

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
Programa de Pós- Graduação em Agronomia
Área de Concentração em Fruticultura de Clima Temperado



Tese

Influência da temperatura nos aspectos reprodutivos da oliveira (*Olea europaea* L.) na Região Sul do Rio Grande do Sul

Flávia Lourenço da Silva

Capão do Leão, 2025

Flávia Lourenço da Silva

Influência da temperatura nos aspectos reprodutivos da oliveira (*Olea europaea* L.) na Região Sul do Rio Grande do Sul

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências.

Orientador: Flávio Gilberto Herter

Coorientador: Vagner Brasil Costa

Capão do Leão, 2025

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação da Publicação

S586i Silva, Flávia Lourenço da

Influência da temperatura nos aspectos reprodutivos da oliveira (*Olea europaea* L.) na Região Sul do Rio Grande do Sul [recurso eletrônico] / Flávia Lourenço da Silva ; Flávio Gilberto Herter, orientador ; Vagner Brasil Costa, coorientador. — Pelotas, 2025.
134 f. : il.

Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2025.

1. Fenologia. 2. Exigências térmicas. 3. Receptividade estigmática. 4. Boro. I. Herter, Flávio Gilberto, orient. II. Costa, Vagner Brasil, coorient. III. Título.

CDD 634.6391

Elaborada por Ubirajara Buddin Cruz CRB: 10/901

Flávia Lourenço da Silva

Influência da temperatura nos aspectos reprodutivos da oliveira (*Olea europaea* L.)
na Região Sul do Rio Grande do Sul

Tese aprovada, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Ciências,
Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel,
Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 30 de junho de 2025

Banca examinadora:

Prof. Dr. Flávio Gilberto Herter (Orientador)

Doutor em Botânica e Fisiologia Vegetal pela Université Blaise Pascal Clermont
Ferrand

Profa. Dra. Juliana Aparecida Fernando

Doutora em Biologia Vegetal pela Universidade Estadual de Campinas

Profa. Dra. Camila Schwartz Dias

Doutora em Ciências pela Universidade Federal de Pelotas

Dra. Juliana Martins Lima

Doutora em Produção Vegetal pela Universidade Estadual de Santa Catarina

Dra. Andressa Vigh Schiavon

Doutora em Ciências pela Universidade Federal de Pelotas

Dra. Elsa Kuhn Klumb

Doutora em Fisiologia Vegetal pela Universidade Federal de Pelotas

Dedico este trabalho à minha família, Ilga, Carlos, Alexandra, Adriana e Rafael e aos meus amigos pelo apoio e amor incondicionais em todos os momentos da minha vida.

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço a Deus pela dádiva da vida, pela saúde, pela resiliência e por todos os ensinamentos concedidos ao longo desta jornada.

A minha família Ilga, Carlos Rogério, Alexandra, Adriana e Rafael, por estarem sempre presentes nos momentos em que eu mais precisei, pois eu sei da minha autossuficiência. Por acreditarem no meu potencial e por terem creditado confiança na minha trajetória, sempre me dando suporte emocional, amor e carinho.

Agradeço ao meu orientador Flávio Gilberto Herter pela confiança depositada na execução deste trabalho, pelos conhecimentos profissionais e pessoais, pelo seu tratamento humanizado e sensível que permitiram que esta caminhada se tornasse mais leve durante esses quatro anos de trabalho.

Agradeço ao meu coorientador Vagner Brasil Costa pela confiança no desenvolvimento deste trabalho, e de outros que contribuíram positivamente para a minha formação profissional e pessoal, pelos puxões de orelha que me incentivaram ao longo destes quatro anos.

Agradeço aos meus amigos adquiridos e somados nesta trajetória, que permitiram que estes quatro anos fossem mais leves e produtivos, me auxiliando tanto na execução dos trabalhos quanto no suporte emocional, estando presentes em todos os momentos, em especial a Andressa Schiavon, Juliana Martins, Jennifer Specht, Gabrielle Leivas, Mateus Bernardi, Camila Dias, Elsa Klumb, Janaina Gouveia, Angelica Voigt e Letícia Dummer.

Agradeço a Dr. Maria do Carmo e ao Everton pelo acolhimento no laboratório de melhoramento genético de pessegueiro da Embrapa Clima Temperado e pelos ensinamentos metodológicos.

Agradeço ao Laboratório de Zoologia de Invertebrados do Departamento de Zoologia, Ecologia e Genética (DZEG) do Instituto de Biologia, especialmente o Prof. Edison Zefa pelo suporte prestado, e pelo empréstimo dos equipamentos para a realização de avaliações presentes neste estudo.

A Universidade Federal de Santa Catarina (Udesc) pelo acolhimento no meu primeiro ano de doutorado.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), por conceder bolsa de estudos.

Resumo

SILVA, Flávia Lourenço da. **Influência da temperatura nos aspectos reprodutivos da oliveira (*Olea europaea* L.) na Região Sul do Rio Grande do Sul**. Orientador: Flávio Gilberto Herter. 2025. **134f**. Tese (Doutorado em Agronomia)- Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2025.

Diante da importância da olivicultura no Rio Grande do Sul, responsável por aproximadamente 60% da produção nacional, este estudo teve como objetivo determinar os aspectos fenológicos e as exigências térmicas de cultivares de oliveira na Região Sul do Rio Grande do Sul, bem como avaliar os efeitos da temperatura na receptividade estigmática, na germinação do pólen e no crescimento do tubo polínico. Buscou-se, ainda, analisar a aplicação de boro, em diferentes concentrações, para mitigar os efeitos da temperatura sobre esses dois últimos processos. A tese compõe-se de quatro artigos, sendo o primeiro a caracterização fenológica das principais cultivares de oliveira em Dom Pedrito (RS), entre 2015 e 2024, relacionando aos estádios fenológicos e as condições térmicas locais. Foram determinadas a temperatura base inferior (T_b) e a soma térmica acumulada (STa) para cada estádio. Os principais resultados neste artigo foram que as cultivares Arbequina e Koroneiki apresentaram menores valores de T_b e ciclos fenológicos mais longos, enquanto Picual exigiu maior T_b , maior soma térmica acumulada (STa), e completou seu ciclo em menor tempo. No segundo artigo avaliou-se as exigências térmicas de quatro cultivares de oliveira (Arbequina, Koroneiki, Picual e Arbosana) no período de 2015 a 2024, com base nos estádios de brotação e floração. Foram determinadas as horas de frio (HF), unidades de frio (UF) e soma térmica acumulada. A partir dos resultados verificou-se que o acúmulo de frio variou entre 136 e 419 HF, enquanto a STa para a brotação e floração variou entre 61,50 e 242,80°C.dia⁻¹. Arbequina e Koroneiki exigiram menos frio e apresentaram maior STa , já 'Picual' demandou mais frio e menor STa . Invernos amenos anteciparam os eventos fenológicos, e a insuficiência de frio comprometeu a sincronia floral. O estudo reforça a importância da escolha adequada de cultivares e do manejo térmico para manter a produtividade em regiões subtropicais. No artigo três, avaliou-se os efeitos da temperatura (18 °C e 28 °C) e do tempo de exposição dos estigmas (24; 48; 72 e 96h) sobre a receptividade estigmática em cultivares de oliveira (Arbequina, Koroneiki e Picual), analisando a aderência, germinação do pólen e penetração dos tubos polínicos, realizado sob condições controladas na região Sul do Brasil (2023–2024). Os resultados indicaram que 'Picual' apresentou maior estabilidade e desempenho reprodutivo. A 28 °C, observou-se prolongamento da receptividade e maior germinação do pólen. 'Koroneiki' e 'Arbequina' mostraram maior sensibilidade térmica. Para o artigo quatro, foi avaliado, *in vitro*, os efeitos de diferentes temperaturas (12°C, 22°C, 25°C e 12-22°C) e concentrações de boro (0; 100; 150; 200; 250 e 300 mg·L⁻¹) na germinação do pólen e crescimento do tubo polínico das cultivares de oliveira Arbequina e Manzanilla. A germinação do pólen e o crescimento do tubo polínico em oliveiras variam conforme temperatura e concentrações de boro. 'Manzanilla' tolera baixas temperaturas e exige maiores concentrações; 'Arbequina' responde melhor a altas temperaturas e a concentrações moderadas. Doses acima de 200 mg·L⁻¹ são tóxicas, exigindo manejo específico por cultivar.

Palavras-chave: fenologia; exigências térmicas; receptividade estigmática; boro.

Abstract

SILVA, Flávia Lourenço da. **Influence of Temperature on the Reproductive Aspects of Olive Tree (*Olea europaea* L.) in the Southern Region of Rio Grande do Sul.** Advisor: Flávio Gilberto Herter. 2025. **135 pages.** Thesis (Doctorate in Agronomy) – Eliseu Maciel Faculty of Agronomy, Federal University of Pelotas, 2025.

The main objective of this work was to investigate the phenological aspects and thermal requirements of olive cultivars in the Southern Region of Brazil, as well as to evaluate the effects of temperature on stigma receptivity, pollen germination, and pollen tube growth. Additionally, it aimed to verify whether the application of boron at different concentrations could mitigate the effects of temperature on the latter two processes. The first article refers to the phenological characterization of the main olive cultivars in the southern region of Rio Grande do Sul between 2015 and 2024, relating the phenological stages to local thermal conditions. The base temperature (T_b) and accumulated thermal sum (STa) were determined for each stage. The cultivars Arbequina and Koroneiki showed lower T_b values and longer phenological cycles, while Picual required a higher T_b , accumulated more STa , and completed its cycle in less time. The second article evaluated the thermal requirements of four olive cultivars (Arbequina, Koroneiki, Picual, and Arbosana) between 2015 and 2024, focusing on the bud break and flowering stages. Chill hours (CH), chill units (CU), and accumulated thermal sum (STa) were determined. Results showed that chill accumulation ranged from 136 to 419 CH, while STa for bud break and flowering ranged from 61.50 to 242.80 °C·day⁻¹. Arbequina and Koroneiki required less chilling and presented higher STa , whereas Picual demanded more chilling and lower STa . Mild winters anticipated phenological events, and insufficient chilling compromised floral synchrony. The study reinforces the importance of proper cultivar choice and thermal management to maintain productivity in subtropical regions. The third article assessed the effects of temperature (18 °C and 28 °C) and stigma exposure time (24, 48, 72, and 96 hours) on stigma receptivity in olive cultivars (Arbequina, Koroneiki, and Picual), analyzing pollen adhesion, germination, and pollen tube penetration. Conducted under controlled conditions in Southern Brazil (2023–2024), results indicated that ‘Picual’ showed greater stability and reproductive performance. At 28 °C, stigma receptivity was prolonged, and pollen germination increased. ‘Koroneiki’ and ‘Arbequina’ showed greater thermal sensitivity. These data highlight the importance of thermal control to optimize olive fruit set. For the fourth article, in vitro effects of different temperatures (12 °C, 22 °C, 25 °C, and 12–22 °C alternation) and boron concentrations (0, 100, 150, 200, 250, and 300 mg·L⁻¹) on pollen germination and pollen tube growth of the olive cultivars Arbequina and Manzanilla were evaluated. Pollen germination and pollen tube growth in olive trees vary according to temperature and boron concentrations. ‘Manzanilla’ tolerates low temperatures and requires higher boron levels, while ‘Arbequina’ performs better at higher temperatures and moderate boron concentrations. Doses above 200 mg·L⁻¹ are toxic, requiring cultivar-specific management.

Keywords: phenology; thermal requirements; stigma receptivity; boron.

Sumário

1. Introdução	11
1.1. Importância Econômica da Oliveira	13
1.2. A olivicultura no Brasil	14
1.3. Floração da Oliveira	16
1.4. Fenologia da Oliveira	17
1.5. Influência da Temperatura no processo reprodutivo da oliveira	18
1.5.1. Exigências Térmicas- Horas de Frio e Soma Térmica acumulada	18
1.6. Temperatura na polinização e fertilização da Oliveira	19
1.6.1. Germinação do grão de pólen	19
1.6.2. Receptividade Estigmática	20
1.6.3. Utilização de Boro	21
Referências	22
2. Projeto de Pesquisa	29
Título: Biologia Reprodutiva da Oliveira (<i>Olea europea</i> L.) na região de Pelotas-RS	29
2.1. Antecedentes e Justificativa	29
2.1.1. Histórico e Economia	29
2.1.2. Condições Climáticas da Oliveira em sua Origem	30
2.2. Floração da Oliveira	31
2.2.1. Biologia Floral	31
2.2.2. Polinização e Fertilização	33
2.3. Viabilidade da Flor por um período maior (AVG)	35
2.4. Incompatibilidade das oliveiras	35
2.5. Determinação da Temperatura Base Inferior (T_b) e Soma Térmica (Graus Dias) em Pelotas e Soma Térmica (Graus Dias) em Dom Pedrito	36
2.6. Hipóteses	37
2.7. Objetivos	37
2.7.1. Objetivo Geral	37
2.7.2. Objetivos Específicos	38
2.8. Metas	38
2.9. Material e Métodos	38
2.9.1. Material Vegetal	38
Experimento 1- Biologia floral das cultivares de oliveira 'Arbequina' e 'Koroneiki' (<i>Olea europea</i> L.) nas condições de cultivo da Região Sul do Rio Grande do Sul	39

<i>Experimento 2- Relação de compatibilidade e período efetivo de polinização das cultivares de oliveira 'Arbequina' e 'Koroneiki' (Olea europea L.) nas condições de cultivo de Pelotas/RS</i>	43
<i>Experimento 3- Influência da aplicação de Retain (Aminoerovixinilglicina, AVG) no aumento de pegamento de frutos, longevidade da flor, inibição do etileno, produtividade e qualidade de azeite</i>	45
<i>Experimento 4- Estimativa da temperatura base e a influência da temperatura do ar no desenvolvimento reprodutivo de cultivares de oliveira em Dom Pedrito-RS</i>	46
2.10. Cronograma	50
2.11. Orçamento	50
Referências	50
3. Relatório do Trabalho de Campo	54
4. Artigos	58
Artigo 1- Fenologia, Temperatura Base Inferior e Soma Térmica das Oliveiras na Região Sudoeste do Rio Grande do Sul	59
Artigo 2- Exigências Térmicas e Impactos do Acúmulo de Frio na Fenologia de Cultivares de Oliveira (<i>Olea europaea</i> L.) no Sul do Brasil.....	80
Artigo 3- Receptividade estigmática de flores de oliveira (<i>Olea europaea</i> L.) submetidas ao estresse térmico em diferentes tempos antecedentes à polinização	89
Artigo 4- Efeitos da temperatura e aplicação de Boro <i>in vitro</i> no desempenho reprodutivo de duas Cultivares de Oliveira.....	105
Considerações Finais	119
Apêndices	121
Apêndice A- Média dos valores observados para cada estágio fenológico e cada cultivar, calculada a partir das quatro metodologias utilizadas para determinar as temperaturas base.	122
Apêndice B- Médias das temperaturas mínimas e máximas de dois meses, Setembro e Outubro, em uma série de dados de 12 anos.	123
Apêndice C- Artigo referente ao primeiro ano de doutorado, desenvolvido em Lages/SC..	124

1. Introdução

A oliveira (*Olea europaea* L.) é uma cultura de importante valor econômico, amplamente utilizada para a produção de azeite e azeitonas de mesa. Originária da região do Mediterrâneo, tem se expandido mundialmente impulsionada por sua rentabilidade (COUTINHO et al., 2009). No Brasil, o cultivo da oliveira tem avançado principalmente na região subtropical, com maior expressão nas regiões Sul e Sudeste. Estados como Rio Grande do Sul, Minas Gerais, São Paulo e Santa Catarina destacam-se pela representatividade na área plantada, concentrando juntos mais de 90% dessa área no país, conforme dados do Instituto Brasileiro de Olivicultura (IBRAOLIVA, 2021).

