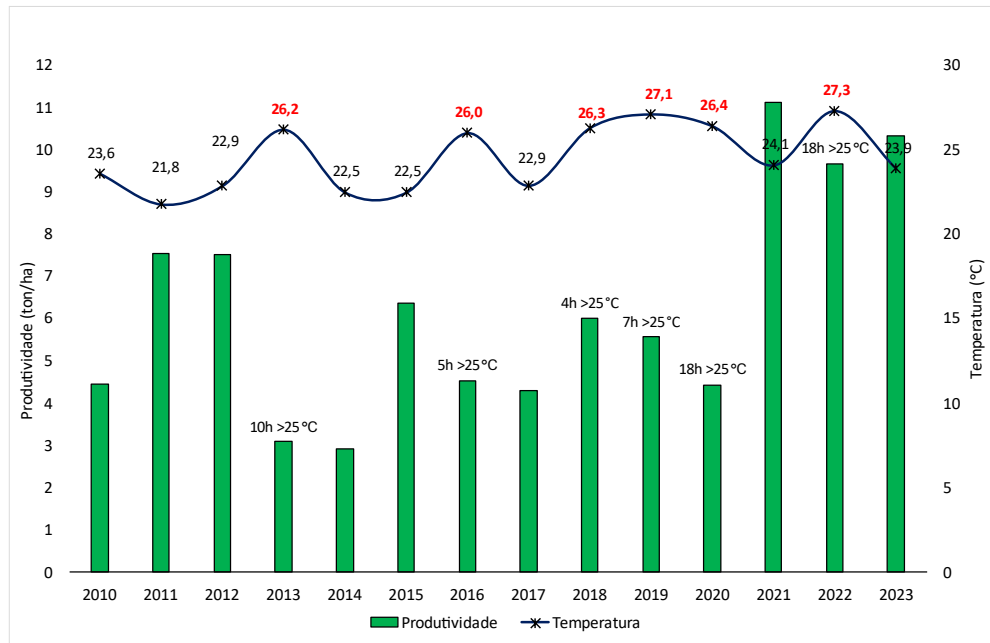


Figura 1 - Registo da temperatura máxima (linha) entre dezembro e fevereiro do ano seguinte na estação meteorológica da Quinta Grande, Câmara de Lobos, e a produtividade da Casta Sercial (barras) entre 2010 e 2023 no Município de Câmara de Lobos (IVBAM, 2024).

A falta de informações sobre a evidência das temperaturas elevadas na produção vitícola carece de estudos específicos que relacionem diretamente as temperaturas elevadas nos meses de inverno e a produção nas principais castas locais. Esta falta de estudos representa uma lacuna significativa no conhecimento, visto ser necessário encontrar soluções para atenuar os impactos visíveis das variações térmicas na viticultura da Ilha da Madeira.

As variações térmicas anormais, especialmente os invernos mais quentes, com temperaturas mínimas acima dos 10 °C e ondas de calor acima de 25 °C durante a fase da dormência, têm afetado significativamente os estados fenológicos da videira, levando a abrolhamentos tardios e heterogêneos (Figura 2).



Figura 2 - Videiras da casta "Sercial" no Concelho de Câmara de Lobos em 2020 e 2024.

As mudanças climáticas têm influenciado cada vez a fenologia da videira, influenciando diretamente a produção vitícola em várias regiões do mundo. Na Ilha da Madeira, estas mudanças têm suscitado particular interesse, dado o seu efeito nas condições climáticas locais e, consequentemente, na produção de vinho Madeira, um dos produtos mais emblemáticos da Região Autónoma da Madeira. Entre 2011 e 2024, verificaram-se alterações nas temperaturas que afetaram as diferentes fases de desenvolvimento das videiras, sendo crucial compreender a evolução da temperatura e as suas implicações para a viticultura.

Neste contexto, a quantificação das horas de frio invernal torna-se essencial para entender as necessidades de cada casta vitícola durante o período de dormência. Para tal, a utilização de modelos pré-definidos como o Utah, Low Chill e Taiwan permitem calcular anualmente as horas de frio invernal. A análise destes dados foi realizada em três municípios estratégicos da Ilha da Madeira: Câmara de Lobos, localizado na vertente sul, e Santana e São Vicente, situados na vertente norte, onde as diferenças climáticas são um fator relevante na produção vitícola.

A avaliação dos índices bioclimáticos, como o Índice de Winkler, o Índice de Huglin e o Índice de Frescura Noturna, permite caracterizar a aptidão climática de cada região para a viticultura. Estes índices, calculados especificamente para cada localidade da ilha, possibilitam uma comparação com a classificação climática multicritério proposta por Tonietto & Carbonneau, proporcionando uma análise mais detalhada das variações entre os microclimas das vertentes norte e sul. Assim, é possível verificar se a caracterização da aptidão vitícola se mantém ao longo do tempo.

Perante as evidências das alterações climáticas, torna-se necessário adaptar as práticas agrícolas para assegurar o desenvolvimento saudável da videira. Entre as possíveis adaptações, destaca-se a utilização de substâncias, como reguladores de crescimento e bioestimulantes, que podem ajudar a compensar os efeitos negativos de invernos mais quentes e de ondas de calor. Estas substâncias são especialmente importantes para mitigar os impactos na fase de dormência da videira, uma etapa crucial para o seu crescimento e produtividade.

Com esta análise abrangente, pretende-se não só compreender melhor os desafios que as alterações climáticas colocam à viticultura na Ilha da Madeira, mas também apontar soluções que possam garantir a sustentabilidade desta prática ancestral face às novas exigências ambientais.

### Objetivos da Tese:

- Quantificar as horas de frio invernal, utilizando três dos principais modelos (Utah, Low Chill e Taiwan) em três municípios produtores de vinho Madeira, com o intuito de selecionar o modelo mais adequado à viticultura na Ilha da Madeira para calcular as horas de frio invernal e relacionar com a produção vitivinícola.
- Realizar uma análise dos índices bioclimáticos (Winkler, Huglin e Índice de Frescura noturna) e compará-los entre municípios, e com a classificação climática multicritério proposta por Tonietto & Carbonneau (2004).
- Avaliar o impacto do uso de reguladores de crescimento, como o ácido abscísico e a 6-benzilaminopurina, bem como de um bioestimulante, para atenuar os efeitos das ondas de calor e da falta de frio durante o período de dormência, no abrolhamento das videiras.

## 2. Estado da arte

### 2.1. Aspectos gerais e fenologia da videira

A videira (*Vitis vinifera* L.), também conhecida como videira europeia, pertence ao reino *Plantae* e à classe das dicotiledóneas. É uma das espécies de plantas frutíferas mais antigas e amplamente cultivada em todo o mundo (Bates, 2022). Faz parte da ordem *Vitales*, da família *Vitaceae*, família que é composta por quase mil espécies, agrupadas em dezassete géneros *Vitis* (Magalhães, 2008).

De acordo com a World Flora Online, o género *Vitis* L. atualmente inclui aproximadamente 65 espécies reconhecidas, distribuídas pelos cinco continentes (Erb *et al.*, 1993). Está dividido em dois subgéneros: *Euvitis* e *Muscadinia*, devido a notáveis diferenças anatómicas e morfológicas (Vivier & Pretorius, 2019). O subgénero *Euvitis* é o mais vasto, inclui a maioria das espécies de videiras cultivadas, entre as quais, a *Vitis vinifera*, que é a espécie mais comum, e amplamente utilizada na produção de uvas destinadas à vinificação, produção de sumos, uvas passas e outros produtos derivados (Fortes & Pais, 2016; Reisch *et al.*, 2012) (Tabela 1). No subgénero *Muscadínea*, destaca-se sob o ponto de vista agrónomico a *Vitis rotundifolia* originária do sudeste dos Estados Unidos e foi domesticada pelos colonizadores europeus. Produz uvas para consumo em fresco, vinificar, sumos, geleias e serve de porta-enxerto para fazer face à elevada sensibilidade das videiras europeias à filoxera (Fortes & Pais, 2016).

Tabela 1 - Classificação das espécies mais cultivadas dentro do género *Vitis*.

| Taxonomia                                        | Espécies                              | Procedência                |
|--------------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|
| Divisão: Espermatófitas                          |                                       |                            |
| Subdivisão: Angiospérmicas                       |                                       |                            |
| Classe: Dicotiledóneas                           |                                       |                            |
| Subclasse: Arquiclamídeas                        |                                       |                            |
| Ordem: <i>Rhamnales</i>                          |                                       |                            |
| Família: <i>Vitáceas</i>                         |                                       |                            |
| Género: <i>Vitis</i>                             |                                       |                            |
| Subgénero: <i>Euvitis</i> (cerca de 30 espécies) | <i>Vitis vinifera</i> L.              | Europa-Ásia                |
|                                                  | <i>Vitis silvestris</i>               | Europa-Ásia                |
|                                                  | <i>Vitis riparia</i> Americana        | América                    |
|                                                  | <i>Vitis labrusca</i> Americana       | América                    |
|                                                  | <i>Vitis rupestris</i> Americana      | América                    |
|                                                  | <i>Vitis berlandieri</i> Americana    | América                    |
|                                                  | <i>Vitis ssp.</i> (Videiras híbridas) |                            |
| Subgénero: <i>Muscadínea</i> (3)                 | <i>Vitis rotundifolia</i>             | América                    |
|                                                  | <i>Vitis munssoniana</i>              | América (Flórida-Bahamas)  |
|                                                  | <i>Vitis popenoei</i>                 | América (México-Guatemala) |

As videiras estão distribuídas pelos dois hemisférios em quatro zonas climáticas: tropical (entre 0 e 10° de latitude), subtropical (10-30° de latitude), temperada (30-45° de latitude) e fria (acima de 45°) (Merchán, 2011).

Atualmente, são conhecidas aproximadamente 6 000 cultivares ou castas, que podem ter surgido por meio de mutações genéticas naturais, seleção artificial ou cruzamentos. A maioria delas resultou da evolução natural (Alleweldt & Possingham, 1988; Tessier *et al.*, 1999). A diversidade das videiras utilizadas na indústria vitícola resulta de três processos que tiveram um impacto significativo no seu desenvolvimento: a reprodução sexual, a propagação vegetativa e as mutações somáticas. A reprodução sexual, em particular, desempenhou um papel crucial na domesticação e expansão da viticultura para novas regiões. Devido à alta heterozigosidade genética das videiras, a reprodução sexual gerou uma enorme diversidade fenotípica na descendência (This *et al.*, 2006)

A diversidade da *V. Vinífera* é notável, e pode-se especular que alguma dessa diversidade pré-existente foi reduzida por doença ou pragas. Ainda é recente e visível na Região Vitícola do Douro, os danos causados pelo afídio *Phylloxera vastatrix* que foi responsável pela devastação de muitas videiras na Europa, e causou uma drástica redução da biodiversidade tanto das domesticadas quanto das selvagens (This *et al.*, 2006). A viticultura europeia foi salva da extinção pela introdução de várias espécies americanas de *Vitis* não viníferas, que são resistentes ao afídio e, portanto, são usadas como porta-enxertos (Ollat *et al.*, 2016; This *et al.*, 2006).

Ao longo dos séculos, a seleção e o melhoramento específico, resultaram numa incrível diversidade de formas, tamanhos e cores dos frutos, além da variação na forma dos cachos e bagos. Estima-se que existam cerca de 15 000 castas ou cultivares, sendo a maioria destinada à produção de vinho, que reflete a principal utilização das uvas (Jackson, 2016). A ampla variação morfológica e genética dificulta a identificação de algumas castas vinícolas, causando confusão, pois algumas castas alteram o nome, pelo facto de serem cultivadas noutras regiões. Um exemplo disso é a casta Boal da Madeira, que é conhecida como Malvasia Fina no Douro e *Semillon* em Bordéus (Magalhães, 2008).

### 2.1.1. Fenologia e ciclo vegetativo e reprodutivo da videira

A fenologia é a área científica dedicada aos momentos específicos em que ocorrem fenómenos naturais recorrentes ao longo do ciclo vegetativo, como o Abrolhamento e a floração (Liang, 2019). O estudo das fases vegetativas ou fenológicas é de grande interesse prático, pois orienta na planificação das operações culturais, como fertilização, irrigação, poda e tratamentos fitossanitários, além de contribuir para uma base de conhecimento que identifica as condições ambientais ideais para determinadas castas, auxiliando na tomada de decisões. Contudo, a evolução dos fenómenos vegetativos está intrinsecamente dependente dos fatores ecológicos, especialmente dos elementos

climáticos, como temperatura, radiação solar e precipitação, que também influenciam a produção, a qualidade das uvas, a composição e as características do vinho produzido numa determinada região. Por isso, as observações fenológicas geralmente têm um caráter essencialmente local (Reis *et al.*, 2020).

O ciclo anual da videira engloba as fases vegetativa e reprodutiva. O ciclo vegetativo da videira nas regiões temperadas, segue um padrão anual influenciado pelo crescimento sazonal, estimulado pelo fotoperíodo. Tem início na primavera, com o Abrolhamento, em que os gomos dormentes começam a brotar e as folhas começam a desenvolver-se. Segue-se a fase de crescimento vegetativo, onde a videira forma novos pânpanos e folhas, preparando-se para a Floração, que ocorre normalmente entre maio e junho. Após a Floração, surgem os frutos, entrando na fase de desenvolvimento dos cachos. Durante o verão, as uvas começam a amadurecer, ocorrendo o atempamento das varas, e os bagos do cacho mudam de cor e acumulam açúcares, aproximando-se da maturidade (Figura 3). O Pintor ocorre quando as sementes começam a amadurecer, marcando o início do processo de amadurecimento das uvas. Outras alterações associadas ao estado fenológico de Pintor incluem o amolecimento dos frutos, o aumento do teor de açúcar, a diminuição da acidez e o aumento do volume dos bagos. (Magalhães, 2008). O estado fenológico de Pintor varia de ano para ano, entre as diferentes vinhas, e até mesmo entre bagos de um mesmo cacho. Este estado fenológico pode ser desencadeado pelo ácido abscísico, uma hormona vegetal, mas, ao contrário de muitos outros frutos, não é ativada pelo etileno. Durante o Pintor, ocorre uma embolia no xilema, resultando numa redução significativa de absorção de nutrientes pelos bagos. Após esta fase, há um grande transporte de água com açúcar dos tecidos do floema para os bagos, à medida que estes aumentam de tamanho antes da Vindima. A Vindima na Madeira, geralmente ocorre entre agosto e setembro, dependendo da variedade, das condições climáticas da latitude e altitude. Após a colheita, no final do outono, as folhas caem e a videira entra em dormência, período em que se realiza a poda, preparando a planta para o próximo ciclo vegetativo (Erb *et al.*, 1993; Magalhães, 2008).

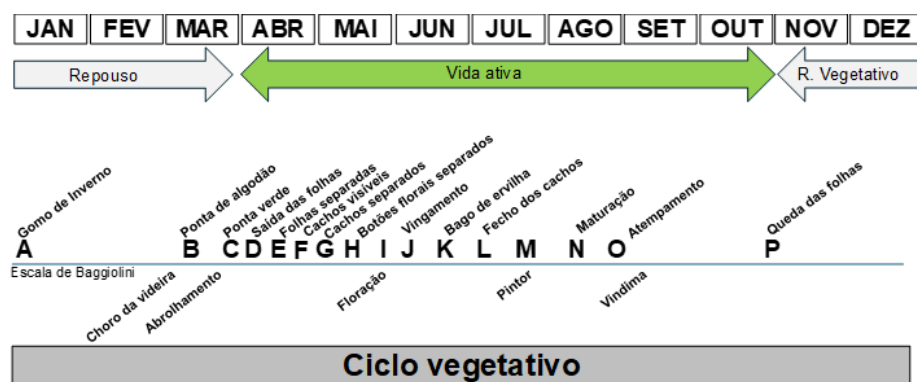


Figura 3 - Representação temporal e fenológica do ciclo vegetativo da videira pela escala de Baggiolini. (Adaptado de Magalhães, 2008).

No ciclo reprodutivo, a videira atravessa dois ciclos vegetativos consecutivos, culminando com a formação das inflorescências e cachos (Figura 4). Este processo é iniciado com a criação de estruturas reprodutivas em gomos dormentes, e é composto por três etapas distintas: A diferenciação das inflorescências ocorre durante o primeiro ciclo vegetativo, geralmente entre os meses de maio e junho do primeiro ano. No segundo ciclo vegetativo, acontece o desenvolvimento floral entre março e finais de abril, seguido pela floração (Magalhães, 2008). Depois, ocorre a frutificação, que envolve a transformação das flores em frutos, o desenvolvimento do bago, a maturação das sementes e a expansão celular final, culminando no amadurecimento das uvas (Keller, 2015; Magalhães, 2008).

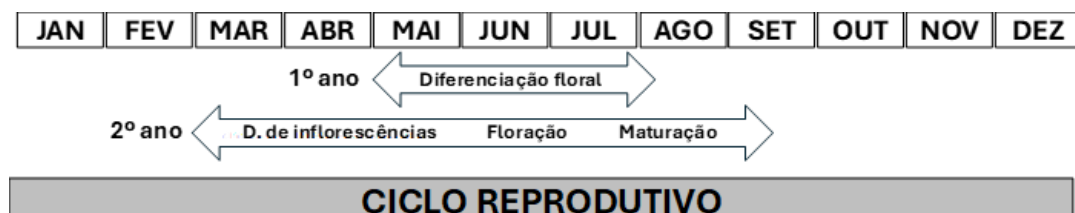


Figura 4 - Representação temporal e fenológica do ciclo reprodutivo da videira. (Adaptado de Magalhães, 2008).

Este é um processo que inclui alterações morfológicas, bioquímicas e fisiológicas, regidas por fatores ambientais e sinais internos, sendo a formação dos primórdios da inflorescência crítica para definir o número de cachos na próxima estação de crescimento (Lebon *et al.*, 2008; Srinivasan & Mullins, 1979).

Nesse contexto, as escalas fenológicas surgiram para descrever com precisão os estados de desenvolvimento do ciclo vegetativo, facilitando a coordenação do trabalho experimental. Estas escalas funcionam como um "relógio biológico" para as vinhas, permitindo comparar diferentes parcelas de vinha que estão em estados de desenvolvimento equivalentes (van Leeuwen *et al.*, 2019). Foram publicadas várias

escalas de notação para a videira, sendo as mais conhecidas as seguintes: a escala de Baggiolini, que descreve os estados do A (Gomo de inverno) ao P (Queda das folhas); a escala de Eichhorn & Lorenz (1995), que é semelhante à de Baggiolini, mas utiliza a numeração de 1 (Gomo de inverno) a 42 (Queda das Folhas) e a escala BBCH, que vai de 00 (Gomo de inverno) até 97 (Fim da queda das folhas) (Lorenz *et al.*, 1995).

A Escala BBCH foi o resultado de um grupo de trabalho que foi encarregue de desenvolver um novo sistema de descrição para os estados fenológicos de várias monocotiledóneas e dicotiledóneas. A escala BBCH designa as três instituições alemãs que coordenaram sua criação: o Instituto Federal de Pesquisa Biológica para Agricultura e Silvicultura (BBA), o Escritório Federal de Variedades de Culturas (BSA) e a Indústria Química. O desenvolvimento da escala contou também com o apoio de outras instituições relevantes, visando criar um sistema padronizado para descrever os estágios de crescimento das plantas (Hess *et al.*, 1997). Nesta escala o desenvolvimento fenológico da videira foi organizado em fases principais de crescimento, numeradas de 0 a 9, e cada uma dessas fases principais foi subdividida em etapas menores, também numeradas de 0 a 9. A cada fase e etapa de crescimento foi atribuído um código de dois dígitos. Esse sistema de descrição e codificação cobre todo o ciclo da videira, desde o estado de dormência até a queda das folhas (Lorenz *et al.*, 1995).

O uso das escalas padronizadas, proporcionando uma metodologia confiável para monitorizar e documentar cada etapa do ciclo de vida da videira, facilita a comunicação entre profissionais e a aplicação de práticas agrícolas precisas (Fraga *et al.*, 2015; Manzoor *et al.*, 2023).

A produtividade da videira depende de variados fatores, incluindo a fertilidade do solo, as práticas culturais, o clima, as condições meteorológicas, e outros fatores não menos importantes (Fraga *et al.*, 2014; Moriondo *et al.*, 2015). Num cenário de alterações climáticas, uma avaliação confiável dos efeitos de mudança climática na viticultura ajudaria nas tomadas de decisão de futuros investimentos. Estudar os impactos dessas alterações futuras na agricultura, é um desafio inevitável, que envolve um trabalho de estudo multidisciplinar (Chhetri *et al.*, 2012; Olesen & Bindi, 2002). As exigências térmicas durante o crescimento e desenvolvimento após o abrolhamento são fatores cruciais independentemente da variedade (Buttrose, 2017). No entanto, as baixas temperaturas desempenham um papel fundamental durante a fase da dormência, preparando os gomos para retomar o crescimento na primavera (Nilsson, 2022).

### 2.1.2. Dormência

A dormência é uma fase decisiva no ciclo de vida das árvores fruteiras de folha caduca, permitindo-lhes sobreviver ao inverno em condições climáticas adversas. Esta fase é marcada pela suspensão temporária do crescimento, pela translocação das reservas, lenhificação das varas e redução dos processos fisiológicos das plantas, com a diminuição contínua da respiração e aumento da acumulação de amido, preparando as plantas para suportar o frio e a qualidade da luz (Agusti *et al.*, 2011; Campoy *et al.*, 2011)

Nas regiões de inverno mais ameno, a transição da dormência apresenta-se como um desafio significativo para a viticultura (Zheng *et al.*, 2015). Os períodos de dormência na videira variam de acordo com a latitude do local (Velappan *et al.*, 2023), o que indica que os ritmos de vegetação ativa e repouso em regiões próximas dos trópicos ocorrem sem a necessidade de baixas temperaturas. Nestas regiões, é importante salientar que o período de repouso é mais curto e frequentemente imposto por práticas de poda curta imediatamente após a colheita. A viabilidade económica é obtida com a utilização de reguladores de crescimento e bioestimulantes, prática necessária para evitar o prolongamento da dormência e uma coordenação homogénea dos estados fenológicos (Lavee & May, 2008).

A dormência é um processo adaptativo em que de forma gradual leva à suspensão temporária do crescimento de certos órgãos vegetais, trata-se de um desenvolvimento progressivo que tem início durante o outono e aumenta de intensidade até alcançar a dormência profunda. Lang *et al.* (1985) descrevem o desenvolvimento do processo de dormência em plantas como evolutivo, subdividindo-se em três fases distintas: paradormência, endodormência e ecodormência (Tabela 2).

A paradormência, referida também como inibição correlativa, é a primeira fase e resulta da influência de um órgão da planta sobre a gomo, levando à suspensão da atividade do meristema floral ou vegetativo. Esta fase, que antecede a endodormência, é marcada pela dominância apical, em que os gomos axilares abaixo dos terminais não se desenvolvem em condições ótimas, permanecendo dormentes até que a inibição termine. Normalmente, não crescem até à primavera seguinte. A endodormência, regulada por fatores internos, impede o crescimento mesmo sob condições ideais, exigindo exposição ao frio para retomar a atividade. Durante este estado, as árvores adaptam-se a temperaturas baixas, protegendo partes vitais como os meristemas (Fadón *et al.*, 2020). A exposição ao frio durante um período específico é decisivo para ultrapassar a fase de inatividade e restaurar a capacidade de os gomos responderem aos estímulos externos ao longo do inverno. A progressão da endodormência nos

gomos é determinante tanto para a qualidade quanto para o período de floração. (Lang *et al.*, 1987). Essa fase, além de contribuir para a preparação do gomo, possui uma função inibidora, prevenindo o abrolhamento dos gomos em períodos de temperaturas moderadas durante o inverno (Chouard, 1960; Rohde & Bhalerao, 2007). Após ultrapassar a endodormência com a exposição ao frio necessário, as árvores não retomam imediatamente o crescimento devido à ecodormência. Esta última fase da dormência ocorre quando fatores ambientais desfavoráveis, como falta de água, nutrientes ou temperaturas extremas, impedem o crescimento geral da planta, sem afetar especificamente uma estrutura particular. É uma pausa no crescimento, até que as condições necessárias sejam favoráveis. Mesmo sem sinais visíveis de atividade, ocorrem processos internos cruciais para a reprodução.

Tabela 2 - Níveis e fatores que influenciam a fase de dormência (Lang *et al.*, 1987).

| DORMÊNCIA |                                       |                                            |                                            |
|-----------|---------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Nível     | Paradormência                         | Endodormência                              | Ecodormência                               |
|           | Inibição localizada do crescimento.   | Dormência interna induzida biologicamente. | Inibição de crescimento por ambiente       |
| Fatores   | Ambiente                              | Regulação hormonal                         | Temperatura                                |
|           | Fatores fisiológicos e hormonais      | Somatório de horas de frio                 | Fotoperíodo                                |
|           | Nutrientes e água                     | Respostas fisiológicas                     | Qualidade da luz                           |
|           | Interação com outras partes da planta | Ciclos sazonais                            | Níveis de CO <sub>2</sub> e O <sub>2</sub> |
|           | Danos e stress                        | Adaptação genética                         | Nutrientes                                 |

### 2.1.3. Fatores endógenos na fase de dormência

A dormência em videiras e outras fruteiras de folha caduca é influenciada por vários fatores intrínsecos relacionados às características genéticas e fisiológicas das plantas. Destacam-se o equilíbrio hormonal na videira e nos órgãos vegetativos (Liu & Sherif, 2019), constituição e expressão genética (Pacey-Miller *et al.*, 2003), a acumulação de reservas (Zapata *et al.*, 2004), o potencial anabólico dos gomos, as estruturas de proteção e os mecanismos de deteção de fatores ambientais. Estes fatores, entre outros, trabalham em conjunto, muitas vezes de modo complexo, para regular os ciclos de dormência das videiras.

### 2.1.4. Fatores exógenos na fase de dormência

A dormência nas videiras é fortemente influenciada por uma variedade de fatores exógenos, ou seja, fatores ambientais externos que atuam sobre a planta. Entre os mais significativos estão a temperatura, a duração do fotoperíodo, a disponibilidade de água e a qualidade da luz, sendo os dois primeiros os mais determinantes. As baixas temperaturas do outono e inverno são cruciais para induzir e manter a dormência,

atuando através da acumulação de períodos a baixas temperaturas, necessárias para que a planta satisfaça as suas exigências em frio e esteja preparada para retomar o crescimento ativo na primavera. Adicionalmente, a diminuição do fotoperíodo com a aproximação do inverno sinaliza às videiras que é hora de entrar em dormência, enquanto o aumento do fotoperíodo na primavera indica a chegada de condições favoráveis ao crescimento. Estes sinais ambientais são fundamentais para sincronizar os ciclos de vida das videiras com as estações do ano, assegurando a sua sobrevivência e produtividade.

A manipulação dos fatores internos e externos por meio de práticas culturais, como a seleção de cultivares com diferentes necessidades de frio, a escolha de porta-enxertos, a mudança das zonas de cultivo para latitudes e altitudes superiores, e a aplicação de fitorreguladores, são práticas com tendência a serem cada vez mais consideradas. Em regiões com dois ciclos vegetativos anuais, a desfolha, a poda rigorosa antes da entrada na endodormência, seguida de stress hídrico e posterior irrigação, são práticas recorrentes. Também a engenharia genética pode ajudar a otimizar, ajustando os ciclos de dormência. Recentemente, surgiram investigações sobre o impacto das condições ambientais na epigenética da videira, indicando que várias limitações ambientais, como a disponibilidade de água, temperaturas extremas e radiação UV, podem gerar variação fenotípica ao modificar o transcriptoma através de alterações epigenéticas (Ríos *et al.*, 2014; Venios *et al.*, 2024). Esta evolução no conhecimento científico poderá, em breve, disponibilizar uma solução na viticultura que permita silenciar ou expressar os genes responsáveis pela dormência da videira.

## 2.2. Região Vitivinícola na Madeira

A ilha da Madeira possui uma área total de 73 200 hectares, dos quais aproximadamente 403 hectares são dedicados à viticultura, conforme informação publicada pelo Instituto do Vinho, do Bordado e do Artesanato da Madeira, IP – RAM (IVBAM). O IVBAM é a entidade responsável pela coordenação, apoio e fiscalização das atividades vitivinícolas na Região Autónoma da Madeira (IVBAM, 2023). Os municípios com maior área vitícola na Ilha da Madeira são Câmara de Lobos, com 123,2 hectares, São Vicente, com 107,2 hectares, e Santana, com 71,4 hectares de vinhas. A área média das parcelas nesses municípios é de aproximadamente 0,081 hectare.

A paisagem vitícola da Madeira é única, marcada por declives acentuados que são frequentemente esculpidos em socacos, conhecidos localmente como “poios”. A arquitetura de condução tradicional é a “latada”, onde as vinhas crescem horizontalmente sobre uma estrutura de arame em forma de grade. No século XX, foram

introduzidos os sistemas de condução em cordão simples ascendente (CSA) e cordão simples retombante (CSR), embora estas técnicas estejam limitadas a terrenos com declives menos acentuados. Devido à impossibilidade de utilização de máquinas agrícolas, todas as práticas culturais são realizadas manualmente, exigindo um esforço extraordinário com elevados custos de produção.

A vinha e o vinho têm desempenhado um papel relevante na história económica da Ilha da Madeira desde os primórdios da colonização. A introdução da videira foi realizada pelos primeiros povoadores, em parte devido ao ritual cristão, que fazia do pão e do vinho elementos fundamentais para o sustento (Vieira, 2016). A partir do século XV, o vinho tornou-se uma componente significativa do comércio externo da ilha, estabelecendo-se como a principal fonte de receita nos séculos XVIII e XIX. Durante o século XIX, o vinho da Madeira destacou-se não apenas como parte essencial da dieta local, mas também como um valioso produto comercial, especialmente na exportação para a Inglaterra (Vizetelly, 1880). No entanto, em meados do século XIX, crises políticas e a propagação de doenças como o oídio e a filoxera desencadearam uma grave crise na produção e no comércio do vinho madeirense, resultando em pobreza, fome e emigração.

A permanente procura do mercado europeu, incentivou a reconversão e a melhoria da qualidade da vinha e do vinho. O século XX trouxe mudanças na conjuntura política e económica, que conduziram à expansão do comércio e consumo do Vinho Madeira. As características singulares e a tradição secular permitiram manter a marca numa posição proeminente no mercado externo madeirense, afastando as tentativas de falsificação e consolidando a sua posição na economia da ilha (Vieira, 1991).

O Vinho Madeira acompanhou presidentes dos EUA, mantendo-se na atualidade como a bebida para os brindes oficiais em atos de grande solenidade. Na Europa, tornou-se frequentemente a escolha da realeza britânica (Vieira, 2016) e dos czares russos (Milhazes, 2017), representando qualidade e prestígio de um vinho aromático que depende de vários fatores como a casta, maturação, vinificação, condições de fermentação, envelhecimento e o ambiente (Alves *et al.*, 2005)

### 2.2.1. Castas

As principais castas utilizadas na produção de vinho Madeira (DOP e IGP) na Região Vitivinícola da Madeira, incluem: Negra Mole, Verdelho, Boal, Malvasia-Cândida, Malvasia-de-São-Jorge, Sercial e Terrantez.

A Negra Mole, também conhecida por Tinta negra, foi introduzida na Madeira por volta do séc. XVIII, embora não exista uma confirmação, é possível encontrar publicações com a menção a uma casta Tinta Madeira (Biddle, 1901). Trata-se de uma casta altamente versátil e produtiva, que demonstrou uma extraordinária adaptação às condições muitas vezes desafiadoras da ilha. As uvas são utilizadas na generalidade para uma ampla gama de vinhos Madeira, desde os mais secos até os mais doces. Embora não seja das castas mais aromáticas, os vinhos desenvolvem um bouquet característico que se acentua com o envelhecimento, apresentando equilíbrio, persistência e um final de boca agradável (IVBAM, 2023).

A casta Verdelho é conhecida por contribuir com aromas tropicais aos vinhos. Ela é usada principalmente na produção de vinhos meio secos, que apresentam uma cor que varia de pálida a dourada, evoluindo para tons de topázio e âmbar em vinhos mais envelhecidos. O bouquet é complexo, com notas de casca de laranja seca, frutos secos, madeira e especiarias. Esses vinhos são encorpados, com acidez equilibrada e um final de boca longo, onde as notas de frutos secos e madeira se concentram nos vinhos mais envelhecidos (IVBAM, 2023).

A casta Boal é conhecida por originar vinhos meio doces, geralmente âmbar, com reflexos dourados que se intensificam com a idade. Seu bouquet é característico, complexo e mais intenso em vinhos mais envelhecidos, apresentando aromas de frutos secos, madeira, caramelo e uma nota distintiva de baunilha. Na boca, esses vinhos são equilibrados, encorpados e têm um excelente final de boca, tornando-se mais macios e envolventes à medida que envelhecem (IVBAM, 2023).

A casta Malvasia produz vinhos doces com uma cor âmbar carregada, evoluindo para uma intensidade cromática profunda com a idade. O seu bouquet característico inclui notas de uvas passas, madeira, caramelo, frutos secos, especiarias, baunilha e melaço. Na boca, esses vinhos são encorpados e aveludados, com notas de mel, caramelo, especiarias e chocolate. O final de boca é complexo, com equilíbrio entre acidez e doçura, que se acentua nos vinhos mais envelhecidos, proporcionando um final longo e agradável (IVBAM, 2023).

A casta Malvasia-Cândida foi a primeira a ser cultivada na ilha da Madeira, tendo sua origem em Creta. Esta variedade é conhecida pelos grandes e cónicos cachos, com bagos oblongos e de tamanho generoso. É comumente encontrada desde o nível do mar até cerca de 200 metros de altitude, principalmente ao longo da costa sul da ilha. Ao longo dos anos, a Malvasia-Cândida tem sido cultivada com extremo cuidado e atenção, resultando em vinhos altamente estimados e desejados. Alguns exemplares

alcançam preços extraordinários em leilões. Por outro lado, a casta Malvasia-de-São-Jorge é predominantemente cultivada na costa norte da ilha, em altitudes que variam de 150 a 350 metros e na Fajã dos Padres na vertente sul da ilha. O Vinho da Madeira produzido a partir da casta Malvasia-Cândida pelos jesuítas no século XVIII é reverenciado como o rei de todos os vinhos produzidos na região. Assim como a Malvasia-Cândida, a casta Malvasia-de-São-Jorge é conhecida por produzir vinhos no estilo doce, sendo considerados entre os melhores exemplares de Vinhos Madeira, pela sua riqueza e untuosidade (IVBAM, 2023).

A casta Sercial na Ilha da Madeira é conhecida como Esgana Cão na região do Douro, Esganoso na Região dos Vinhos Verdes, especialmente na sub-região de Penafiel, e também referida como Uva Cão ou Cachorrinho na Região Demarcada do Dão (Magalhães, 2008). A casta Sercial é conhecida pela elevada acidez e pelos vinhos adstringentes quando jovens. Esses vinhos geralmente exibem uma cor muito pálida a pálida, com reflexos brilhantes e dourados que se intensificam com a idade. O seu bouquet típico inclui notas de frutos secos e madeira, com possíveis nuances cítricas quando jovens. Eles têm um sabor seco e fresco, com caráter firme e um fim de boca longo, que se prolonga nos vinhos mais antigos (IVBAM, 2023).

A casta Terrantez é uma das castas históricas e mais prestigiadas na produção do vinho Madeira, apesar de ser atualmente considerada bastante rara, tem uma reputação sólida por produzir vinhos complexos, com características aromáticas e gustativas que a tornam uma escolha muito apreciada pelos produtores e conhecedores de vinho Madeira (IVBAM, 2023). Os vinhos feitos com Terrantez apresentam normalmente um equilíbrio entre doçura e acidez, com notas elegantes que se desenvolvem e amadurecem maravilhosamente ao longo do tempo, o que aumenta o seu valor à medida que envelhecem (Santos, 2014).

### 2.2.2. Solo

A fertilidade de um solo avalia-se pela capacidade de fornecer os nutrientes necessários para regular o crescimento e desenvolvimento da planta (Magalhães, 2008). Alguns autores relacionam a geologia e as particularidades do solo ao caráter individual de uma determinada referência vinícola, onde se salienta o caráter do vinho ou "personalidade", o aroma, estrutura e outros atributos (White *et al.*, 2007). O solo é um dos principais fatores do ambiente físico que caracterizam o *Terroir* (Van Leeuwen *et al.*, 2018). A Organização Internacional da Vinha e do Vinho (OIVV) define *Terroir* vitivinícola como um conceito que se refere a uma área onde o solo desempenha um papel fundamental na interação com o ambiente físico e biológico, juntamente com as práticas de

vinicultura, resultando em características únicas nos produtos dessa região. O *Terroir* inclui, de forma destacada, o solo específico, além da topografia, clima, paisagem e biodiversidade (OIVV, 2024).

A Madeira é uma ilha de origem vulcânica, dominada por um grande maciço montanhoso central, onde se situam os principais centros vulcânicos que formaram o núcleo original da ilha. Do ponto de vista litológico, a ilha é composta essencialmente por rochas eruptivas, predominantemente basálticas, que constituem a maior parte do substrato da ilha. Encontram-se também materiais piroclásticos de natureza basáltica, que cobrem vastas áreas, como tufos, cineritos, bagacina e cones de escórias. As rochas sedimentares, embora menos comuns e localizadas sobretudo na periferia, incluem aluviões, cascalheiras fluviais e marinhas, depósitos que resultam dos aluviões e pequenas intercalações de calcários na zona este da vertente sul da ilha (Furtado, 1983). Os solos das parcelas de videiras na Ilha da Madeira são predominantemente andossolos, vertissolos e cambissolos, oferecendo uma diversidade de condições edáficas que influenciam significativamente a viticultura local (Figura 5).

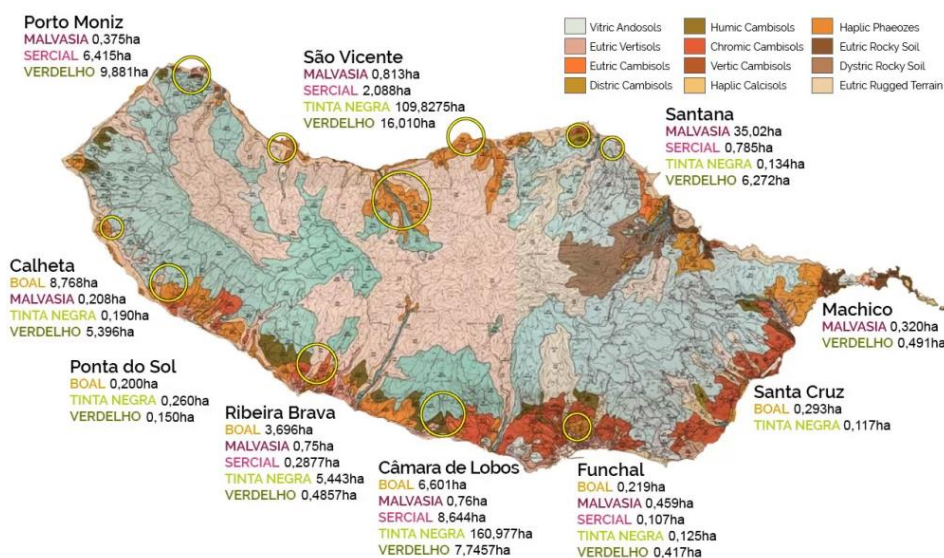


Figura 5 - Distribuição regional da área ocupada pelas principais castas vitícolas em 2018, com classificação dos tipos de solos por município (Madeirawine, 2024).

A Ilha apresenta uma elevada percentagem de solos degradados devido a fogos, erosão, deslizamentos de terra e atividades antrópicas. Estas condições, aliadas às particularidades climáticas da região, influenciam diretamente o equilíbrio ecológico e a sustentabilidade dos recursos naturais (Coutinho *et al.*, 2019).

### 2.2.3. Clima

A Ilha da Madeira está situada numa zona subtropical e apresenta normalmente um clima ameno, tanto no inverno como no verão, exceto em cotas mais elevadas, onde são observadas temperaturas mais baixas. De acordo com a classificação de *Köppen-Geiger* o clima predominante na Ilha da Madeira é do tipo Csb (temperado com verão seco e temperado). A proximidade do mar contribui para uma fraca amplitude térmica. Com base na Normal Climática relativa ao período 1981-2010 (Figura 6), a temperatura média anual no Funchal é de 19,6 °C (OCM, 2021).

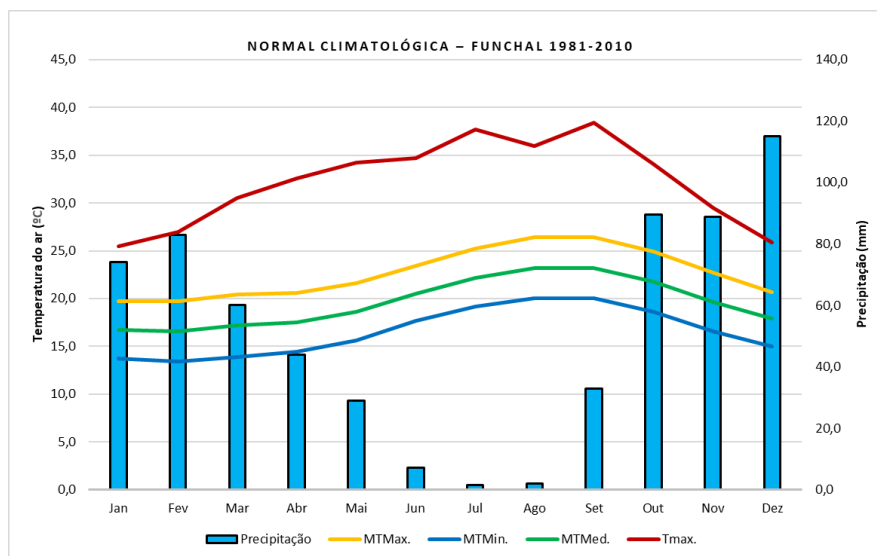


Figura 6 - Normal climatológica da Estação nº 522 Funchal (IPMA, 2022).

O Gráfico da normal climatológica do Funchal (1981-2010), mostra a distribuição mensal das temperaturas médias e precipitação. A curva vermelha representa a Temperatura Máxima (Tmax.), enquanto as linhas coloridas indicam as médias mensais da Temperatura Máxima (MTMax.), Temperatura Mínima (MTMin.), e Temperatura Média (MTMed.). As barras azuis referem-se à precipitação mensal.

As classificações climáticas tradicionais baseiam-se normalmente num ou noutro parâmetro principal, como a temperatura e a precipitação. Por outro lado, a classificação bioclimática recorre a uma abordagem analítica mais abrangente, avaliando os climas das diversas regiões do mundo com base num leque vasto de critérios ou variáveis climáticas. A título de exemplo, a região vitivinícola da Madeira, segundo Tonietto & Carbonneau (2004), na Classificação Climática Multicritério (CCM), apresenta-se com seca moderada (IS1), um clima temperado quente (IH4) e noites quentes (IF1). Contudo, as alterações climáticas já observadas e as projeções para o Arquipélago da Madeira

não são muito animadoras para as próximas décadas, especialmente no que diz respeito à manutenção das classificações atuais.

De acordo com as projeções regionais baseadas nos Percursos Socioeconómicos Partilhados (SSPs), que incluem cinco cenários (SSP1 Sustentabilidade, SSP2 Meio-termo, SSP3 Rivalidade Regional, SSP4 Desigualdade, SSP5 Desenvolvimento Alimentado por Fósseis), espera-se que estes cenários possam provocar alterações climáticas significativas, associadas às atividades socioeconómicas globais projetadas até 2100 (IPCC, 2021). Estes cenários, definidos no sexto relatório de avaliação do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) sobre as alterações climáticas em 2021, projetam diferentes emissões de gases com efeito de estufa, dependendo das políticas climáticas adotadas. Com base na normal climatológica mensal do período entre 1981 e 2010, as projeções para a ilha da Madeira indicam mudanças preocupantes, tanto no aumento das temperaturas (Tabela 3) quanto na redução da precipitação (Tabela 4).

Tabela 3 - Projeções da evolução da temperatura para o Arquipélago da Madeira, com base nos cenários SSP's para o séc. XXI, referenciadas na normal climática entre 1981 e 2020 (OCM, 2023).

|             | SSP2      |           |           | SSP5      |           |           |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|             | 2021-2050 | 2051-2080 | 2081-2100 | 2021-2050 | 2051-2080 | 2081-2100 |
| Inverno     | +0,9 °C   | +2,7 °C   | +3,2 °C   | +0,8 °C   | +3,5 °C   | +4,9 °C   |
| Primavera   | +0,4 °C   | +2,4 °C   | +2,7 °C   | +0,4 °C   | +3,0 °C   | +4,4 °C   |
| Verão       | +2,8 °C   | +2,8 °C   | +3,2 °C   | +3,2 °C   | +3,7 °C   | +5,3 °C   |
| Outono      | +1,3 °C   | +2,9 °C   | +3,3 °C   | +1,3 °C   | +3,6 °C   | +5,1 °C   |
| Média anual | +1,4 °C   | +2,7 °C   | +3,1 °C   | +1,4 °C   | +3,4 °C   | +4,9 °C   |

Em ambos os cenários, observa-se que, a partir de meados do século XXI, o cenário SSP5 apresenta um crescimento da temperatura média anual superior ao cenário SSP2, demonstrando uma clara diferenciação na evolução futura. Na mesma tabela, verifica-se uma tendência de estabilização da temperatura no cenário SSP2 até 2100, enquanto o cenário SSP5 projeta um aumento contínuo e acentuado da temperatura, com a média anual que pode atingir mais 4,9 °C no final do século, em comparação com um aumento de 3,1 °C no cenário SSP2.

A pluviosidade é um fator decisivo na sustentabilidade agrícola, especialmente em regiões onde a agricultura está dependente das chuvas sazonais. As projeções climáticas para o Arquipélago da Madeira indicam mudanças significativas nos padrões de precipitação ao longo do século XXI, com uma tendência para a redução da precipitação anual (Tabela 4).

Tabela 4 - Projeções da evolução da taxa de precipitação (em %) para o Arquipélago da Madeira, com base nos cenários SSPs para o séc. XXI, referenciadas na normal climática entre 1981 e 2020 (OCM, 2023).

|             | SSP2      |           |           | SSP5      |           |           |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|             | 2021-2050 | 2051-2080 | 2081-2100 | 2021-2050 | 2051-2080 | 2081-2100 |
| Inverno     | -19%      | +7%       | -13%      | -43%      | -17%      | -68%      |
| Primavera   | +3%       | +1%       | -18%      | -37%      | -22%      | -60%      |
| Verão       | -65%      | -25%      | -45%      | -48%      | -48%      | -61%      |
| Outono      | -26%      | -18%      | -35%      | -52%      | -52%      | -66%      |
| Total anual | -18%      | -5%       | -24%      | -45%      | -32%      | -65%      |

A análise das projeções da precipitação revela um cenário mais complexo. Os resultados indicam uma redução da precipitação, especialmente a partir de meados do século XXI. Esta tendência é acompanhada por uma diminuição da precipitação anual até 2100, sendo esta redução mais acentuada no cenário SSP5. Em termos sazonais, observa-se uma variação significativa, com o cenário SSP5 mostrando uma redução mais drástica em comparação com o cenário SSP2, destacando-se a diminuição projetada para o inverno e outono, que atinge até -68% e -66%, respetivamente, no período de 2081-2100. Estas alterações representam um desafio para a agricultura, uma vez que a irregularidade e a diminuição das chuvas vão afetar negativamente a produtividade agrícola, a disponibilidade de água para irrigação e a estabilidade dos ecossistemas locais.

### 2.3. Impacto das alterações climáticas na viticultura

Nas últimas décadas, a comunidade científica tem alertado para a realidade das alterações climáticas, atribuídas às atividades humanas, especialmente à emissão de gases com efeito de estufa. O principal efeito mensurável dessas alterações é o aumento constante da temperatura global. Dependendo dos cenários de emissões futuras, prevê-se que as temperaturas subam entre 1,4 °C e 4,9 °C até ao final do século, em comparação com o período de referência de 1981-2010, sendo o impacto variável consoante a geolocalização da região e o seu microclima (Alikadic *et al.*, 2019). O estado hídrico da videira depende tanto da evapotranspiração quanto da precipitação (Rienth & Scholasch, 2019). A evapotranspiração aumenta com a temperatura, portanto, um clima mais quente tende a ser mais seco, mesmo que a precipitação não diminua. As alterações climáticas também devem aumentar a radiação e a frequência de fenómenos meteorológicos extremos (IPCC, 2014).

A viticultura e a vinificação são setores socioeconómicos importantes em muitas regiões europeias (Droulia & Charalampopoulos, 2021). O clima controla significativamente o crescimento e a fisiologia da videira (Van Leeuwen & Darriet, 2016), bem como o rendimento e a composição das uvas. Estes fatores, em conjunto, determinam os

atributos e a tipicidade do vinho (Jones *et al.*, 2005), e com as alterações climáticas esperadas, representam novos desafios, uma vez que a cultura da videira depende profundamente das condições climáticas (Jones, 2013).

Nas últimas décadas, têm-se registado alterações na aptidão vitícola, tanto na viticultura em geral como na utilização de castas específicas, em várias regiões vinícolas. Embora os impactos sejam espacialmente heterogêneos, prevê-se que as alterações climáticas venham a intensificar estas tendências recentes. Estas mudanças podem redefinir a distribuição geográfica das regiões vitivinícolas, e a tipicidade do vinho pode estar ameaçada na maioria dos casos (Santos *et al.*, 2020). Consequentemente, as alterações climáticas exigem a aplicação de estratégias de adaptação que sejam oportunas, adequadas e rentáveis.

### 2.3.1. Redução de horas de frio

A hora de frio (HF) é uma medida do tempo em que uma planta fica exposta a temperaturas inferiores a um determinado limiar durante os meses de inverno. Essas horas são contabilizadas apenas enquanto a árvore está na fase de dormência. As necessidades de horas de frio para ultrapassar a fase da dormência nas videiras é menor em comparação a outras fruteiras (Chandler, 1937). Contudo, é um processo crucial para o desenvolvimento equilibrado das plantas, quando influenciado por fatores climáticos, especialmente a exposição a temperaturas baixas. Estudos indicam que a ausência de baixas temperaturas pode levar a abrolhamentos tardios a uma redução da produtividade das uvas (Dokoozlian *et al.*, 1995; Keller, 2015), e impede a quebra adequada da dormência dos gomos, resultando num abrolhamento irregular e enfraquecido na primavera

No estudo de Dokoozlian (1999), realizado no Vale de Coachella, na Califórnia, foi analisado o efeito de diferentes temperaturas (0; 2,5; 5,0; 7,5 e 10 °C) e durações de exposição contínua (50, 100, 200, 400 e 800 horas) no abrolhamento de estacas da videira da casta *Perlette*. Os resultados indicaram que as estacas armazenadas a 0 °C apresentaram o abrolhamento mais rápido nos primeiros 30 dias após serem colocadas em condições de crescimento controladas (humidade, luz e temperatura de  $22 \pm 1,5$  °C). Contudo, após 40 dias, as taxas de abrolhamento tornaram-se semelhantes entre as varas armazenadas a 0, 7,5 ou 10 °C, enquanto aquelas mantidas a 2,5 e 5 °C apresentaram um leve atraso.

O estudo também revelou que a duração da exposição ao frio exerce um impacto mais significativo na uniformidade e rapidez do abrolhamento do que a própria temperatura.

À medida que a duração do frio aumentou, observou-se uma aceleração e uma maior uniformidade no abrolhamento, sendo necessárias 200 horas de exposição a temperaturas entre 0 e 10 °C para alcançar níveis de abrolhamento superiores a 75%. A pesquisa também revelou interações significativas entre a temperatura de frio e a duração da exposição, afetando tanto o tempo necessário para atingir 50% de abrolhamento quanto o total de abrolhamento observado.

Os resultados sugerem que a temperatura de 0 °C é mais eficaz em acelerar o abrolhamento inicial, mas a duração prolongada do frio é fundamental para otimizar o processo. O estudo realça a importância de manter temperaturas adequadas durante o período de dormência para maximizar o rendimento e a uniformidade da produção, especialmente em regiões onde as temperaturas inverniais são amenas. Os investigadores também observaram que as varas expostas a 10 °C necessitaram de 800 horas para atingir abrolhamento normal, semelhante ao estudo de Weaver e Iwasaki (1977), que indicou que as estacas da casta *Zinfandel* necessitavam 1000 horas de temperatura a 10 °C (Weaver & Iwasaki, 1977). No entanto, o artigo também aponta a necessidade de estudos adicionais para compreender melhor como a exposição ao frio interage com outros fatores ambientais e práticas culturais (Dokoozlian, 1999).

Outro estudo de Anzanello *et al.* (2014), investigou as necessidades de temperaturas baixas para induzir e quebrar a endodormência em gomos de videira das castas *Chardonnay*, *Merlot* e *Cabernet Sauvignon*. As varas foram recolhidas numa exploração vitícola em Veranópolis, Brasil, e submetidas a tratamentos em câmaras de frio. As condições experimentais incluíram uma exposição contínua a 3 °C ou ciclos diários alternados entre 3 °C e 15 °C de 12/12h ou 18/6h, até atingir as 1120 horas de frio (soma das horas com temperatura  $\leq 7,2$  °C). Os tratamentos a 3 °C foram realizados com 840 horas para a casta *Chardonnay* e até 1120 horas para as castas *Merlot* e *Cabernet Sauvignon*. Após esses tratamentos, as estacas foram transferidas para uma câmara climática a 25 °C, onde o abrolhamento foi monitorizado diariamente. O estudo demonstrou que a quebra da dormência nas videiras está diretamente relacionada com a acumulação de HF, variando significativamente entre as diferentes castas (Anzanello *et al.*, 2018). A casta *Chardonnay* precisou de 136 horas, *Merlot* de 298 horas e *Cabernet Sauvignon* de 392 horas para sair da endodormência. O estudo também revelou que os regimes térmicos testados, com temperaturas alternadas de 3/15 °C, não influenciaram o padrão de resposta ao frio, sendo 15 °C insignificante no processo de acumulação de HF. À medida que as horas de frio aumentavam, o tempo para iniciar o abrolhamento diminuía.

Outros estudos indicam que a exposição ao frio necessária para um abrolhamento e crescimento normais das videiras varia entre 50 e 400 horas a temperaturas  $\leq 7\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Andreini *et al.*, 2010). Compreender as necessidades de temperaturas baixas é fundamental para evitar desordens fenológicas em regiões com invernos suaves, como a Ilha da Madeira. Nestas regiões, as temperaturas invernais podem não satisfazer adequadamente as necessidades de frio das videiras, comprometendo a uniformidade e a produtividade das vinhas (Petri *et al.*, 2021).

No estudo conduzido por Mohamed e El-Sese (2009), foi avaliada a resposta de diferentes castas de videira (*Beauty Seedless*, *Palomino*, *Rish Baba*, e *Ruby Seedless*) em diferentes temperaturas para ultrapassar a endodormência e promover o abrolhamento. O ensaio foi realizado num pomar experimental e no laboratório da secção de fruticultura da Faculdade de Agricultura da Universidade de Assiut, Egito, durante as épocas de 2004/2005 e 2005/2006. As varas de videira de um ano foram recolhidas entre novembro e fevereiro e colocadas em câmaras climáticas, onde foram expostas a temperaturas constantes entre 20 e 25  $^{\circ}\text{C}$  durante cinco semanas. Durante este período, as varas foram monitorizadas para determinar a taxa de abrolhamento.

Os resultados indicaram que as necessidades de frio variaram significativamente entre as diferentes castas. A casta *Palomino* registou a maior necessidade de frio, com uma média de 247 horas a 7,2  $^{\circ}\text{C}$  e 651 horas a 10  $^{\circ}\text{C}$  para atingir 50% de abrolhamento. No sentido inverso, a casta *Rish Baba* mostrou a menor exigência de frio, com apenas 89 horas a 7,2  $^{\circ}\text{C}$  e 300 horas a 10  $^{\circ}\text{C}$ . Além disso, o estudo revelou que a exposição prolongada ao calor após a dormência pode aumentar a necessidade de horas de temperaturas baixas para que a videira possa sair da dormência. Este efeito foi particularmente observado nas condições climáticas quentes de Assiut, onde as ondas de calor podem anular parcialmente o efeito das horas de frio acumuladas, comprometendo assim a uniformidade do abrolhamento e, conseqüentemente, a produtividade da vinha. Estes resultados destacam a importância de considerar o impacto das alterações climáticas, especialmente o aumento das temperaturas médias e a ocorrência de ondas de calor, na gestão da dormência em vinhas, evidenciando a necessidade de acompanhar o comportamento das videiras em regiões de clima quente (Mohamed & El-Sese, 2009).

Kamimori e Hosomi (2024) em Osaka, Japão, correlacionaram as datas de abrolhamento da casta *Delaware* com variações de temperatura ao longo de mais de 50 anos (1963-2022), usando as temperaturas mínimas e máximas nos modelos de cálculo de horas de frio, (0 a 7,2  $^{\circ}\text{C}$ , Utah e Dinâmico) e um modelo de calor (unidade de grau-

hora de crescimento [GDH]) para calcular a acumulação diária de frio e calor. Esta investigação permitiu identificar os períodos de calor necessários para o crescimento, bem como fazer uma estimativa das necessidades de frio para o abrolhamento dos gomos. Os resultados indicaram que o período de frio começa em meados de outubro e vai até início de fevereiro, enquanto a quebra da dormência ocorre a partir de meados de janeiro até o abrolhamento. Estimou-se que a *Delaware* necessita de 70 horas entre 0 e 7,2 °C e 5068 GDH para um abrolhamento eficaz, destacando a importância de compreender esses requisitos para melhorar a previsão do abrolhamento e orientar práticas de cultivo numa perspetiva das mudanças climáticas (Kamimori & Hosomi, 2024).

Na endodormência, a inibição do abrolhamento resulta de uma série de ocorrências bioquímicas e fisiológicas nos tecidos meristemáticos, desencadeados pela percepção de estímulos ambientais, geralmente provocados por baixas temperaturas, alterações no fotoperíodo, ou ambos. Este tipo de dormência pode variar em duração e intensidade, sendo ultrapassado com a acumulação de um determinado número de HF durante o outono e inverno, dependendo da espécie e da casta da videira (Petri *et al.*, 2021).

### 2.3.2. Ondas de calor

As ondas de calor durante a endodormência das videiras têm um impacto negativo na evolução dos gomos, como demonstrado pelo estudo de Anzanello *et al.* (2022). O objetivo do estudo foi avaliar o efeito das ondas de calor na dormência de gomos de videiras com diferentes necessidades de frio invernal, especificamente nas castas *Chardonnay*, *Merlot* e *Cabernet Sauvignon*. As varas destas castas foram recolhidas em videiras comerciais de Veranópolis, no Brasil, e expostas a temperaturas constantes (7,2 °C) ou alternadas (7,2 e 18 °C por 12/12 horas), combinadas com zero, um ou dois dias por semana a 25°C. Após os tratamentos, parte das estacas foi transferida para uma câmara climática a 25 °C, para avaliação dos abrolhamentos. A endodormência foi ultrapassada com 150 horas a 7,2 °C para *Chardonnay*, 300 horas para *Merlot* e 400 horas para *Cabernet Sauvignon*. Os resultados mostraram que as ondas de calor a 25 °C aumentaram a necessidade de um maior período de baixas temperaturas para ultrapassar a endodormência, sendo que o impacto negativo dessas ondas de calor depende da sua duração. Após 36 horas contínuas de exposição ao calor, o somatório de horas de frio foi parcialmente anulado. Ciclos diários de temperatura de 7,2 a 18 °C não afetaram o processo de endodormência, mas as necessidades de frio variaram entre 150 e 350 horas para *Chardonnay*, 300 e 500 horas para *Merlot* e 400 e 600 horas para *Cabernet Sauvignon*, dependendo da oscilação térmica. A discussão do estudo

sublinha que a dormência nos gomos de videiras é significativamente afetada pela ocorrência de ondas de calor durante a estação de repouso vegetativo, o que aumenta as necessidades de frio e eleva as probabilidades de comprometer um abrolhamento uniforme e a produtividade das videiras (Anzanello *et al.*, 2022).

Segundo Petri *et al.* (2021), citando Erez *et al.* (1990), o efeito negativo das altas temperaturas depende da sua duração e intensidade. A exposição a 21 °C por 2 a 4 horas não causa perdas significativas; no entanto, quando a exposição ultrapassa 8 horas, ocorre um efeito que anula as horas de frio acumuladas. Além disso, em regimes de temperaturas mais elevadas, como 24 °C por apenas 2 horas, já pode ocorrer esse efeito anulador (Petri *et al.*, 2021).

Variações térmicas, especialmente com temperaturas elevadas, aumentam as exigências de frio, tornando essencial o uso de índices bioclimáticos para calcular com precisão as horas de frio necessárias. Modelos como Utah, Low Chill e outros mais dinâmicos, são ferramentas cruciais para adaptar as práticas vitícolas às condições climáticas específicas de cada região.