Nos últimos anos, a olivicultura brasileira tem vivenciado uma expansão significativa, motivada pelo aumento da demanda por azeites de alta qualidade, pelo avanço do conhecimento técnico e pela adaptação de cultivares a diferentes condições edafoclimáticas (BELARMINO et al., 2020; SÁ et al., 2024). Dentre os estados produtores, o Rio Grande do Sul assume posição de destaque, sendo responsável por cerca de 70% da produção nacional. Além disso, o estado tem conquistado reconhecimento pela qualidade dos azeites produzidos, contribuindo para o fortalecimento do setor olivícola no país (SÁ et al., 2024).

Apesar do avanço do setor, observa-se uma significativa variação na produtividade das oliveiras e, conseqüentemente, na produção de azeites na região. Segundo dados da Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação (SEADPR, 2024), a safra 2022/2023 registrou a maior produção histórica de azeites, com 580.228 mil litros, representando um aumento de 29% em relação à safra anterior, 2021/2022 (411.962 mil litros). No entanto, a safra 2023/2024 apresentou uma queda acentuada de aproximadamente 67%, totalizando 197.476 mil litros. Para a safra atual, 2024/2025, projeta-se uma possível recuperação de cerca de 27%, com produção estimada em 243.174 mil litros.

Curiosamente, essas quedas de produção ocorrem mesmo em anos com floração abundante, mas que, no entanto, apresentam baixa taxa de pegamento de frutos (fruit-set). Esse descompasso entre a intensidade da floração e a frutificação efetiva podem estar relacionadas às condições térmicas durante o período reprodutivo, que diferem significativamente daquelas encontradas na região de origem da oliveira (MEDINA-ALONSO et al., 2020; RIELLA et al., 2022). Além disso, o

excesso de chuvas nesse período pode comprometer a liberação e a dispersão do pólen, dificultando a polinização cruzada, processo essencial para a fecundação e o pegamento dos frutos na maioria das cultivares. Ainda, quando as exigências térmicas, principalmente relacionadas as horas de frio não são supridas adequadamente, a floração se torna errática (SILVA et al., 2021; RIELLA et al., 2022).

Entre os diversos fatores que influenciam o sucesso da cultura da oliveira, é necessário esclarecer a fenologia reprodutiva, tendo em vista sua relevância, uma vez que está diretamente associada ao potencial produtivo das plantas (BOECHEL et al., 2022). Estádios fenológicos como brotação, floração, frutificação e maturação são altamente sensíveis às condições ambientais, sendo a temperatura um dos principais elementos nesses processos (ROJO et al., 2020; HAMZE et al., 2022). Nesse cenário, torna-se essencial determinar a sincronização da floração entre cultivares, a qual está diretamente relacionada às suas exigências térmicas. Esse conhecimento é crucial em pomares monovariais ou com cultivares cuja compatibilidade polínica local não foi avaliada, o que pode comprometer a polinização e a frutificação (RIELLA et al., 2022).

Parâmetros como o acúmulo de horas de frio durante o inverno, a definição da temperatura base (T_b) e a soma térmica acumulada (ST_a) ao longo do ciclo vegetativo exercem influência direta sobre a brotação, a uniformidade da floração e o rendimento final. Por isso, são considerados fundamentais na seleção de cultivares e na definição de estratégias de manejo regionalizadas (MARTINS et al., 2019; PETRI et al., 2021; DI PAOLA et al., 2021).

Adicionalmente, fatores como a viabilidade e a germinação dos grãos de pólen, bem como a receptividade estigmática, são fortemente influenciados pelas condições térmicas (ZANANDREA et al., 2011; VULETIN SELAK et al., 2013; CARPENEDO et al., 2020; DIAS et al., 2022). Temperaturas muito baixas podem atrasar ou inibir o desenvolvimento floral, enquanto temperaturas elevadas, especialmente quando associadas à umidade relativa alta, tendem a comprometer os processos reprodutivos, o que prejudica a eficiência da fertilização e, conseqüentemente, o *fruit-set* de frutos (KOUBOURIS et al., 2018; VULETIN SELAK et al., 2013).

Esta tese, composta de quatro artigos, teve como objetivos caracterizar a fenologia das principais cultivares de oliveira na Região Sul do Brasil; determinar suas exigências térmicas, incluindo horas de frio, unidades de frio, soma térmica acumulada

e temperatura base; avaliar a influência da temperatura na receptividade estigmática, na germinação dos grãos de pólen e no crescimento do tubo polínico; e verificar se a aplicação de boro em diferentes concentrações pode mitigar os efeitos negativos das temperaturas sobre a germinação do pólen e o crescimento do tubo polínico.

A hipótese do trabalho é que a temperatura tem influência na fenologia, nas exigências térmicas, de frio e calor, receptividade estigmática, germinação dos grãos de pólen e crescimento do tubo polínico, nas principais cultivares de oliveira da Região Sul do Rio Grande do Sul, sendo que a aplicação de boro em concentrações adequadas pode reduzir os efeitos negativos das temperaturas sobre os processos de germinação do grão de pólen e crescimento do tubo polínico.

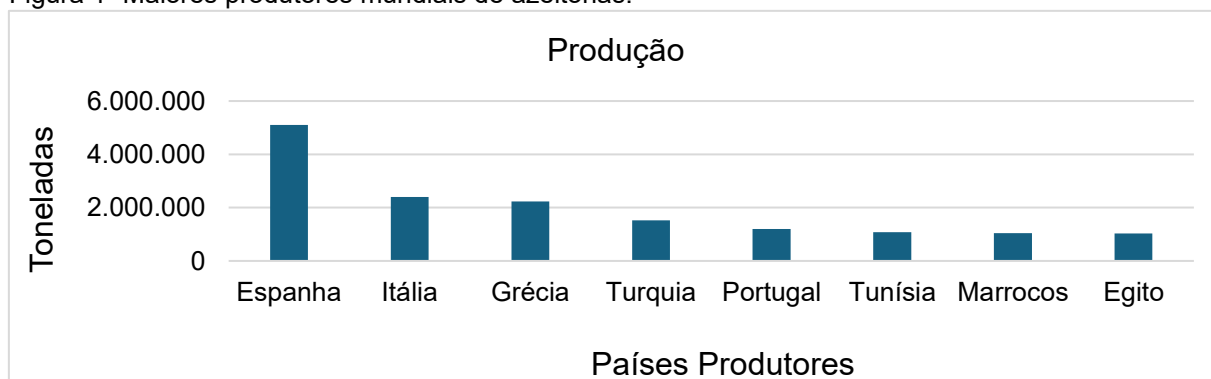
Revisão de Literatura

1.1. Importância Econômica da Oliveira

A produção mundial de azeitonas constitui um dos principais alicerces da olivicultura, sendo fundamental tanto para a fabricação de azeite quanto para o consumo direto como azeitonas de mesa. De acordo com dados da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO, 2023), a produção global de azeitonas no ano de 2023 alcançou cerca de 17 milhões de toneladas, cultivadas em uma área estimada em aproximadamente 11 milhões de hectares.

Dentre os principais produtores de azeitonas no mundo, destacam-se a Espanha (5.101 milhões ton), Itália (2.397 milhões ton), Grécia (2.232 milhões ton), Turquia (1.520 milhões ton) e Portugal (1.194 milhões ton). Tunísia, Marrocos e Egito também figuram entre os grandes produtores, cada um frequentemente superando a marca de 1 milhão de toneladas (FAO, 2023) (Figura 1). O Brasil está na 32ª posição.

Figura 1- Maiores produtores mundiais de azeitonas.



Fonte: Modificado de FAO, 2023.

Segundo o Conselho Oleícola Internacional (IOC, 2023), cerca de 90% das azeitonas produzidas globalmente são destinadas à extração de azeite, enquanto os 10% restantes são utilizados para o consumo direto como azeitonas de mesa. Essa divisão mostra a predominância do setor oleícola na cadeia produtiva da cultura.

De acordo com dados da FAO (2022), a produção mundial de azeite é estimada em aproximadamente 2,743 milhões de toneladas, com a Espanha se destacando como a principal produtora, respondendo por mais de 40% do total global, seguida por Itália, Grécia e Turquia. No cenário das importações, o Brasil ocupa a segunda posição entre os maiores importadores mundiais de azeite, ficando atrás apenas dos Estados Unidos, importando em média mais de 99% do azeite consumido no país (IOC, 2024). Os principais países fornecedores de azeite para o mercado brasileiro são: Portugal, com 66,4% do total, seguido pela Espanha (16,5%), Argentina (6,7%), Chile (4,3%), Itália (4,1%) e Tunísia (1,6%) (IOC, 2024).

A olivicultura tem se expandido para outros países fora da região mediterrânea, como África do Sul, Argentina, Chile, Austrália, Uruguai e Peru, onde as condições edafoclimáticas têm favorecido o desenvolvimento da cultura (COSTA et al., 2024).

1.2. A olivicultura no Brasil

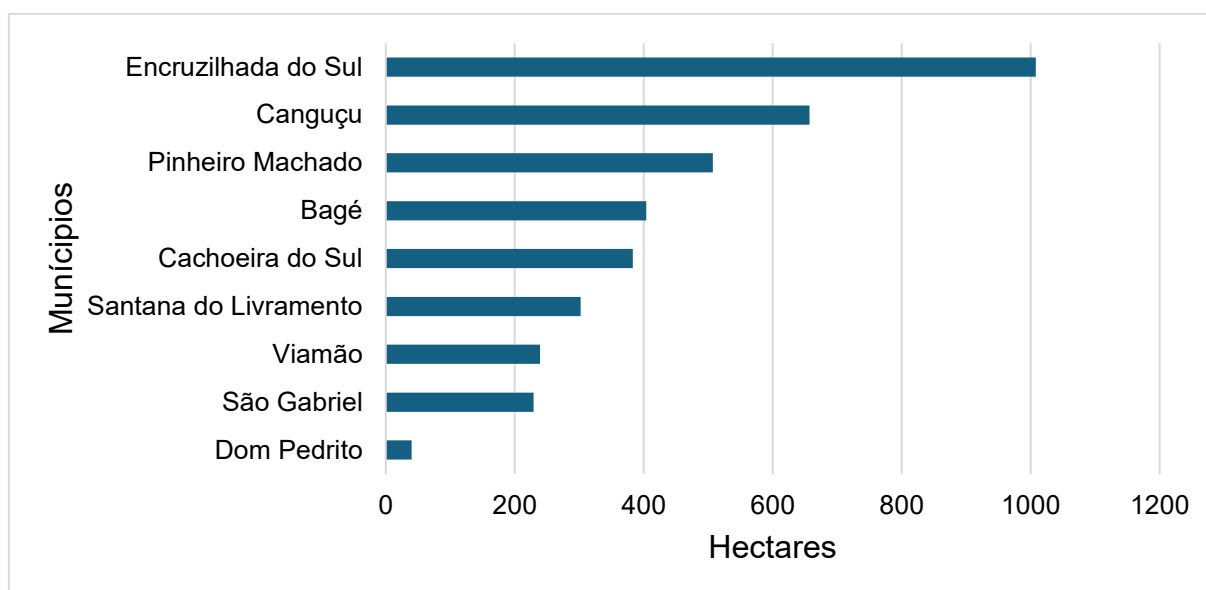
A oliveira foi introduzida no Brasil por volta de 1800 por imigrantes europeus, especialmente nas regiões Sul e Sudeste, abrangendo estados como Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (COUTINHO et al., 2009; TEJERO e Da ROSA, 2020). Inicialmente, o cultivo era feito por padres em áreas próximas a igrejas, ligado a celebrações religiosas como o Domingo de Ramos, ou por fazendeiros como curiosidade. No entanto, a expansão da cultura foi interrompida por ordens da coroa portuguesa, que temia a concorrência com os produtos oriundos da metrópole (COUTINHO et al., 2009).

No Rio Grande do Sul, o município de Uruguaiana destaca-se como pioneiro, com o plantio de cerca de 72 mil mudas trazidas da Argentina pelo Embaixador Batista Luzardo, formando um dos primeiros grandes olivais do país (COUTINHO et al., 2009). A introdução oficial da olivicultura no estado ocorreu em 1948, com a criação do Serviço Oleícola pela Secretaria da Agricultura, que visava fomentar e orientar tecnicamente a cultura. Apesar dos incentivos, como premiações e isenção de

impostos, muitos olivais implantados nesse período apresentaram baixa qualidade, comprometendo o desenvolvimento inicial da atividade (COUTINHO et al., 2009).

Atualmente, o Brasil conta com cerca de 10 mil hectares destinados ao cultivo de oliveiras, dos quais 3.867 hectares estão em fase de produção, resultando em uma produtividade de 6.864 toneladas (FAO, 2023). Sendo o estado do Rio Grande do Sul (RS) o principal polo produtivo do país, concentrando cerca de 60% dessa área e uma produção em média de 4.156 toneladas (IBRAOLIVA, 2023). Dentro do estado, destacam-se oito municípios por possuírem áreas superiores a 200 hectares cultivados com oliveiras (Figura 2), entre os quais Pinheiro Machado foi incluído como área de estudo neste trabalho. Além desses, o município de Dom Pedrito também apresenta relevância na olivicultura regional, com aproximadamente 40 hectares cultivados com a cultura (AMBROSINI et al., 2022).

Figura 1. Municípios com mais de 200 hectares de olivais no RS.



Fonte: Ambrosini, 2022.

Além disso, o Rio Grande do Sul lidera a produção nacional de azeite, sendo responsável por 75% do total produzido no Brasil em 2023 (IBRAOLIVA, 2023). Nesse mesmo ano, o estado alcançou sua maior safra registrada, com a produção de 580.228 litros de azeite (SEAPI, 2023). Atualmente, concentra 22 unidades de beneficiamento e processamento de azeitonas e abriga 92 marcas de azeites registradas. A alta qualidade dos azeites produzidos na região tem sido reconhecida por meio de diversas premiações nacionais e internacionais (SÁ et al., 2024).

Embora o Rio Grande do Sul seja o principal polo da olivicultura no Brasil, outros estados também têm investido no cultivo da oliveira, com destaque para Minas Gerais, especialmente na região da Serra da Mantiqueira. Essa região, que abrange territórios de Minas Gerais e São Paulo, consolidou-se como a segunda maior produtora nacional, sendo reconhecida pela produção de azeites de elevada qualidade, frequentemente premiados em concursos internacionais (SÁ et al., 2024). Além dela, estados como Santa Catarina, Paraná, Espírito Santo e Bahia também apresentam cultivos, ainda que em menor escala (BELING, 2019). Na região Sudeste, estima-se que cerca de 1,5 milhão de oliveiras estejam distribuídas em uma área entre 2,5 a 3 mil hectares, sendo aproximadamente 60% em solo mineiro e o restante nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro (IBRAOLIVA, 2022).

1.3. Floração da Oliveira

As flores da oliveira se organizam em inflorescências paniculadas, localizadas na axila das folhas de ramos desenvolvidos na estação anterior (SEIFI et al., 2015). Assim, o número total de flores por planta é determinado tanto pela quantidade de inflorescências quanto pelo número de flores por inflorescência (RAPOPORT, 2012).

O comprimento dessas inflorescências varia entre 3 e 8 cm, e o número de flores por inflorescência pode oscilar entre 10 e 35, dependendo da cultivar, das condições climáticas e das variações sazonais (SEIFI et al., 2015; RAPOPORT et al., 2016). Uma planta adulta pode produzir, em média, cerca de 500.000 flores por ano (SEGUNDO et al., 2017). No entanto, mesmo em anos com floração considerada normal, apenas de 1 a 3% dessas flores resultam em frutos com potencial comercial (PERICA et al., 2001; BENLLOCH-GONZÁLEZ et al., 2018).

A oliveira é considerada uma espécie andromonóica, pois apresenta flores hermafroditas e estaminadas na mesma planta (CUEVAS e POLITO, 2004; RAPOPORT et al., 2016). As flores estaminadas resultam do aborto do pistilo em diferentes estádios do desenvolvimento do gineceu, o que leva à formação de um órgão rudimentar e não funcional. Por não apresentarem gineceu funcional, essas flores não originam frutos e são apontadas como uma das principais causas da baixa taxa de frutificação na oliveira (MARINIHO, 2022).

Já as flores hermafroditas são compostas por um cálice pequeno de coloração esverdeada, quatro pétalas brancas, dois estames com anteras proeminentes e um

pistilo bem desenvolvido, com estigma amplo, estilete curto e ovário bilocular contendo quatro óvulos (CUEVAS e POLITO, 2004; RAPOPORT, 2012; 2016).

1.4. *Fenologia da Oliveira*

A fenologia é uma ferramenta fundamental para compreender as interações entre as culturas e o clima local, permitindo a caracterização dos estádios fenológicos e a determinação da duração dos diferentes períodos de desenvolvimento, além de sua relação com as variações climáticas (BOECHEL et al., 2022). No caso da oliveira, o processo de floração ocorre predominantemente entre a primavera e o verão, quando a planta recebe os estímulos necessários para a indução e iniciação floral (RAPOPORT et al., 2012; 2016). No entanto, a maioria das informações disponíveis sobre a fenologia da oliveira são obtidas em regiões de clima mediterrâneo ou sob condições controladas (RAMOS et al., 2018; MEDINA-ALONSO et al., 2020), o que dificulta a compreensão do comportamento dessa espécie em ambientes com condições climáticas distintas, como no Brasil.

O conhecimento da fenologia das cultivares de oliveira é essencial, especialmente na implantação de novos olivais, nos quais se busca a eficiência da polinização cruzada. Embora a oliveira seja tradicionalmente considerada uma espécie autofértil, estudos recentes indicam a ocorrência de autoincompatibilidade em algumas cultivares, o que reforça a importância do manejo adequado da floração e da compatibilidade entre polinizadores (SAUMITOU-LAPRADE et al., 2017; RIELLA et al., 2022).

A autoincompatibilidade (SI) em oliveiras impede a autofecundação por meio da rejeição do autopólen, favorecendo a biodiversidade, mas podendo resultar em baixa frutificação na ausência de polinização cruzada (MHANNA et al., 2019). Esse mecanismo é caracterizado pelo crescimento retardado do tubo polínico no estilete, o que reduz as chances de fecundação (VULETIN SELAK et al., 2014; SANCHEZ ESTRADA e CUEVAS, 2018). Nesses casos, a curta longevidade do óvulo torna essencial a presença de tubos polínicos de crescimento rápido, como os provenientes de cultivares compatíveis (VULETIN SELAK et al., 2014).

Riella et al. (2022), sugerem que a compatibilidade é frequentemente influenciada pelas condições ambientais, principalmente as altas temperaturas. Como a polinização da oliveira é feita preferencialmente pelo vento, em pomares com baixa diversidade de cultivares, ou até mesmo monovarietais, as condições climáticas

podem influenciar na dispersão desse pólen e na consequente frutificação (SANCHEZ ESTRADA e CUEVAS, 2020).

Compreender o ciclo fenológico de cada cultivar, desde o início da brotação até a floração, maturação e colheita é essencial para auxiliar o produtor na tomada de decisões dentro dos olivais. Esse conhecimento permite o escalonamento da produção, o planejamento das colheitas e da mão de obra, além da aplicação adequada dos tratamentos fitossanitários. Tal organização torna-se ainda mais importante diante do atual cenário de mudanças climáticas e da ocorrência de eventos extremos, como os associados ao fenômeno El Niño nos últimos anos (NOAA, 2024).

1.5. Influência da Temperatura no processo reprodutivo da oliveira

1.5.1. Exigências Térmicas- Horas de Frio e Soma Térmica acumulada

A ocorrência dos estádios fenológicos da oliveira depende diretamente de suas exigências térmicas, que incluem tanto a necessidade de frio, expressa em Horas de Frio acumuladas durante o período de baixas temperaturas e fundamentais para a superação da dormência, quanto da exigência em calor, representada pela soma térmica acumulada (STa) em Graus-Dia (GD), necessária para o avanço dos estádios fenológicos subsequentes (OSBORNE et al., 2020; ROJO et al., 2020; HAMZE et al., 2022).

O processo de dormência nas oliveiras ainda é discutível (D'ANGELI et al., 2016; LODOLINI et al., 2016). No entanto, acredita-se que as oliveiras entrem em dormência e necessitem acumular frio para que ocorra o processo final de desenvolvimento (LÓPEZ-BERNAL et al., 2017; ROJO et al., 2020; ABOU- SAAID et al., 2022). Diferentes autores demonstraram que o frio influencia na superação da dormência em oliveiras (RAMOS et al., 2018; RUBIO-VALDÉS et al., 2022).

Entretanto, a maioria desses estudos foi realizada em condições mediterrâneas e com cultivares que não são amplamente cultivadas nas condições locais. Por exemplo, Rojo et al. (2015) determinaram as exigências em frio de cultivares na Espanha, Itália e Tunísia; Elloumi et al. (2020) investigaram as cultivares Chemlali, Chemchali, Ouestai, Chetori, Koroneiki e Arbequina na Tunísia; e De Mello Abreu (2004) avaliou 13 diferentes cultivares na Espanha e em Portugal. Contudo, ainda há pouca informação e não são encontradas estimativas precisas sobre as exigências em frio para cada cultivar, principalmente nas condições climáticas deste estudo.

A compreensão integrada das exigências térmicas da oliveira é fundamental para interpretar adequadamente seu comportamento fenológico. Estudos indicam que há uma relação inversa entre a necessidade de frio e a quantidade de calor requerida para que a planta avance nos estádios de desenvolvimento. Elloumi et al. (2020) demonstraram que cultivares com maior exigência em horas de frio tendem a demandar uma menor soma térmica para atingir determinados estádios fenológicos. Isso ocorre porque, uma vez satisfeita a exigência em frio e superada a dormência, as gemas tornam-se metabolicamente ativas e iniciam seu desenvolvimento em resposta ao acúmulo de calor, acumulando soma térmica (ROJO et al., 2020; RUBIO- VALDÉS et al., 2022).

A soma térmica acumulada (STa), expressa em graus-dia (GD), é calculada com base nas temperaturas diárias dentro dos limites estabelecidos pelas temperaturas basais inferior (Tb) e superior (TB). Esses valores e a resposta ao acúmulo térmico variam conforme a cultivar, o estágio fenológico e as condições ambientais (SOUZA e MARTINS, 2014; FREITAS et al., 2017).

A temperatura base inferior (Tb) é considerada quando a temperatura está abaixo da qual os processos metabólicos são reduzidos e o desenvolvimento é diminuído ou nulo, ocorre principalmente no inverno. E a temperatura base superior (TB), geralmente assume valores elevados, onde a respiração é maior que a fotossíntese, e assim, o desenvolvimento é nulo ou diminuído (FERREIRA et al., 2019; MARTINS et al., 2019).

Geralmente, na clássica equação da soma térmica, é utilizado somente a Tb, que assume valores baixos principalmente durante o inverno. Já a TB, tem altos valores, que dificilmente vão ser atingidos durante o desenvolvimento da cultura no campo (FERREIRA et al., 2019). No entanto, ainda há dificuldade em definir com precisão o início do acúmulo de graus-dia, principalmente devido às divergências nas estimativas de Tb, que variam entre estudos (DE MELO-ABREU, 2004; PÉREZ-LÓPEZ et al., 2008; SOUZA e MARTINS, 2014; MARTINS et al., 2019; GARRIDO et al., 2021).

1.6. Temperatura na polinização e fertilização da Oliveira

1.6.1. Germinação do grão de pólen

Como ocorre na maioria das espécies cultivadas, a funcionalidade do pólen é essencial para a formação de frutos e sementes na oliveira (IOVANE et al., 2021). Por

ser uma espécie anemófila, sua polinização ocorre pelo vento e, como estratégia reprodutiva, a planta produz elevadas quantidades de pólen por flor (CORTINAS et al., 2020). A produção de pólen por antera pode variar entre 70.000 e 90.000 grãos, dependendo da cultivar e das condições ambientais (ORLANDI et al., 2003; FERRARA et al., 2007).

A viabilidade e a germinação dos grãos de pólen são etapas essenciais para o sucesso da fertilização e, consequentemente, para a produtividade das oliveiras. No entanto, esses processos são altamente sensíveis a condições climáticas extremas, especialmente durante o período de floração. Temperaturas superiores a 35 °C, por exemplo, foram prejudiciais a esses processos em cultivares como 'Leccino', 'Levantinka', 'Oblica' e 'Pendolino', conforme observado por Vuletin Selak et al. (2016). De maneira semelhante, Cuevas et al. (1994) relataram a completa inibição da germinação polínica a 30 °C na cultivar 'Manzanillo'. Iovane et al. (2021) também relataram que a combinação de temperaturas elevadas e alta umidade relativa durante a floração resultou em significativa redução da viabilidade do pólen em 12 cultivares avaliadas.

Por outro lado, embora menos abordadas na literatura, as baixas temperaturas também têm demonstrado efeitos negativos sobre a germinação e a viabilidade dos grãos de pólen. Estudos conduzidos por Koubouris et al. (2009), Selak et al. (2013) e Dias et al. (2022) apontaram redução na germinação polínica em diferentes cultivares de oliveira expostas a temperaturas iguais ou inferiores a 20 °C. Esses achados indicam que tanto o calor excessivo quanto o frio moderado podem comprometer a eficiência reprodutiva da oliveira, sendo necessário considerar as condições térmicas durante a floração para garantir maior sucesso na frutificação.

1.6.2. *Receptividade Estigmática*

A frutificação em oliveiras depende do êxito de diversos processos que ocorrem ao longo da indução floral, floração e polinização (fase progâmica), especialmente a transferência de pólen para estigmas receptivos (VULETIN SELAK et al., 2014; RIELLA et al., 2022). Nesse contexto, a receptividade estigmática exerce um papel fundamental, pois o estigma é a estrutura responsável por permitir a adesão e germinação do grão de pólen, além de viabilizar o crescimento do tubo polínico através do estilete até o ovário, onde ocorre a fecundação, geralmente limitada a apenas um dos quatro óvulos (CARPENEDO et al., 2020; WANG et al., 2021).