## 2.4. Horas de frio na fase de dormência

A videira europeia (*Vitis vinifera*) é adaptada aos climas mediterrânicos e as castas utilizadas, geralmente necessitam de 50 a 400 horas de temperaturas frias inferiores a 10 °C para satisfazer a dormência (Andreini *et al.*, 2010; Londo & Johnson, 2014). Os modelos de cálculo de horas de frio, como os modelos Utah, Low Chill, Taiwan e outros modelos dinâmicos, são ferramentas fundamentais para determinar as necessidades de HF durante a fase de dormência. Esses modelos são adaptados às diversas cultivares e regiões, permitindo o ajuste de estratégias e práticas agrícolas para melhorar a produção (Darbyshire *et al.*, 2011; Delgado *et al.*, 2024; Venter *et al.*, 2024a).

Para os modelos utilizados nesta tese, as HF são obtidas pela mesma equação, variando apenas o fator de ponderação num intervalo de tempo ( $\Delta T_i$ ), à temperatura ( $T_i$ ) de cada modelo (Equação 1).

$$HF = \sum_{i=1}^n W \Delta t_i (T_i)$$

Equação 1 - Fórmula de cálculo de horas de Frio (Richardson *et al.*, 1974)

Em que HF é o total de horas de frio acumuladas;  $n$ : número total de intervalos  $W$ -fator de ponderação,  $\Delta t_i (T_i)$ : intervalo de tempo ( $\Delta t_i$ ), à temperatura ( $T_i$ ) (Tabela 5).

Tabela 5 - Horas de frio com base na temperatura em três modelos.

| <i>W</i> (Fator de ponderação) | T (°C)      |                  |             |
|--------------------------------|-------------|------------------|-------------|
|                                | Modelo Utah | Modelo Low Chill | Taiwan      |
| 0                              | <1,4        | < -1,0           |             |
| 0,5                            | 1,5 a 2,4   | 1,8 a 7,9        |             |
| 1                              | 2,5 a 9,1   | 8,0 a 13,9       | < 7,2       |
| 0,5                            | 9,2 a 12,4  | 14,0 a 16,9      | 7,3 a 15    |
| 0                              | 12,5 a 15,9 | 17,0 a 19,4      | 15,1 a 26,6 |
| -0,5                           | 16,0 a 18,0 | 19,5 a 20,4      | 26,7 a 27,8 |
| -1                             | >18         | >20,5            | >27,8       |

### 2.4.1. Modelo de Utah

O Modelo de Utah, desenvolvido por Richardson *et al.* (1974), foi especificamente formulado para quantificar o número de HF acumuladas em pessegueiros das variedades “*Redhaven*” e “*Elberta*” durante o período de dormência invernal em Farmington, Utah, no inverno de 1973-74. O processo envolveu as seguintes fases:

- Estimativa Inicial de HF com base no conhecimento prévio ou na literatura existente.
- Cálculo da data estimada de fim de dormência: Com base na estimativa inicial de HF, calcula-se uma data estimada para o fim da dormência. Esta data supõe que a árvore tenha acumulado horas de frio suficientes para quebrar a dormência.
- Acumulação das *Growing Degree Hours* (GDH °C): A partir da data estimada de fim da dormência, começa-se a acumular as GDH °C até alcançar a data da floração total. Esta acumulação é feita diariamente, somando as horas em que a temperatura esteve acima de uma temperatura base (geralmente 4.5 °C) até a data da floração.
- Repetição Anual: As três primeiras etapas são repetidas para vários anos de dados, assegurando que a análise considera a variabilidade climática de diferentes anos.
- Cálculo do Desvio-Padrão: Para cada estimativa de HF, calcula-se o desvio-padrão das GDH °C acumuladas. Um desvio-padrão menor indica uma estimativa de HF mais precisa.
- Ajuste Final de HF: O valor final de HF é selecionado com base no menor desvio-padrão, sendo este valor usado para calcular as datas de fim da dormência e posteriormente a constante GDH °C.
- Validação Biológica: Finalmente, os valores calculados são comparados com observações fisiológicas para garantir a precisão biológica do modelo.

Deste modo, as HF são ajustadas para minimizar o desvio-padrão das acumulações de GDH °C entre diferentes anos, e a GDH °C é a média das horas de crescimento desde o fim da dormência até o florescimento total, usando as HF otimizadas (Richardson *et al.*, 1974).

### 2.4.2. Modelo de Low Chill

O modelo Low Chill, desenvolvido por Phyllis R. Gilreath e D. W. Buchanan, foi criado com o objetivo de prever de forma mais precisa o fim da dormência em cultivares de nectarina que exigem um número reduzido de HF. Este modelo considera a resposta das plantas a diferentes regimes de temperatura, tanto constantes quanto flutuantes, durante o período de dormência. Os ensaios realizados incluíram estacas enraizadas de nectarinas '*Sungold*', expostas a variação de temperaturas diárias entre 0,6 °C a 15 °C. A análise dos dados resultou na formulação de uma equação matemática que correlaciona a temperatura com o tempo necessário para a evolução dos gomos, proporcionando uma previsão mais precisa do término do repouso vegetativo em condições de clima mais ameno.

A principal inovação do modelo Low Chill é a capacidade de considerar uma faixa mais ampla de temperaturas no somatório de HF, especialmente em regiões onde existe uma maior oscilação das temperaturas na estação invernal. Este modelo demonstrou ser mais preciso do que o tradicional modelo de Utah na previsão do fim da dormência de cultivares com poucas necessidades de frio, pois agrega a influência das interrupções de temperaturas mais elevadas durante o inverno (Gilreath & Buchanan, 1981). Ao ter em conta essas variações de temperatura, o modelo Low Chill oferece uma ferramenta valiosa para agricultores e investigadores, permitindo uma planificação agrícola mais eficaz e a seleção de cultivares apropriadas para regiões de climas quentes.

### 2.4.3. Modelo de Taiwan

Em Taiwan, onde as temperaturas raramente permanecem muito baixas durante o inverno, os modelos tradicionais de cálculo de frio mostraram-se inadequados. Para atender à necessidade de prever a produção em cultivares e clones de pêssegos e nectarinas de baixa exigência térmica oriundos dos EUA e do Japão, os investigadores do Instituto de Investigação Agrícola de Taiwan iniciaram, em 1980, um estudo para avaliar as necessidades de frio das cultivares locais e das novas cultivares. Como parte desse estudo, foi criado um método que relacionava a época de floração com as cultivares-chave da região. Com base em 19 anos de registos de datas de floração e de temperatura, os investigadores ajustaram os parâmetros dos modelos de acumulação de Horas de Frio (HF), ampliando a faixa de temperaturas considerada e levando em conta os efeitos das variações térmicas (Tabela 5). Assim, desenvolveram um modelo de baixo frio adaptado ao clima de Taiwan. Este modelo ajustado reconhece que temperaturas ligeiramente mais elevadas também contribuem para a acumulação de

HF, melhorando a precisão na previsão do momento ideal para o abrolhamento e floração (Huang *et al.*, 2024; Lu *et al.*, 2012).

Os modelos de cálculo de HF ajudam a prever as necessidades de frio, no entanto, enfrentam limitações, como a necessidade de ajustes regionais e os impactos das mudanças climáticas, que podem reduzir a eficácia (Delgado *et al.*, 2024; Luedeling *et al.*, 2021). Além disso, a complexidade dos modelos dificulta a padronização dos métodos para determinar a profundidade da dormência, pois esta é crucial para obter resultados consistentes. As unidades experimentais podem variar em vários aspetos, como o tipo de poda, espécie, casta, intensidade e qualidade da luz, bem como a humidade durante o período de dormência. Além disso, o período de teste é um fator importante a considerar. Estas variações devem ser reconhecidas como fatores limitantes na aplicação prática destes modelos em determinados contextos agrícolas (Darbyshire *et al.*, 2011; Dennis, 2003).

## 2.5. Índices bioclimáticos na viticultura

A viticultura, considerada a arte e ciência do cultivo de videiras (Guisard *et al.*, 2014), é fortemente influenciada pelo clima, que determina não apenas a viabilidade do cultivo das videiras, mas também a qualidade e a produtividade das uvas (Schultz, 2008). Neste contexto, os índices bioclimáticos surgem como ferramentas essenciais para avaliar a aptidão climática de uma região para o cultivo de vinhas e para prever os impactos das variações climáticas (Schultz, 2008; Tonietto & Carbonneau, 2004; Van Leeuwen & Darriet, 2016).

Os índices heliotérmicos de Winkler (WI), de Huglin (HI) e o Índice de Frescura das noites (IF) foram desenvolvidos para avaliar a aptidão climática de uma região para o cultivo de videiras, entre outras culturas. Estes índices são ferramentas essenciais na avaliação multicritério, permitindo a análise integrada de diferentes variáveis climáticas, como temperatura, radiação solar e amplitude térmica, para determinar o potencial vitícola e agrícola de uma região, auxiliando na tomada de decisões sobre as práticas culturais e a seleção das castas mais adequadas ao clima local.

O Índice de WI fornece informações essenciais sobre a acumulação de calor durante a estação de crescimento e desenvolvimento, permitindo a classificação das regiões vitivinícolas em diferentes zonas climáticas (Tabela 6). Este índice ajuda a determinar quais as castas que são mais adequadas para cultivar em cada região, com base na soma dos graus-dia de temperaturas acumuladas. O índice é calculado pela soma das temperaturas médias diárias subtraindo o valor de uma temperatura de base, no período

compreendido entre 1 de abril e 31 de outubro, no hemisfério norte (Equação 2). A temperatura de base para este índice é de 10° C, porque, quando a média aritmética das temperaturas máximas e mínimas diárias é inferior a este limiar, as videiras estão fisiologicamente inativas, ou seja, apresentam pouco ou nenhum crescimento (An *et al.*, 2022). Os limites inferior e superior deste índice foram determinados para identificar as condições climáticas mais adequadas para a viticultura:

Regiões com valores totais de WI inferiores a 850 graus-dia de temperaturas acumuladas são consideradas demasiado frias para a viticultura, apresentando um elevado risco de não se atingir a maturação adequada das uvas. Por outro lado, regiões com valores superiores a 2700 graus-dia são consideradas demasiado quentes, resultando numa maturação precoce e numa consequente perda de qualidade das uvas (Winkler, 1974).

$$WI = \sum_{01/04}^{31/10} \left[ \frac{T_{max.} + T_{min.}}{2} - 10 \right]$$

Equação 2 - Fórmula do índice de Winkler (Winkler, 1974).

O Índice de Huglin (HI) é uma versão modificada do WI e está associado ao crescimento das videiras e à concentração de açúcar nos bagos de uva (Huglin, 1978). O HI considera a temperatura acumulada durante o dia e não durante todo o período de 24 horas, devido ao facto de a fotossíntese se efetuar durante as horas de sol. É utilizado para determinar a aptidão das castas numa região (Badr *et al.*, 2018) (Tabela 6). A fórmula é calculada pela média da soma das temperaturas médias diárias e das temperaturas máximas, subtraindo um valor de temperatura base, e multiplicando por um fator de correção. Este cálculo é realizado para o período entre 1 de abril e 30 de setembro, levando em consideração fatores como a duração dos dias e as temperaturas biologicamente eficazes no Hemisfério Norte (Equação 3).

$$HI = \sum_{01/04}^{30/9} \left[ \frac{T_{med.} + T_{max.}}{2} - 10 \right] * k$$

Equação 3 - Fórmula do índice Heliotérmico de Huglin ((Huglin, 1978)

Sendo “*k*” um fator de correção, que varia de acordo com a latitude e é calculado da seguinte forma:

$$k = 1 + 0.04 * (latitude - 40)$$

Equação 4 - Fator de correção para o cálculo do índice de Huglin (Huglin, 1978).

O Índice de Frescura das Noites (IF) é um parâmetro climático utilizado para medir a ocorrência de noites com temperaturas baixas numa determinada região, ao longo do mês anterior à vindima. O valor do IF é calculado com base na média das temperaturas mínimas do ar durante o mês de setembro (no Hemisfério Norte), expressa em graus Celsius (Tonietto & Carbonneau, 1999). Este índice ajuda a caracterizar as condições noturnas de uma área vitícola, fornecendo informações importantes sobre o impacto do clima nas uvas durante a fase crucial de maturação. (Tonietto & Carbonneau, 1999).

Na prática, o IF oferece uma visão geral do regime térmico envolvido durante o período de maturação da uva. As classes estabelecidas são amplas, sugerindo que dentro de cada uma delas podem existir possíveis subdivisões.

As características teóricas gerais de cada classe climática são as seguintes:

- **IF1:** Na classe climática de noites quentes, a região vitícola apresenta temperaturas noturnas elevadas durante a maturação da uva, independentemente da casta.
- **IF2:** Na classe de noites temperadas, o clima vitícola encontra-se numa posição intermédia entre noites frias e noites quentes. As castas de maturação tardia experimentarão temperaturas noturnas mais frescas comparativamente às castas precoces.
- **IF3:** Na classe de noites frias, a maturação ocorre em condições que variam de acordo com a precocidade da casta. No entanto, de modo geral, as temperaturas são mais baixas do que na classe IF2, garantindo que o limite máximo de temperatura noturna favorável à maturação não seja ultrapassado para nenhuma casta.
- **IF4:** Na classe de noites muito frias, as condições nictotérmicas são bastante baixas, e o impacto positivo destas temperaturas depende principalmente de um potencial heliotérmico suficientemente forte para garantir uma boa maturação da uva para uma determinada casta (Tabela 6).

Geralmente, em condições de maturação com noites quentes, verifica-se uma tendência para a perda de aromas, e as uvas tintas podem apresentar uma coloração menos intensa. Em contraste, noites frias são benéficas para a cor e os aromas das uvas, desde que as condições heliotérmicas sejam suficientes para assegurar uma maturação plena. Em regiões com noites muito frias, as uvas podem alcançar um elevado potencial de cor e aromas, especialmente em zonas conhecidas pela produção de vinhos brancos,

mas esse potencial depende da existência de condições adequadas para uma boa maturação, com destaque para o fator heliotérmico (Queiroz, 2022).

$$IF = \sum_{01/09}^{30/09} \frac{T_{min.}}{N^{\circ} \text{ total de dias}}$$

Equação 5 - Fórmula do Índice de Frescura das noites (Tonietto & Carbonneau, 1999).

Tabela 6 - Classificação multicritério da aptidão vitícola de acordo com Índice de Winkler, Índice Heliotérmico e Índice de Frescura das noites.

| Índice Bioclimático                               | Intervalo     | Classe               | Classificação   |
|---------------------------------------------------|---------------|----------------------|-----------------|
| Índice de Winkler (WI) <sup>(a)</sup>             | ≤ 850         | Frio Excessivo       |                 |
|                                                   | ≥ 851 < 1390  | Região I             | R1              |
|                                                   | ≥ 1391 < 1668 | Região II            | R2              |
|                                                   | ≥ 1668 < 1945 | Região III           | R3              |
|                                                   | ≥ 1945 < 2223 | Região IV            | R4              |
|                                                   | ≥ 2223 < 2700 | Região V             | R5              |
| Índice de Huglin (HI) <sup>(b)</sup>              | ≥ 2701        | Calor Excessivo      |                 |
|                                                   | < 1500        | Muito frio           | HI <sub>1</sub> |
|                                                   | ≥ 1500 < 1800 | Frio                 | HI <sub>2</sub> |
|                                                   | ≥ 1800 < 2100 | Temperado            | HI <sub>3</sub> |
|                                                   | ≥ 2100 < 2400 | Temperado quente     | HI <sub>4</sub> |
|                                                   | ≥ 2400 < 3000 | Quente               | HI <sub>5</sub> |
| Índice de Frescura das noites (IF) <sup>(c)</sup> | ≥ 3000        | Muito quente         | HI <sub>6</sub> |
|                                                   | ≤ 12          | Noites muito frias   | IF <sub>4</sub> |
|                                                   | > 12 ≤ 14     | Noites frias         | IF <sub>3</sub> |
|                                                   | > 14 ≤ 18     | Noites amenas        | IF <sub>2</sub> |
|                                                   | > 18          | Noites muito quentes | IF <sub>1</sub> |

Fontes: <sup>(a)</sup>(Winkler, 1974); <sup>(b)</sup>(Huglin, 1978); <sup>(c)</sup>(Tonietto & Carbonneau, 1999)

## 2.6. Utilização de bioestimulantes e reguladores de crescimento na quebra da dormência

A utilização de bioestimulantes e reguladores de crescimento faz parte das estratégias empregadas para promover a quebra de dormência em videiras, especialmente em condições onde as necessidades de temperaturas baixas não são plenamente satisfeitas (Gu & Read, 2004; Lamela *et al.*, 2016). Com a proibição dos bioreguladores à base de H<sub>2</sub>CN<sub>2</sub>, que eram eficazes na quebra de dormência do kiwi, da uva e de outras fruteiras, tornou-se imperativo encontrar alternativas imediatas e práticas para enfrentar a carência de horas de frio invernal, um problema cada vez mais frequente em regiões com invernos amenos. A otimização da produtividade, tanto em termos de quantidade como de qualidade, também se tornou uma prioridade (Coser *et al.*, 2021; Venter *et al.*,

2024b). A aplicação de bioestimulantes tem mostrado resultados promissores no controle fisiológico das plantas e na proteção contra doenças, embora a sua utilização exija rigorosos ensaios de eficácia, toxicidade, ecotoxicidade e de resíduos (Costa, 2013).

### 2.6.1. Reguladores de crescimento

Os reguladores de crescimento são compostos orgânicos específicos, muitas vezes sintéticos, que influenciam diretamente os processos fisiológicos das plantas. As hormonas vegetais, ou fito-hormonas, são os principais reguladores de crescimento. Estas substâncias, produzidas numa parte da planta, e transportadas para outras, têm a capacidade de influenciar processos fisiológicos específicos, como o crescimento, a floração e a maturação (Davies, 1995; Pieterse *et al.*, 2012; Went & Thimann, 1937). Salienta-se que as hormonas não exercem as suas funções de forma isolada, operam de maneira aditiva ou antagónica entre si, culminando num estado final de crescimento ou desenvolvimento que reflete o equilíbrio hormonal existente.

Embora as plantas não disponham de um sistema nervoso semelhante ao dos animais, elas recorrem às hormonas para facilitar a comunicação entre os seus órgãos ou partes (Miguel-Tomé & Llinás, 2021). Estas atuam como mensageiros químicos que coordenam as atividades dos vários órgãos vegetais. Não é estritamente necessário que a produção destas hormonas ocorra em locais específicos da planta. De facto, mesmo que todas as células vegetais fossem capazes de produzir hormonas, o fenómeno da polaridade garantiria a sua distribuição adequada pelos locais onde são precisas. Contudo, tipicamente, verifica-se uma separação física entre os pontos onde as hormonas são geradas e as zonas onde exercem a sua influência (Went & Thimann, 1937).

A dormência dos gomos vegetativos, determinada por fatores hormonais, ambientais e bioquímicos, apresenta uma complexidade que varia consoante o tipo de dormência e de gomo. As hormonas vegetais, como o ácido abscísico (ABA), as giberelinas (GA) e as auxinas (IAA), desempenham papéis fundamentais, apesar das evidências serem mistas e algumas vezes contraditórias (Kozlowski & Pallardy, 1997). A variação na sensibilidade dos tecidos às hormonas e na interação entre múltiplos sinais hormonais complicam a interpretação dos seus efeitos na dormência. Para além das hormonas, em espécies de clima temperado com crescimento indeterminado, a curta duração do fotoperíodo induz a primeira fase de dormência, suspendendo a dominância apical, processo mediado pela fitocromo (Olsen *et al.*, 1997).

Há um consenso generalizado que os níveis de ABA aumentam no início da dormência e diminuem progressivamente durante a transição para o término desta em várias espécies lenhosas, como a *Vitis vinifera* (Fadón *et al.*, 2020; Magalhães, 2008). Estudos reforçam o papel decisivo do ABA não só no início e manutenção da dormência, mas também na sua conclusão, demonstrando a interação complexa entre hormonas vegetais e sinais ambientais na regulação na fase da dormência (Zhang *et al.*, 2018). Tradicionalmente, considera-se que a endodormência é regulada por um equilíbrio entre hormonas inibidores e promotoras do crescimento, com estudos a indicar que as variações nos níveis de ABA e GA são cruciais (Kozłowski & Pallardy, 1997). Segundo Liu & Sherif (2019), os níveis de IAA e GA flutuam, com um aumento notável à medida que a dormência progride em direção à quebra, sugerindo uma interação sinérgica no fim da dormência e no início do crescimento (Liu & Sherif, 2019). As giberelinas, em particular, são referidas por ter funções distintas durante e após a dormência do gomo, como fundamentado num estudo sobre videiras, que indica que o envolvimento tanto na quebra da dormência quanto nos processos de crescimento subsequentes (Liu & Sherif, 2019; Zheng *et al.*, 2018).

As giberelinas são frequentemente associadas à quebra da dormência em gomos vegetativos, observando-se um aumento na sua concentração em gomos após evoluírem. A determinação do papel da GA na quebra da dormência revela-se complexa, dada a predominância de formas inativas destas hormonas nas plantas, o que pode tornar as medições totais de giberelinas durante as transições de dormência potencialmente enganadoras. Estudos sugerem que a aplicação de GA pode simular o efeito do frio na quebra da dormência (Walser *et al.*, 1981), enquanto outras investigações indicam que a eficácia do GA está condicionada à prévia exposição ao frio, colocando em dúvida a sua capacidade de substituir integralmente o frio na superação da endodormência (Kozłowski & Pallardy, 1997).

A contribuição das citoquininas na quebra da dormência de gomos tem sido sugerida pelo aumento dos seus níveis e pela promoção do crescimento dos gomos por citoquininas exógenas (Ezzili & Bejaoui, 2000; Rodrigues *et al.*, 2016). No entanto, as evidências não suportam um papel primordial das citoquininas na quebra da dormência. Nesta fase o aumento de citoquininas resulta da redução do rácio com o ABA e a citoquininas e auxinas e torna-se mais relevante no estímulo do crescimento após o término da fase da dormência (Noriega & Pérez, 2017). Isto é corroborado por estudos indicando que citoquininas exógenas, em concentrações elevadas, induzem crescimento apenas após exposição parcial ao frio (Shaltout & Unrath, 1983).

O etileno, por sua vez, não demonstra um papel regulador significativo na libertação da dormência de gomos com necessidade de frio, com a sua influência no crescimento do gomo atribuída a efeitos pós-quebra da dormência (Lavee & May, 1997).

Estudos recentes sobre a dormência, revelaram muito sobre a dinâmica hormonal e a sinalização genética (Pacey-Miller *et al.*, 2004), bem como os efeitos hormonais na iniciação, progressão e libertação da dormência (Liu & Sherif, 2019). Contudo, os mecanismos moleculares e celulares que governam as transições entre o crescimento, a paragem dos gomos, a dormência e a reativação metabólica ainda necessitam de clarificação (Yamane *et al.*, 2023).

### 2.6.2. Bioestimulantes

De acordo com a *European Biostimulants Industry Council* (EBIC), os bioestimulantes são definidos como substâncias ou microrganismos que, quando aplicados a plantas ou à rizosfera, estimulam processos naturais que beneficiam a absorção de nutrientes, a eficiência nutricional, a tolerância a stress abiótico e a qualidade das culturas, sem possuírem ação direta contra pragas. Estes agentes diferenciam-se dos fertilizantes, embora possam conter nutrientes, e operam através de mecanismos distintos para promover o crescimento e desenvolvimento das plantas ao longo de todo o ciclo de vida (EBIC, 2021). Os bioestimulantes melhoram o metabolismo vegetal, aumentam a resistência ao stress, facilitam a assimilação de nutrientes e aprimoram características como o teor de açúcar e a cor dos produtos (du Jardin, 2012).

As empresas agroquímicas têm vindo a disponibilizar alternativas à cianamida hidrogenada ( $\text{H}_2\text{CN}_2$ ) com eficácia similar (Ardiles & Ayala, 2017; Rodrigues *et al.*, 2016). Num estudo realizado em São Paulo, Brasil, na Estação Experimental de Viticultura Tropical da Embrapa Uva e Vinho, foi avaliada a eficácia de alternativas à cianamida hidrogenada na quebra de dormência em gomos da casta *Niágara Rosada* (*Vitis labrusca*). Os tratamentos testados incluíram: água (controlo), o regulador de crescimento Cianamida Hidrogenada Dormex® 6%, o extrato de alho Bioalho® a 7% com 1% de óleo mineral, e o bioestimulante Erger® a 7% e 10%, ambos combinados com 7% e 10% de nitrato de potássio, respetivamente. Os resultados mostraram que, 10 dias após a aplicação dos tratamentos, o Dormex® foi o mais eficaz na indução do abrolhamento, especialmente nos gomos do ápice. O extrato de alho e o Erger® não apresentaram diferenças significativas em relação à água na fase inicial. Aos 17 dias, o Erger® a 10% apresentou um abrolhamento comparável ao Dormex®, embora este tenha continuado a mostrar superioridade nos gomos do ápice. Na avaliação final, realizada 30 dias após o tratamento, todos os produtos alternativos demonstraram

eficácia no abrolhamento em comparação ao controlo, mas o extrato de alho apresentou um abrolhamento menos uniforme. O estudo concluiu que tanto o bioestimulante quanto o extrato de alho são alternativas viáveis para a quebra de dormência em videiras cultivadas em regiões tropicais, embora induzam o abrolhamento de forma mais tardia em comparação com a cianamida hidrogenada. O estudo recomenda a realização de mais estudos para ajustar as doses, especialmente do extrato de alho, a fim de melhorar a uniformidade do abrolhamento.

As empresas agroquímicas têm vindo a disponibilizar alternativas à  $H_2CN_2$  com eficácia similar (Ardiles & Ayala, 2017; Rodrigues *et al.*, 2016). Outros estudos recentes focam-se nas alterações bioquímicas e genéticas causadas por esses tratamentos, observando variações significativas nos níveis de oxigénio, hormonas vegetais e na expressão dos genes que regulam o desenvolvimento da planta (Li *et al.*, 2024).

### 3. Material e Métodos

#### 3.1. Estudo das horas de frio na previsão da produção vitícola em três municípios da ilha da Madeira

O estudo das horas de frio foi realizado com base nos dados recolhidos pelo Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), provenientes de três estações meteorológicas: a da Quinta Grande, no município de Câmara de Lobos (vertente sul), e as estações da Ponta de São Jorge, em Santana, e de São Vicente (ambas na vertente norte da Ilha da Madeira), conforme indicado na Tabela 7. Os dados foram fornecidos pelo Observatório Meteorológico do Funchal e organizados em ficheiros Excel. Para o cálculo das médias horárias de temperatura, foram utilizadas as temperaturas mínimas e máximas registadas de hora a hora, no período de janeiro de 2011 a fevereiro de 2024.

Tabela 7 - Localização e altitude das estações meteorológicas.

| Estação                | Coordenadas               | Altitude | Vertente |
|------------------------|---------------------------|----------|----------|
| 984 - Câmara de Lobos  | Lat.:32.66, Long.: -17,01 | 580      | Sul      |
| 967 - São Vicente      | Lat.:32.80, Long.: -17,05 | 97       | Norte    |
| 960 - Santana/S. Jorge | Lat.:32.83, Long.: -16,91 | 257      | Norte    |

Com base nesses valores, foram construídas séries temporais de temperatura média horária, abrangendo o período de dezembro a fevereiro do ano seguinte. As horas de frio foram determinadas utilizando a fórmula proposta por Richardson *et al.* (1974) (Equação 1), que considera a temperatura e um factor de ponderação específico. Esta metodologia permitiu a quantificação das horas de frio segundo os critérios dos modelos Taiwan, Low Chill e Utad. O período temporal de dezembro a fevereiro foi adotado com

base no trabalho de Huang *et al.* (2024), descrito no artigo *A Low-chill Peach Cultivar for Early Fresh Market*. Nesse estudo, os autores utilizaram o modelo de Taiwan para calcular as horas de frio, demonstrando a relevância deste método em condições climáticas semelhantes às da Ilha da Madeira. Ambas as regiões possuem temperaturas médias próximas e estão localizadas a distâncias comparáveis dos trópicos, justificando a aplicação desta abordagem.

Para o cálculo dos índices bioclimáticos, foram utilizadas as temperaturas mínimas, máximas, médias diárias e mensais, disponibilizadas no boletim climatológico mensal do Observatório Meteorológico do Funchal (Anexo I). Os cálculos de cada índice (Winkler, Huglin e Índice de Frescura Noturna) foram realizados em Excel, utilizando as fórmulas específicas de cada um (Fórmulas 2, 3, 4 e 5).

Os dados anuais de produção vitícola por casta nos três municípios (Figura 7), entre 2011 e 2023, expressos em toneladas, foram recolhidos através do portal de estatísticas oficiais da Direção Regional de Estatística da Madeira (DREM). Estes dados baseiam-se nas produções anuais declaradas no manifesto de colheita pelos produtores ao Instituto do Vinho, do Bordado e do Artesanato da Madeira (IVBAM), incluindo a quantidade de uvas comercializadas e a quantidade reservada pelos próprios produtores (DREM, 2023).

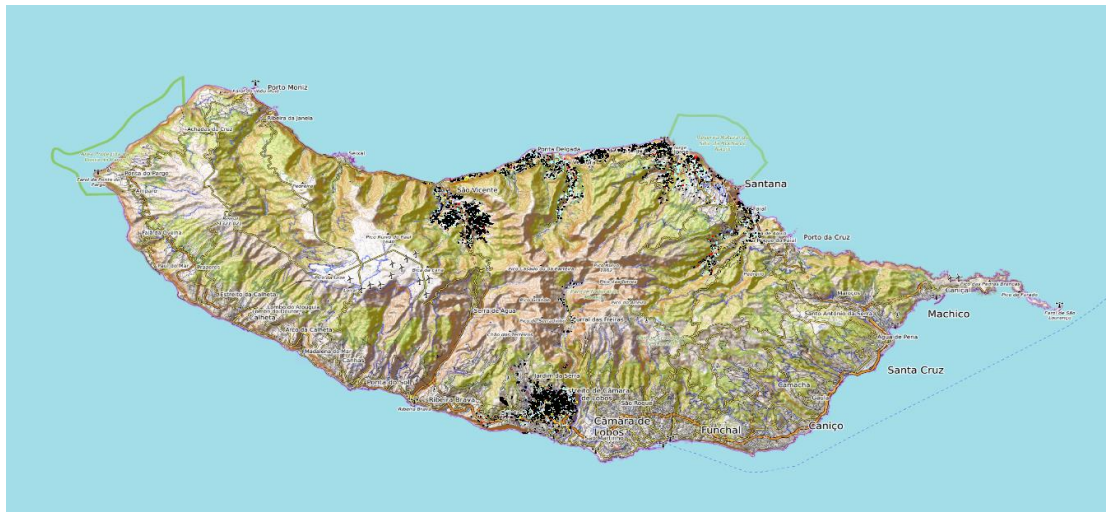


Figura 7 – Localização das parcelas vitícolas nos três municípios da Ilha da Madeira.