A receptividade estigmática pode ser influenciada por diversos fatores, sendo a temperatura um dos principais. Altas temperaturas aceleram a desidratação da superfície estigmática, prejudicando a germinação e penetração dos tubos polínicos, enquanto temperaturas muito baixas retardam esses processos (EDLUND et al., 2004; HEDHLY et al., 2005; CARPENEDO et al., 2020). Hedhly et al. (2003) e Lora et al. (2011) destacam que variações térmicas podem afetar significativamente a funcionalidade estigmática em espécies como a oliveira.

Além da temperatura, o estágio fenológico da flor é decisivo para a receptividade. Zambon et al. (2018) observaram que estigmas de oliveira já apresentam receptividade desde a pré-antese, mantendo-se ativos ao longo do dia, o que é relevante para o sucesso de hibridações. A quantidade de pólen também influencia: uma maior carga polínica pode acelerar o tempo necessário para que o estigma atinja plena receptividade (ZAMBON et al., 2018).

Diante das variações climáticas observadas em diferentes regiões produtoras, como no Rio Grande do Sul, compreender como a receptividade estigmática responde às condições ambientais, em especial às temperaturas extremas, torna-se essencial para otimizar o manejo da cultura e garantir a eficiência reprodutiva da oliveira.

1.6.3. Utilização de Boro

O boro (B) é um micronutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, desempenhando funções fundamentais na divisão e alongação celular, integridade das paredes celulares, metabolismo de carboidratos, e transporte de açúcares (MARSCHNER, 1995). Em culturas perenes como a oliveira o B é particularmente importante durante os estádios reprodutivos, influenciando diretamente a viabilidade do pólen, a fecundação e a formação dos frutos (DELGADO et al., 1994; HA et al., 1997).

A deficiência deste micronutriente é comum em olivais e pode representar um fator limitante significativo para a produção. De acordo com Perica et al. (2001), os sintomas de deficiência de boro incluem necrose ou amarelecimento nas pontas das folhas, folhas pequenas, estreitas e quebradiças, morte retrógrada dos brotos, necrose da gema terminal, além de anomalias no desenvolvimento e queda prematura dos frutos.

A aplicação de boro tem se mostrado eficiente tanto na correção da deficiência quanto no aumento da produtividade em oliveiras. Sayyad-Amin et al. (2015)

observaram que o fornecimento de B promoveu maior frutificação, associada à melhora na viabilidade dos grãos de pólen e/ou ao favorecimento do crescimento dos tubos polínicos, resultando em maior eficiência reprodutiva e aumento da produção. De forma semelhante, Deliboran et al. (2022) relataram que aplicações foliares de boro, realizadas em três diferentes momentos, contribuíram para o incremento da produtividade, além de influenciarem positivamente o teor de matéria seca e o conteúdo de óleo nos frutos.

O boro (B) apresenta uma faixa estreita entre os níveis adequados e tóxicos, o que torna seu manejo delicado. A toxicidade por B já foi relatada em outras espécies, como o kiwi (*Actinidia deliciosa*), onde foi observada redução na germinação dos grãos de pólen (SOTOMAYOR et al., 2010). Em macieiras (*Malus domestica*) e pereiras (*Pyrus pirifolia*), o excesso de B resultou na diminuição do comprimento dos tubos polínicos, devido à redução da concentração de Ca^{2+} na extremidade apical desses tubos (FANG et al., 2016; GAO et al., 2019). Em oliveiras, Silva et al. (2016) relataram que altas concentrações de boro, superiores a $400 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, podem elevar a concentração de solutos no meio de cultura, comprometendo a integridade dos grãos de pólen e, conseqüentemente, reduzindo tanto a taxa de germinação quanto o crescimento dos tubos polínicos.

A eficiência da aplicação de boro (B) em diferentes culturas é sensivelmente influenciada pela temperatura, que pode afetar sua absorção, translocação e funcionalidade (NYOMORA et al., 1999). Em castanheiras, Portela et al. (2015) observaram que temperaturas elevadas reduziram a translocação de B, comprometendo a frutificação e a produtividade. No entanto, para a cultura da oliveira, ainda há escassez de estudos que abordem essa interação. Diante dos diferentes cenários térmicos que ocorrem durante a floração, é plausível que a temperatura interfira não apenas na dinâmica do nutriente, mas também em processos cruciais como a viabilidade polínica e o crescimento do tubo polínico.

Referências

ABOU-SAAID, O., EI YAACoubi, A., MOUKHLI, A., EI BAKKALI, A., OULBI, S., DELALANDE, M., & KHADARI, B. Statistical approach to assess chill and heat requirements of olive tree based on flowering date and temperatures data: Towards selection of adapted cultivars to global warming. **Agronomy**, 12(12), 2975, 2022.

AMBROSINI, L. B., LEITE de BORBA, A. C., BERTOLLO, A. M., LIPP JOÃO, P., ROTTA de OLIVEIRA, A. M. Cadastro olivícola do Rio Grande do Sul. **Circular Technical Disclosure; SEAPDR-DDPA**: Porto Alegre, Brasil, 2022.

BELING, R. R. (ed.). Anuário brasileiro das oliveiras 2019. Santa Cruz do Sul: Editora **Gazeta Santa Cruz**, 2019. 55 p.

BOECHEL, T., POPLICARPO, L. M., RAMOS, G. D. O., da ROSA R. R., & SINGH, D. Prediction of harvest time of apple trees: An RNN-based approach. **Algorithms**, 15(3), 95, 2022.

BENLLOCH-GONZÁLEZ, M.; SÁNCHEZ-LUCAS, R., BENLLOCH, M., RICARDO, F. E. An approach to global warming affects flowering and fruit set of olive trees growing under field conditions. **Scientia Horticulturae**, 240, 405-410, 2018.

CARPENEDO, S., BASSOLS, M. D. C., FRANZON, R. C., BYRNE, D. H., and SILVA, J. B. D. Stigmatic receptivity of peach flowers submitted to heat stress. *Acta Scientiarum*. **Agronomy**, 42, e42450, 2020.

CORTIÑAS, J. A.; FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, M.; GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ, E.; VÁZQUEZ-RUIZ, R. A.; RODRÍGUEZ- RAJO, F. J.; AIRA, M. J. Potential fertilization capacity of two grapevine varieties: Effects on agricultural production in designation of origin areas in the Northwestern Iberian Peninsula. **Agronomy**, 10(7), 961, 2020.

COSTA, L. T.; SOUZA, Â. L. de; OLIVEIRA, L. de; FERNANDES, A. M.; BELARMINO, L. C.; TEMPERADO, E. C. Competitiveness of the Brazilian extra virgin olive oil productive chain. **Revista de Política Agrícola**, v. 29, n. 3, p. 116–130, 2020.

COUTINHO, E. F., RIBEIRO, F. C., CAPPELLARO, T. H (Ed.). Cultivo de oliveira (*Olea europaea* L.) / Enilton Fick Coutinho, Fabricio Carlotto Ribeiro, Thais Helena Cappellaro- Pelotas: **Embrapa Clima Temperado**, 2009.

CUEVAS, J., RALLO, L., & RAPOPORT, H. Initial fruit set at high temperature in olive, *Olea europaea* L. **Journal of Horticultural Science**, v. 69, n. 4, 665-672, 1994.

CUEVAS, J.; POLITO, V. S. The role of staminate flowers in the breeding system of *Olea europaea* (Oleaceae): an andromonoecious, wind-pollinated taxon. **Annals of Botany**, v. 93, n. 5, p. 547-553, 2004.

D'ANGELI, S., MATTEUCCI, M., FATTORINI, L., GISMONDI, A., LUDOVICI, M., CANINI, A., & ALTAMURA, M. M. OeFAD8, OeLIP and OeOSM expression and activity in cold-acclimation of *Olea europaea*, a perennial dicot without winter-dormancy. **Planta**, 243, 1279-1296, 2016.

DELIBORAN, A., CILGIN, I., AYDOGDU, E., ATAOL OLMEZ, H., SAVRAN, K., DURSUN, O., & YILDIRIM, A. Response of olive trees to different boron application in Izmir and Mugla province of Turkey. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 53, n.10, 1294-1307, 2022.

De MELO-ABREU, J. P., BARRANCO, D., CORDEIRO, A. M., TOUS, J., ROGADO, B. M., & VILLALOBOS, F. J. Modelling olive flowering date using chilling for dormancy release and thermal time. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.125, n.1-2, 117-127, 2004.

DELGADO, A., BENLLOCH, M., & FERNÁNDEZ-ESCOBAR, R. Mobilization of boron in olive trees during flowering and fruit development. **HortScience**, v.29, n.6, 616-618, 1994.

DIAS, C. S., ARIAS-SIBILLOTTE, M., TISCORNIA, G., SEVERINO, V., PASA, M., HERTER, F. G., & CONDE-INNAMORATO, P. Low Spring temperature may negatively influence olive yield. **Australian Journal of Crop Science**, v.16, n.9, 1094-1100, 2022.

EDLUND, A. F., SWANSON, R., & PREUSS, D. Pollen and stigma structure and function: the role of diversity in pollination. **Plant Cell**, v. 16, 84-97, 2004.

ELLOUMI, O., GHRAB, M., CHATTI, A., CHAARI, A., & MIMOUN, M. B. Phenological performance of olive tree in a warm production area of central Tunisia. **Scientia Horticulturae**, 259, 108759, 2020.

FANG, K., ZHANG, W., XING, Y., ZHANG, Q., YANG, L., CAO, Q., e QIN, L. Boron toxicity causes multiple effects on *Malus domestica* pollen tube growth. **Frontiers in Plant Science**, 7, 208, 2016.

FAO. *FAOSTAT – Food and Agriculture Organization of the United Nations: Statistics Division*. Roma: FAO, 2023. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acesso em: 15 maio 2025.

FAO. *FAOSTAT – Food and Agriculture Organization of the United Nations: Statistics Division*. Roma: FAO, 2022. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acesso em: 15 maio 2025.

FERREIRA, M.C.; MARTINS, F.B.; FLORÊNCIO, G.W.L.; SILVA, J.P.G.C.; PASIN, L.A.A.P. Temperaturas cardinais e necessidade térmica no desenvolvimento inicial de duas espécies nativas brasileiras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 2019.

FERRARA, G.; CAMPOSEO, S.; PALASCIANO, M.; GODINI, A. Production of total and stainable pollen grain in *Olea europaea* L. **Grana**, v. 46, p.85-90, 2007.

FREITAS, C.H.de; MARTINS, F.B.; ABREU, M.C. Temperaturas cardinais para o desenvolvimento foliar de mudas de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus urophylla*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 5, p. 283-292, 2017.

GAO, C.; WANG, Y.; QU, H. Study of auxin regulation of pollen tube growth through calcium channels in *Pyrus pyrifolia*. **Plant Growth Regulation**, v. 89, n. 1, p. 99–108, 2019.

GARRIDO, A.; FERNÁNDEZ- GONZÁLEZ, M.; VÁZQUEZ- RUIZ, R. A.; RODRÍGUEZ-RAJO, F. J.; AIRA, M. J. Reproductive biology of olive trees (*Arbequina* cultivar) at the northern limit of their distribution areas. **Forests**, 12(2), 204, 2021.

HA, H., PENN, S. G., & LEBRILLA, C. B. Isolation and characterization of soluble boron complexes in higher plants. **Plant Physiol**, 113, 649-651, 1997.

HAMZE, L. M., TRENTACOSTE, E. R., SEARLES, P. S., & ROUSSEAU, M. C. Spring reproductive and vegetative phenology of olive (*Olea europaea* L.) cultivars at different air temperatures along a latitudinal-altitudinal gradient in Argentina. **Scientia Horticulturae**, 304, 111327, 2022.

HEDHLY, A., HORMAZA, J. I., & HERRERO, M. The effect of temperature on stigmatic receptivity in sweet cherry (*Prunus avium* L.). **Plant, Cell & Environment**, 26(10), 1673-1680, 2003.

HEDHLY, A., HORMAZA, J. I., and HERRERO, M. The effect of temperature on pollen germination, pollen tube growth, and stigmatic receptivity in peach. **Plant Biology**, 7(05), 476-483, 2005.

IBRAOLIVA. Instituto Brasileiro de Olivicultura. IBRAOLIVA, 2023. Disponível em: <https://www.ibraoliva.com.br/>. Acesso em: 01 de abril de 2025.

IBRAOLIVA. Instituto Brasileiro de Olivicultura. Azeites gaúchos passam a contar com selo exclusivo de qualidade e origem. [Porto Alegre]: IBRAOLIVA, 2022. Disponível em: <https://www.ibraoliva.com.br/noticias/detalhe/135/azeites-gauchos-passam-a-contar-com-selo-exclusivo-de-qualidade-e-origem>. Acesso em: 15 de maio de 2025.

IOC. INTERNATIONAL OLIVE COUNCIL. Brazil olive oil imports. Disponível em: <https://www.internationaloliveoil.org/wp-content/uploads/2021/02/IOC-Import-profiles-Brazil-2019-20-rev0.html#olive-oil-imports-by-quality-of-product-and-country-of-origin-20192020>. Acesso em: 15 de maio de 2025.

IOC. INTERNATIONAL OLIVE COUNCIL. World trade in olive oil and table olives. Brazil. Disponível em: <https://www.internationaloliveoil.org/wp-content/uploads/2023/03/IOC-Imports-2021-2022-1.html>. Acesso em: 15 de maio de 2025.

IOVANE, M., CIRILLO, A., IZZO, L. G., Di VAIO, C., & ARONNE, G. High temperature and humidity affect pollen viability and longevity in *Olea europaea* L. **Agronomy**, 12(1), 1, 2021.

KOUBOURIS, G. C., METZIDAKIS, I. T., & VASILAKAKIS, M. D. Impact of temperature on olive (*Olea europaea* L.) pollen performance in relation to relative humidity and genotype. **Environmental and Experimental Botany**, 67(1), 209-214, 2009.

LODOLINI, E. M., ALFEI, B., SANTINELLI, A., CIOCCOLANTI, T., POLVERIGIANI, S., & NERI, D. Frost tolerance of 24 olive cultivars and subsequent vegetative re-sprouting as indication of recovery ability. **Scientia Horticulturae**, 211, 152-157, 2016.

LÓPEZ-BERNAL, A., VILLALOBOS, F. J., GARCÍA-TEJERA, O., TESTI, L., & ORGAZ, F. Do olive vegetative buds undergo a real dormant state in winter?. In **X International Symposium on Modelling in Fruit Research and Orchard Management** 1160, 27-230, 2017.

LORA, J., HERRERO, M., & HORMAZA, J. I. Stigmatic receptivity in a dichogamous early-divergent angiosperm species, *Annona cherimola* (Annonaceae): Influence of temperature and humidity. **American Journal of Botany**, 98(2), 265-274, 2011.

MHANNA, M. A.; DOUAY, F. W.; RAJAB, M. 'Khoderi' olive cultivar as na eficiente polliniser for some french and Italian olive cultivars. **Poljoprivreda i Sumarstvo**, v. 65, n. 4, p. 211-220, 2019.

MANIRIHO, F. Flower differentiation and fruiting dynamics in olive trees (*Olea europaea*): Eco-physiological analysis in the Mediterranean basin. **Advances in Horticultural Science**, v. 36, n. 1, p. 53-62, 2022.

MARSCHNER, H. Functions of mineral nutrients: micronutrients. In: *Mineral Nutrition in Higher Plants*, (H. Marschner eds.) (1995): 313-404.

MARTINS, F.B.; FERREIRA, M.C.; SILVA, L.F.O.; RAMALHO, V.R.M.; GONÇALVES, E.D. Temperatura do Ar no Desenvolvimento Reprodutivo de Cultivares de Oliveira. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v.34, n.2, p.179-190, 2019.

MEDINA-ALONSO, M. G., NAVAS, J. F., CABEZAS, J. M., WEILAND, C. M., RÍOS-MESA, D., LORITE, I. J., & de la ROSA, R. Differences on flowering phenology under Mediterranean and Subtropical environments for two representative olive cultivares. **Environmental and Experimental Botany**, 180, 104239, 2020.

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration (2024) Cold & Warm Episodes by Season. Disponível em: https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php. Acesso em: 16 de maio de 2025.

NYOMORA, A. M., BROWN, P. H., & KRUEGER, B. Rate and time of boron application increase almond productivity and tissue boron concentration. **HortScience**, 34(2), 242-245, 1999.

ORLANDI, F.; FERRANTI, F.; ROMANO, B.; FORNACIARI, M. Olive pollination: Flowers and pollen of cultivars of *Olea europaea*. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*. V. 31, p. 159-168, 2003.

OSBORNE, C. P., CHUINE, I., VINER, D., & WOODWARD, F. I. Olive phenology as a sensitive indicator of future climatic warming in the Mediterranean. **Plant, Cell & Environment**, 23(7), 701-710, 2000.

PÉREZ-LÓPEZ, D., RIBAS, F., MORIANA, A., RAPOPORT, H. F.; De JUAN, A. Influence of temperature on the growth and development of olive (*Olea europaea* L.) trees. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 83, p. 171-176, 2008.

PERICA, S., BROWN, P. H., CONNELL, J. H., NYOMORA, A. M., DORDAS, C., HU, H., STANGOULIS, J. Foliar boron application improves flower fertility and fruit set of olive. **HortScience**, 36(4), 714-716, 2001.

PORTELA, E., FERREIRA-CARDOSO, J., LOUZADA, J., & GOMES-LARANJO, J. Assessment of boron application in chestnuts: Nut yield and quality. **Journal of Plant Nutrition**, 38(7), 973-987, 2015.

RAMOS, A., RAPOPORT, H. F., CABELLO, D., & RALLO, L. Chilling accumulation, dormancy release temperature, and the role of leaves in olive reproductive budburst: Evaluation using shoot explants. **Scientia Horticulturae**, 231, 241-252, 2018.

RAPOPORT, H. F. The reproductive biology of the olive tree and its relationship to extreme environmental conditions. In: **VII International Symposium on Olive Growing 1057**. p. 41-50, 2012.

RAPOPORT, H. F.; FABBRI, A.; SEBASTIANI, L. Olive biology. The olive tree genome, p. 13-25, 2016.

RIELLA, V.; BORGES, A.; ARIAS-SIBILLOTTE, M.; SPERONI, G.; SPERANZA, P. The effective pollination period of the olive cultivar 'Arbequina' (*Olea europaea* L.) in a non-traditional region. **South African Journal of Botany**, 151, 246-254, 2022.

ROJO, J., & PÉREZ-BADIA, R. Models for forecasting the flowering of Cornicabra olive groves. **International journal of biometeorology**, 59, 1547-1556, 2015.

ROJO, J., ORLANDI, F., Em DHIAB, A., LARA, B., PICORNELL, A., OTEROS, J. & PÉREZ-BADIA, R. Estimation of chilling and heat accumulation periods based on the timing of olive pollination. **Forests**, 11(8), 835, 2020.

RUBIO-VALDÉS, G., CABELLO, D., RAPOPORT, H. F., & RALLO, L. Olive Bud Dormancy Release Dynamics and Validation of Using Cuttings to Determine Chilling Requirement. **Plants**, 11(24), 3461, 2022.

SÁ, D., & DE, D. D. G. C. F. (2024). A olivicultura e o azeite no Brasil. Documentos / Embrapa Agroindústria de Alimentos. **Rio de Janeiro : Embrapa Agroindústria de Alimentos**, 2024.

SAYYAD-AMIN, P., SHAHSAVAR, A. R., & ASLMOSHTAGHI, E. Study on foliar application nitrogen, boron and zinc on olive tree. **Trakia Journal of Sciences**, 13(2), 131, 2015.

SÁNCHEZ-ESTRADA, A.; CUEVAS, J. Pollination designs in 'Manzanillo' olive orchards. **Scientia Horticulturae**, v. 261, p. 108918, 2020.

SAUMITOU-LAPRADE, P.; VERNET, P.; VEKEMANS, X; CASTRIC, V; BARCACCIA, G.; KHADARI, B.; BALDONI, L. Controlling for genetic identity of varieties, pollen contamination y stigma receptivity is essential to characterize the selfincompatibility system of *Olea europaea* L. **Evolutionary Applications**. 10 (9): 860–866, 2017.

SELAKE, G. V.; PERICA, S.; BAN, S. G.; POLIAK, M. The effect of temperature and genotype on pollen performance in olive (*Olea europaea* L.). **Scientia horticulturae**, 156, 38-46, 2013.

SEAPI. SECRETARIA DA AGRICULTURA, PECUÁRIA, PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL E IRRIGAÇÃO. Safra gaúcha de azeites de oliva bate recorde e registra mais de 580 mil litros em 2022/2023. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/safra-gaucha-de-azeites-de-oliva-bate-recorde-e-registra-mais-de-580-mil-litros-em-2022-2023>. Acesso em: 15 de maio de 2025.

SEGUNDO, M. V. Avaliação da fenologia de diferentes cultivares de oliveira em Elvas e a sua relação com diferentes aspetos agronómicos-(qualidade da flor; Vingamento; suscetibilidade a pragas e doenças; rendimento). **MS thesis. Universidade de Lisboa (Portugal)**, 2017.

SEIFI, E., GUERIN, J., KAISER, B., SEDGLEY, M. Flowering and fruit set in olive: a review. *Iran. J. Plant Physiology*, 5(2), 1263-1272, 2015.

SILVA, L. F. D. O. D., ZAMBON, C. R., PÍO, R., OLIVEIRA, A. F. D., GONÇALVES, E. D. Establishment of growth medium and quantification of pollen grains of olive cultivars in Brazil's subtropical areas. **Bragantia**, 75(1), 26-32, 2016.

SOTOMAYOR, C., RUIZ, R., e GARCÍA-HUIDOBRO, J. Boron concentration affects in vitro pollen germination and tube growth in kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) cultivar 'Matua'. In **XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (IHC2010): International Symposium on Plant** 932 (pp. 517-521), 2010.

SOUZA, P. M. B.; MARTINS, F. B. Estimativa da temperatura basal inferior para as cultivares de oliveira Grappolo e Maria da Fé. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, p. 307-313, 2014.

TEJERO, I. P. T., & da ROSA, A. L. T. Potencial da olivicultura no Sul do Brasil. **Revista Agropampa**, v. 1, n. 1, 2020.

VULETIN SELAK, G., CUEVAS, J., GORETA BAN, S., PINILLOS, V., DUMICIC, G., PERICA, S. The effect of temperature on the duration of the effective pollination period in 'Oblica' olive (*Olea europaea*) cultivar. **Annals of applied biology**, 164(1), 85-94, 2014.

VULETIN SELAK, G., GORETA BAN, S., & PERICA, S. The effect of temperature on olive pollen germination. In **II International Workshop on Floral Biology and S-Incompatibility in Fruit Species** 1231, 49-54, 2016.

WANG, F. The Effect of Floral ReTain™ (Aminoethoxyvinylglycine, AVG) Application on Flower Longevity, Ethylene Generation, Pollen Tube Growth and Yield in Arbequina Olives (*Olea Europaea*). **University of California, Davis**, 2021.

ZAMBON, C. R., SILVA, L. F. D. O. D., PIO, R., BIANCHINI, F. G., and OLIVEIRA, A. F. D. Storage of pollen and properties of olive stigma for breeding purposes. **Revista Ciência Agrônômica**, 49(2), 291-297, 2018.

2. Projeto de Pesquisa

Título: Biologia Reprodutiva da Oliveira (*Olea europea* L.) na região de Pelotas-RS

2.1. Antecedentes e Justificativa

2.1.1. Histórico e Economia

A oliveira (*Olea Europea* L.) é uma árvore frutífera vegetal arbórea da família botânica Oleaceae, com aproximadamente 20 gêneros, e está incluída dentro da subespécie europeia na variedade botânica europaea (oliva cultivada), única azeitona comestível (MARINIHO, 2022). Originou-se de uma vasta área, que abrange desde o Sul do Cáucaso até os planaltos do Irã, Palestina e a zona costeira da Síria, estendendo-se pelo Chipre até o Egito, povoando todos os países que margeiam o Mediterrâneo (COUTINHO E JORGE, 2013).

No Brasil, a oliveira foi introduzida por volta de 1800, por meio de imigrantes europeus que se estabeleceram nas regiões Sul e Sudeste (Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul) (EPAMIG, 2007). A princípio os cultivos de oliveiras foram feitos por padres próximo a igrejas, devido às comemorações de “*Domingos de Ramos*”, ou a título de curiosidade por fazendeiros. Contudo, foram cortados por ordem da realeza portuguesa que temia a competição com seus produtos, este fato, levou ao atraso da expansão da cultura no Brasil durante o período colonial (COUTINHO et al., 2009).

No Rio Grande do Sul (RS), o município de Uruguaiana foi pioneiro no plantio de oliveiras, através do Embaixador Batista Luzardo, que plantou na Fazenda São Pedro em torno de 72.000 mudas obtidas da Argentina, formando um grande olival (COUTINHO et al., 2009). Oficialmente a olivicultura foi introduzida no estado em 1948, com a criação do serviço Oleícola, órgão especializado da Secretaria da Agricultura, que tinha como intuito a supervisão e a orientação de trabalhos de pesquisa. Esse incentivo por parte do governo, foi para estimular o desenvolvimento da cultura no estado, muitas vezes até com premiações e isenção de impostos, contudo, derivou em olivais com baixa qualidade (COUTINHO et al., 2009; COUTINHO e JORGE 2013).

Atualmente o Brasil tem em torno de 10 mil hectares plantados da cultura, e com estimativa de chegar a 20 mil em 2025 (IBRAOLIVA, 2022). Destes 10 mil hectares, o RS detém em torno de 5.968 hectares, dos quais em torno de 3.464 estão em produção, com idade superior a quatro anos, e 2.522 devem entrar nos próximos anos (DPPA, 2022).

O RS, em 2022 teve aproximadamente 321 produtores de oliveiras, um aumento em torno de 121% com relação a 2017. Ainda, os municípios que obtinham olivais dobraram, passando de 56 para 110 (DPPA, 2022). Destes municípios, em torno de 16 possuem mais de 100 hectares plantados, o que configura a estes 79,92% do plantio no estado. Em destaque, acima de 200 hectares, estão: Encruzilhada do Sul (1.008 ha); Canguçu (657 ha); Pinheiro Machado (507 ha); Bagé (404 ha); Cachoeira do Sul (383 ha); Santana do Livramento (302 ha); Viamão (239 ha); e São Gabriel (229 ha) (DPPA, 2022).

2.1.2. *Condições Climáticas da Oliveira em sua Origem*

No clima Mediterrâneo, as oliveiras passam pelo inverno, e ocorre a acumulação de horas de frio (HF) abaixo de 12,5°C, para a saída da dormência e posterior florescimento uniforme (TAPIA et al., 2003).

De acordo com as experiências nos países Mediterrâneos, é dito que as temperaturas no verão, para uma boa frutificação efetiva (*fruit-set*), não devem passar os 35° e nem ser inferior à 25°C (TAPIA et al., 2003). As oliveiras podem tolerar temperaturas até 40°C, no entanto, ao passar de 35°C, ocorre o prejuízo da fotossíntese e consequentemente ocorre um baixo conteúdo de carboidratos nos frutos, prejudicando a qualidade das azeitonas e do azeite (TAPIA et al., 2003; JORGE e COUTINHO, 2013).