### 3.2. Estudo dos índices bioclimáticos para a cultura da videira em três municípios da ilha da Madeira

No calculados os índices bioclimáticos para a cultura da videira nos três municípios em estudo (Figura 7), foram utilizados dados meteorológicos diários registados entre janeiro de 2011 e dezembro de 2023. Foram utilizadas as temperaturas mínimas, máximas, médias diárias e mensais, disponibilizadas no boletim climatológico mensal do Observatório Meteorológico do Funchal. Os cálculos de cada índice (Winkler, Huglin e Índice de Frescura Noturna) foram realizados em Excel, utilizando as fórmulas específicas de cada um (Fórmulas 2, 3, 4 e 5).

### 3.3. Estudo da aplicação de reguladores de crescimento e bioestimulantes na quebra de dormência em videiras da casta Sercial, em Câmara de Lobos

Foram aplicados aleatoriamente cinco tratamentos a 16 videiras por linha, com uma repetição, num total de  $(16 \times 5 \times 2) = 160$  unidades experimentais (Figura 8).

Os cinco tratamentos incluem um controlo, os reguladores de crescimento ácido abscísico (7,5%) (ABA) e 6-benzylaminopurine (10%) (BAP), aplicados isoladamente e em combinação (ABA+BAP), seguindo as concentrações recomendadas pelos fabricantes (Sigmaaldrich, 2024). Foi utilizado o bioestimulante Erger (7%) (EG) com ActivErger (16%) (Ac) nas concentrações recomendadas pelo fabricante para promover a quebra da dormência (Anexo II e III).

O tratamento com BAP foi realizado utilizando três aplicações, baseando em evidências científicas. Estudos anteriores, como o de Broome e Zimmerman (1976), demonstraram que o aumento do número de aplicações de BA pode melhorar significativamente o desenvolvimento dos gomos em macieiras, sobretudo em concentrações moderadas a baixas. Segundo os autores, quatro aplicações de BA a uma concentração de 1.000 ppm resultaram num desenvolvimento mais avançado dos gomos ( $7.9 \pm 0.3$  na escala de fenológica), em comparação com apenas duas aplicações na mesma concentração ( $5.6 \pm 2.7$ ).

Com base nesta abordagem, optou-se por realizar três aplicações, procurando alcançar um equilíbrio entre a eficácia do tratamento e a viabilidade prática do ensaio. Esta estratégia foi concebida para maximizar os benefícios do tratamento com BAP, assegurando uma absorção consistente e evitando eventuais saturações dos tecidos

vegetais associadas ao uso de concentrações mais elevadas (Broome and Zimmerman 1976).

O estudo de Zhang *et al.* (2011) afirma que concentrações de ABA entre 400 e 600 mg/L são eficazes na indução de dormência em videiras sob condições controladas de fotoperíodo e temperatura, promovendo formação de periderme e senescência foliar. No entanto, concentrações superiores, como 7,5% (75.000 mg/L), recomendadas pelo laboratório fornecedor (Sigma-Aldrich), podem ser apropriadas em condições de campo, onde fatores como absorção limitada exigem dosagens mais elevadas. Além disso, o autor refere estudos, como o de Peppi *et al.* (2007), que investigaram o uso de ABA em diferentes concentrações para aplicações específicas.



Figura 8 - Campo de ensaio com o delineamento experimental das videiras.

Neste ensaio, os reguladores foram adquiridos diretamente ao fornecedor e armazenados no laboratório da FCUP. A solução stock foi preparada e diluída nas mesmas instalações, sendo posteriormente armazenada a 4 °C. A aplicação foi realizada com um pulverizador elétrico de dorso. Para evitar qualquer possibilidade de contaminação cruzada, cada tratamento foi aplicado em linhas separadas. O protocolo de aplicação foi estabelecido, levando em consideração a fenologia da videira e os efeitos esperados de cada tratamento (Tabela 8).

Tabela 8 - Quadro de tratamentos e resultados esperados.

| Tratamento                                | Código dos tratamentos | Aplicações | Data                                   | Resultado esperado                                            |
|-------------------------------------------|------------------------|------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Controlo                                  |                        |            |                                        | Evolução de gomos inferior à dos tratamentos.                 |
| Ácido abscísico (7,5%)                    | ABA (7,5%)             | Duas       | 21-11-2023<br>18-12-2023               | Provocar a senescência foliar e forçar a entrada em dormência |
| 6-Benzylaminopurine (10%)                 | BAP (10%)              | Três       | 08-04-2024<br>15-05-2024<br>24-05-2024 | Potenciar o abrolhamento e pâmpanos nos gomos hibernantes     |
| ABA (7,5%) +<br>6-Benzylaminopurine (10%) | ABA (7,5%)             | Duas       | 21-11-2023<br>18-12-2023               | Provocar resultados semelhantes (ABA+BAP)                     |
|                                           | +                      |            | 08-04-2024<br>15-05-2024<br>24-05-2024 |                                                               |
|                                           | BAP (10%)              | Três       |                                        |                                                               |
| ERGER (7%)<br>+ Activ (16%)               | EG (7%) +<br>Ac(16%)   | Uma        | 22-01-2024                             | Induzir o abrolhamento após 55 dias                           |

As 160 videiras foram etiquetadas sequencialmente e os rótulos dos tratamentos foram colocados no início das linhas onde as videiras estão plantadas. Para monitorizar o estado fitossanitário e registar os estados fenológicos, foram realizadas três visitas semanais ao campo de ensaio, entre 3 de março e 28 de junho de 2024. A evolução dos estados fenológicos das videiras foi acompanhada utilizando a escala de *Baggiolini*. A fase fenológica foi considerada concluída quando 50% dos gomos deixados na poda alcançaram o estado de desenvolvimento seguinte. Para avaliar o impacto de diferentes reguladores de crescimento e de um bioestimulante na quebra da dormência, foi calculada a taxa de abrolhamento em cada videira utilizando a equação 6.

$$Taxa\ de\ Abrolhamento\ (\%) = \frac{n^{\circ}\ de\ olhos\ evolutos}{n^{\circ}\ de\ olhos\ deixados\ à\ poda} \times 100$$

Equação 6 - Taxa de abrolhamento (%)

### 3.3.1. Campo de ensaio

O campo experimental com 540 m<sup>2</sup>, localiza-se na freguesia do Estreito de Câmara de Lobos, Concelho de Câmara de Lobos, a 32°39'59"N de latitude, 16°58'10"W de longitude e 380 m acima do nível médio do mar. O solo foi mobilizado em 2018 e permaneceu em repouso por dois anos. Em fevereiro de 2021, procedeu-se à plantação das videiras. O sistema de condução adotado na instalação foi o monopiano vertical

ascendente, com poda *guyot* dupla, numa arquitetura de armação conhecida por “Espaldeira”. O espaçamento entre linhas é de 2 metros e, entre as plantas, de 1,2 metros (densidade 4167 unidades/ha). As linhas estão orientadas no sentido Este – Oeste.



Figura 9 - Campo de ensaio.

### 3.3.2. Material vegetativo

Para este estudo foi escolhida a casta Sercial enxertada no porta-enxerto 1103P, que é um cruzamento interespecífico entre *Berlandieri Resseguier* e *Rupestris du Lot*, desenvolvido por Federico Paulsen em 1896.

A casta Sercial é morfologicamente caracterizada por apresentar uma extremidade do ramo jovem aberta, com forte pigmentação antociânica e elevada densidade de pelos prostrados. As folhas jovens são acobreadas, com a página inferior também densa em pelos prostrados. A flor é hermafrodita e o pâmpano possui estrias vermelhas, com gomos de intensidade antociânica média. As folhas adultas são de tamanho médio, pentagonais, com cinco lóbulos, limbo verde-escuro e bolhoso, e apresentam densidade significativa de pelos prostrados e média de pelos eretos na página inferior. O cacho é de tamanho médio, cónico-alado e compacto, com pedúnculo de comprimento médio. Os bagos são pequenos, elípticos curtos, verde-amarelados, com película de espessura

média e polpa mole. Finalmente, o sarmento é castanho-escuro (Figura 10). Na tabela 9 são apresentadas as principais características da casta Sercial.



Figura 10 - Videira da Casta Sercial.

Tabela 9 - Caracterização ampelográfica da casta Sercial (Cunha *et al.*, 2012).

|                        |                              |                                         |
|------------------------|------------------------------|-----------------------------------------|
| <b>Sinonímia</b>       | Esgana Cão                   |                                         |
| <b>Abrolhamento</b>    | Época de rebentação          | Média                                   |
|                        | Porte                        | Horizontal                              |
| <b>Pâmpano</b>         | Fertilidade dos gomos basais | Baixa                                   |
|                        | Vigor                        | Médio                                   |
| <b>Inflorescência</b>  | Flor                         | Hermafrodita                            |
|                        | Tamanho                      | Médio                                   |
| <b>Folha adulta</b>    | Forma do limbo               | Pentagonal                              |
|                        | Número dos lóbulos           | 5                                       |
| <b>Sarmento</b>        | Cor                          | Castanha                                |
|                        | Comprimento                  | Médio                                   |
|                        | Compacidade                  | Média                                   |
| <b>Cacho</b>           | Comprimento do pedúnculo     | Curto                                   |
|                        | Forma                        | Cónica                                  |
|                        | Número de asas               | 1-2 Asas                                |
|                        | Peso                         | Baixo                                   |
| <b>Bago</b>            | Tamanho                      | Médio                                   |
|                        | Forma                        | Esférica                                |
|                        | Coloração da polpa           | Não corada                              |
|                        | Consistência da polpa        | Mole                                    |
|                        | Sabores particulares         | Ausentes                                |
|                        | Grainhas                     | Bem formadas                            |
| <b>Mosto</b>           | Teor alcoólico provável      | Médio                                   |
|                        | Acidez total                 | Elevada                                 |
| <b>Perfil Genético</b> | Microssatélites              | VVS2 VVMD5 VVMD7 VVMD27 VrZAG62 VrZAG79 |
|                        | Alelo 1                      | 135 226 235 181 188 247                 |
|                        | Alelo 2                      | 153 238 249 185 194 25                  |

O porta-enxerto 1103 P está preservado na Coleção Ampelográfica Nacional (CAN), onde é catalogado sob o número de código PRT50512. Adicionalmente, está registado na base de dados internacional de variedades de videira, Vitis International Variety Catalogue (VIVC), sob o número 9023 (VIVC, 2023).

Este porta-enxerto é adequado para solos ácidos e tem uma tolerância razoável a cloretos. É também conhecido pela boa resistência à seca, salinidade (Walker *et al.*, 2002) e a algumas doenças do solo, como a filoxera (Andzeiewski *et al.*, 2022) e nematoides. Contudo, há estudos recentes que fundamentam que a espécie de nematóides e a densidade populacional podem alterar os pressupostos (Gramaje *et al.*, 2010). A escolha do porta-enxerto 1103 P permite uma maturação mais tardia das uvas na casta Sercial, essencial para o desenvolvimento da acidez e da complexidade aromática que caracteriza os seus vinhos. Além disso, a elevada eficiência no uso da água proporcionada pelo 1103 P é crucial numa ilha como a Madeira, onde as variações na disponibilidade de recursos hídricos são significativas, assegurando a sustentabilidade da viticultura na região. O material vegetal utilizado nesta combinação entre porta-enxerto e casta esta certificado pela Direção-Geral de Alimentação e Veterinária (DGAV) (Figura 11), garantindo a qualidade e conformidade dos clones empregues.

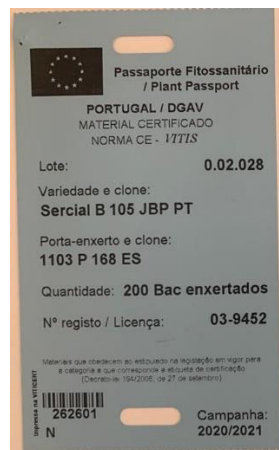


Figura 11 - Passaporte fitossanitário do material vegetal utilizado no estudo.

### 3.3.3. Práticas culturais

Em outubro de 2023 foi realizada uma recolha de solo para análise das propriedades físicas e químicas com o propósito de realizar correções antes do ciclo vegetativo (Anexo IV).

As análises indicaram que o solo apresentava um pH de 6,1 (H<sub>2</sub>O a 21,1 °C) ligeiramente ácido, com textura argilosa e baixa salinidade. A matéria orgânica e o teor de azoto total

foram considerados baixos, sugerindo a necessidade de adição de estrume curtido para melhorar a estrutura do solo e fertilização com azoto para suportar o crescimento das videiras. Por outro lado, foram detetados níveis excessivos de macronutrientes, como fósforo, potássio, cálcio, magnésio e ferro, o que pode causar desequilíbrios nutricionais. As recomendações destacaram que a relação entre cálcio, magnésio e potássio estava em níveis desfavoráveis para a estrutura do solo e a nutrição das plantas. O cálcio, magnésio e potássio são nutrientes essenciais, desempenhando papéis importantes na saúde das plantas e na estrutura do solo, sendo o equilíbrio entre eles crucial. O cálcio ajuda a manter a estrutura do solo, promovendo a agregação das partículas e melhorando a drenagem e o arejamento, além de ser vital para o crescimento das raízes e a absorção de outros nutrientes. O magnésio, por sua vez, é um componente central da clorofila, essencial para a fotossíntese, e também influencia a estrutura do solo, embora em menor grau do que o cálcio. Já o potássio é fundamental para várias funções fisiológicas das plantas, incluindo a regulação da abertura dos estomas e a síntese de proteínas. Quando essas relações estão desequilibradas, demasiado cálcio pode interferir na disponibilidade de magnésio e potássio, criando deficiências; demasiado magnésio pode piorar a estrutura do solo, tornando-o mais compacto e menos permeável; e demasiado potássio pode competir com o magnésio e o cálcio, dificultando a absorção desses nutrientes pelas plantas. Devido ao desequilíbrio nutricional, caracterizado pelo excesso de alguns nutrientes e deficiência de outros, como boro e molibdénio, foram realizadas adubações corretivas com azoto e um composto de micronutrientes, para restabelecer o equilíbrio nutricional do solo. A aplicação de estrume foi preterida, dado que as vinhas já estavam estabelecidas, para evitar possíveis danos no sistema radicular. A rega da parcela foi realizada por alagamento, com ciclos de rega a cada 20 dias.

Considerando que as videiras são jovens, e tendo em conta a formação e produção, optou-se por uma poda *guyot* dupla. A operação foi realizada a 14 de fevereiro de 2024. Os tratamentos fitossanitários foram realizados de acordo com a avaliação em campo.

### 3.4. Análise estatística

Nos três estudos, os dados apresentados com médias  $\pm$  desvio padrão, e todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando folhas de cálculo no Microsoft Excel e o software IBM SPSS Statistics, versão 29, no cálculo e análise da correlação e regressão linear dos índices bioclimáticos. O nível de significância adotado para todos os testes foi de 0,05.

No estudo sobre a aplicação de reguladores de crescimento e bioestimulantes na quebra da dormência em videiras da casta Sercial, a análise estatística dos dados incluiu a verificação da normalidade das variáveis através do teste de Kolmogorov-Smirnov e da homogeneidade das variâncias com o teste de Levene. Dado que os pressupostos de normalidade e homogeneidade de variâncias não foram cumpridos, utilizou-se o teste de Kruskal-Wallis para comparar, de forma simultânea, os cinco tratamentos em análise, em alternativa a testes paramétricos. Para identificar quais os pares de tratamentos que apresentavam diferenças estatisticamente significativas, foi realizado o teste de Mann-Whitney, possibilitando uma análise detalhada das diferenças entre tratamentos.

## 4. Resultados e discussão

### 4.1. Estudo das horas de frio na previsão da produção de uva em três municípios da ilha da Madeira

As temperaturas de inverno (Figura 12) registadas na estação meteorológica da Quinta Grande, Câmara de Lobos, nos meses de dezembro a fevereiro entre 2011 e 2024, mostram uma variação nas temperaturas médias anuais entre 16,8 °C e 18,8 °C, com uma tendência de aquecimento ao longo dos anos.

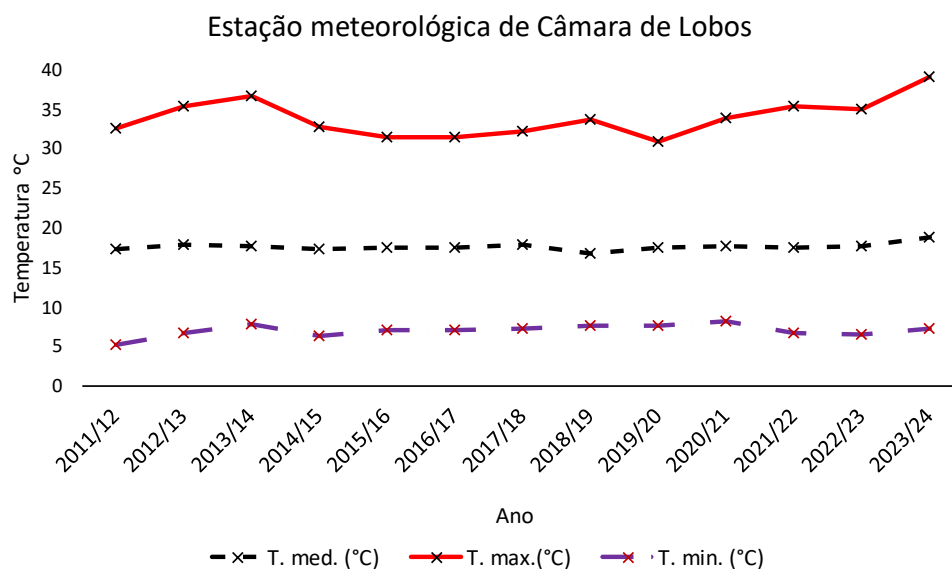


Figura 12 - Evolução das temperaturas máxima, média e mínima entre 2011 e 2024, nos meses de (dezembro e no município de Câmara de Lobos.

As temperaturas máximas atingiram um pico de 39,1 °C em 2023, enquanto as temperaturas mínimas mais baixas foram de 5,2 °C em 2011. Os desvios padrão das

temperaturas médias anuais variaram de 2,8 °C a 3,7 °C, indicando uma variação moderada nas temperaturas ao longo dos anos.

Durante os meses de inverno (dezembro, janeiro e fevereiro), entre 2011 e 2024, as temperaturas médias variaram entre 13,6 °C e 14,9 °C, sendo que fevereiro apresentou maior variabilidade, com um desvio padrão de 1,3 °C (Tabela 10).

Tabela 10 - Temperaturas médias, máximas e mínimas na estação meteorológica 984 - Quinta Grande, no Concelho de Câmara de Lobos.

| ANOS                    | Meses de Inverno      |                              |                              |             |      | Média Anual |             |
|-------------------------|-----------------------|------------------------------|------------------------------|-------------|------|-------------|-------------|
|                         | T <sub>dez</sub> (°C) | T <sub>jan</sub> (ano+1)(°C) | T <sub>fev</sub> (ano+1)(°C) | T med. (°C) | D.P. | T max.(°C)  | T min. (°C) |
| 2011                    | 14,0                  | 13,2                         | 12,0                         | 17,3        | 3,2  | 32,7        | 5,2         |
| 2012                    | 14,5                  | 13,9                         | 13,2                         | 17,9        | 3,7  | 35,4        | 6,7         |
| 2013                    | 14,5                  | 13,9                         | 13,0                         | 17,7        | 3,3  | 36,8        | 7,9         |
| 2014                    | 13,5                  | 12,9                         | 12,3                         | 17,4        | 3,0  | 32,8        | 6,4         |
| 2015                    | 16,0                  | 15,0                         | 13,3                         | 17,5        | 3,2  | 31,5        | 7,1         |
| 2016                    | 14,9                  | 13,7                         | 13,5                         | 17,5        | 3,4  | 31,5        | 7,1         |
| 2017                    | 14,1                  | 13,8                         | 12,3                         | 17,9        | 3,1  | 32,3        | 7,2         |
| 2018                    | 15,4                  | 13,2                         | 14,3                         | 16,8        | 2,8  | 33,7        | 7,7         |
| 2019                    | 16,0                  | 13,8                         | 15,8                         | 17,5        | 2,9  | 30,9        | 7,6         |
| 2020                    | 14,4                  | 13,2                         | 13,7                         | 17,8        | 3,0  | 34,0        | 8,2         |
| 2021                    | 15,0                  | 14,9                         | 14,9                         | 17,5        | 3,1  | 35,4        | 6,7         |
| 2022                    | 15,9                  | 13,6                         | 13,1                         | 17,8        | 3,0  | 35,0        | 6,6         |
| 2023                    | 15,9                  | 16,4                         | 16,0                         | 18,8        | 3,4  | 39,1        | 7,3         |
| <b>Meses de Inverno</b> | Média                 | 14,9                         | 14,0                         | 13,6        |      |             |             |
|                         | DP*                   | 0,8                          | 1,0                          | 1,3         |      |             |             |

DP: Desvio padrão; T med.: Temperatura média; T max.: Temperatura máxima; T min.: Temperatura mínima;

A Estação Meteorológica de Santana, localizada no norte da Ilha da Madeira, registou temperaturas médias anuais que variam entre 17,6 °C e 19,0 °C no período de 2011 a 2024 (Figura 13).

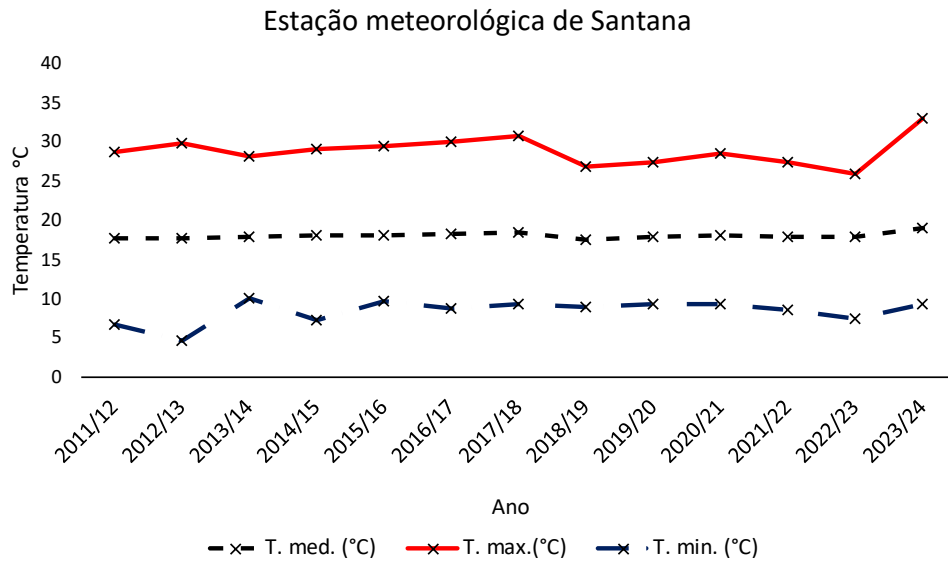


Figura 13 - Evolução das temperaturas máxima, média e mínima entre 2011 e 2024, no município de Santana.

Durante os meses de inverno, as temperaturas médias de dezembro, janeiro e fevereiro, entre 2011 e 2024, foram de 16,0 °C, 14,9 °C e 14,4 °C, respetivamente, com desvios padrão de 0,9 °C, 1,0 °C e 1,1 °C. As temperaturas máximas anuais oscilaram entre 25,9 °C e 33,1 °C, enquanto as mínimas variaram de 4,6 °C a 10,0 °C (Tabela 11). Estas condições climáticas, caracterizadas por uma menor amplitude térmica e temperaturas ligeiramente mais elevadas em comparação com outras regiões, são favoráveis à qualidade e uniformidade na maturação das uvas, reduzindo o stress térmico nas vinhas durante os meses mais quentes.

Tabela 11 - Temperaturas médias, máximas e mínimas na estação meteorológica 960, no Concelho de Santana.

| ANOS  | Meses de Inverno      |                               |                               | Média Anual |      |            |             |
|-------|-----------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------|------|------------|-------------|
|       | T <sub>dez</sub> (°C) | T <sub>jan (ano+1)</sub> (°C) | T <sub>fev (ano+1)</sub> (°C) | T med. (°C) | D.P. | T max.(°C) | T min. (°C) |
| 2011  | 15,4                  | 14,4                          | 13,1                          | 17,8        | 3,0  | 28,8       | 6,7         |
| 2012  | 15,6                  | 15,0                          | 14,2                          | 17,7        | 3,4  | 29,8       | 4,6         |
| 2013  | 15,8                  | 14,5                          | 14,0                          | 17,9        | 2,6  | 28,2       | 10,0        |
| 2014  | 14,4                  | 13,6                          | 12,9                          | 18,1        | 3,3  | 29,2       | 7,2         |
| 2015  | 17,4                  | 16,1                          | 14,4                          | 18,1        | 3,4  | 29,4       | 9,7         |
| 2016  | 16,1                  | 15,1                          | 14,3                          | 18,3        | 3,0  | 30,0       | 8,8         |
| 2017  | 15,7                  | 14,5                          | 13,4                          | 18,4        | 2,7  | 30,8       | 9,4         |
| 2018  | 16,3                  | 14,3                          | 15,2                          | 17,6        | 2,9  | 26,9       | 9,0         |
| 2019  | 16,6                  | 14,9                          | 16,0                          | 18,0        | 2,8  | 27,5       | 9,4         |
| 2020  | 15,0                  | 14,0                          | 14,3                          | 18,1        | 2,8  | 28,5       | 9,4         |
| 2021  | 16,3                  | 15,7                          | 15,2                          | 18,0        | 2,9  | 27,4       | 8,6         |
| 2022  | 17,1                  | 14,5                          | 14,1                          | 17,9        | 2,5  | 25,9       | 7,4         |
| 2023  | 16,8                  | 17,4                          | 16,7                          | 19,0        | 3,2  | 33,1       | 9,3         |
| Média | 16,0                  | 14,9                          | 14,4                          |             |      |            |             |

| Meses de Inverno | DP* | 0,9 | 1,0 | 1,1 |
|------------------|-----|-----|-----|-----|
|------------------|-----|-----|-----|-----|

A Estação Meteorológica de São Vicente, situada na vertente norte da Ilha da Madeira, é o segundo local com maior produção de uvas na RAM. Durante o período de 2011 a 2024, a estação registou uma tendência no aumento das temperaturas mínimas (Figura 14).

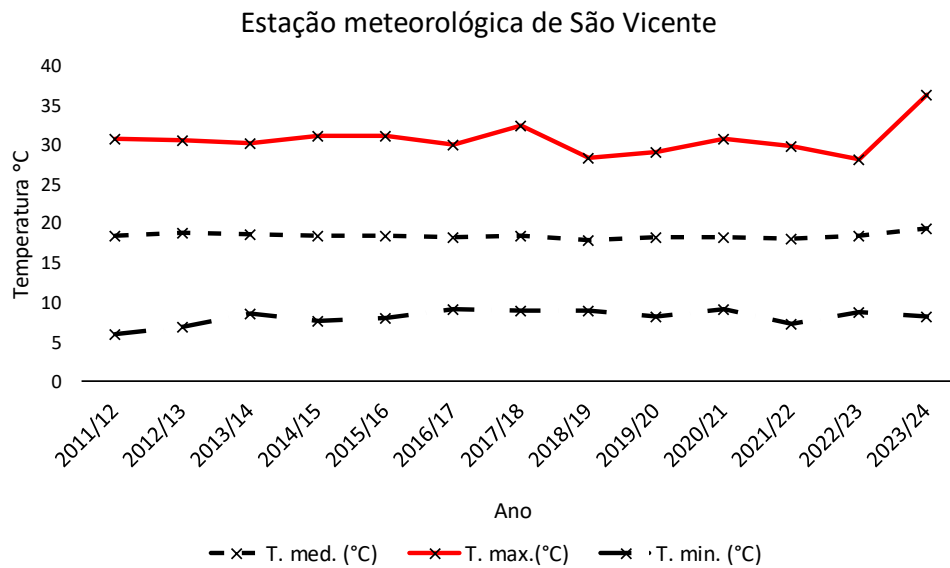


Figura 14 - Evolução das temperaturas máxima, média e mínima entre 2011 e 2024, no município de São Vicente.

As temperaturas médias anuais variaram entre 18,0°C e 19,4°C. Nos meses de inverno, as temperaturas médias de dezembro, janeiro e fevereiro foram, respetivamente, de 16,0°C, 15,0°C e 14,8°C, com desvios padrão de 0,8°C, 1,0°C e 1,0°C. As temperaturas máximas anuais oscilaram entre 28,2°C e 36,4°C, enquanto as temperaturas mínimas variaram de 6,0°C a 9,2°C (Tabela 12).

Tabela 12 - Apuramento das temperaturas médias, máximas e mínimas na estação meteorológica 967 no Concelho de São Vicente.

| ANOS | Meses de Inverno      |                              |                              | Média Anual |      |            |             |
|------|-----------------------|------------------------------|------------------------------|-------------|------|------------|-------------|
|      | T <sub>dez</sub> (°C) | T <sub>jan</sub> (ano+1)(°C) | T <sub>fev</sub> (ano+1)(°C) | T med. (°C) | D.P. | T max.(°C) | T min. (°C) |
| 2011 | 15,8                  | 14,4                         | 13,7                         | 18,5        | 2,9  | 30,9       | 6,0         |
| 2012 | 15,6                  | 15,0                         | 15,0                         | 18,9        | 3,4  | 30,7       | 7,0         |
| 2013 | 16,0                  | 15,0                         | 14,6                         | 18,8        | 2,5  | 30,4       | 8,7         |
| 2014 | 14,7                  | 13,8                         | 13,7                         | 18,6        | 3,1  | 31,3       | 7,8         |
| 2015 | 17,3                  | 16,3                         | 14,8                         | 18,5        | 3,1  | 31,2       | 8,1         |
| 2016 | 16,3                  | 15,5                         | 14,7                         | 18,3        | 2,7  | 30,1       | 9,2         |
| 2017 | 15,4                  | 14,6                         | 13,9                         | 18,6        | 2,7  | 32,6       | 9,0         |
| 2018 | 15,9                  | 13,8                         | 15,1                         | 18,0        | 2,7  | 28,4       | 9,0         |

|                         |       |      |      |      |      |     |      |     |
|-------------------------|-------|------|------|------|------|-----|------|-----|
| 2019                    |       | 16,5 | 14,8 | 16,3 | 18,4 | 2,8 | 29,1 | 8,3 |
| 2020                    |       | 14,7 | 14,1 | 14,3 | 18,4 | 2,8 | 30,8 | 9,2 |
| 2021                    |       | 16,4 | 15,6 | 15,5 | 18,1 | 2,9 | 30,0 | 7,3 |
| 2022                    |       | 16,9 | 14,8 | 14,1 | 18,5 | 2,6 | 28,2 | 8,9 |
| 2023                    |       | 16,3 | 17,4 | 16,8 | 19,4 | 3,2 | 36,4 | 8,3 |
| <b>Meses de Inverno</b> | Média | 16,0 | 15,0 | 14,8 |      |     |      |     |
|                         | DP*   | 0,8  | 1,0  | 1,0  |      |     |      |     |

Estas condições climáticas, com uma amplitude térmica moderada e temperaturas geralmente elevadas durante o inverno, mas com algumas temperaturas inferiores a 10,0 °C que satisfazem certas necessidades de temperaturas baixas, proporcionam um ambiente favorável para a viticultura, contribuindo para a quantidade das uvas produzidas na região.

O registo de temperaturas horárias entre dezembro de 2011 e fevereiro de 2023, permitiu quantificar as HF durante os meses de inverno em três estações meteorológicas localizadas nos municípios de Câmara de Lobos, Santana e São Vicente, utilizando três modelos distintos: Utah, Low Chill e Taiwan. Os dados obtidos foram comparados com a produção total de uvas por município ao longo do mesmo período, com o objetivo de identificar o modelo mais adequado às condições climáticas da Ilha da Madeira e às necessidades de HF específicas da videira (Tabela 13).

Numa análise global no período de 2011 e 2024 nos três municípios:

**Câmara de Lobos:** A média das Horas de Frio foi de 703,3 (Taiwan), 1387,5 (Low Chill), e 3,5 (Utah). A produção de uvas variou ao longo dos anos, atingindo 2809,0 toneladas em 2011/12 e 1959,7 toneladas em 2019/20.

**Santana:** A média das Horas de Frio foi de 597,1 (Taiwan), 1205,2 (Low Chill) e -304,5 (Utah). A produção anual variou, com 190,6 toneladas em 2011/12 e 238,5 toneladas em 2022/23.

**São Vicente:** As médias das Horas de Frio foram de 574,5 (Taiwan), 1044,6 (Low Chill) e -376,8 (Utah), com variação expressiva na produção de uvas, desde 1644,6 toneladas em 2011/12 até 1111,6 toneladas em 2017/18.

Tabela 13 – Número de hoas de frio durante o inverno, entre os anos 2011 e 2023, registadas em três estações meteorológicas (São Vicente, Santana e Câmara de Lobos), utilizando três modelos distintos (Taiwan, Low Chill e Utah) e da produção total de uvas por município.

| Câmara de Lobos |         |           |          |       | Santana |           |      |          | São Vicente |           |      |          |
|-----------------|---------|-----------|----------|-------|---------|-----------|------|----------|-------------|-----------|------|----------|
| Inverno         | Modelos |           | Produção |       | Taiwan  | Modelos   |      | Produção | Taiwan      | Modelos   |      | Produção |
|                 | Taiwan  | Low Chill | Utah     | (ton) |         | Low Chill | Utah |          |             | Low Chill | Utah |          |

|         |       |        |        |        |       |        |        |       |       |        |        |        |
|---------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|
| 2011/12 | 786,5 | 1601,5 | 317,5  | 2809,0 | 759,0 | 1480,5 | -45,0  | 190,6 | 647,0 | 1211,5 | -196,0 | 1644,6 |
| 2012/13 | 756,5 | 1437,0 | 54,5   | 2333,1 | 659,0 | 1231,0 | -294,0 | 184,7 | 585,5 | 1036,0 | -410,0 | 1592,1 |
| 2013/14 | 736,0 | 1486,5 | 62,0   | 2403,9 | 616,0 | 1288,0 | -258,5 | 136,5 | 544,0 | 996,5  | -383,5 | 1306,4 |
| 2014/15 | 830,5 | 1655,0 | 341,0  | 2448,2 | 887,5 | 1688,5 | 155,0  | 244,7 | 724,0 | 1431,5 | -19,5  | 1645,7 |
| 2015/16 | 561,5 | 1192,0 | -250,5 | 1852,0 | 419,0 | 810,0  | -661,0 | 169,3 | 448,0 | 655,5  | -685,5 | 1149,0 |
| 2016/17 | 702,5 | 1414,5 | 17,5   | 2226,3 | 541,5 | 1179,0 | -391,5 | 229,4 | 505,5 | 946,0  | -533,5 | 1648,4 |
| 2017/18 | 817,5 | 1603,0 | 211,0  | 1997,4 | 639,0 | 1386,5 | -138,5 | 145,3 | 610,5 | 1255,5 | -222,0 | 1111,6 |
| 2018/19 | 689,0 | 1294,0 | -79,0  | 1974,9 | 559,5 | 1116,0 | -418,5 | 178,6 | 612,5 | 1095,5 | -330,0 | 1383,0 |
| 2019/20 | 561,5 | 1029,0 | -372,0 | 1959,7 | 443,5 | 885,5  | -577,0 | 193,7 | 488,5 | 809,5  | -605,0 | 1363,3 |
| 2020/21 | 746,5 | 1458,0 | 108,0  | 2032,9 | 667,5 | 1405,5 | -114,5 | 244,8 | 713,0 | 1323,5 | -114,5 | 1239,4 |
| 2021/22 | 549,5 | 1136,0 | -267,5 | 2067,9 | 408,0 | 916,0  | -508,0 | 212,9 | 460,0 | 817,5  | -602,0 | 1295,7 |
| 2022/23 | 666,0 | 1344,0 | -100,5 | 1936,9 | 565,5 | 1076,0 | -402,0 | 238,5 | 555,0 | 957,0  | -389,5 | 1375,4 |
| Média   | 700,3 | 1387,5 | 3,5    | 2170,2 | 597,1 | 1205,2 | -304,5 | 197,4 | 574,5 | 1044,6 | -376,8 | 1396,2 |
| D.P     | 98,7  | 196,0  | 227,5  | 280,7  | 140,8 | 262,4  | 239,9  | 32,7  | 91,6  | 229,7  | 205,5  | 193,6  |

A representação gráfica na Figura 15 ilustra a variação das horas de frio acumuladas, com base no declive dos modelos lineares dos dados obtidos, entre os meses de dezembro e fevereiro do ano seguinte, no período de 2011 a 2023, utilizando três modelos de cálculo de horas de frio. No modelo Taiwan, observa-se uma diminuição anual estatisticamente significativa das horas de frio em Câmara de Lobos, com uma redução de 20,8 horas por ano ( $p=0,018 < 0,05$ ). Em Santana, a redução é ainda mais acentuada e também significativa, com uma média anual de 29,3 horas ( $p=0,017 < 0,05$ ). Estes resultados sugerem uma diminuição consistente do número de horas com temperaturas baixas nestes dois municípios. Em São Vicente, observa-se uma perda anual de 11,6 horas de frio; no entanto, essa redução não é estatisticamente significativa ( $p=0,153 > 0,05$ ).

No modelo Low Chill, em Câmara de Lobos, a média anual de decréscimo das horas de frio é de 45,1 horas, apresentando uma forte significância estatística ( $p=0,013 < 0,05$ ). Em Santana, a diminuição média anual é de 50,7 horas, também estatisticamente significativa ( $p=0,029 < 0,05$ ). Estes resultados confirmam uma tendência clara de redução das horas de frio (HF) nos meses de inverno ao longo dos anos. No entanto, em São Vicente, embora se observe uma redução média de 33,4 horas por ano, esta não é estatisticamente significativa ( $p=0,125 > 0,05$ ).

No modelo Utah, os resultados seguem um padrão semelhante aos dos modelos anteriores. Em Câmara de Lobos, a perda média anual é de 50,5 horas de frio, sendo esta redução estatisticamente significativa ( $p=0,011 < 0,05$ ). Em Santana, a diminuição média anual de 44,7 horas também é significativa ( $p=0,041 < 0,05$ ). Assim, tanto

Câmara de Lobos como Santana, à semelhança dos modelos Taiwan e Low Chill, mostram uma redução estatisticamente significativa nas horas de frio entre 2011 e 2023.

Por outro lado, em São Vicente, embora exista uma redução média de 27,9 horas de frio por ano, esta não é considerada estatisticamente significativa ( $p = 0,141 > 0,05$ ). Portanto, não há evidências suficientes para afirmar que essa redução seja consistente ao longo dos anos, ao contrário do que se verifica em Câmara de Lobos e Santana.

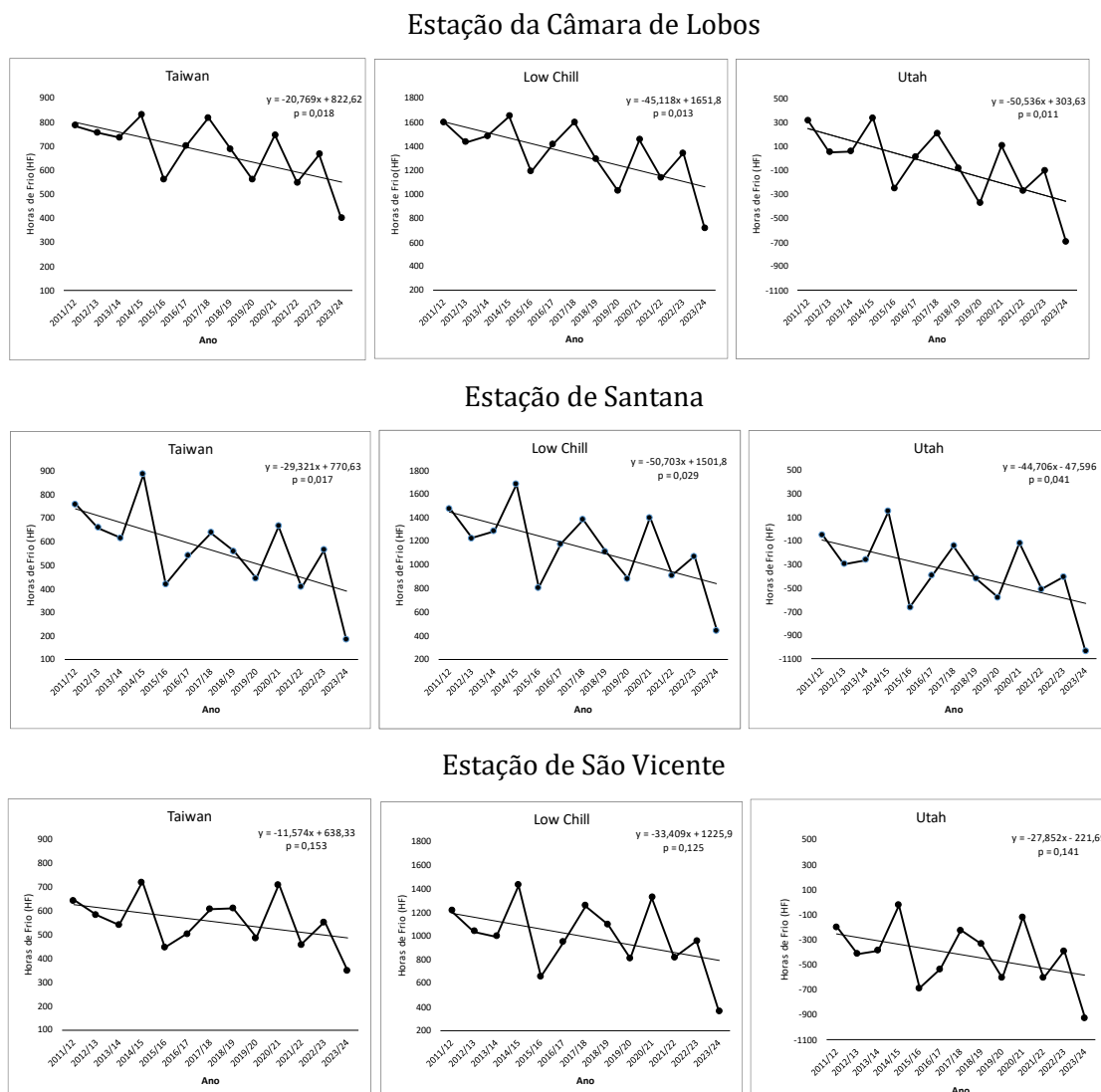


Figura 15 - Registo de horas de frio no período de inverno, entre 2011/12 e 2023/24, de acordo com os modelos de Taiwan, Low Chill e Utah, em três estações meteorológicas da Ilha da Madeira.

A função de regressão linear apresentada descreve a tendência das horas de frio entre os meses de inverno de 2011/12 e 2023/24, permitindo também prever valores futuros de horas de frio com base nos anos. O coeficiente angular da reta indica a diminuição das horas de frio ao longo dos anos.

O valor de (p) associado à equação da regressão linear indica a significância estatística da relação entre as horas de frio e os anos. Um valor de (p) inferior a 0,05 sugere que a relação entre as variáveis é estatisticamente significativa, ou seja, a probabilidade de que a tendência observada seja fruto do acaso é inferior a 5%. Pelo contrário, um valor de (p) superior a 0,05 indica que não há evidências estatísticas suficientes para afirmar que existe uma relação significativa entre os anos e as médias de HF.

Com base na análise das medidas descritivas dos três modelos de cálculo de horas de frio (Utah, Low Chill e Taiwan) concluiu-se que dentro dos três modelos usados neste estudo, o modelo Taiwan é o mais adequado para a viticultura nas condições climáticas da Ilha da Madeira. Esta escolha deve-se à proximidade entre a média das horas de frio estimadas e as 400 horas de temperaturas abaixo de 10 °C, necessárias para um abrolhamento adequado das videiras (Dokoozlian, 1999; Londo & Johnson, 2014).

Na comparação entre o número de horas de frio é relevante salientar que as estações meteorológicas estão situadas em altitudes diferentes: Câmara de Lobos (Quinta Grande) a 580 metros, Santana a 97 metros, e São Vicente a 257 metros acima do nível do mar. Estas diferenças de altitude influenciam as temperaturas registadas, incluindo as horas de frio acumuladas. Portanto, a altitude é um fator adicional significativo que contribui para a variação observada na soma das horas de frio.

As HF acumuladas durante o inverno foram correlacionadas com a produção total de uvas no ciclo vegetativo seguinte nos três municípios. Esta relação é detalhada na tabela 14, que destaca padrões e relações significativas capazes de prever o desempenho das videiras com base nas condições climáticas registadas. Além disso, a tabela oferece percepções valiosas sobre a variabilidade e as tendências na acumulação de HF e a sua influência na produção de uvas, especialmente no concelho de Câmara de Lobos (Anexo V).

Tabela 14 - Correlação de Pearson entre a produção (ton.) no período de 2012 a 2023 e as horas de frio registadas nos invernos anteriores, segundo os modelos de Taiwan, para as estações de Câmara de Lobos, Santana e São Vicente.

| Estação    | Média Prod. (ton) | DP Produção (ton) | Média de HF | DP HF  | r    | Sig. (p-valor) |
|------------|-------------------|-------------------|-------------|--------|------|----------------|
| C. Lobos   | 2170,2            | ±280,7            | 700,3       | ±98,7  | 0,60 | 0,04           |
| Santana    | 197,4             | ±32,7             | 597,1       | ±140,8 | 0,21 | 0,51           |
| S. Vicente | 1396,2            | ±193,6            | 574,5       | ±91,6  | 0,29 | 0,36           |

Os resultados indicam que existe uma correlação positiva ( $r = 0,60$ ) entre as horas de frio e a produção de uvas na estação de C. Lobos, sendo esta correlação estatisticamente significativa ( $p < 0,05$ ). Isto sugere que um aumento nas horas de frio

está associado a um aumento na produção de uvas nesta região específica (Anexo VI). Nas estações de Santana e São Vicente, as correlações são baixas e não são estatisticamente significativas.

Para avaliar o impacto das HF na produção vitícola total no município de Câmara de Lobos, foi correlacionado as HF acumuladas durante o inverno que precede cada ciclo produtivo, seguindo o modelo Taiwan, e a produção total de uvas de 2012 a 2023. A figura 12, um gráfico de dispersão, juntamente com a equação de regressão apresentada, indica uma correlação entre as variáveis estudadas. Este gráfico também revela anos em que a produção de uvas excedeu ou ficou abaixo do esperado, com base nas horas de frio registadas. Essas observações não apenas esclarecem o impacto direto das horas de frio na produção vitícola do município, mas também permitem explorar a influência de outros fatores que podem ter afetado a produção, como condições ambientais adversas, doenças e pragas, ou alterações nos estágios fenológicos da videira que impactam a diferenciação floral.

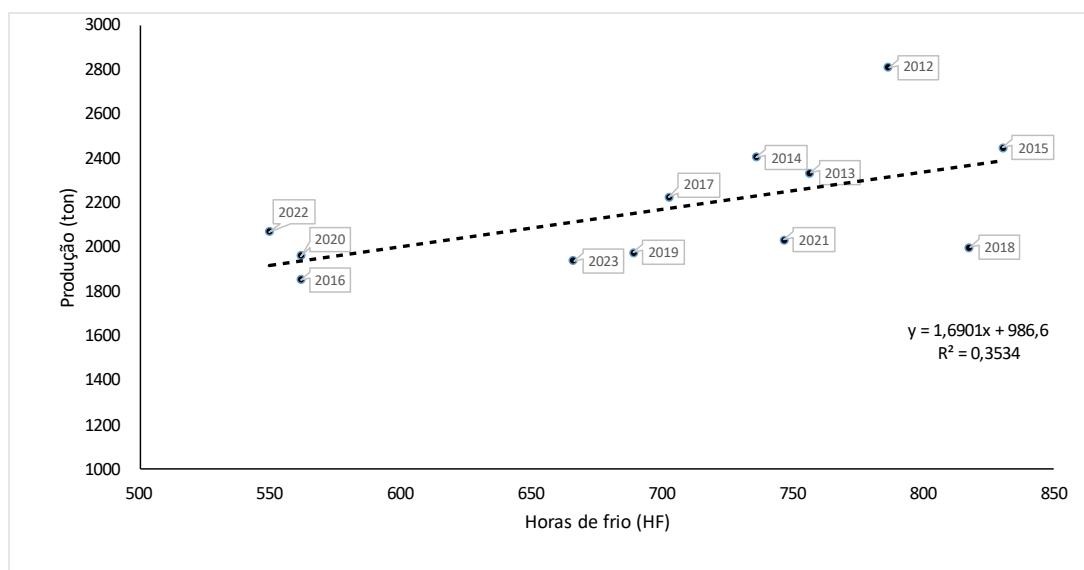


Figura 16 – Gráfico de dispersão que apresenta a correlação entre a produção anual de uvas (em toneladas) e as HF anuais acumuladas segundo o modelo Taiwan entre 2012 e 2023 no município de Câmara de Lobos.

O coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,353$ ) entre as horas de frio (HF) e a produção de uvas, indica que cerca de 35,3% da variação na produção de uvas pode ser atribuída às horas de frio. O teste de significância do modelo revela resultados significativos ( $F = 5,467$ ,  $p = 0,041$ ), demonstrando que o modelo de regressão linear se ajusta de forma significativa aos dados.

O inverno de 2023/2024 apresentou características climáticas extraordinariamente anómalas. As temperaturas abaixo de 10 °C somaram apenas 11 horas ao longo dos

três meses. Entre 1 de dezembro de 2023 e 29 de fevereiro de 2024, a estação meteorológica de Câmara de Lobos registou um inverno anormalmente quente (Figura 17).

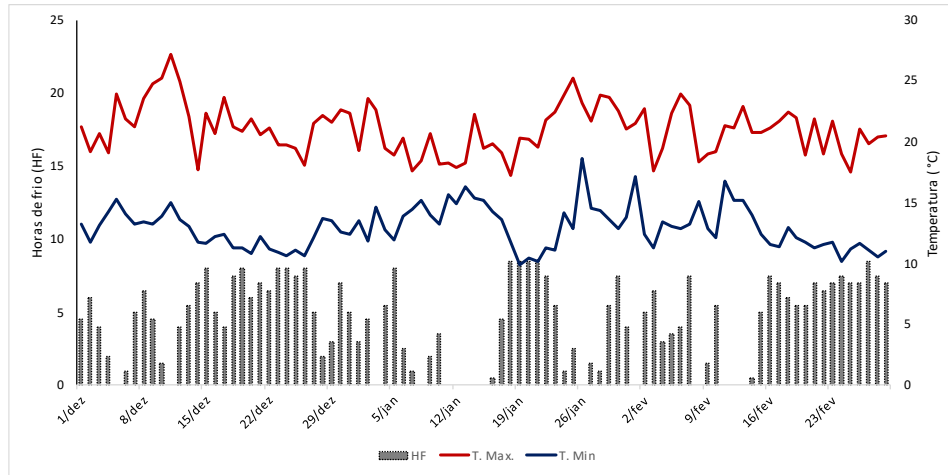


Figura 17 - Evolução das temperaturas máxima (T. máx.) e mínima (T. mín.) diárias, bem como das horas de frio (HF) diárias, no período entre 1 de dezembro de 2023 e 29 de fevereiro de 2024, de acordo com o modelo Taiwan, no município de Câmara de Lobos.

O número total de horas de frio acumuladas, de acordo com o modelo de Taiwan, foi de 400,5 horas. As temperaturas mínimas oscilaram entre 9,9 °C e 10,7 °C e as máximas variaram entre 24,0 °C e 27,2 °C, com um total de 26 horas de temperaturas superiores a 25 °C (Tabela 15).

Tabela 15 - Resumo das temperaturas médias, máximas e mínimas, número de HF obtidas pelo modelo de Taiwan e quantidade de horas com temperaturas superiores a 25 °C e inferiores a 10 °C na estação meteorológica 984 - Quinta Grande, no concelho de Câmara de Lobos, nos meses da estação de inverno.

| Mês       | T. máx. | T. mín. | T. média | HF    | Horas <10° C | Horas >25 °C |
|-----------|---------|---------|----------|-------|--------------|--------------|
| Dezembro  | 27,2    | 10,7    | 17,2     | 157,0 | 2            | 2            |
| Janeiro   | 25,3    | 9,9     | 16,4     | 105,0 | 6            | 17           |
| Fevereiro | 24,0    | 10,2    | 16,0     | 138,5 | 3            | 7            |

A análise destes dados permite concluir que tanto o número de horas de frio como o de temperaturas superiores a 25°C foram os mais elevados dentro do período de estudo. Este cenário climático atípico teve um impacto direto na evolução fenológica das videiras no município de Câmara de Lobos, evidenciando a importância dos índices bioclimáticos para a compreensão do comportamento da vinha em condições climáticas extremas.

## 4.2. Estudo dos Índices bioclimáticos para a cultura da videira em três municípios da ilha da Madeira

Os índices bioclimáticos foram calculados nas três localidades vitícolas da Ilha da Madeira e permitiu fazer uma análise multicritério para avaliar a sua adaptação na viticultura, evidenciando as diferenças regionais em termos de acumulação térmica, temperaturas diurnas e noturnas, no período compreendido entre 2011 e 2023 (Anexo VII). Verificou-se que essas condições diferem ligeiramente da classificação publicada por Tonietto (1999) e Tonietto and Carbonneau (2004), que classifica a região com uma seca moderada ( $IS_1$ ), um clima temperado quente ( $IH_4$ ) e noites quentes ( $IF_1$ ).

Na análise feita nesta tese de mestrado, verificar-se que Câmara de Lobos apresenta uma média entre 2011 e 2023 do Índice de WI de 1967,6, o que a coloca na Região IV, com algumas variações entre a Região III e a Região V ao longo dos anos. Em termos do Índice de Huglin, Câmara de Lobos tem uma média de 1677,1, classificada como frio ( $HI_2$ ), sugerindo que as condições climáticas são adequadas para o cultivo de variedades de videiras de vinhas de regiões frias. A média do Índice de Frescura das noites é de 16,5, o que significa que este município é caracterizado principalmente por noites amenas ( $IF_2$ ), favorecendo a qualidade das uvas produzidas (Tabela 16).

Santana tem uma média entre os anos 2011 e 2023 do Índice de Winkler de 2078,3, o que também a coloca na Região IV, mas com uma tendência ligeiramente maior para valores típicos da Região V. O Índice de Huglin médio de 1782,5 coloca Santana na transição entre frio ( $HI_2$ ) e temperado ( $HI_3$ ), indicando condições ligeiramente mais quentes que em Câmara de Lobos. Santana apresenta um Índice de noites frias médio de 18,4, muito próximo da classificação de noites muito quentes ( $IF_1$ ), o que pode afetar negativamente a qualidade das uvas, levando a uma perda de acidez e aromas (Tabela 16).

São Vicente tem uma média entre 2011 e 2023 do Índice de Winkler de 2152,2, também na Região IV, mas mais próxima dos limites da Região V. O Índice de Huglin médio de 1845,4 classifica São Vicente como temperado ( $HI_3$ ), com algumas variações para temperado quente ( $HI_4$ ) em alguns anos, sugerindo um clima adequado para a maturação das uvas. O Índice de noites frias médio é de 17,7, indicando noites amenas ( $IF_2$ ), com uma ligeira tendência para noites mais quentes, mas ainda dentro de uma faixa aceitável para a viticultura (Tabela 16).

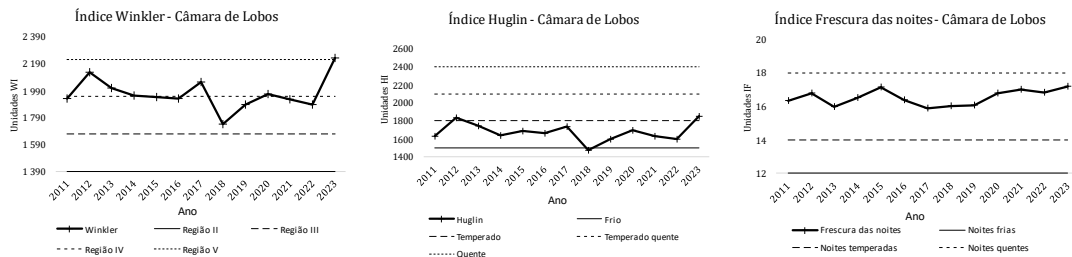
Tabela 16 - Comparação das médias dos índices de Winkler(WI), de Huglin (HI) e do índice de Frescura das noites(IF) nos três municípios: Câmara de Lobos, Santana e São Vicente entre 2011 e 2023.

|                 | WI             | HI             | IF       |
|-----------------|----------------|----------------|----------|
| Câmara de Lobos | 1967,6 ± 119,9 | 1677,1 ± 101,3 | 16,6±0,6 |
| Santana         | 2078,3 ± 101,3 | 1782,5 ± 86,2  | 18,4±0,6 |
| São Vicente     | 2152,2 ± 117,7 | 1845,4 ± 117,7 | 17,7±0,5 |

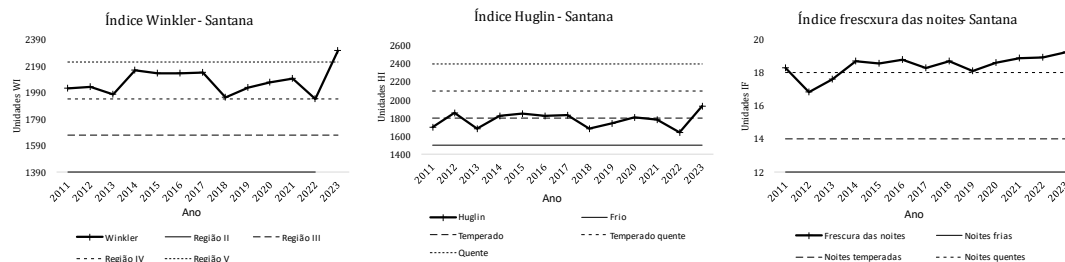
Os valores são apresentados como média ± desvio padrão.

Na Figura 18 apresento os três índices bioclimáticos ao longo do período de 2011 e 2023 para os municípios de Câmara de Lobos, Santana e São Vicente. Comparando os três, observa-se que Câmara de Lobos e São Vicente possuem condições bioclimáticas relativamente semelhantes, ambos classificados na Região IV do Índice de Winkler, com variações entre frio (HI2) e temperado (HI3) no Índice de Huglin. Santana, por outro lado, apresenta condições mais extremas, com um Índice de Frescura Noturna mais elevado, aproximando-se das categorias de Noites Muito Quentes (IF1), o que pode ser desfavorável para a qualidade das uvas. As condições em São Vicente são ligeiramente mais favoráveis ao cultivo de variedades de videiras que requerem temperaturas mais elevadas, enquanto Câmara de Lobos, com um clima um pouco mais ameno, pode favorecer a produção de vinhos com maior acidez e aromas complexos.

#### Estação da Câmara de Lobos



#### Estação de Santana



#### Estação de São Vicente

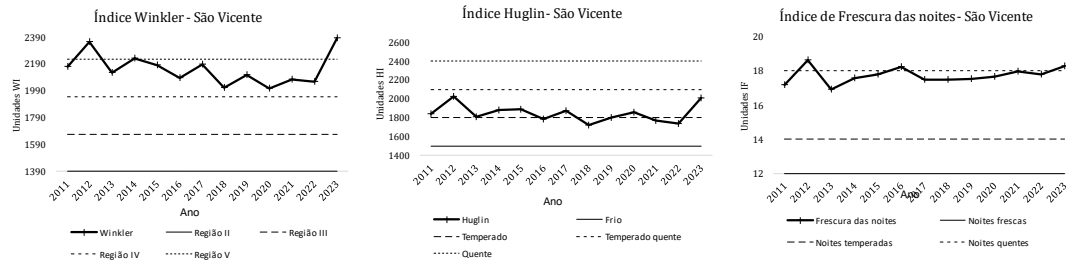


Figura 18 - Índices bioclimáticos (Índice de Winkler, Índice de Huglin e Índice de Frescura das noites) nos três principais municípios produtores de vinho Madeira (Câmara de Lobos, Santana e São Vicente) entre 2011 e 2023.

Conforme se pode observar na tabela 17, este estudo confirma que a Ilha da Madeira mantém a classificação de Região IV em 2023, de acordo com o Índice de Winkler (Tonietto & Carbonneau, 2004), indicando que a ilha continua a ser uma região adequada para o cultivo das castas "Tinta Madeira" e "Malvasia Branca", conforme mencionado por Amerine & Winkler (1944). Estas castas continuam a ser uma referência na produção de vinhos enriquecidos na Madeira. Os mesmos autores também indicam que a casta 'Boal Madeira' é mais adequada para a Região V (Amerine & Winkler, 1944).