Ainda, a umidade relativa deve estar entre 60 e 80%, caso, seja menor que 50% podem prejudicar a viabilidade do estigma, devido a sua desidratação e acima de 100% hidrata o grão de pólen, dificultando seu transporte pelo vento devido ao seu peso elevado (TAPIA et al., 2003).

A cultura necessita em torno de 650-800mm por ano em média, sendo que nos meses secos esse índice pode ser de 250-550 mm (TAPIA et al., 2003). Contudo, durante o florescimento, na primavera, não é interessante chuvas muito frequentes, para que não ocorra a lavagem do pólen do estigma, podendo prejudicar a frutificação efetiva (COUTINHO et al, 2009; CAPPELLARO, 2010).

É necessário obter novas informações sobre a resposta da floração de diferentes cultivares de acordo com o clima do Rio Grande do Sul. Segundo Kuinchtner e Buriol (2001), utilizando o sistema de classificação climática de Koppen (1931), no RS tem a ocorrência do clima Temperado (C), dividido em dois tipos, Subtropical Úmido (Cfa) (verão quente) e Oceânico Temperado (Cfb) (verão fresco). Durante a primavera pode haver excesso de precipitação em alguns anos, o que pode prejudicar a floração (COUTINHO et al., 2009).

2.2. *Floração da Oliveira*

2.2.1. *Biologia Floral*

Até a floração, a olivicultura passa por três principais processos, indução, iniciação e diferenciação (FERNANDEZ- ESCOBAR et al., 1992; CUEVAS e POLITO, 2004). As inflorescências se originam como botões nas axilas das folhas de novas brotações, no ano anterior ao da floração. Ocorre uma integração entre gemas e folhas, onde a formação da gema está integrada a de sua folha, sendo assim, a cada nova folha que cresce, forma-se uma gema em seu eixo axial e ambas atingem o tamanho máximo em 4-6 semanas após a data de aparecimento das folhas (RAPOPORT et al., 2012).

Os botões formados inicialmente são estruturalmente idênticos e vegetativos, e dependem dos fatores endógenos e exógenos para se tornarem a) uma inflorescência, b) crescimento de um ramo, c) continuar dormente ou d) morte e abscisão (RAPOPORT et al., 2016).

O processo da formação dos botões nos eixos foliares dos novos brotos, ocorre durante a primavera e verão, onde recebem estímulos de indução e iniciação necessários, e a partir do momento em que se formam, não sofrem mais alterações morfológicas até o momento da diferenciação reprodutiva na primavera seguinte (Fig. 1) (RAPOPORT et al., 2012; 2016).

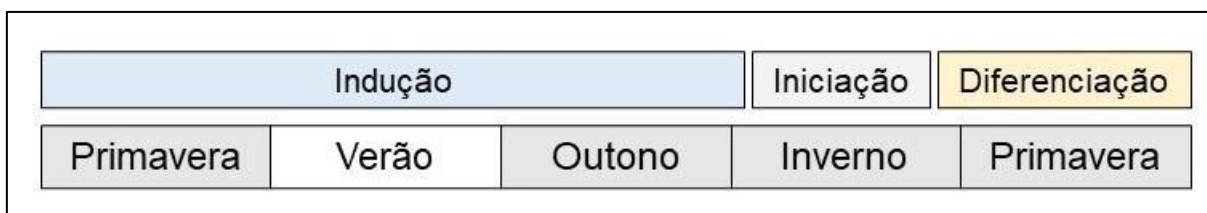


Figura 1. Adaptada de Rapoport et al. (2016). Desenvolvimento reprodutivo da oliveira desde a formação dos botões até a floração. Após a indução necessária e a estimulação de iniciação a partir de

condições ambientais adequadas, a diferenciação reprodutiva prossegue até o desenvolvimento de uma inflorescência.

Uma oliveira adulta produz cerca de 500.000 flores por ano (MARTIN et al., 2006), contudo, em um ano com floração normal, somente de 1 a 3% destas resultará em frutificação com um bom rendimento comercial (PERICA et al., 2001; BENLLOCH-GONZÁLEZ et al., 2018). As flores da oliveira agrupam-se ao longo de um eixo em inflorescências paniculadas, que nascem geralmente na axila das folhas em brotos desenvolvidos na estação anterior (SEIFI et al., 2015). Portanto, o número de flores é determinado pelo número de inflorescências, e por inflorescências (RAPOPORT, 2012). O comprimento das inflorescências (3 a 8cm), assim como o número de flores (10 e 35), é dependente da cultivar, condições climáticas e podem variar de ano para ano (SEIFI et al., 2015; RAPOPORT et al., 2016).

As inflorescências da oliveira são compostas por flores que podem ser hermafroditas ou estaminadas, sendo esta árvore considerada andromonóica (CUEVAS E POLITO, 2004; RAPOPORT et al., 2016). Flores estaminadas são consideradas como uma das principais razões para a baixa frutificação na oliveira, por não produzirem frutos (MARINIHO, 2022).

As flores hermafroditas são constituídas por um cálice pequeno e esverdeado, quatro pétalas brancas, dois estames com grandes anteras e um pistilo composto por um grande estigma com estilete curto e o ovário bilocular com quatro óvulos. As flores estaminadas resultam do aborto do pistilo em vários estádios de diferenciação do gineceu, que resulta em um órgão não funcional e rudimentar (CUEVAS e POLITO, 2004; RAPOPORT, 2012; 2016).

O abortamento do pistilo ocorre no início do desenvolvimento da flor, em torno de 4 semanas antes da floração (CUEVAS et al., 1992). Pode resultar principalmente da competição entre flores (ovários) por recursos, devido à alta floração (ROSATI et al., 2012). Condições adversas também podem influenciar, como deficiência de nitrogênio, doenças foliares e baixa relação folha- broto (FERNANDEZ-ESCOBAR et al., 2008). Segundo Mariniho (2022), há uma relação direta entre o número de folhas e o abortamento dos pistilos, onde as flores vão se desenvolver mal, se o número de folhas diminuir, assim como, o número de pistilos abortados irá aumentar. Ainda, a posição da flor dentro da panícula, pode influenciar além do sexo, a antese. As flores na ponta e os pedicelos principais eram hermafroditas e abriam primeiro, enquanto as

flores nos pedicelos subsidiários eram na maioria estaminadas e abriam por último (SEDGLEY e GRIFFIN, 2013). O conteúdo de amido também parece estar associado ao sexo das flores, onde Mariniho (2022), encontraram menores teores de amido nas flores estaminadas, sugerindo uma ligação entre a disponibilidade de nutrientes e o abortamento do pistilo.

2.2.2. *Polinização e Fertilização*

A frutificação depende do sucesso de uma série de processos combinados ao longo da indução floral, floração e da polinização (fase progâmica), onde ocorre a transferência de pólen para estigmas receptivos, adesão do pólen e germinação no estigma, crescimento do tubo polínico no pistilo e fertilização dos óvulos (VULETIN SELAK et al., 2014; RIELLA et al., 2022). Apenas um dos quatro óvulos é fecundado e vira fruto (WANG, 2021).

Na maioria das espécies cultivadas, incluindo a oliveira, a funcionalidade do pólen é fator determinante na produção de frutos e sementes (IOVANE et al., 2022). O pólen é produzido pelas anteras em ampla quantidade, variando entre 70.000 e 90.000 grãos por antera (ORLANDI, et al. 2003; FERRARA, et al. 2007). A viabilidade do grão de pólen e sua germinação são essenciais para garantir a fertilização, e, portanto, a interação destes com os eventos climáticos extremos podem limitar a produtividade das culturas (IOVANE et al., 2022). Segundo Vuletin Selak et al. (2013), temperaturas e umidade relativa (UR) elevadas podem prejudicar a viabilidade e germinação polínica.

Ainda, variações climáticas podem afetar o tempo de floração, e a produção de pólen (GALAN et al., 2005). Com as constantes mudanças climáticas no mundo, devido ao aquecimento global, é importante conhecer a fenologia das oliveiras, afim, de avaliar a influência destas mudanças no cenário de produção (TUPPER, 2021). Estudos anteriores já determinaram que as temperaturas anuais da primavera estão aumentando, e modificando o tempo de floração das oliveiras (OZDEMIR, 2016; TUPPER, 2021).

A oliveira é uma árvore anemófila, e, portanto, polinizada pelo vento (CORTINAS et al., 2020). Como forma de uma estratégia ecológica para garantir a fertilização, estas árvores produzem grãos de pólen em grandes quantidades por flor individual (CORTINAS et al., 2020). Contudo, as mudanças climáticas nos últimos anos podem estar impactando tanto na qualidade quanto na quantidade do pólen

produzido, e assim afetando a polinização das oliveiras (GARRIDO et al., 2021). Ainda, isto pode variar de acordo com cultivar plantada (ROJO et al., 2014). Portanto, realizar estudos fenológicos e aerobiológicos são necessários para determinar o tempo e estágio de floração da oliveira, buscando identificar as respostas da fenologia diante a estas mudanças climáticas (GARRIDO et al., 2020).

As altas temperaturas durante a primavera, quando ocorre a floração da oliveira, podem prejudicar a progâmia (fertilização até fecundação), ainda, aumentar a incompatibilidade entre cultivares (VULETIN SELAK et al., 2013). A correta determinação do Período Efetivo de Polinização (EPP), que é definido como o período durante o qual a polinização pode produzir frutificação (VULETIN SELAK et al., 2014), é muito importante para a tomada de decisões com relação as cultivares utilizadas no pomar, detecção de problemas que possam estar limitando a produção, entre outros manejos.

O EPP foi proposto por Williams (1965) em macieira (*Malus domestica* Borkh), devido a frequente falha na frutificação (RIELLA et al., 2022). Este autor, definiu três componentes de interação pólen-pistilo para explicar a variação na duração da EPP em diferentes cultivares e flores de macieira: Receptividade do estigma, taxa de crescimento do tubo polínico e longevidade do óvulo. Então, o EPP foi definido como a longevidade do óvulo menos o tempo (em horas ou dias) necessário para um tubo polínico atingir um óvulo fértil que é o tempo entre a polinização e a fertilização, desde que esse valor não exceda a duração da receptividade estigmática (CUEVAS e POLITO, 2009; VULETIN SELAK et al., 2013; 2014). A duração do EPP pode ser estimada pela análise da duração desses três componentes, comumente por meio de microscopia de fluorescência (VULETIN SELAK et al., 2014).

O EPP foi estudado em algumas cultivares de oliveiras em diferentes locais. Em um estudo com as cultivares ‘Picual’ e ‘Manzanilla’ na Espanha e Califórnia, o EPP para ‘Picual’ ficou entre 8 e 14 dias, enquanto, que, para ‘Manzanilla’ entre 4 e 6 dias (CUEVAS e POLITO, 2009). Na Croácia, as cultivares ‘Lastovka’, ‘Leccino’ e ‘Levantinka’ tiveram o EPP determinado entre 2 e 3 dias pelo método de frutificação e entre 5 e 12 pela microscopia de fluorescência (VULETIN SELAK et al., 2014). Para a cultivar ‘Arbequina’, no Uruguai, o EPP foi determinado para os 7 dias (RIELLA et al., 2022). Em um estudo na Croácia com a cultivar ‘Oblica’, os autores determinam um EPP relativamente curto, em torno de 1 a 2 dias (VULETIN SELAK et al., 2013).

2.3. *Viabilidade da Flor por um período maior (AVG)*

Muitas vezes, não é possível a identificação do componente limitante do EPP que possa estar dificultando a frutificação, sugerindo que outros fatores podem estar envolvidos, como a perda de funcionalidade do estilete, cuja senescência pode impedir o crescimento de tubos polínicos a caminho dos óvulos, mesmo que óvulos viáveis estejam presentes no ovário (VULETIN SELAK et al., 2014).

Uma alternativa para contornar tal situação, é a utilização do composto aminoetoxivinilglicina (AVG), que inibe competitivamente a ACC sintase presente na biossíntese do etileno (YU et al., 1979). O etileno está intimamente relacionado com a abscisão de órgãos vegetais, incluindo os órgãos florais (FAGYI, 2019). O AVG já foi utilizado em experimentos com diferentes culturas, na supressão do etileno. Carra et al. (2018); Pasa et al. (2017), utilizaram em pereiras e observaram a diminuição da concentração de etileno, consequente aumento de frutificação e produtividade. Wang (2019), testou AVG em oliveiras da cultivar 'Arbequina', e determinou que o tratamento com 264 ppm de Retain em 25 a 50% de floração melhoraram o rendimento da cultura, mas obtiveram resultados inconclusivos se o AVG ajudou no período efetivo da polinização.

2.4. *Incompatibilidade das oliveiras*

A oliveira foi tradicionalmente considerada autofértil, mas estudos recentes demonstram que elas podem ser autoincompatíveis (SAUMITOU-LAPRADE et al., 2017). A autoincompatibilidade (SI), leva a rejeição do autopólen, e desta maneira, encoraja a biodiversidade ao inibir a autofecundação, contudo, isto pode levar a baixas frutificações nas cultivares de oliveiras sem polinização cruzada (MHANNA et al., 2019).

A autoincompatibilidade de cultivares é caracterizada pelo atraso no crescimento do tubo polínico no estilete e consequentemente por níveis tardios e reduzidos de autofecundação, prejudicando o EPP (VULETIN SELAK et al., 2014; SANCHEZ ESTRADA e CUEVAS 2018). Nesse contexto, a duração da longevidade do óvulo parece crítica. Flores efêmeras com óvulos de vida curta são fortemente dependentes de tubos polínicos de crescimento rápido, como aqueles formados por cultivares compatíveis entre si (VULETIN SELAK et al., 2014).