Tabela 17 - Classificação dos índices bioclimáticos (WI, HI e IF) nos municípios de Câmara de Lobos, Santana e São Vicente na Ilha da Madeira em 2023.

|             | Índice WI          | Índice HI                            | Índice IF                                   |
|-------------|--------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------|
| C. Lobos    | 1967,6 - Região IV | 1677,1 - Frio - HI <sub>2</sub>      | 16,6 - Noites temperadas (IF <sub>2</sub> ) |
| Santana     | 2078,4 - Região IV | 1782,5 - Frio - HI <sub>2</sub>      | 18,4 - Noites quentes (IF <sub>1</sub> )    |
| São Vicente | 2152,2 - Região IV | 1845,4 - Temperado - HI <sub>3</sub> | 17,7 - Noites temperadas (IF <sub>2</sub> ) |

WI (classificação de Winkler), HI (classificação Huglin) e IF (classificação de Frescura das noites).

#### 4.3. Estudo da aplicação de reguladores de crescimento e bioestimulantes na quebra de dormência em videiras da casta Sercial

Neste estudo, foram testados cinco tratamentos, incluindo um controlo, para avaliar a quebra da dormência das videiras. A eficácia de cada tratamento foi avaliada pela percentagem de gomos que iniciaram o crescimento e atingiram a fase de "onta verde" na escala de Baggiolini (Estado C), permitindo calcular a taxa de abrolhamento. O objetivo foi identificar os tratamentos que estimularam eficazmente o desenvolvimento dos gomos deixados na poda, oferecendo uma compreensão mais detalhada de práticas culturais que podem melhorar a fase inicial do ciclo vegetativo das videiras. Nos tratamentos Controlo, ABA (7,5%), BAP (10%) e ABA (7,5%) + BAP (10%), a percentagem de videiras que atingiram a fase de "ponta verde" foi muito baixa ou praticamente nula (Tabela 18). Isso indica que, embora alguns gomos tenham iniciado

o crescimento, a maioria permaneceu em dormência (Figura 19), resultando numa alta variabilidade dos dados.



Figura 19 - Campo de ensaio em 06-07-2024.

O tratamento com EG (7%) + Ac (16%) destacou-se, apresentando uma taxa de abrolhamento de 31,64%, o que indica maior eficácia na quebra da dormência e um desempenho relativamente positivo na variável analisada (Figura 20). No entanto, a elevada variabilidade dos resultados (evidenciada pela variância, amplitude e amplitude interquartil) mostra que os efeitos dos tratamentos não foram consistentes em todas as amostras. A assimetria positiva sugere que, em certos casos, o tratamento teve um efeito significativamente maior, enquanto a curtose negativa indica uma ampla dispersão dos resultados em torno da média.



Figura 20 - Linha com o tratamento (EG 7% + Ac 16%) em 06-07-2024.

Para analisar a eficácia dos tratamentos aplicados, foi utilizado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, uma vez que os dados não seguiram uma distribuição normal (Anexo VIII). Esse teste permitiu a comparação simultânea dos cinco tratamentos, evidenciando diferenças estatisticamente significativas entre eles. Para detalhar essas diferenças, foram realizadas comparações entre os tratamentos com o teste de Mann-Whitney. Os resultados indicaram que o tratamento com EG 7% + Ac 16% alcançou uma taxa de abrolhamento significativamente superior em relação aos demais (Tabela 18).

Observou-se que os tratamentos aplicados para promover a quebra de dormência nos gomos deixados na poda apresentaram variações. Em particular, os tratamentos de controle e ABA (7,5%) + BAP (10%) não registaram videiras com 50% de gomos evoluídos (0%), enquanto os tratamentos com ABA (7,5%) e BAP (10%) apresentaram uma taxa muito baixa, com apenas 3% de videiras a atingiram esse estado de desenvolvimento.

Tabela 18 - Percentagem de gomos dormentes (Média e Desvio padrão) nos cinco tratamentos, avaliando 32 videiras por tratamento.

| Tratamento         | Média              | D. Padrão |
|--------------------|--------------------|-----------|
| Controlo           | 7,59 <sup>b</sup>  | 10,95     |
| ABA                | 7,99 <sup>b</sup>  | 12,83     |
| BAP                | 7,97 <sup>b</sup>  | 14,38     |
| ABA + BAP          | 4,56 <sup>b</sup>  | 9,02      |
| EG (7%) + Ac (16%) | 31,64 <sup>a</sup> | 27,76     |

Comparação das médias e desvios padrão (D. Padrão) da taxa de abrolhamento para cada tratamento, com um nível de significância de 0,05. As letras diferentes (a, b) indicam diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos, conforme determinado pelo teste de Kruskal-Wallis, seguido do teste de Mann-Whitney.

Em contraste, o tratamento com EG 7% + Ac 16% destacou-se, com uma média expressivamente superior, apresentando 38% das videiras com 50% (Figura 21).

Estes resultados sugerem que o tratamento com EG 7% + Ac 16% foi o único a demonstrar uma eficácia relevante na quebra da dormência, favorecendo uma maior evolução dos gomos. Apesar de ainda apresentar uma taxa de abrolhamento relativamente baixa, este tratamento revela-se como uma abordagem promissora para a quebra da dormência nas videiras, enquanto os demais tratamentos parecem necessitar de reavaliação ou ajustes.

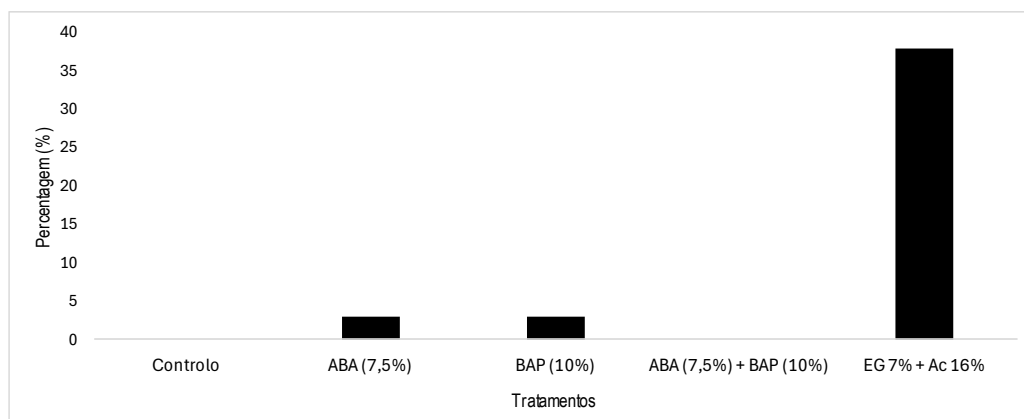


Figura 21 - Média das videiras que atingiram 50% ou mais de gomos evoluídos por tratamento.

Os gomos hibernantes que se encontram na madeira velha, responsáveis pela formação dos ramos ladrões nas videiras, desempenham um papel essencial na reposição da estrutura de condução da planta. Estes gomos funcionam como uma espécie de 'reserva' que pode ser ativada quando necessário, especialmente em situações em que a videira sofre perdas devido a danos mecânicos, geadas ou outras adversidades. A ativação destes gomos possibilita a regeneração das varas, assegurando, assim, a manutenção da estrutura da videira. Nas vinhas conduzidas em espaldeira, a utilização de gomos hibernantes pode ser crucial para manter a planta dentro do espaço reservado, garantindo que as varas permaneçam alinhados e bem posicionados ao longo dos arames da espaldeira. Isso é importante para facilitar a colheita, melhorar a exposição solar, arejamento, e assegurar uma produção uniforme e de boa qualidade. Quando a estrutura principal da videira é comprometida, os gomos hibernantes podem ser estimulados a crescer, ajudando a preencher os espaços vazios e a manter a forma desejada da videira.

Neste estudo, foi avaliado o número de gomos hibernantes que evoluíram nas 32 videiras por tratamento. A análise estatística para a comparação simultânea dos cinco tratamentos foi realizada utilizando o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, que identificou diferenças estatisticamente significativas (Anexo IX). Em seguida, foram realizadas comparações tratamento a tratamento com o teste de Mann-Whitney. Observou-se que o tratamento com ABA (7,5%) + BAP (10%) apresentou a média mais baixa de abrolhamentos (1,0%), sendo a diferença estatisticamente significativa. No entanto, é possível que este resultado tenha ocorrido por acaso ou por razões que não foram apuradas (Tabela 19).

Tabela 19 - Número de gomos hibernantes evoluídos (Média e Desvio padrão) nos cinco tratamentos, avaliando 32 videiras por tratamento.

| Tratamento         | Média $\pm$ DP               |
|--------------------|------------------------------|
| Controlo           | 2,63 <sup>a</sup> $\pm$ 2,79 |
| ABA                | 3,44 <sup>a</sup> $\pm$ 2,76 |
| BAP                | 2,72 <sup>a</sup> $\pm$ 3,29 |
| ABA+BAP            | 1,0 <sup>b</sup> $\pm$ 1,28  |
| EG (7%) + Ac (16%) | 3,09 <sup>a</sup> $\pm$ 2,74 |

Médias ( $\pm$  desvio padrão) do número de abrolhamentos de gomos hibernantes para cada tratamento. O teste de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ) seguido do teste de Mann-Whitney indicou que tratamentos com letras diferentes (a, b) apresentam diferenças estatisticamente significativas.

Este estudo confirma que a insuficiência de horas de frio, necessárias para a quebra da dormência das videiras, podem ser a causa do desenvolvimento fenológico anómalo, que reduz drasticamente a taxa de abrolhamentos nas videiras da Ilha da Madeira, o que confirma os estudos realizados (Campoy *et al.*, 2011; Dokoozlian, 1999).

No inverno de 2023/24, o IPMA voltou a registar temperaturas exceccionalmente altas em toda a ilha, caracterizadas pela ausência de temperaturas baixas e por um elevado número de horas acima dos 25 °C. Estas condições resultaram em problemas de abrolhamento nas videiras durante a primavera de 2024, amplamente observados.

Os efeitos foram especialmente acentuados no município de Câmara de Lobos, onde as castas brancas foram as mais afetadas por esta anomalia climática (Figura 21).



C. de Lobos - 32°39'55"N, 16°58'38"W – Altitude: 310 m



Estº. C. Lobos - 32°40'30"N, 16°58'59"W - Altitude: 498 m

Figura 22 - Videiras de castas Sercial, no município de Câmara de Lobos em 06 de julho de 2024.

## 5. Considerações finais

Esta tese de mestrado teve origem na observação de fenómenos fenológicos em videiras ocorridos na última década, inicialmente interpretados como alternância produtiva. A casta Sercial foi escolhida para a primeira análise, pois, entre as castas utilizadas para vinificação na Região Vitivinícola da Madeira, é aquela que apresenta maior preocupação devido às quebras significativas de produção em determinados anos, causadas por abrolhamentos tardios, heterogéneos e de fraco vigor. Entre os fatores que mais influenciam a fenologia da videira está a temperatura, sendo que atualmente as videiras na ilha não enfrentam stress hídrico, graças à distribuição regular de água para rega, geralmente realizada em intervalos inferiores a 30 dias, através de rega por alagamento.

Na análise dos dados da produtividade de uva da casta Sercial em Câmara de Lobos com as temperaturas registadas durante a fase de dormência entre 2011 e 2023, observou-se que, sempre que as temperaturas se aproximavam dos 25°C, a produtividade diminuía significativamente, com exceção de 2023. No entanto, também foi verificado que as horas de frio acumuladas naquele ano foram aparentemente suficientes para mitigar os efeitos das altas temperaturas. Esta observação é corroborada por Fishman *et al.* (1987), que afirmaram que, durante a endodormência, o frio promove a acumulação de um valor intermediário, que pode ser revertido por temperaturas elevadas. Apenas quando esse valor atinge um nível crítico, torna-se estável e não é mais alterado por calor, contribuindo de forma irreversível e permanente para a quebra da dormência (Fishman *et al.*, 1987).

Com base na análise das variações das horas de frio acumuladas entre 2011 e 2023 nos municípios de Câmara de Lobos, Santana e São Vicente, utilizando os modelos Taiwan, Low Chill e Utah, comprovou-se uma diminuição significativa das horas de frio (HF) em Câmara de Lobos e Santana, com valores de significância estatística elevados. Em São Vicente, contudo, a redução das HF não foi estatisticamente significativa em nenhum dos modelos.

A análise das medidas descritivas dos três modelos de cálculo de horas de frio permitiu concluir que o modelo Taiwan é o mais adequado para a viticultura nas condições climáticas da Ilha da Madeira. Esta conclusão baseia-se na proximidade entre a média das HF estimadas pelo modelo Taiwan e as 400 horas de temperaturas inferiores a 7,2 °C, necessárias para um abrolhamento adequado das videiras, conforme indicado por Dokoozlian (1999) e Londo & Johnson (2014). Embora não seja um modelo

especificamente adequado à viticultura, o facto de ter sido desenvolvido numa região com temperaturas médias de inverno semelhantes ao da Ilha da Madeira, permitiu identificar as oscilações das baixas temperaturas invernais, verificar tendências baseadas nas temperaturas dos últimos 13 anos e correlacioná-las com a produção total resultante após cada período de dormência.

A correlação entre a produção e as horas de frio no município de Câmara de Lobos forneceu evidências claras sobre essas necessidades. O maior valor de produtividade foi registado em 2012, coincidindo com o maior número de horas de frio acumuladas (786,5 HF) segundo o modelo Taiwan. Essa variação sugere que o impacto das horas de frio na produção de uvas depende da localização e de outros fatores não considerados neste estudo.

Os índices bioclimáticos foram analisados em três municípios da Região Vitícola da Madeira, onde existem estações meteorológicas do IPMA. Esta análise permitiu identificar as condições climáticas específicas de cada localidade e avaliar a sua adaptação para a viticultura, destacando-se as diferenças regionais em termos de acumulação térmica, temperaturas diurnas e noturnas.

A análise estatística demonstrou diferenças significativas nos índices bioclimáticos (WI, HI e IF) entre os três municípios estudados. A Ilha da Madeira continua a ser classificada como Região IV, de acordo com o Índice de Winkler, o que confirma a adaptação das castas "Tinta Madeira" (ou Negra-Mole) e "Malvasia Branca" para a produção de vinhos fortificados na região, em consonância com os estudos de Amerine & Winkler (1944). No entanto, a mesma publicação sugere que a casta Boal estaria mais bem-adaptada a uma Região V, indicando que ajustes na seleção das castas podem ser necessários para otimizar a produção vitivinícola em diferentes microclimas da ilha. (Amerine & Winkler, 1944).

O ensaio agronómico com diferentes tratamentos [ABA (7,5%), BAP (10%), ABA (7,5%) + BAP (10%), e EG (7%) + Ac (16%)] revelou que o tratamento com EG (7%) + Ac (16%) foi o único a demonstrar uma eficácia significativa na quebra da dormência das videiras, resultando numa melhoria considerável na taxa de abrolhamento em comparação com os restantes tratamentos. No entanto, a taxa de abrolhamento manteve-se bastante baixa, sugerindo uma necessidade acrescida de horas de frio e uma possível inadaptação da casta Sercial às condições climáticas atípicas registadas no último inverno na região, que se têm tornado mais frequentes. Adicionalmente, verificou-se que, na evolução dos gomos hibernantes, o tratamento ABA (7,5%) + BAP (10%) foi estatisticamente menos eficiente do que os outros tratamentos, apresentando um

número de abrolhamentos inferior ao do controlo. Embora sejam necessários mais estudos para compreender a fundo este comportamento dos gomos hibernantes, esta questão não é relevante para o âmbito específico deste estudo.

Este estudo aflorou relevantes contribuições para a compreensão dos fenómenos fenológicos das videiras na Ilha da Madeira, com realce na casta Sercial. As principais contribuições são detalhadas a seguir:

**Identificação dos fatores climáticos determinantes:** O estudo demonstrou que as altas temperaturas durante a fase de dormência, especialmente quando próximas de 25°C, resultam em abrolhamentos tardios, heterogêneos e com fraco vigor, impactando negativamente a produtividade das videiras. Este conhecimento é crucial para entender a influência do clima na fenologia das videiras e planejar intervenções agronómicas adequadas.

**Importância das baixas temperaturas:** A análise da correlação entre as HF acumuladas e a produtividade das videiras revelou uma relação significativa, especialmente no município de Câmara de Lobos. Este resultado reforça a necessidade de considerar as HF como um fator crítico para a quebra de dormência e o sucesso produtivo das videiras em zonas subtropicais.

**Adaptação dos modelos de horas de frio:** A utilização do modelo "Taiwan" para quantificar as horas de frio permitiu identificar oscilações anuais e correlacionar essas oscilações com a produção total. Embora não seja o modelo ideal para viticultura, a sua aplicação na Ilha da Madeira mostrou-se eficaz, oferecendo uma base para futuros estudos e adaptações de modelos de horas de frio na viticultura.

**Avaliação dos índices bioclimáticos:** A análise dos índices bioclimáticos (WI, HI e IF) em três localidades da Ilha da Madeira revelou diferenças significativas que afetam diretamente a viticultura. Este conhecimento é vital para a escolha das castas vitivinícolas mais adequadas para cada região e para a implementação de práticas vitícolas adaptadas às condições climáticas locais.

**Ensaio agronómico para promover a quebra da dormência:** O ensaio agronómico realizado para promover a quebra da dormência das videiras da casta Sercial no município de Câmara de Lobos, demonstrou que o tratamento com EG (7%) + Ac (16%) foi o mais eficaz, apesar da baixa taxa de abrolhamento observada. Esses resultados sugerem a necessidade de explorar novas abordagens e tratamentos para melhorar a produtividade em condições climáticas adversas.

A pesquisa oferece recomendações práticas para os viticultores da Ilha da Madeira, evidenciando a importância de monitorizar as horas de frio e ajustar os tratamentos de quebra da dormência de acordo com as alterações nas condições climáticas. Essas orientações visam otimizar tanto a produção quanto a qualidade das uvas, contribuindo para a sustentabilidade da viticultura na região.

Este estudo amplia o conhecimento científico sobre a viticultura em zonas subtropicais montanhosas, fornecendo percepções valiosas sobre a interação entre fatores climáticos e a fenologia das videiras. Além disso, a pesquisa enfatiza a necessidade de mais estudos focados nas exigências de frio invernal específicas para diferentes castas, abordando lacunas significativas na literatura atual. A monitorização contínua das condições climáticas, a necessidade de registos históricos da fenologia da videira e a utilização de modelos bioclimáticos já conhecidos, poderão ser cruciais para prever e mitigar os impactos das alterações climáticas na viticultura. Futuras pesquisas devem-se focar no estudo de modelos dinâmicos adaptados à viticultura na Ilha da Madeira.

Os processos associados à entrada na dormência dos gomos ainda são pouco compreendidos. Embora as baixas temperaturas provavelmente desempenhem um papel crucial, a anomalia observada nos dados recolhidos levanta mais perguntas do que respostas, impondo uma reconsideração de outros fatores influenciadores. Por exemplo, a qualidade do gomo da videira pode ser afetada pela exposição a temperaturas elevadas e radiação solar, o que provoca alterações na expressão genética, influenciando o desenvolvimento do gomo (Loyola Muñoz *et al.*, 2016; Strømme *et al.*, 2019) .

É essencial que futuras pesquisas se concentrem no desenvolvimento e implementação de práticas agronómicas sustentáveis que possam mitigar os impactos das alterações climáticas, como a preservação da qualidade do solo, a utilização de sistemas de irrigação mais eficientes e o emprego de bioestimulantes. A diversificação das castas cultivadas destaca-se como uma estratégia promissora para enfrentar a crescente variabilidade climática, tornando-se essencial explorar a introdução e adaptação de novas castas que possam prosperar nas condições únicas da Ilha da Madeira. Para além de priorizar a produtividade, é igualmente crucial aprofundar o estudo sobre o impacto das alterações climáticas previstas na qualidade do vinho produzido, garantindo a sustentabilidade e a excelência do produto final.

Paralelamente, estudos futuros devem considerar o histórico dos estados fenológicos das castas vitivinícolas da ilha, com o objetivo de compreender sua evolução ao longo do tempo e orientar estratégias de adaptação mais eficazes. Por fim, recomenda-se a

realização de pesquisas sobre o desempenho de diferentes porta-enxertos na casta Sercial, avaliando seu impacto na produtividade, na qualidade das uvas e na resiliência às condições climáticas específicas da região.

## Referências Bibliográficas

- Agusti, J., Herold, S., Schwarz, M., Sanchez, P., Ljung, K., Dun, E. A., Brewer, P. B., Beveridge, C. A., Sieberer, T., Sehr, E. M., & Greb, T. (2011). *Strigolactone signaling is required for auxin-dependent stimulation of secondary growth in plants* (Vol. 108) <https://www.pnas.org/doi/abs/10.1073/pnas.1111902108>
- Alikadic, A., Pertot, I., Eccel, E., Dolci, C., Zarbo, C., Caffarra, A., De Filippi, R., & Furlanello, C. (2019). The impact of climate change on grapevine phenology and the influence of altitude: A regional study. *Agricultural and Forest Meteorology*, 271, 73-82. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.02.030>
- Alleweldt, G., & Possingham, J. V. (1988). Progress in grapevine breeding. *Theoretical and Applied Genetics*, 75(5), 669-673. <https://doi.org/10.1007/BF00265585>
- Alves, R. F., Nascimento, A. M. D., & Nogueira, J. M. F. (2005). Characterization of the aroma profile of Madeira wine by sorptive extraction techniques. *Analytica Chimica Acta*, 546(1), 11-21. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2005.05.012>
- Amerine, M. A., & Winkler, A. J. (1944). *Composition and Quality of Musts and Wines of California Grapes*. University of California. <https://books.google.pt/books?id=hQNLAAAAYAAJ>
- An, N., Turp, M. T., Orgen, B., Bilgin, B., & Kurnaz, M. L. (2022). Analysis of the impact of climate change on grapevines in Turkey using heat unit accumulation-based indices. *International Journal of Biometeorology*, 66(11), 2325-2338. <https://doi.org/10.1007/s00484-022-02360-9>
- Andreini, L., Viti, R., Scalabrelli, G., & Loreti, F. (2010). *Morpho-Anatomical Observations during Bud Break in Vitis vinifera L* VIII International Symposium on Temperate zone fruits in the tropics and subtropics, [https://www.researchgate.net/publication/284250761\\_Morpho-anatomical\\_observations\\_during\\_bud\\_break\\_in\\_Vitis\\_vinifera\\_L](https://www.researchgate.net/publication/284250761_Morpho-anatomical_observations_during_bud_break_in_Vitis_vinifera_L)
- Andzejewski, S., Oliveira, D. C., Bernardi, D., & Botton, M. (2022). Resistance of Grapevine Genotypes (*Vitis* spp.) to *Daktulosphaira vitifoliae* (Hemiptera: Phylloxeridae) in Brazil: Implications for Pest Management. *Environmental Entomology*, 51(6), 1166-1171. <https://doi.org/10.1093/ee/nvac074>
- Anzanello, R., Fialho, F., & Pessoa dos Santos, H. (2018). Chilling requirements and dormancy evolution in grapevine buds. *Ciência e Agrotecnologia*, 42, 364-371. <https://doi.org/10.1590/1413-70542018424014618>
- Anzanello, R., Fogaça, C. M., Sartori, G. B. D., & Tasso, T. G. (2022). Impact of heat waves on the bud dormancy of grapevines. *Revista Brasileira De Fruticultura*, 44.
- Ardiles, M., & Ayala, M. (2017). *An alternative dormancy-breaking agent to hydrogen cyanamide for sweet cherry (<i>Prunus avium</i> L.) under low chilling accumulation conditions in the Central Valley of Chile* VII International Cherry Symposium,
- Badr, G., Hoogenboom, G., Abouali, M., Moyer, M., & Keller, M. (2018). Analysis of several bioclimatic indices for viticultural zoning in the Pacific Northwest. *Climate Research*, 76(3), 203-223. <https://www.jstor.org/stable/26626181>
- Bates, J. (2022). *Vitis* sp., Vitaceae and viticulture in the Indus Civilization, South Asia ca. 3200–1500 bc: a critical review. *Vegetation History and Archaeobotany*, 31(2), 205-220. <https://doi.org/10.1007/s00334-021-00842-1>
- Biddle, A. (1901). *The land of the wine* (Vol. 11). Canadian Libraries.
- Buttrose, M. (2017). Vegetative growth of grape-vine varieties under controlled temperature and light intensity. *VITIS-Journal of Grapevine Research*, 8(4), 280.
- Broome, O. and R. Zimmerman (1976). "Breaking Bud Dormancy in Tea Crabapple [*Malus hupehensis* (Pamp.) Rehd.] with Cytokinins1." *Journal of the American Society for Horticultural Science* 101: 28-30.

- Campoy, J. A., Ruiz, D., & Egea, J. (2011). Dormancy in temperate fruit trees in a global warming context: A review. *Scientia Horticulturae*, 130(2), 357-372. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.07.011>
- Chandler, W. H. (1937). Chilling requirements for opening of buds on deciduous orchard trees and some other plants in California / W. H. Chandler. In W. H. Chandler (Ed.), *Univ. of California / College of Agriculture / Agric. Experiment Station / Bulletin* (pp. 42). Berkeley, Calif.
- Chhetri, N., Chaudhary, P., Tiwari, P. R., & Yadaw, R. B. (2012). Institutional and technological innovation: Understanding agricultural adaptation to climate change in Nepal. *Applied Geography*, 33, 142-150. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.10.006>
- Chouard, P. (1960). Vernalization and its relations to dormancy. *Annual Review of Plant Physiology*, 11(1), 191-238.
- Coser, M. d. A. G. G., Pace Pereira Lima, G., Silva Pereira Basílio, L., Hawerth, F. J., Yukihiro Watanabe, C., Corrêa, C. V., Rodrigues da Silva, M. J., & Tecchio, M. A. (2021). Qualidade pós-colheita de uvas 'Niagara Rosada' tratadas com Erger®. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 22(2). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81369610005> (IN FILE)
- Costa, G. (2013). *WHAT'S NEW IN PLANT BIOREGULATORS?* International Society for Horticultural Science (ISHS), Belgium. 998. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.998.2>
- Coutinho, M., de Oliveira, R. P., Antunes, C. R., & Caetano, C. T. (2019). Avaliação da ameaça de erosão hídrica na ilha da Madeira - Portugal. *Ribagua*, 6(1), 87-100. <https://doi.org/10.1080/23863781.2019.1642594>
- Cunha, J., Baeta, F., & Eiras-Dias, J. (2012). *Base de Dados da Coleção Ampelográfica Nacional*. Retrieved 17/07/2024 from <https://www.inia.pt/can/bd-castas/sercial-b>
- Darbyshire, R., Webb, L., Goodwin, I., & Barlow, S. (2011). Winter chilling trends for deciduous fruit trees in Australia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(8), 1074-1085. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.03.01>
- Davies, P. J. (1995). The Plant Hormones: Their Nature, Occurrence, and Functions. In P. J. Davies (Ed.), *Plant Hormones: Physiology, Biochemistry and Molecular Biology* (pp. 1-12). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-011-0473-9\\_1](https://doi.org/10.1007/978-94-011-0473-9_1)
- Delgado, A., Egea, J. A., Fernandez, E., Campoy, J. A., Egea, J., Dicenta, F., & Ruiz, D. (2024). Discrepancies in methodologies to determine chill requirements in temperate fruit trees constrain guidelines for future plantings in a global warming context. *Agricultural and Forest Meteorology*, 349, 109970. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2024.109970>
- Dennis, F. G. (2003). Problems in Standardizing Methods for Evaluating the Chilling Requirements for the Breaking of Dormancy in Buds of Woody Plants. *HortScience HortSci*, 38(3), 347-350. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.38.3.347>
- Dokoozlian, N. K. (1999). Chilling Temperature and Duration Interact on the Budbreak of 'Perlette' Grapevine Cuttings. *HortScience HortSci*, 34(6), 1-3. <https://doi.org/10.21273/hortsci.34.6.1>
- Dokoozlian, N. K., Williams, L., & Neja, R. A. (1995). Chilling Exposure and Hydrogen Cyanamide Interact in Breaking Dormancy of Grape Buds. *HortScience: a publication of the American Society for Horticultural Science*, 30. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.30.6.1244>
- DREM. (2023). Produção vegetal, produção animal e pesca. <https://estatistica.madeira.gov.pt/download-now/economica/agricultura-floresta-e-pesca/prod-veg-prd-animal-pesca-pt/prod-vegetal-publicacoes-pt.html>

- Droulia, F., & Charalampopoulos, I. (2021). Future Climate Change Impacts on European Viticulture: A Review on Recent Scientific Advances. *Atmosphere*, 12(4), 495. <https://www.mdpi.com/2073-4433/12/4/495>
- du Jardin, P. (2012). *The Science of Plant Biostimulants – A bibliographic analysis, Ad hoc study report*. <https://hdl.handle.net/2268/169257>
- Erb, W. A., Scurlock, D. M., Koch, T. A., & Johns, G. R. (1993). *The Dynamic Growth Cycle of the Grape Vine*. Retrieved 11-08-2024 from <http://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-4000040377>.
- Ezzili, B., & Bejaoui, M. (2000). New contribution to the survey of the theory of the acrotony on the branch of one year grapevine: II - Influence of growth regulators on bud burst carried by one eye cuttings in post-dormancy stage. *OENO One*, 34(4), 145-154. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2000.34.4.997>
- Fadón, E., Fernandez, E., Behn, H., & Luedeling, E. (2020). A Conceptual Framework for Winter Dormancy in Deciduous Trees. *Agronomy*, 10(2), 241. <https://www.mdpi.com/2073-4395/10/2/241>
- Fishman, S., Erez, A., & Couvillon, G. A. (1987). The temperature dependence of dormancy breaking in plants: Computer simulation of processes studied under controlled temperatures. *Journal of Theoretical Biology*, 126(3), 309-321. [https://doi.org/10.1016/S0022-5193\(87\)80237-0](https://doi.org/10.1016/S0022-5193(87)80237-0)
- Fortes, A. M., & Pais, M. S. (2016). Chapter 12 - Grape (*Vitis* species). In M. S. J. Simmonds & V. R. Preedy (Eds.), *Nutritional Composition of Fruit Cultivars* (pp. 257-286). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-408117-8.00012-X>
- Fraga, H., Malheiro, A. C., Moutinho-Pereira, J., & Santos, J. A. (2014). Climate factors driving wine production in the Portuguese Minho region. *Agricultural and Forest Meteorology*, 185, 26-36. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2013.11.003>
- Fraga, H., Santos, J. A., Moutinho-Pereira, J. M., Carlos, C., Silvestre, J., Eiras-Dias, J. E., Mota, T., & Malheiro, A. C. (2015). Statistical modelling of grapevine phenology in Portuguese wine regions: observed trends and climate change projections. *The Journal of Agricultural Science*, 154, 795 - 811.
- Furtado, A. F. A. S. (1983). *As argilas dos solos da Ilha da Madeira. Alguns aspectos relacionados com a sua génese* \* Lisboa. <https://www.repository.utl.pt/bitstream/10400.5/17184/1/ANAIS-V.XLI.p.131.PDF>
- Gilreath, P., & Buchanan, D. W. (1981, 07/01). *Rest prediction model for low-chilling 'Sungold' nectarine* J. Am. Soc. Hort. Sci., <https://journals.ashs.org/downloadpdf/journals/jashs/106/4/article-p426.xml>
- Gramaje, D., García-Jiménez, J., & Armengol, J. (2010). Field Evaluation of Grapevine Rootstocks Inoculated with Fungi Associated with Petri Disease and Esca. *American Journal of Enology and Viticulture*, 61(4), 512-520. <https://doi.org/10.5344/ajev.2010.10021>
- Gu, S., & Read, P. E. (2004). *The influence of plant growth regulators included in the forcing solution on bud break of dormant grapevines (vitis spp.)* International Society for Horticultural Science (ISHS), Leuven, Belgium. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.640.25>
- Guisard, Y., Blackman, J., Clark, A., Holzapfel, B., Rawson, A., Rogiers, S., Schmidtke, L., Smith, J., & Steel, C. (2014). Viticulture and Wine Science. In G. R. Dixon & D. E. Aldous (Eds.), *Horticulture: Plants for People and Places, Volume 1: Production Horticulture* (pp. 197-261). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-8578-5\\_7](https://doi.org/10.1007/978-94-017-8578-5_7)
- Hess, M., Barralis, G., Bleiholder, H., Buhr, L., Eggers, T. H., Hack, H., & Stauss, R. (1997). Use of the extended BBCH scale—general for the descriptions of the growth stages of mono; and dicotyledonous weed species. *Weed Research*, 37(6), 433-441. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.1997.d01-70.x>

- Huang, C.-C., Wen, I.-C., & Lin, S.-Y. (2024). Tainung No. 7 HongLing: A Low-chill Peach Cultivar for Early Fresh Market. *HortScience*, 59(3), 304-306. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI17602-23>
- Huglin, M. (1978). Nouveau mode d'evaluation des possibilites heliothermiques d'un milieu viticole [climatologie]. *Comptes rendus des Séances de l'Académie d'Agriculture de France*, 64.
- IPCC. (2014). *Alterações Climáticas 2014. Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade*. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar5\\_wg2\\_spmport-1.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar5_wg2_spmport-1.pdf)
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021- The Physical Science Basis*. Retrieved from [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_SPM\\_fin\\_al.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_fin_al.pdf)
- IPMA. (2022). *Normais Climatológicas - 1981-2010*. Retrieved from [https://www.ipma.pt/bin/file.data/climate-normal/cn\\_81-10\\_FUNCHAL.pdf](https://www.ipma.pt/bin/file.data/climate-normal/cn_81-10_FUNCHAL.pdf)
- IVBAM. (2023). *Comercialização de Vinho da Madeira*. Instituto do Vinho, do Bordado e do Artesanato da Madeira, I.P. - R.A.M Retrieved from <https://vinhomadeira.com/o-vinho-madeira/castas/sercial>
- Jackson, R. (2016). Viticulture. In *Reference Module in Food Science*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.02871-7>
- Jones, G. (2013). *Uma avaliação do clima para a Região Demarcada do Douro: uma análise das condições climáticas do passado, presente e futuro para a produção do vinho*. Associação para o Desenvolvimento da Viticultura Duriense.
- Jones, G. V., White, M. A., Cooper, O. R., & Storchmann, K. (2005). Climate change and global wine quality. *Climatic change*, 73(3), 319-343.
- Kamimori, M., & Hosomi, A. (2024). Evaluation of Chilling and Heat Requirements for the Budbreak of Delaware Grape in Osaka, Japan. *American Journal of Enology and Viticulture*, 75(1), 0750011. <https://doi.org/10.5344/ajev.2024.23045>
- Keller, M. (2015). Chapter 2 - Phenology and Growth Cycle. In M. Keller (Ed.), *The Science of Grapevines (Second Edition)* (pp. 59-99). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-419987-3.00002-9>
- Kozlowski, T. T., & Pallardy, S. G. (1997). CHAPTER 13 - Plant Hormones and Other Endogenous Growth Regulators. In T. T. Kozlowski & S. G. Pallardy (Eds.), *Physiology of Woody Plants (Second Edition)* (pp. 309-319). Academic Press.
- Lamela, S., Navroski, R., Maciel, S., Eloy, J., Bilharva, M., & Malgarim, M. (2016). Diferentes doses de cianamida hidrogenada na brotação de gemas de videira cv. 'Cabernet Sauvignon'. *Revista Congrega Urcamp*.
- Lang, G. A., Early, J. D., Martin, G. C., & Darnell, R. L. (1987). Endo-, Para-, and Ecodormancy: Physiological Terminology and Classification for Dormancy Research. *HortScience*, 22(3), 371-377. <https://doi.org/10.21273/hortsci.22.3.371>
- Lavee, S., & May, P. (1997). Dormancy of grapevine buds - facts and speculation. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 3(1), 31-46. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.1997.tb00114.x>
- Lavee, S., & May, P. (2008). Dormancy of grapevine buds - Facts and speculation. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 3, 31-46. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.1997.tb00114.x>
- Lebon, G., Wojnarowicz, G., Holzapfel, B., Fontaine, F., Vaillant-Gaveau, N., & Clément, C. (2008). Sugars and flowering in the grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Journal of Experimental Botany*, 59(10), 2565-2578. <https://doi.org/10.1093/jxb/ern135>
- Li, J., Sun, P., Chen, A., Xu, J., Xin, P., Chu, J., & Zheng, C. (2024). VvSVP1 negatively regulates gibberellin accumulation before the dormant bud break of grapevine triggered by hydrogen cyanamide. *Horticultural Plant Journal*. <https://doi.org/10.1016/j.hpi.2023.12.002>
- Liang, L. (2019). Phenology. In *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11739-7>

- Liu, J., & Sherif, S. M. (2019). Hormonal Orchestration of Bud Dormancy Cycle in Deciduous Woody Perennials [Review]. *Frontiers in Plant Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01136>
- Londo, J. P., & Johnson, L. M. (2014). Variation in the chilling requirement and budburst rate of wild *Vitis* species. *Environmental and Experimental Botany*, 106, 138-147. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.12.012>
- Lopez-Bustins, J.-A., Pla, E., Nadal, M., de Herralde, F., & Savé, R. (2014). Global change and viticulture in the Mediterranean region: a case of study in north-eastern Spain. *SPANISH JOURNAL OF AGRICULTURAL RESEARCH*, 12(1), 78-88. <https://doi.org/10.5424/sjar/2014121-4808>
- 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>
- Loyola Muñoz, R., Herrera, D., Mas, A., Wong, D., Höll, J., Cavallini, E., Amato, A., Azuma, A., Ziegler, T., Aquea, F., Castellarin, S. D., Bogs, J., Tornielli, G. b., Peña-Neira, A., Czemm, S., Alcalde, J., Matus, J., & Arce-johnson, P. (2016). The photomorphogenic factors UV-B RECEPTOR 1, ELONGATED HYPOCOTYL 5, and HY5 HOMOLOGUE are part of the UV-B signalling pathway in grapevine and mediate flavonol accumulation in response to the environment. *Journal of Experimental Botany*, 67. <https://doi.org/10.1093/jxb/erw307>
- Lu, M.-T., Song, C.-W., Ou, S.-K., & Chen, C.-L. (2012). A model for estimating chilling requirement of very low-chill peaches in Taiwan. *Acta Horticulturae*, 962, 245-251. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.962.35>
- Luedeling, E., Schiffers, K., Fohrmann, T., & Urbach, C. (2021). PhenoFlex - an integrated model to predict spring phenology in temperate fruit trees. *Agricultural and Forest Meteorology*, 307, 108491. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108491>
- Madeirawine. (2024). *Terroirs e Tinta Negra*. Retrieved 26-08-2024 from <https://www.milesmadeira.com/pt/terroirs-tinta-negra.html>
- Magalhães, N. (2008). *Tratado de viticultura* (Vol. V). Chaves Ferreira - Publicações S.A.
- Manzoor, I., Sultan, R., Kumar, P., Abidi, I., Nisa, B., Bhat, K., Mir, M., Lone, S., Iesa, M., Tarique, M., Nazim, N., Dar, S., & Youssef, R. (2023). *Phenological stages of growth in grapevine (Vitis vinifera L.) via codes and details as per BBCH scale*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3187930/v1>
- Merchán, P. J. A. (2011). Determinación del crecimiento y desarrollo del fruto de vid (*Vitis vinifera* L.) bajo condiciones de clima frío tropical. Name, from
- Miguel-Tomé, S., & Llinás, R. R. (2021). Broadening the definition of a nervous system to better understand the evolution of plants and animals. *Plant Signaling & Behavior*, 16(10), 1927562. <https://doi.org/10.1080/15592324.2021.1927562>
- Milhazes, J. M. S. (2017). *Madeira: O vinho dos Czares*. Alêlhea Editores.
- Mohamed, A., & El-Sese, A. (2009). Chilling and Heat Requirements of Some Grape Cultivars (*Vitis vinifera* L) *International Journal of Applied Agricultural Research* 4(565), 193-202. (Research India Publications)
- Moriondo, M., Ferrise, R., Trombi, G., Brilli, L., Dibari, C., & Bindi, M. (2015). Modelling olive trees and grapevines in a changing climate. *Environmental Modelling & Software*, 72, 387-401. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.12.016>
- Nilsson, O. (2022). Winter dormancy in trees. *Current Biology*, 32(12), R630-R634. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2022.04.011>
- Noriega, X., & Pérez, F. J. (2017). ABA Biosynthesis Genes are Down-regulated While Auxin and Cytokinin Biosynthesis Genes are Up-regulated During the Release of Grapevine Buds From Endodormancy. *Journal of Plant Growth Regulation*, 36(4), 814-823. <https://doi.org/10.1007/s00344-017-9685-7>

- OCM. (2021). *Observatório Clima Madeira*.  
<https://observatorioclima.madeira.gov.pt/clima/>
- OCM. (2023). *REGIONALIZAÇÃO CLIMÁTICA*. Retrieved from  
[https://observatorioclima.madeira.gov.pt/wp-content/uploads/2024/08/Regionalizacao-Climatica\\_Relatorio-Final.pdf](https://observatorioclima.madeira.gov.pt/wp-content/uploads/2024/08/Regionalizacao-Climatica_Relatorio-Final.pdf)
- OIVV. (2024, 29-02-2024). *the definition of Terroir*. Retrieved 13-08-2024 from  
<https://www.oiv.int/press/12-months-12-resolutions-definition-terroir>
- Olesen, J. E., & Bindi, M. (2002). Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. *European Journal of Agronomy*, 16(4), 239-262. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(02\)00004-7](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00004-7)
- Ollat, N., Bordenave, L., Tandonnet, J. P., Boursiquot, J. M., & Marguerit, E. (2016). Grapevine rootstocks: origins and perspectives. Name, pp. 11-22, from  
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1136.2>
- Olsen, J. E., Junttila, O., Nilsen, J., Eriksson, M. E., Martinussen, I., Olsson, O., Sandberg, G., & Moritz, T. (1997). Ectopic expression of oat phytochrome A in hybrid aspen changes critical daylength for growth and prevents cold acclimatization. *The Plant Journal*, 12(6), 1339-1350. <https://doi.org/10.1046/j.1365-313x.1997.12061339.x>
- Pacey-Miller, T., Scott, K., Ablett, E., Tingey, S., Ching, A., & Henry, R. (2003). Genes associated with the end of dormancy in grapes. *Functional & Integrative Genomics*, 3(4), 144-152. <https://doi.org/10.1007/s10142-003-0094-6>
- Pacey-Miller, T., Scott, K., Ablett, E., Tingey, S., Ching, A., & Henry, R. (2004). Genes associated with the end of dormancy in grapes. *Centre for Plant Conservation Genetics Papers*, 3. <https://doi.org/10.1007/s10142-003-0094-6>
- Petri, J. L., Sezerino, A. A., Hawerth, F. J., Palladini, L. A., Leite, G. B., & De Martn, M. S. (2021). Dormência e indução à brotação de árvores frutíferas de clima temperado. *Boletim Técnico*(192).  
<https://publicacoes.epagri.sc.gov.br/BT/article/view/1174>
- Pieterse, C. M. J., Van der Does, D., Zamioudis, C., Leon-Reyes, A., & Van Wees, S. C. M. (2012). Hormonal Modulation of Plant Immunity. *Annual Review of Cell and Developmental Biology*, 28(1), 489-521. <https://doi.org/10.1146/annurev-cellbio-092910-154055>
- Queiroz, J. (2022). *Clima vitícola, Zonagem e Índices bioclimáticos. Elementos de Apoio às aulas de Mestrado Engenharia Agronómica, FCUP. Porto*.
- Reis, S., Fraga, H., Carlos, C., Silvestre, J., Eiras-Dias, J., Rodrigues, P., & Santos, J. A. (2020). Grapevine Phenology in Four Portuguese Wine Regions: Modeling and Predictions. *Applied Sciences*, 10(11), 3708. <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/11/3708>
- Reisch, B. I., Owens, C. L., & Cousins, P. S. (2012). Grape. In M. L. Badenes & D. H. Byrne (Eds.), *Fruit Breeding* (pp. 225-262). Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0763-9\\_7](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0763-9_7)
- Richardson, E. A., Seeley, S. D., & Walker, D. R. (1974). A model for estimating the completion of rest for 'redhaven' and 'elberta' peach trees. *HortScience*, 9(4), 331-332.
- Rienth, M., & Scholasch, T. (2019). State-of-the-art of tools and methods to assess vine water status. *OENO One*, 53(4). <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2019.53.4.2403>
- Ríos, G., Leida, C., Conejero, A., & Badenes, M. L. (2014). Epigenetic regulation of bud dormancy events in perennial plants [Mini Review]. *Frontiers in Plant Science*, 5. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00247>
- Rodrigues, R., Araújo, R., Veloso F., & Mourão, I. (2016). *Efeito da aplicação de citoquininas de origem natural na quebra de dormência em kiwi* IV Colóquio Nacional de Horticultura Biológica. 25. 50-56, Algarve.

- [https://www.drapalgarve.gov.pt/images/pdf/Agricultura/agricultura/Actas-Portuguesas-de-Horticultura\\_25-IV\\_CNHB\\_VF\\_31\\_01\\_17.pdf](https://www.drapalgarve.gov.pt/images/pdf/Agricultura/agricultura/Actas-Portuguesas-de-Horticultura_25-IV_CNHB_VF_31_01_17.pdf)
- Rohde, A., & Bhalerao, R. P. (2007). Plant dormancy in the perennial context. *Trends in plant science*, 12(5), 217-223.
- Santos, J. A., Fraga, H., Malheiro, A. C., Moutinho-Pereira, J., Dinis, L.-T., Correia, C., Moriondo, M., Leolini, L., Dibari, C., Costafreda-Aumedes, S., Kartschall, T., Menz, C., Molitor, D., Junk, J., Beyer, M., & Schultz, H. R. (2020). A Review of the Potential Climate Change Impacts and Adaptation Options for European Viticulture. *Applied Sciences*, 10(9), 3092. <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/9/3092>
- Santos, P. (2014). Terrantez: O quinto elemento. *Essencial Madeira*. <https://essencial-madeira.com/index.php/gourmet/777-o-quinto-elemento>
- Schultz, H. (2008). Climate change and viticulture: A European perspective on climatology, carbon dioxide and UV-B effects. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 6, 2-12. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2000.tb00156.x>
- Shaltout, A. D., & Unrath, C. R. (1983). Effect of Some Growth Regulators and Nutritional Compounds as Substitutes for Chilling of 'Delicious' Apple Leaf and Flower Buds. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 108(6), 898-901. <https://doi.org/10.21273/jashs.108.6.898>
- Sigmaaldrich. (2024). *Preparation and use of growth regulators*. Retrieved 26-07-2024 from [https://www.sigmaaldrich.com/PT/en/technical-documents/technical-article/cell-culture-and-cell-culture-analysis/plant-tissue-culture/growth-regulators?srltid=AfmBOopw8uXdep7BHlt928iET\\_Ubmo8X3mhEww3aV7Q1G\\_sY67EIVr29x#Cytokinins](https://www.sigmaaldrich.com/PT/en/technical-documents/technical-article/cell-culture-and-cell-culture-analysis/plant-tissue-culture/growth-regulators?srltid=AfmBOopw8uXdep7BHlt928iET_Ubmo8X3mhEww3aV7Q1G_sY67EIVr29x#Cytokinins)
- Srinivasan, C., & Mullins, M. (1979). Flowering in Vitis: conversion of tendrils into inflorescences and bunches of grapes. *Planta*, 145, 187-192.
- Strømme, C., Sivadasan, U., Nissinen, K., Lavola, A., Randriamanana, T., Julkunen-Tiitto, R., & Nybakken, L. (2019). Interannual variation in UV-B and temperature effects on bud phenology and growth in *Populus tremula*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 134, 31-39. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.08.029>
- Tessier, C., David, J., This, P., Boursiquot, J. M., & Charrier, A. (1999). Optimization of the choice of molecular markers for varietal identification in *Vitis vinifera* L. *Theoretical and Applied Genetics*, 98(1), 171-177. <https://doi.org/10.1007/s001220051054>
- This, P., Lacombe, T., & Thomas, M. R. (2006). Historical origins and genetic diversity of wine grapes. *Trends in Genetics*, 22(9), 511-519. <https://doi.org/10.1016/j.tig.2006.07.008>
- Tonietto, J., & Carbonneau, A. (1999, 07-10 /12/1999). *Análise mundial do clima das regiões vitícolas e a sua influência na tipicidade dos vinhos* IX Congresso Brasileiro de viticultura e enologia, Brasil.
- Tonietto, J., & Carbonneau, A. (2004). A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. *Agricultural and Forest Meteorology*, 124(1), 81-97. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2003.06.001>
- Van Leeuwen, C., & Darriet, P. (2016). The Impact of Climate Change on Viticulture and Wine Quality. *Journal of Wine Economics*, 11, 150-167. <https://doi.org/10.1017/jwe.2015.21>
- van Leeuwen, C., Destrac Irvine, A., Rességuier, L., Garcia de Cortazar-Atauri, I., & Duchêne, E. (2019). Phénologie : suivez l'horloge interne de la vigne. *IVES Technical Reviews, vine and wine*. <https://doi.org/10.20870/IVES-TR.2019.2587>
- 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>
- Velappan, Y., Considine, J. A., Signorelli, S., & Considine, M. J. (2023). Contrasting seasonal dynamics of dormancy, respiratory metabolism and cell cycle state in

- grapevine buds of a subtropical and Mediterranean climate. *Food and Energy Security*, 12(2), e431. <https://doi.org/10.1002/fes3.431>
- Venios, X., Gkizi, D., Nisiotou, A., Korkas, E., Tjamos, S. E., Zamioudis, C., & Banilas, G. (2024). Emerging Roles of Epigenetics in Grapevine and Winegrowing. *Plants*, 13(4), 515. <https://www.mdpi.com/2223-7747/13/4/515>
- Venter, N. C., Avenant, E., Kotze, T. N., Hills, P. N., & Moore, J. P. (2024a). *Plant Biostimulants Enhance Bud Break in Vitis vinifera Crimson Seedless Using Combination Treatments* Horticulturae,
- Venter, N. C., Avenant, E., Kotze, T. N., Hills, P. N., & Moore, J. P. (2024b). Plant Biostimulants Enhance Bud Break in *Vitis vinifera* Crimson Seedless Using Combination Treatments. *Horticulturae*, 10(5).
- Vieira, A. (1991). *Breviário da Vinha e do Vinho da Madeira*.
- Vieira, A. (2016). *A vinha e o vinho na história da Madeira. Séculos XV - XX*. Centro de Estudos de História do Atlântico, Funchal.
- VIVC. (2023). *Vitis International Variety Catalogue (VIVC)*. <https://www.vivc.de/index.php?r=passport%2Fview&id=9023>
- Vivier, M. A., & Pretorius, I. S. (2019). Genetic Improvement of Grapevine: Tailoring Grape Varieties for The Third Millennium - A Review. *South African Journal of Enology & Viticulture*.
- Vizetelly, H. (1880). *Facts About Port and Madeira*. <https://archive.org/details/FactsAboutPortAndMadeiraHenryVizetelly1880>
- Walker, R. R., BLACKMORE, D. H., CLINGELEFFER, P. R., & CORRELL, R. L. (2002). Rootstock effects on salt tolerance of irrigated field-grown grapevines (*Vitis vinifera* L. cv. Sultana): 1. Yield and vigour inter-relationships. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 8(1), 3-14. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2002.tb00206.x>
- Walser, R. H., Walker, D. R., & Seeley, S. D. (1981). Effect of Temperature, Fall Defoliation, and Gibberellic Acid on the Rest Period of Peach Leaf Buds1. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 106(1), 91-94. <https://doi.org/10.21273/jashs.106.1.91>
- Weaver, R. J., & Iwasaki, K. (1977). Effect of Temperature and Length of Storage, Root Growth and Termination of Bud Rest in Zinfandel Grapes. *American Journal of Enology and Viticulture*, 28(3), 149. <https://doi.org/10.5344/ajev.1977.28.3.149>
- Went, F. W., & Thimann, K. V. (1937). *Experimental Biology Monographs*. Macmillan. <https://books.google.pt/books?id=ipkvAAAAIAAJ>
- White, R. E., Balachandra, L., Edis, R., & Chen, D. (2007). The soil component of terroir. *OENO One*, 41(1), 9-18. <https://doi.org/10.20870/oenone.2007.41.1.860>
- Winkler, A. J. (1974). *General viticulture*. Univ of California Press.
- Yamane, H., Andrés, F., Bai, S., Luedeling, E., & Or, E. (2023). Editorial: Environmental and molecular control of bud dormancy and bud break in woody perennials: An integrative approach [Editorial]. *Frontiers in Plant Science*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1104108>
- Zapata, C., Deléens, E., Chaillou, S., & Magné, C. (2004). Partitioning and mobilization of starch and N reserves in grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Journal of Plant Physiology*, 161(9), 1031-1040. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2003.11.009>
- Zhang, Y., Mechlin, T., Dami, I. (2011). "Foliar Application of Absciscic Acid Induces Dormancy Responses in Greenhouse-grown Grapevines." *HortScience horts* 46(9): 1271-1277. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.46.9.1271>
- Zhang, Z., Zhuo, X., Zhao, K., Zheng, T., Han, Y., Yuan, C., & Zhang, Q. (2018). Transcriptome Profiles Reveal the Crucial Roles of Hormone and Sugar in the Bud Dormancy of *Prunus mume*. *Scientific Reports*, 8(1), 5090. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-23108-9>
- Zheng, C., Kwame Acheampong, A., Shi, Z., Halaly, T., Kamiya, Y., Ophir, R., Galbraith, D. W., & Or, E. (2018). Distinct gibberellin functions during and after grapevine

- bud dormancy release. *Journal of Experimental Botany*, 69(7), 1635-1648.  
<https://doi.org/10.1093/jxb/ery022>
- Zheng, C. L., Halaly, T., Acheampong, A. K., Takebayashi, Y., Jikumaru, Y., Kamiya, Y., & Or, E. (2015). Absciscic acid (ABA) regulates grape bud dormancy, and dormancy release stimuli may act through modification of ABA metabolism. *Journal of Experimental Botany*, 66(5), 1527-1542.  
<https://doi.org/10.1093/jxb/eru519>

## Anexo I – Apuramento Climatológico mensal



### Apuramento meteorológico de abril de 2024

984 - Quinta Grande

Lat.: 32º 48' N ; Long.: 17º 03' W; Alt.: 580 m

| Dia                 | Pressão<br>Média<br>(hPa) | Temp. do ar (09-09h)     |             |             | Humidade relativa        |            |            | T05cm<br>Min<br>(°C)  | Vento                |                           | Radiação<br>Global<br>kJ/m2 | Prec.<br>09-09h<br>(mm) |
|---------------------|---------------------------|--------------------------|-------------|-------------|--------------------------|------------|------------|-----------------------|----------------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------|
|                     |                           | Med<br>(°C)              | Max<br>(°C) | Min<br>(°C) | Med<br>(%)               | Max<br>(%) | Min<br>(%) |                       | dd / ffmed<br>(km/h) | ddx / ffmax<br>(km/h)     |                             |                         |
| 1                   | -                         | 14,6                     | 18,8        | 10,4        | 69                       | 86         | 50         | 9,8                   | - / -                | - / -                     | 20675                       | 0,2                     |
| 2                   | -                         | 16,3                     | 18,9        | 13,7        | 73                       | 93         | 31         | 9,0                   | - / -                | - / -                     | 11456                       | <u>0,4</u>              |
| 3                   | -                         | 15,2                     | 21,2        | <u>9,3</u>  | 54                       | 77         | 33         | 8,2                   | - / -                | - / -                     | 22316                       | 0,2                     |
| 4                   | -                         | 14,6                     | 19,9        | <u>9,3</u>  | 70                       | 85         | 41         | 8,9                   | - / -                | - / -                     | 19456                       | 0,2                     |
| 5                   | -                         | 18,5                     | 21,7        | 15,3        | 86                       | 93         | 43         | 11,2                  | - / -                | - / -                     | 1663                        | 0,1                     |
| 6                   | -                         | 15,2                     | 17,1        | 13,2        | 62                       | 79         | 31         | 10,3                  | - / -                | - / -                     | 20321                       | 0,1                     |
| 7                   | -                         | 15,6                     | 21,6        | 9,6         | 61                       | 77         | 34         | 8,3                   | - / -                | - / -                     | 23778                       | 0,1                     |
| 8                   | -                         | 15,6                     | 18,2        | 13,1        | 65                       | 82         | 35         | 11,5                  | - / -                | - / -                     | 23208                       | 0,0                     |
| 9                   | -                         | 16,6                     | 21,7        | 11,4        | 64                       | 85         | 29         | 10,2                  | - / -                | - / -                     | 23877                       | 0,0                     |
| 10                  | -                         | 16,4                     | 19,9        | 12,8        | 12                       | 29         | 2          | 10,1                  | - / -                | - / -                     | 24463                       | 0,1                     |
| 11                  | -                         | 22,6                     | 27,3        | 17,9        | -                        | -          | -          | 9,4                   | - / -                | - / -                     | 23426                       | 0,0                     |
| 12                  | -                         | 24,7                     | <u>30,3</u> | 19,1        | 15                       | 30         | 4          | 10,9                  | - / -                | - / -                     | 23975                       | 0,0                     |
| 13                  | -                         | 24,2                     | <u>30,3</u> | 18,0        | 31                       | 67         | 2          | 12,1                  | - / -                | - / -                     | 24346                       | 0,0                     |
| 14                  | -                         | 19,8                     | 26,1        | 13,4        | 49                       | 88         | 6          | 11,3                  | - / -                | - / -                     | 24930                       | 0,0                     |
| 15                  | -                         | 21,0                     | 25,7        | 16,4        | 9                        | 23         | 2          | 14,1                  | - / -                | - / -                     | 23299                       | 0,0                     |
| 16                  | -                         | 22,9                     | 28,0        | 17,8        | 17                       | 35         | 4          | 10,4                  | - / -                | - / -                     | 22258                       | 0,0                     |
| 17                  | -                         | 20,5                     | 24,8        | 16,2        | 26                       | 81         | 2          | 12,6                  | - / -                | - / -                     | 20825                       | 0,0                     |
| 18                  | -                         | 19,4                     | 25,8        | 12,9        | 57                       | 76         | 25         | 9,9                   | - / -                | - / -                     | 14280                       | 0,0                     |
| 19                  | -                         | 17,4                     | 21,4        | 13,4        | 63                       | 79         | 41         | 11,6                  | - / -                | - / -                     | 21818                       | 0,0                     |
| 20                  | -                         | 18,0                     | 22,3        | 13,6        | 65                       | 80         | 49         | 12,3                  | - / -                | - / -                     | 8670                        | 0,0                     |
| 21                  | -                         | 16,6                     | 20,0        | 13,3        | 52                       | 72         | 35         | 11,7                  | - / -                | - / -                     | 16293                       | 0,1                     |
| 22                  | -                         | 16,4                     | 20,9        | 12,0        | 58                       | 80         | 33         | 10,6                  | - / -                | - / -                     | 15304                       | 0,0                     |
| 23                  | -                         | 17,8                     | 22,4        | 13,1        | 54                       | 76         | 25         | 11,7                  | - / -                | - / -                     | 23727                       | 0,0                     |
| 24                  | -                         | 18,9                     | 22,9        | 14,9        | 35                       | 68         | 17         | 12,9                  | - / -                | - / -                     | 23473                       | 0,0                     |
| 25                  | -                         | 18,2                     | 24,4        | 12,0        | 52                       | 70         | 31         | <u>8,1</u>            | - / -                | - / -                     | 22096                       | 0,0                     |
| 26                  | -                         | 15,6                     | 19,9        | 11,4        | 53                       | 70         | 28         | 10,2                  | - / -                | - / -                     | 13755                       | 0,0                     |
| 27                  | -                         | 15,8                     | 19,3        | 12,2        | 41                       | 59         | 21         | 11,0                  | - / -                | - / -                     | 22065                       | 0,0                     |
| 28                  | -                         | 15,6                     | 20,1        | 11,2        | 41                       | 60         | 24         | 8,8                   | - / -                | - / -                     | 14032                       | 0,0                     |
| 29                  | -                         | 15,0                     | 18,6        | 11,3        | 47                       | 64         | 28         | 9,9                   | - / -                | - / -                     | 13092                       | 0,0                     |
| 30                  | -                         | 14,8                     | 18,7        | 10,9        | 56                       | 73         | 29         | 8,7                   | - / -                | - / -                     | 15526                       | 0,0                     |
| Mensal              | -                         | 17,8                     | 22,3        | 13,3        | 50                       | 70         | 25         | 10,5                  | - / -                | -                         | 578403                      | 1,5                     |
| Max                 | -                         | 24,7                     | <u>30,3</u> | 19,1        | 86                       | 93         | 50         | 14,1                  | - / -                | - / -                     | 24930                       | <u>0,4</u>              |
| Min                 | -                         | 14,6                     | 17,1        | <u>9,3</u>  | 9                        | 23         | 2          | 8,1                   | - / -                | - / -                     | 1663                        | 0,0                     |
| Número de dias com: |                           | Max ≥ 30 °C: <u>2</u>    |             |             | Max ≥ 25 °C: <u>7</u>    |            |            | Min ≥ 20 °C: <u>0</u> |                      | Min ≤ 0 °C: <u>0</u>      |                             |                         |
|                     |                           | Prec. ≥ 0,1 mm: <u>9</u> |             |             | Prec. ≥ 1,0 mm: <u>0</u> |            |            |                       |                      | Prec. ≥ 10,0 mm: <u>0</u> |                             |                         |

Delegação Regional da Madeira - Rua do Lazareto nº 37, 39 - 9060-019 Funchal

Instituto Português do Mar e da Atmosfera, I.P.