A utilização de pomares monovarietais ainda é uma realidade nas regiões produtoras, principalmente da cultivar 'Arbequina', contudo, nestas condições esta

cultivar vem apresentando baixos rendimentos ou produções erráticas (RIELLA et al., 2022). A ‘Arbequina’ foi recentemente classificada como auto incompatível, e teve a frutificação aumentada quando polinizada por ‘Manzanilla’ e ‘Picual’ (SANCHEZ ESTRADA e CUEVAS, 2018). A cultivar ‘Manzanilla’, também é considerada fortemente auto incompatível (CUEVAS e POLITO, 1997).

Riella et al., 2022, sugerem que a compatibilidade é frequentemente influenciada pelas condições ambientais. Temperaturas mais altas, acima de 30°C, podem causar inibição do crescimento dos tubos polínicos, bloqueando os no caminho dos óvulos (VULETIN SELAK et al., 2013). Como a polinização da oliveira é feita preferencialmente pelo vento, em pomares com baixa diversidade de cultivares, ou até mesmo monovarietais, as condições climáticas podem influenciar na dispersão desse pólen e na consequente frutificação (SANCHEZ ESTRADA e CUEVAS, 2020).

Portanto, os projetos de pomares, devem levar em consideração a seleção correta de polinizadores Inter compatíveis na quantidade e localização adequados. Estes polinizadores, devem florescer na mesma data, e em abundância, e ainda, é conveniente, cultivares de alto rendimento, alto valor comercial e mesma finalidade (SANCHEZ ESTRADA e CUEVAS, 2020). Para isto, a importância de se determinar quais cultivares são compatíveis entre si, e que possam se polinizar, para que os próximos plantios sejam direcionados e aumentem sua frutificação.

2.5. *Determinação da Temperatura Base Inferior (Tb) e Soma Térmica (Graus Dias) em Pelotas e Soma Térmica (Graus Dias) em Dom Pedrito*

Um dos principais fatores que deve ser levado em consideração no plantio da olivicultura, é o clima, pois ele influencia diretamente nos estádios fenológicos da cultura, como florescimento, frutificação, maturação e consequentemente na qualidade das azeitonas de mesa e no azeite (CAPPELLARO, 2010).

Um fator importante para determinar o efeito da temperatura do ar sobre o desenvolvimento das oliveiras é a soma térmica, cuja unidade é expressa em “graus dias” (MARTINS et al., 2019). Segundo Tapia et al. (2003), a soma térmica está diretamente relacionada com o rendimento bruto da cultura, onde quanto maior a soma térmica, maior o rendimento. Ainda, para estes autores, a soma térmica ideal encontrada na área de origem da cultura, na bacia do Mediterrâneo, é em torno de 4.100 graus dias.

Os graus dias é baseado no acúmulo térmico diário (24 horas) dentro dos quais a planta se desenvolve, sendo delimitados pelas temperaturas basais superior (TB) e inferior (Tb), sendo variável de acordo com a espécie, cultivar e condições ambientais (MARTINS e SOUZA, 2014; FREITAS et al., 2017).

A temperatura base inferior (Tb) é considerada quando a temperatura está abaixo da qual os processos metabólicos são reduzidos e o desenvolvimento é diminuído ou nulo, ocorre principalmente no inverno. E a temperatura base superior (TB), geralmente assume valores elevados, onde a respiração é maior que a fotossíntese, e assim, o desenvolvimento é nulo ou diminuído (MARTINS et al., 2019; FERREIRA et al., 2019).

Geralmente, na clássica equação da soma térmica, é utilizado somente a Tb, que assume valores baixos principalmente durante o inverno. Já a TB, tem altos valores, que dificilmente serão atingidos durante o desenvolvimento da cultura no campo (FERREIRA et al., 2019). Ainda, a Tb também é utilizada para a quantificação coerente das horas de frio necessárias para que a oliveira interrompa a dormência e inicie a diferenciação dos botões florais (MARTINS et al., 2019). Diante a isto, é importante a determinação correta da Tb, e assim, escolher o método de soma térmica mais adequado (FERREIRA et al., 2019; FREITAS et al., 2017).

2.6. Hipóteses

- A biologia floral da oliveira na Região Sul do Rio Grande do Sul, será diferente da proposta por outros autores em outras condições de cultivo.
- A fenologia das duas cultivares de oliveira avaliadas na Região Sul do Rio Grande do Sul irá se diferenciar das demais regiões produtoras.
- A aplicação de Retain (aminoetoxivinilglicina) aumentará o período de viabilidade das flores das duas cultivares de oliveira.
- Alta carga produtiva de frutos reduzirá o conteúdo de carboidratos em plantas de oliveira em anos 'On'.

2.7. Objetivos

2.7.1. Objetivo Geral

Avaliar e determinar o processo reprodutivo, com enfoque, na floração de cultivares de oliveira, na Região Sul do Rio Grande do Sul.

2.7.2. *Objetivos Específicos*

- Identificar as datas das fases fenológicas das cultivares de oliveira na Região Sul do Rio Grande do Sul;
- Descrever a biologia floral da oliveira na Região Sul do Rio Grande do Sul em duas cultivares;
- Caracterizar a disponibilidade, qualidade e quantidade de pólen no pomar de oliveiras na Região Sul do Rio Grande do Sul;
- Avaliar a influência do produto Retain (aminoetoxivinilglicina) no período de viabilidade da flor de oliveira.

2.8. *Metas*

6-18Meses

Qualificação e publicação de um artigo de uma revista de qualis A1.

18-30Meses

Publicação dos demais artigos em revistas de alto impacto.

30-36 Meses

Defesa da tese e publicação dos artigos dos experimentos 3 e 4.

2.9. *Material e Métodos*

Para o presente projeto é proposto a execução de cinco experimentos, todos voltados a fenologia e reprodução da oliveira. Os experimentos serão desenvolvidos durante as ciclos 2022/2023; 2023/2024; 2024;2025.

2.9.1. *Material Vegetal*

2.9.1.1. *Arbequina*

É originária da região de Lérida, na Espanha. É uma planta de baixo vigor, com copa aberta e mediana densidade. Possui inflorescências de comprimento longo (entre 35 mm e 38 mm) e em média 25 flores por racimo, tem a folha em forma elíptica, de curto comprimento (4 a 5 cm), largura mediana (1,5 cm), com curvatura longitudinal do limbo epinastica. O fruto é de baixo peso (3,5g), de forma esférica, simétrico, ápice

redondo, base truncada, lenticelas escassas e pequenas. O conteúdo de azeite é considerado alto (entre 16% e 18%).

De modo geral, na região da Campanha do Rio Grande do Sul e no oeste de Santa Catarina, a floração inicia em setembro e termina no início de outubro, sendo que a plena floração ocorre no final do mês de setembro (com duração aproximada de 3 dias). A maturação geralmente inicia em março, estendendo-se até a primeira quinzena de abril (COUTINHO et al., 2015).

2.9.1.2. *Koroneiki*

Cultivar originada na Grécia, onde é a mais plantada. Possui médio vigor, copa com mediana intensidade e aberta. As inflorescências apresentam comprimento médio (entre 30mm e 35mm) e com mediano número de flores (cerca de 20) por racimo. Folhas, em forma elíptico lanceolada, de curto comprimento (3cm), largura estreita (<1 cm), com curvatura longitudinal do limbo hiponástica. O fruto apresenta baixo peso (<2 g), forma esférica, simétrico, ápice pontiagudo, base truncada, lenticelas escassas e pequenas. O conteúdo de azeite é considerado alto (entre 15% e 17%).

No Rio Grande do Sul, a floração inicia em meados de setembro e termina no início de outubro, sendo que a plena floração ocorre no final do mês de setembro (com duração aproximada de 3 dias). A maturação normalmente inicia-se em abril, estendendo-se até a primeira quinzena de maio (COUTINHO et al., 2015).

Experimento 1- Biologia floral das cultivares de oliveira 'Arbequina' e 'Koroneiki' (Olea europea L.) nas condições de cultivo da Região Sul do Rio Grande do Sul

Fenologia

Serão marcados 20 ramos por planta de oliveira, distribuídos entre os quadrantes norte, sul, leste e oeste. Para a condução do estudo, será utilizada a escala fenológica Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and Chemical Industry (BBCH), desenvolvida por Meier et al. (2001) e adaptada para oliveiras por Sanz-Cortés et al. (2002). Serão avaliados quatro estádios fenológicos principais, com três fases fenológicas observadas em cada um deles. Os estádios principais a serem considerados são: Estádio 5 (desenvolvimento da inflorescência), Estádio 6 (floração), Estádio 7 (desenvolvimento do fruto) e Estádio 8 (maturação do fruto).

Fases fenológicas em cada estágio:

- Estádio 5 (51: inflorescência: botões começam a inchar no caule; 55: cacho de flor expandido, botões florais começam a abrir; 59: A corola muda de verde para cor branca).
- Estádio 6 (61: Início da floração: 10% das flores abertas; 65: Floração completa: pelo menos 50% das flores abertas; 69: Fim da floração, frutificação, ovários não fertilizados caídos).
- Estádio 7 fases (71: Tamanho do fruto cerca de 10% do tamanho final; 75: Tamanho do fruto cerca de 50% do tamanho final, caroço começa a lignificar; 79: Tamanho do fruto cerca de 90% do tamanho final, frutos aptos para serem apanhados como azeitonas verdes).
- Estádio 8 (81: Início da coloração dos frutos; 85: Aumento da coloração específica dos frutos; 89: Maturação da colheita: os frutos adquirem a cor típica da variedade, mantendo-se túrgidos, adequados para a extração do azeite).

Fenologia Reprodutiva

As avaliações serão realizadas semanalmente nas duas cultivares analisadas. As anotações serão feitas em formato de triângulo, conforme descrito por Sanz-Cortés et al. (2002), sendo organizadas da seguinte forma: no vértice inferior esquerdo será registrado o estágio fenológico mais atrasado; no vértice inferior direito, o mais adiantado; e, no vértice superior, o estágio dominante.

Serão selecionados cerca de 20 ramos por planta, todos terminais e formados na mesma estação de crescimento. As avaliações serão realizadas semanalmente, e as variáveis analisadas serão:

- Número de inflorescências;
- Número de flores perfeitas e estaminadas (relação);
- Porcentagem de brotos floridos;
- Número de inflorescências por metro de broto;

- Taxa de germinação do pólen;
- Fruit-set.

Morfometria Floral

Serão utilizadas 20 flores de 10 plantas (ou 40 flores de 5 plantas). No estágio de pré-antese, as flores serão isoladas com sacos, a fim de evitar a polinização. Após seis dias, será realizada a coleta dessas flores, ou, alternativamente, será feita a coleta de flores já abertas.

- Serão avaliados: o comprimento e a largura da flor, das pétalas, sépalas, estigma com ovário, ovário, estames e anteras, com o auxílio de um paquímetro digital.
- Será contado: o número de estigmas, carpelos, óvulos e anteras. A contagem será realizada com o uso de um estereoscópio. Para a visualização de carpelos e óvulos, será feito um corte transversal no ovário.

Receptividade Estigmática

Serão coletados botões florais em três estádios distintos: botão pequeno, balão e flor aberta. Os estigmas serão retirados e imersos em água oxigenada a 3% por três minutos, visando à observação da liberação de bolhas de ar. Essa reação entre a água oxigenada e a enzima peroxidase indica que o estigma está receptivo, conforme a metodologia descrita por Zeisler (1938).

Quantidade e Viabilidade do Pólen de Olea Europea

Quantidade-

Serão selecionadas 20 flores para este estudo, as quais serão divididas em dois grupos. Os pares de anteras serão removidos e acondicionados em tubos Eppendorf destampados, mantidos a temperatura controlada de 27°C por 24 horas, na ausência de luz, para permitir a deiscência e a liberação dos grãos de pólen. Após esse período, será adicionada uma solução de 1.000 µL de ácido láctico a cada tubo Eppendorf. Passadas 48 horas, uma amostra de 10 µL de cada tubo será colocada em uma câmara de contagem adaptada, com área conhecida, e o número de grãos

de pólen será determinado com o auxílio de um microscópio óptico, utilizando lente objetiva de 10x. A quantidade média de grãos de pólen por flor (n) será determinada com a fórmula:

$$n = \text{Contagem de pólen} \times 3000 \text{ mm}^3 / 0.1 \text{ mm} / 10 \text{ flores}$$

Viabilidade-

As anteras de 10 botões florais serão retiradas em pleno desenvolvimento, no estágio 65 da escala BBCH (Sanz-Cortés et al., 2002), no final da tarde, com o auxílio de fórceps. Em seguida, as anteras serão armazenadas em placas de Petri destampadas, mantidas em estufa de secagem a temperatura ambiente controlada (27 °C) por 12 horas, na ausência de luz, para permitir a antese, a deiscência completa e a liberação dos grãos de pólen (Ramos et al., 2008).

O meio de cultura a ser utilizado para a germinação dos grãos de pólen de oliveira será composto por 4 g L⁻¹ de ágar, acrescido de 90 g L⁻¹ de sacarose e 400 mg L⁻¹ de ácido bórico. O pH será ajustado para 5,79, conforme Silva et al. (2016). Os grãos de pólen de cada variedade serão distribuídos sobre a superfície do meio com o auxílio de um pincel, de modo a garantir uma distribuição homogênea. O pólen será incubado por 60 horas a 28 °C, com temperatura controlada em 27 °C e fotoperíodo de 24 horas.

A germinação será avaliada com o auxílio de uma lupa binocular com objetiva de 10x. Serão considerados germinados os grãos de pólen cujo comprimento do tubo polínico for pelo menos o dobro do seu diâmetro (Ramos et al., 2008).

Aerobiologia

O estudo aerobiológico será realizado com um coletor de pólen (armadilha volumétrica) Lanzoni VPPS 2010, derivado do modelo de Hirst. A armadilha será instalada no centro do olival durante os meses de setembro e outubro.

As variáveis a serem analisadas serão:

- Concentrações diárias de pólen de oliveira medidas como número médio de grãos de pólen por metro cúbico (pólen/m³);

- Principal estação polínica (MPS), onde o início corresponde a 2,5% do total anual e termina no dia em que atinge 97,5% do total anual.
- Correlação entre os fatores meteorológicos e as concentrações de pólen;
- Dia de pico e quantidade de pólen.
- Correlação grãos de pólen e graus dias.