Rua C – Aeroporto de Lisboa

1749-077 Lisboa – Portugal

Tel: (+351) 21 844 7000

Fax: (+351) 21 840 2370

url: [www.ipma.pt](http://www.ipma.pt)

email: [info@ipma.pt](mailto:info@ipma.pt)

## Anexo II – Ficha técnica do ERGER



# ERGER

## 20L

(20°C) – 25 Kg MASA NETA

**ABONO CE – SOLUCIÓN DE ABONO NITROGENADO CON CALCIO (CaO)**  
**RIQUEZAS GARANTIZADAS p/p (p/v):** Nitrógeno (N) total: 15,0% (187,5 g/l); Nitrógeno (N) nítrico: 5,8% (72,5g/l); Nitrógeno (N) amoniacal: 3,1% (38,75 g/l); Nitrógeno (N) ureico (pobre en biuret): 6,1% (76,25 g/l); Óxido di calcio (CaO) soluble en agua: 4,7% (58,75g/l). **FORMULACIÓN:** líquida.

**MODALIDAD Y DOSIFICACIÓN**  
**CEREZO** – 5-6 l/100 l de solución, tratar 45 (±5) días antes de la apertura de yemas (estadio “B”, yema hinchada). Mojar bien la planta (se aconseja utilizar 1000-1500 l de solución por hectárea en función de las dimensiones de la planta). Asociar ACTIV ERGER 8-10 l/100 l de solución.  
**UVA DE MESA** – 6-7 l/100 l de solución, tratar 60±5 días antes de la apertura de yemas (yema terminal algodonosa). Bañar de manera uniforme las ramas (se aconseja utilizar 400-600 l de solución por hectárea en función de la maquinaria utilizada y de la forma de la planta). Asociar ACTIV ERGER 16-20 l/100 l de solución.  
**MELOCOTÓN** – (Sevilla 2; UFO 3; UFO 4): 3 l/100 l de solución, tratar 40 (±5) días antes de la apertura de yemas, a utilizar exclusivamente para las variedades indicadas en paréntesis. Mojar de manera uniforme las ramas sin goteo, se aconseja utilizar 600-700 l de solución por hectárea en función de las dimensiones de la planta, no utilizar en plantas jóvenes o débiles. Asociar ACTIV ERGER 5 l/100 l de solución.  
**NECTARINA** – (Trini; Garcia; Gasteira; Early May): 3 l/100 l de solución, tratar 40 (±5) días antes de la apertura de yemas, a utilizar exclusivamente para las variedades indicadas en paréntesis. Mojar de manera uniforme las ramas sin goteo, se aconseja utilizar 600-700 l de solución por hectárea en función de las dimensiones de la planta, no utilizar en plantas jóvenes o débiles. Asociar ACTIV ERGER 5 l/100 l de solución.

**CARACTERÍSTICAS:** ERGER es un producto Valagro para la interrupción de la dormancia. El producto complementa en el proceso fisiológico de la dormancia en los cultivos de cerezo, melocoton, nectarina (exclusivamente para las variedades indicadas en etiqueta) y vid, la acumulación de horas frío en el caso que tal condición no sea satisfecha por las condiciones climáticas locales, reduciendo la falta de homogeneidad de la brotación y floración en la planta, y entre las diferentes plantas. ERGER determina además:  
**CEREZO:** un notable anticipo de la brotación, floración y maduración de las drupas.  
**MELOCOTÓN y NECTARINA** (exclusivamente para las variedades indicadas en etiqueta): un notable anticipo de la brotación, floración y maduración de las drupas.  
**VID:** un notable anticipo de brotación y de la maduración, y reducción del número de yemas ciegas, con el consiguiente aumento de producción; apertura de yemas laterales en el leño viejo con la consiguiente posibilidad de rejuvenecimiento de la planta.  
**ERGER debe ser asociado con ACTIV ERGER.**



Where science serves nature

4243213F21P1EF 00

**HOMOGENEIZAR CUIDADOSAMENTE EL PRODUCTO ANTES DE UTILIZARLO.**  
 El producto no presenta problemas de conservación si se almacena a una temperatura comprendida entre 0 y 35°C. En el caso que el producto se vea envuelto en un incendio se deben utilizar abundantes cantidades de agua.

MADE IN ITALY




## Anexos III – Ficha técnica do ACTIV ERGER

# ACTIV ERGER

## 20L

25,6 Kg massa netta, net mass, masa neta, masse nette, masa líquida, neto masa, masa netă, masa netto

### ITALIANO

**Attivatore minerale di ERGER ad elevato contenuto di calcio ed azoto**

**DOSI DI IMPIEGO:** associato ad ERGER: Ciliegio: 8L/100L; Uva da tavola: 16L/100L; ACTINIDIA 9L/100L

**CONCIME CE Soluzione di concime azotato con calcio (CaO)**

**COMPOSIZIONE:** p/p (p/v): Azoto (N) totale: 15,0% (192,75 g/L); Azoto (N) nitrico: 9,0% (115,65 g/L); Azoto (N) ammoniacale: 6,0% (77,1 g/L); Ossido di calcio (CaO) solubile in acqua: 6,5% (83,53 g/L).

**FORMULAZIONE:** liquida

Omogeneizzare accuratamente il prodotto prima di ogni prelievo e prima dell'utilizzo.

Il prodotto se immagazzinato a temperatura tra 0°C e 35°C non presenta problemi di conservazione. In caso di incendio in cui il prodotto venga coinvolto utilizzare acqua in abbondanza.

### ENGLISH

**ERGER mineral activator with high calcium and nitrogen content**

**TIMING AND RATE OF APPLICATION:** associated with ERGER: Cherry: 8L/100L; Vines: 16L/100L

**EC FERTILISER Nitrogen fertiliser solution with calcium (CaO)**

**COMPOSITION w/w (w/v):** Total nitrogen (N) 15,0% (192,75 g/L); Nitric nitrogen (N) 9,0% (115,65 g/L); Ammoniacal nitrogen (N): 6,0% (77,1 g/L); Water soluble calcium oxide (CaO) 6,5% (83,53 g/L).

**FORMULATION:** liquid

Thoroughly mix the product before use. If stored between 0°C and 35°C the product does not have any storage problems. In case of fire use plenty of water.

### FRANÇAIS

**ENGRAIS CE Solution d'engrais azotée contient du calcium (CaO)**

**COMPOSITION GARANTIE p/p (p/v):** Azote (N) total 15,0% (192,75 g/L); Azote (N) nitrique 9,0% (115,65 g/L); Azote (N) ammoniacal 6,0% (77,1 g/L); Oxyde de calcium (CaO) soluble dans l'eau 6,5% (83,53 g/L).

**CARACTÉRISTIQUES:** engrais azoté à élevée teneur en calcium, pour utiliser associé avec ERGER pour l'interruption de la dormance. L'utilisation d'ACTIV ERGER est nécessaire pour maintenir avec de l'azote et du calcium la remarquable augmentation du métabolisme induit par l'application de ERGER.

**FORMULATION :** Liquide

**MODO ET DOSE D'EMPLOI:** associé au ERGER: Cerisier: 7L/100L d'eau; Vigne: 16L/100L d'eau.

Homogénéiser le produit soigneusement avant de chaque prélèvement et avant de l'utilisation. Si le produit est emmagasiné à températures comprises entre 0°C et 35°C ne présente pas problèmes de conservation. En cas d'incendie dans lequel le produit est impliqué utiliser de l'eau en abondance. P102 Tenir hors de portée des enfants. P270 Ne pas manger, boire ou fumer en manipulant ce produit.

### HRVATSKI

**Mineralni aktivator ERGER s visokim sadržajem kalcija i dušika**

**DOZE ZA PRIMJENU:** povezano s aktivatorom ERGER: trešnja: 8L/100L; stolno grožđe: 16L/100L.

**GNOJIVO EU Otopina dušikovog gnojiva s kalcijem (CaO)**

**SASTAV:** m/m (m/v): dušik (N) ukupno: 15,0% (192,75 g/L); nitratni (N) dušik: 9,0% (115,65 g/L); amonijski dušik (N): 6,0% (77,1 g/L); kalcijev oksid (CaO) topiv u vodi: 6,5% (83,53 g/L). **FORMULACIJA:** tekuća

Temeljito promiješajte proizvod prije svakog uzimanja i prije korištenja. Ako se proizvod skladišti na temperaturi između 0 °C i 35 °C nema problema s očuvanjem. U slučaju požara U slučaju požara kojim je proizvod zahvaćen, koristite obilnu količinu vode.

### ESPAÑOL

**ABONO CE - Solución de abono nitrogenado con calcio (CaO)**

**RIQUEZAS GARANTIZADAS p/p (p/v):** Nitrógeno (N) total 15,0% (192,75 g/L); Nitrógeno (N) nítrico 9,0% (115,65 g/L); Nitrógeno (N) amoniacal 6,0% (77,1 g/L); Óxido cálcico (CaO) soluble en agua 6,5% (83,53 g/L).

**CARACTERÍSTICAS:** abono nitrogenado con elevado contenido en calcio, para utilizarse en asociación con ERGER® para la interrupción de la dormancia. La utilización de ACTIV ERGER® se hace necesaria para soportar oportunamente con nitrógeno y calcio el notable aumento metabólico inducido del tratamiento con ERGER®. **FORMULACION:** Líquida

**MODO Y DOSIS DE EMPLEO:** Asociado al ERGER: Cerezo: 8L/100L. Vid:16L/100L.

Homogeneizar cuidadosamente el producto antes de utilizarlo. El producto no presenta problemas de conservación si se almacena a una temperatura comprendida entre 0°C y 35°C. En el caso que el producto se vea envuelto en un incendio se deben utilizar abundantes cantidades de agua. P102 Mantener fuera del alcance de los niños. P270 No comer, beber ni fumar durante su utilización.

### PORTUGUES

**ADUBO CE - Solução azotada de adubos com cálcio (CaO)**

**RIQUEZAS GARANTIDAS p/p (p/v):** Azoto (N) total 15,0% (192,75 g/L); Azoto (N) nítrico 9,0% (115,65 g/L); Azoto (N) amoniacal 6,0% (77,1 g/L); Óxido de cálcio (CaO) solúvel em água 6,5% (83,53 g/L).

**CARACTERÍSTICAS:** Adubo azotado com elevado conteúdo de cálcio, para utilizar-se em associação com ERGER para a interrupção da dormência.

A utilização de ACTIV ERGER se torna necessária suportar oportunamente com azoto e cálcio o notável aumento metabólico induzido do tratamento com ERGER.

**MODO E DOSIS DE EMPREGO:** Associado ao ERGER: Cereja: 8L/100L; Videira: 16L/100L. **FORMULAÇÃO:** Líquida

Homogeneizar esmeradamente o produto antes de cada saque e antes da utilização.

O produto, se armazenado em temperatura com preendida entre 0 e 35°C, não apresenta problemas de conservação. Em caso de incêndio, com o envolvimento do produto, utilizar água em grande abundância. P102 Manter fora do alcance das crianças. P270 Não comer, beber ou fumar durante a utilização deste produto.

### ROMÂNĂ

**Activator minereu ERGER cu conținut ridicat de calciu și de azot**

**DOZAJ SI MOD DE FOLOSIRE:** asociat cu ERGER: cireș 8L/100L; viță de vie: 16L/100L

**ÎNGRĂȘĂMÂNT CE - Îngrășământ cu azot în soluție, conținând calciu (CaO)**

**COMPOZIȚIE g/m (g/v):** Azot (N) total 15,0% (192,75 g/l); Azot (N) nitric 9,0% (115,65 g/l); Azot (N) amoniacal 6,0% (77,1 g/l); Oxid de calciu (CaO) solubil în apă 6,5% (83,53 g/l). **FORMA:** lichid După o perioadă mai lungă de depozitare, înainte de utilizare sau de prelevarea unei probe, este necesară omogenizarea conținutului.

Produsul se păstrează la temperaturi cuprinse între 0°C și 35°C, fără a suferi modificări. În caz de incendiu în care este implicat acest produs, pentru stingerea acestuia se utilizează apă din abundență.

### POLSKI

**Aktywator ERGER mineralne o wysokiej zawartości azotu i wapnia**

**PRZECZOWYWANIE:** Związane z ERGER: wiśnia: 8L/100L; winorośl: 16L/100L. NAWOZ

WE - Roztwór nawozu azotowego z wapnia(CaO) SKŁAD waga/waga (waga/objętość): Azot (N) całkowity 15,0% (192,75 g/l); Azot (N) azotanowy 9,0% (115,65 g/l); Azot (N) amonowy 6,0% (77,1 g/l); Tlenek wapnia (CaO) rozpuszczalny 6,5% (83,53 g/l).

**FORMULACJA:** płynna W razie długiego przechowywania należy dokonać starannej homogenizacji przed każdorazowym pobraniem i zastosowaniem.

Produkt nie wykazuje żadnych problemów konserwacji jeśli przechowywany jest w temperaturze od 0°C do +35°C. W razie pożaru obejmującego produkt należy ugasić go obfitą ilością wody.



Where science serves nature



applicazione sul bruno, wood application, aplicación en fase leñosa, application sur bois, aplicação de madeira, aplikacje drwa, zastosowanie drewna, aplicare din lemn

4161513F92PIEF 01

## Anexo IV – Estatística Descritiva da Produção e Horas de frio obtidas pelo modelo de Taiwan

Tabela A 1 - Estatísticas descritivas da produção e das horas de frios no município de Câmara de Lobos

| Estatísticas Descritivas |    |           |           |             |               |
|--------------------------|----|-----------|-----------|-------------|---------------|
|                          | N  | Mínimo    | Máximo    | Média       | Desvio padrão |
| Produção                 | 12 | 1852035,0 | 2808965,0 | 2170171,083 | 280738,4679   |
| HF                       | 12 | 549,5     | 830,5     | 700,292     | 98,7496       |
| N válido (de lista)      | 12 |           |           |             |               |

<sup>a</sup> Município = C. de Lobos

Tabela A 2 - Estatísticas descritivas da produção e das horas de frios no município de Santana

|                     | N  | Mínimo   | Máximo   | Média      | Desvio padrão |
|---------------------|----|----------|----------|------------|---------------|
| Produção            | 12 | 136546,0 | 244754,0 | 197413,750 | 37181,0555    |
| HF                  | 12 | 408,0    | 887,5    | 597,083    | 140,7833      |
| N válido (de lista) | 12 |          |          |            |               |

<sup>a</sup> Município = Santana

Tabela A 3 - Estatísticas descritivas da produção e das horas de frios no município de São Vicente

|                     | N  | Mínimo    | Máximo    | Média       | Desvio padrão |
|---------------------|----|-----------|-----------|-------------|---------------|
| Produção            | 12 | 1111647,0 | 1648441,0 | 1396233,917 | 193647,9316   |
| HF                  | 12 | 448,0     | 724,0     | 574,458     | 91,5670       |
| N válido (de lista) | 12 |           |           |             |               |

<sup>a</sup> Município = S. Vicente

## Anexos IV – Análises Químicas do campo de ensaio



### ANÁLISES QUÍMICAS

Laboratório de análises agrícolas e ambientais

Rua da Rodovia de Covas, n.º 961, 4810-565 Urgezes - Guimarães  
Tel: +351 253 524 157  
Email: info@l2analisesquimicas.com

#### BOLETIM DE ANÁLISES N.º 2023-13557

**N.º Amostra:** 2023-13557  
**Referência do cliente:** Não especificada  
**Produto:** Solos  
**Cultura:** Vinha  
**Estado:** Instalada  
**Produção esperada:** 15 - 20 t/ha  
**Local de amostragem:** Sercial - Pico

**João Paulo Santos**

Rua António Prócoro de Macedo Júnior, n.º 106  
9325-018 Câmara de Lobos  
Portugal

NIF: 181594862

**Localização geográfica:**

**Concelho:** Câmara de Lobos

**Freguesia:** Estreito de Câmara de Lobos

**Amostragem**  
18-10-2023

**Receção**  
18-10-2023

**Início de ensaios**  
18-10-2023

**Conclusão de ensaios**  
06-11-2023

Parâmetro  
Método de ensaio / Técnica analítica

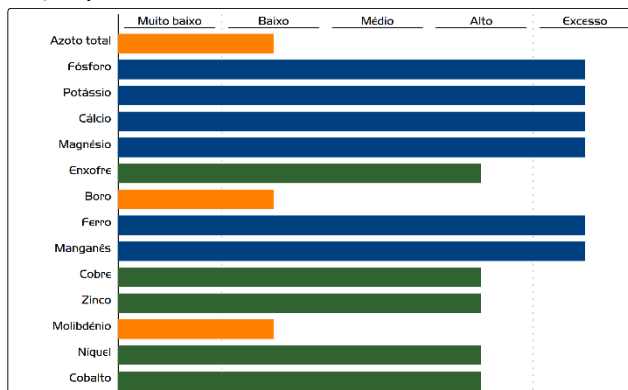
Resultado

Unidades

Interpretação

Recomendação /  
Comentário

#### Interpretação dos resultados



#### Valores de referência para terras

| Elemento extraído em Mechlich 3          | Gama ótima (valor aproximado) |
|------------------------------------------|-------------------------------|
| Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) | 98 a 162 mg/kg                |
| Potássio (K <sub>2</sub> O)              | 74 a 140 mg/kg                |
| Cálcio (CaO)                             | 819 a 1047 mg/kg              |
| Magnésio (MgO)                           | 100 a 205 mg/kg               |
| Enxofre                                  | > 10 mg/kg                    |
| Ferro                                    | 50 a 100 mg/kg                |
| Manganês                                 | 25 a 100 mg/kg                |
| Boro                                     | 0,5 a 5 mg/kg                 |
| Cobre                                    | 0,5 a 20 mg/kg                |
| Zinco                                    | 2,5 a 50 mg/kg                |
| Molibdénio                               | 0,5 a 5,0 mg/kg               |
| Níquel                                   | > 2 mg/kg                     |
| Cobalto                                  | > 0,5 mg/kg                   |

A categoria "Alto" é considerada *fertilidade ótima* para produções normais. A aplicação de adubos em solos com este nível do nutriente não aumenta significativamente o rendimento da cultura.  
Nas categorias "Muito baixo", "Baixo" e "Médio", a aplicação de adubos pode aumentar o rendimento da cultura.  
A categoria "Excesso" indica a possibilidade de problemas com desequilíbrios nutricionais na cultura ou bloqueios de elementos devido ao pH.

(1) Ensaio contratado acreditado; (2) Ensaio contratado não acreditado; (LO) Limite de Quantificação do Método;  
As informações de identificação da amostra e data de colheita são da exclusiva responsabilidade do cliente, não podendo ser alteradas posteriormente à emissão do boletim, exceto quando autorizado pela Direção do Laboratório AZ Análises Químicas, Lda. Amostragem não incluída no âmbito da Acreditação.  
Os resultados obtidos referem-se exclusivamente à amostra ensaiada. O Laboratório não contabiliza a incerteza do método na declaração de conformidade;  
Reprodução parcial proibida, exceto quando autorizado por escrito pela Direção do Laboratório AZ Análises Químicas, Lda.

## Anexo V – Teste de Correlação entre horas de frio e produtividade

Tabela A 4 - Tabelas da correlação de Person entre Produção e Horas de frio em Câmara de Lobos, Santana e São Vicente.

| Correlações <sup>a</sup> |                       |          |       |
|--------------------------|-----------------------|----------|-------|
|                          |                       | Producao | HF    |
| Produção                 | Correlação de Pearson | 1        | ,594* |
|                          | Sig. (2 extremidades) |          | ,041  |
|                          | N                     | 12       | 12    |
| HF                       | Correlação de Pearson | ,594*    | 1     |
|                          | Sig. (2 extremidades) | ,041     |       |
|                          | N                     | 12       | 12    |

\*. A correlação é significativa no nível 0,05 (2 extremidades).

a. Município = C. de Lobos

|          |                       | Producao | HF   |
|----------|-----------------------|----------|------|
| Produção | Correlação de Pearson | 1        | ,210 |
|          | Sig. (2 extremidades) |          | ,512 |
|          | N                     | 12       | 12   |
| HF       | Correlação de Pearson | ,210     | 1    |
|          | Sig. (2 extremidades) | ,512     |      |
|          | N                     | 12       | 12   |

b. Município = Santana

|          |                       | Producao | HF   |
|----------|-----------------------|----------|------|
| Produção | Correlação de Pearson | 1        | ,289 |
|          | Sig. (2 extremidades) |          | ,362 |
|          | N                     | 12       | 12   |
| HF       | Correlação de Pearson | ,289     | 1    |
|          | Sig. (2 extremidades) | ,362     |      |
|          | N                     | 12       | 12   |

c. Município = S. Vicente

## Anexo VI – Análise de variância (ANOVA) para o modelo de regressão entre Produção e Horas de Frio na estação de Câmara de Lobos

Tabela A 5 - Tabela da estatística descritiva da produção vitícola em Câmara de Lobos entre 2012 e 2023

| Estatísticas de resíduos             |             |            |            |             |    |
|--------------------------------------|-------------|------------|------------|-------------|----|
|                                      | Mínimo      | Máximo     | Média      | Erro Desvio | N  |
| Valor previsto                       | 1915316,50  | 2390237,50 | 2170171,08 | 166897,695  | 12 |
| Erro Valor previsto                  | -1,527      | 1,319      | ,000       | 1,000       | 12 |
| Erro padrão do valor previsto        | 68365,289   | 128661,383 | 93973,487  | 23622,308   | 12 |
| Valor previsto ajustado              | 1851359,00  | 2467697,50 | 2168263,40 | 180017,667  | 12 |
| Resíduo                              | -370904,156 | 493092,281 | ,000       | 225741,548  | 12 |
| Erro Resíduo                         | -1,567      | 2,083      | ,000       | ,953        | 12 |
| Resíduos Resíduo                     | -1,764      | 2,262      | ,004       | 1,043       | 12 |
| de Estud.                            | -470335,563 | 581900,625 | 1907,683   | 270443,503  | 12 |
| Resíduos de Estud.                   | -2,017      | 3,072      | ,048       | 1,245       | 12 |
| Mahal. Distância                     | ,001        | 2,332      | ,917       | ,901        | 12 |
| Distância de Cook                    | ,002        | ,461       | ,100       | ,162        | 12 |
| Valor de ponto alavanca centralizado | ,000        | ,212       | ,083       | ,082        | 12 |

a. Variável Dependente: Produção

Tabela A 6 – Análise de Variância (ANOVA) para o modelo de regressão entre Produção e Horas de Frio (UF) na estação de Câmara de Lobos.

| ANOVA <sup>a,b</sup> |           |            |    |                |       |      |
|----------------------|-----------|------------|----|----------------|-------|------|
|                      |           | Soma dos   |    |                |       |      |
| Modelo               |           | Quadrados  | df | Quadrado Médio | F     | Sig. |
| 1                    | Regressão | 306450,223 | 1  | 306450,223     | 5,467 | ,041 |
|                      | Resíduo   | 560507,413 | 10 | 56050,741      |       |      |
|                      | Total     | 866957,637 | 11 |                |       |      |

a. Estação = C. Lobos

b. Variável Dependente: Produção

c. Preditores: (Constante), UF

## Anexo VII – Resumo dos Índices Bioclimáticos

Tabela A 7 - Tabela resumo do cálculo dos Índices Bioclimáticos (Winkler, Huglin e Índice de Frescura de noite) anuais nos Municípios de Câmara de Lobos, Santana e São Vicente

| Ano   | Câmara de Lobos |        |      | Santana |        |          | São Vicente |        |      |
|-------|-----------------|--------|------|---------|--------|----------|-------------|--------|------|
|       | Winkler         | Huglin | IF   | Winkler | Huglin | N. Frias | Winkler     | Huglin | IF   |
| 2011  | 1933,4          | 1634,2 | 16,3 | 2023,8  | 1704,5 | 18,3     | 2171,6      | 1839,7 | 17,2 |
| 2012  | 2123,9          | 1837,0 | 16,8 | 2037,2  | 1860,7 | 16,8     | 2353,0      | 2022,7 | 18,6 |
| 2013  | 2009,0          | 1749,7 | 16,0 | 1975,9  | 1681,8 | 17,6     | 2125,0      | 1807,4 | 16,9 |
| 2014  | 1953,2          | 1640,6 | 16,5 | 2159,8  | 1825,1 | 18,7     | 2233,0      | 1879,3 | 17,6 |
| 2015  | 1942,2          | 1691,8 | 17,1 | 2136,0  | 1849,9 | 18,6     | 2181,6      | 1888,6 | 17,8 |
| 2015  | 1931,9          | 1661,1 | 16,4 | 2135,8  | 1827,2 | 18,8     | 2085,8      | 1784,4 | 18,2 |
| 2016  | 2052,0          | 1738,4 | 15,9 | 2143,3  | 1835,9 | 18,3     | 2188,8      | 1871,8 | 17,5 |
| 2017  | 1740,7          | 1474,0 | 16,0 | 1956,7  | 1680,6 | 18,7     | 2012,1      | 1722,2 | 17,5 |
| 2018  | 1884,6          | 1602,0 | 16,0 | 2029,1  | 1742,2 | 18,1     | 2107,7      | 1798,0 | 17,5 |
| 2019  | 1966,4          | 1695,3 | 16,8 | 2071,6  | 1807,8 | 18,6     | 2006,1      | 1860,0 | 17,6 |
| 2020  | 1926,8          | 1630,3 | 17,0 | 2096,2  | 1787,2 | 18,9     | 2075,5      | 1772,2 | 18,0 |
| 2021  | 1884,9          | 1599,0 | 16,8 | 1943,0  | 1638,4 | 18,9     | 2054,8      | 1737,1 | 17,8 |
| 2022  | 2230,3          | 1848,6 | 17,2 | 2310,5  | 1931,3 | 19,2     | 2383,3      | 2007,0 | 18,3 |
| 2023  | 1933,4          | 1634,2 | 16,3 | 2023,8  | 1704,5 | 18,3     | 2171,6      | 1839,7 | 17,2 |
| Média | 1967,6          | 1677,1 | 16,5 | 2078,3  | 1782,5 | 18,4     | 2152,2      | 1845,4 | 17,7 |
| D. P. | 119,9           | 101,3  | 0,5  | 101,0   | 86,2   | 0,6      | 117,7       | 91,8   | 0,5  |

## Anexos VIII – Teste de comparação das médias entre os diferentes tratamentos no abrolhamento dos gomos deixados na poda

Tabela A 8 - Teste de normalidade do número de videiras em que atingiram 50% dos gomos dormentes evoluídos, deixados à poda, entre tratamentos.

| Tratamentos            | Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup> |    |       | Shapiro-Wilk |    |       |
|------------------------|---------------------------------|----|-------|--------------|----|-------|
|                        | Estatística                     | gl | Sig.  | Estatística  | gl | Sig.  |
| ABA (7,5%) + BAP (10%) | .                               | 32 | .     | .            | 32 | .     |
| EG (7%) + Ac (16%)     | ,539                            | 32 | <,001 | ,172         | 32 | <,001 |
| Controlo               | ,539                            | 32 | <,001 | ,172         | 32 | <,001 |
| BAP (10%)              | .                               | 32 | .     | .            | 32 | .     |
| ABA (7,5%)             | ,402                            | 32 | <,001 | ,615         | 32 | <,001 |

a Correlação de Significância de Lilliefors

Tabela A 9 - Comparação das médias da evolução dos gomos deixados à poda, pelo teste de Kruskal-Wallis, seguido do teste de Mann-Whitney.

|                                 |                        | Subconjunto |                |
|---------------------------------|------------------------|-------------|----------------|
|                                 |                        | 1           | 2              |
| Amostra <sup>a</sup>            | BAP (10%)              | 63,734      |                |
|                                 | Controlo               | 71,203      |                |
|                                 | EG (7%) + Ac (16%)     | 74,953      |                |
|                                 | ABA (7,5%) + BAP (10%) | 76,891      |                |
|                                 | ABA (7,5%)             |             | 115,719        |
| Estatística de teste            |                        | 2,316       | . <sup>b</sup> |
| Sig. (teste bilateral)          |                        | ,509        | .              |
| Sig. Ajustada (teste bilateral) |                        | ,509        | .              |

Subconjuntos homogêneos são baseados em significâncias assintóticas. O nível de significância é ,050.

Comparação das médias e desvios padrão (D. Padrão) da taxa de abrolhamento para cada tratamento, com um nível de significância de 0,05. As letras diferentes (a, b) indicam diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos, conforme determinado pelo teste de Kruskal-Wallis, seguido do teste de Mann-Whitney.

## Anexo IX – Teste de comparação das médias entre os diferentes tratamentos no abrolhamento dos gomos hibernantes

Tabela A 10 - Teste de normalidade (Kolmogorov-Smirnov<sup>a</sup> Shapiro-Wilk ) da evolução dos gomos hibernantes, entre tratamentos.

| Tratamentos                        | Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup> |    |       | Shapiro-Wilk |    |       |
|------------------------------------|---------------------------------|----|-------|--------------|----|-------|
|                                    | Estatística                     | gl | Sig.  | Estatística  | gl | Sig.  |
| G_hibernantes ABA (7,5%) + BAP (10 | ,228                            | 32 | <,001 | ,824         | 32 | <,001 |
| EG (7%) + Ac (16%)                 | ,169                            | 32 | ,020  | ,896         | 32 | ,005  |
| Controlo                           | ,204                            | 32 | ,002  | ,789         | 32 | <,001 |
| BAP (10%)                          | ,284                            | 32 | <,001 | ,777         | 32 | <,001 |
| ABA (7,5%)                         | ,184                            | 32 | ,007  | ,896         | 32 | ,005  |

a. Correlação de Significância de Lilliefors

Tabela A 11 - Comparação das médias da evolução dos gomos hibernantes, pelo teste de Kruskal-Wallis, seguido do teste de Mann-Whitney..

|                                 |                      | Subconjunto    |        |
|---------------------------------|----------------------|----------------|--------|
|                                 |                      | 1              | 2      |
| Amostra <sup>a</sup>            | ABA (7,5%) + BAP (10 | 52,297         |        |
|                                 | BAP (10%)            |                | 79,688 |
|                                 | Controlo             |                | 81,594 |
|                                 | EG (7%) + Ac (16%)   |                | 91,188 |
|                                 | ABA (7,5%)           |                | 97,734 |
| Estatística de teste            |                      | . <sup>b</sup> | 3,104  |
| Sig. (teste bilateral)          |                      | .              | ,376   |
| Sig. Ajustada (teste bilateral) |                      | .              | ,376   |

Subconjuntos homogêneos são baseados em significâncias assintóticas. O nível de significância é ,050.