Experimento 2- Relação de compatibilidade e período efetivo de polinização das cultivares de oliveira 'Arbequina' e 'Koroneiki' (Olea europea L.) nas condições de cultivo de Pelotas/RS

Relações de compatibilidade entre as cultivares estudadas

Serão selecionados blocos com dez árvores, nas quais dois brotos por tratamento serão marcados em cada uma delas. As flores abertas e aquelas anteriores ao estágio de balão serão removidas.

Tratamentos:

- Autopolinização 'Arbequina' e 'Koroneiki';
- Polinização aberta;
- Polinização cruzada 'Arbequina' (mãe) x 'Koroneiki' (pai);
- Polinização cruzada 'Koroneiki' (mãe) x 'Arbequina' (pai).
- Outros genótipos.

Avaliações:

- A viabilidade do pólen: cloreto de 2,3,5 trifenil tetrazólio (TTC).
- Frutificação: Será feita a frutificação inicial (FI) e final (FF), expressas em % de frutos em crescimento em relação ao nº inicial de flores no ramo, registradas 20 (FI) e 45 (FF) dias após a polinização (DAP) respectivamente.

- Razão de autoincompatibilidade (ISI): frutos colhidos por polinização cruzada / frutos colhidos por polinização aberta. ISI > 0,3 = autocompatível, >0,29 a 0,1 = parcialmente autoincompatível; e 0,1 a 0 = totalmente autoincompatível.
- Análise de paternidade: coleta de frutos, retirada do mesocarpo, endocarpo e tegumento (sementes não germinadas). Extração de DNA e utilização de marcadores moleculares.

Determinação do EPP (Período efetivo de polinização) das cultivares estudadas

Flores em estágio de botão, com 10 % de flores na antese (BBHC 61) vão ser emasculadas e cobertas com alumínio para evitar a polinização indesejada. A polinização será feita em uma data estabelecida, e será coletado as flores em 7 dias consecutivos após a polinização (DAP). Estas serão fixadas em FAA (formaldeído, ácido acético, etanol 70% 5:5:90), alterado para etanol 70% após 24h, até a observação microscópica. Microscopia por inflorescência.

Avaliações dos Componentes do EPP

- Receptividade estigmática (metodologia do experimento 1).
- Taxa de crescimento do tubo polínico

Ramos com flores em estágio de botão serão coletados e levados ao laboratório. No laboratório serão colocados em frascos com solução açucarada (2 a 3 colheres de açúcar, por 500ml de água). Depois as flores serão emasculadas e polinizadas com pólen da polinizadora a ser testada.

Após 4-6 dias, os pistilos serão colocados em frascos com fixador 1:1:8 (formol, ácido acético e álcool etílico) para que não haja deterioração deles até o momento da avaliação.

Quando retirados do fixador, será feita três lavagens em água destilada, para serem transferidos para uma solução 8N de NaOH, por um período de 20h a temperatura ambiente com o objetivo de amaciar os tecidos. Após esse período, os pistilos serão lavados novamente três vezes e serão colocados em uma solução de hipoclorito de sódio a 20%, durante 10 minutos, com a finalidade de clarear os tecidos. Depois disso e após três lavagens em água destilada os pistilos serão transferidos

para uma solução com um corante diferencial, no caso lacmoíde a 1% (1g de lacmoíde para 100ml de água destilada). Para o preparo das lâminas, os pistilos serão colocados sobre as mesmas, acrescentando uma gota de lacmoíde diluído, após será colocada a lamínula e será gentilmente macerado. Por fim, os pistilos serão observados em microscópio e avaliados conforme a escala adaptada de BANDEIRA et al (2011).

Experimento 3- Influência da aplicação de Retain (Aminoeroxivinilglicina, AVG) no aumento de pegamento de frutos, longevidade da flor, inibição do etileno, produtividade e qualidade de azeite

Serão selecionados quatro blocos casualizados, com três plantas em cada. A planta central será considerada a unidade experimental e as duas como guardas.

Tratamentos:

- Épocas de aplicação de acordo com a escala BBCH (SANZ- CORTEZ, 2002),estádios: 61 (10% de flores abertas), 65 (50% de flores abertas) e 67 (pétalas caindo).
- Doses de aplicação: Controle, 100ppm, 125ppm e 150ppm.

Época	Doses (ppm)
61	Controle
	100
	125
	150
62	Controle
	100
	125
	150
67	Controle
	100
	125
	150

No total serão três épocas x quatro doses x duas cultivares x quatro blocos= 96 tratamentos.

Avaliações:

- Evolução visual da senescência da flor: serão marcados dois ramos iguais nos quatro lados da planta, e será feita a avaliação da senescência visual por 15 dias após a aplicação e avaliado diante a uma escala de 10 pontos (WANG et al., 2021).
- 0: plena floração sem senescência visível;
- 3: plena floração com pequeno número de pétalas marrons;
- 6: floração completa com pétalas principalmente marrons e algumas pétalas caídas;
- 9: queda de pétalas completa.
- Determinação de etileno:
- Após a aplicação (Dia zero) será feita a coleta de flores diariamente, por 15 dias, e acondicionadas imediatamente em gelo e levadas ao laboratório.
- No laboratório será pesado ~0,6g, ou de 3 a 5 flores;
- Colocadas em tubos de 15cm herméticos;
- Deixadas em temperatura ambiente, 20°C por 1 hora;
- Retiradas 10 mL de cada tubo com uma seringa e injetado no cromatógrafo.
- Crescimento do tubo polínico: igual experimento 2 (microscopia de fluorescência).
- *Fruit-set* (pegamento de frutos): Na plena floração todas as flores serão contadas por planta e depois da frutificação, o número de frutos e será calculado: n° de frutos/ n° de flores.
- Qualidade das frutas: análise pós- colheita, diâmetro, peso, firmeza, brix°.
- Qualidade do azeite.

Experimento 4- Estimativa da temperatura base e a influência da temperatura do ar no desenvolvimento reprodutivo de cultivares de oliveira em Dom Pedrito-RS

As variáveis meteorológicas, temperatura mínima (Tm) e máxima (TM) diárias do ar, vão ser obtidas da estação meteorológica convencional.

Para a estimativa da Tb, será utilizado metodologias tradicionais e modificadas por outros autores (SOUZA e MARTINS et al., 2014; MARTINS et al., 2018; FERREIRA et al., 2019).

Cálculos:

1º) Soma térmica diária ($STdi$, °C dia) por:

$$STdi = \left(\frac{T_{M+Tm}}{2} \right) - Tb$$

Para o cálculo de $STdi$, será utilizada uma série de Tb 's variando de 0°C a 30°C, em intervalos de 0,5°C (FREITAS et al., 2017).

2º) Soma térmica acumulada, denominada necessidade térmica (STa , °C dia) a partir da data de início de cada subperíodo, obtida pelo somatório da $STdi$.

$$STa = \sum STdi$$

Para a estimativa da Tb será utilizada seis metodologias: desvio padrão em graus-dia ($DPgd$), desvio padrão em dias (DPd), coeficiente de variação em graus-dia ($CVgd$), coeficiente de regressão (CR), e desenvolvimento relativo (DR). Serão aplicados para cada cultivar e subperíodo de desenvolvimento reprodutivo.

3º) $DPgd$, considera a Tb como a resultante no menor desvio padrão em soma térmica, ou seja, a variação resultante em soma térmica, usando-se uma série de anos agrícolas, deve ser mínima:

$$DPgd = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(STai - MSTa)^2}{n-1}}$$

$STai$ = a soma térmica acumulada no i-ésimo ano agrícola utilizando uma série Tb ; $MSTa$ é a média da soma térmica acumulada para todos os i-ésimos anos agrícolas; n é o número de anos agrícolas.

4º) O DPd considera a Tb como a resultante no menor desvio padrão entre os diferentes anos agrícolas:

$$DPd = \frac{DPgd}{\bar{x} - Tb}$$

em que \bar{x} é a temperatura média do ar dos i anos agrícolas; Tb é a temperatura basal inferior (°C).

5º) No *CVd* a *Tb* é aquela que decorre em um menor coeficiente de variação em dias (%), obtido pela relação entre o desvio padrão em dias e o número de dias de cada subperíodo:

$$CVd = \frac{DPd}{\bar{x}d} \cdot 100,$$

em que $\bar{x}d$ é a média do número de dias para atingir determinado subperíodo reprodutivo entre os anos agrícolas.

6º) O *CVgd* considera a *Tb* aquela que apresenta o menor coeficiente de variação com relação a soma térmica necessária para atingir cada subperíodo reprodutivo:

$$CVgd = \frac{DPgd}{MSTa} \cdot 100$$

7º) O *CR* baseia-se na relação linear existente entre a temperatura média do ar (*Tmed* °C) durante o subperíodo reprodutivo e as *STai* necessárias para atingir o subperíodo reprodutivo:

$$STai = a \cdot Tmed + b$$

em que *a* é o coeficiente angular da regressão linear, *b* é o coeficiente linear.

O coeficiente angular (*a*) da regressão linear simples indica o valor da *Tb* correta. Valor de 'a' positivo indica que a *Tb* usada para calcular *STa* é elevado e maior que o verdadeiro, 'a' igual a zero (ou próximo) indica o valor de *Tb* correto.

8º) O *DR* considera a *Tb* como aquela em que não ocorre desenvolvimento, sendo estimada pelo prolongamento da regressão linear simples entre o *DR* em função da *Tmed* ($Tb = -b/a$).

$$DR = a \cdot Tmed + b, \text{ sendo } DR = 100/N$$

em que 100 é um valor arbitrário de ponderação; *N* é o número de dias de duração de cada subperíodo de desenvolvimento reprodutivo em cada ano agrícola.

As três metodologias modificadas para a estimativa de *Tb* foram:

9º) Menor desvio padrão em graus-dia (*DPgd*):

$$Tb = \frac{\sum_{i=1}^n (Tmed \cdot N) \cdot \sum_{i=1}^n N - n \cdot \sum_{i=1}^n (N^2 \cdot Tmed)}{(\sum_{i=1}^n N)^2 - n \cdot \sum_{i=1}^n N^2}$$

10º) Coeficiente de variação em graus- dia (CVgd):

$$Tb = \frac{\sum_{i=1}^n (Tmed.N^2) \cdot \sum_{i=1}^n (Tmed.N) - \sum_{i=1}^n N \cdot \sum_{i=1}^n (N^2.Tmed^2)}{\sum_{i=1}^n N^2 \sum_{i=1}^n (Tmed.N) - \sum_{i=1}^n N \cdot \sum_{i=1}^n (N^2.Tmed)}$$

11º) Coeficiente de regressão (CR):

$$Tb = \frac{\sum_{i=1}^n (Tmed) \sum_{i=1}^n (Tmed.N) - n \cdot \sum_{i=1}^n (N.Tmed^2)}{\sum_{i=1}^n N \cdot \sum_{i=1}^n (Tmed) - n \cdot \sum_{i=1}^n (N.Tmed)}$$

em que T é a temperatura média do ar de todos os i -ésimos anos agrícolas ($^{\circ}\text{C}$); N é a duração em dias dos i -ésimos anos agrícolas em cada subperíodo; $Tmed$ é a temperatura média do ar durante os i -ésimos anos agrícolas em cada subperíodo ($^{\circ}\text{C}$); n é o número de anos agrícolas.

Caso houver diferenças nas Tbs das nove metodologias estudadas (eqs. 3 a 11), o valor final de Tb será obtido pela média aritmética dos valores de Tb .

Para a necessidade térmica (STa , $^{\circ}\text{C}$ dia), os dois métodos utilizados serão:

Método 1 (M1)- Quando $Tmed < Tb$, considera $Tmed=Tb$ e quando $Tmed \geq Tb$, calcula:

$$STdi = Tmed - Tb \quad .1 \text{ dia}$$

Método 2 (M2)- Quando $Tm \leq Tb$, considera $Tm=Tb$ e quando $Tmed \geq Tb$, calcula:

$$STdi = Tmed - Tb \quad .1 \text{ dia}$$

em que $Tmed$ é a temperatura média diária do ar ($^{\circ}\text{C}$), obtida pela média aritmética das temperaturas máximas (TM) e mínimas do ar (Tm) e Tb a basal.

Será feita a escolha do melhor método pelo coeficiente de variação (CV), e posterior teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

2.10. Cronograma

[illegible]

- | | |
|---------------------------------|--------------------------------|
| A- Revisão de Literatura | H- 4º Experimento- Pelotas |
| B- Desenvolvimento do Projeto | I- Repetição do 1º Experimento |
| C- 1º Experimento | J- Repetição do 2º Experimento |
| D- 2º Experimento | K- Repetição do 3º Experimento |
| E- 3º Experimento | L- Repetição do 4º Experimento |
| F- 4º Experimento – Dom Pedrito | M- Tabulação de Dados e Defesa |
| G- Qualificação | |

2.11. Orçamento

Itens de dispêndio previstos para o desenvolvimento do projeto	Valor R\$
10.1. Custeio:	
10.2. Material de Consumo	20.000,00
10.3. Serviços de terceiros e pessoa física	3.000,00
10.4. Passagens e diárias	1.000,00
Subtotal	24.000,00
10.5. Capital:	
10.6. Material Bibliográfico	
10.7. Equipamentos e material permanente	195.000,00
Subtotal Geral	395.000,00
Imprevistos	
10%	
Total Geral	234.500,00

Referências

AMBROSINI, L. B., LEITE de BORBA, A. C., BERTOLLO, A. M., LIPP JOÃO, P.,
ROTTA de OLIVEIRA, A. M. Cadastro olivícola do Rio Grande do Sul. **Circular**
Technical Disclosure; SEAPDR-DDPA: Porto Alegre, Brasil, 2022.

BENLLOCH-GONZÁLEZ, M.; SÁNCHEZ-LUCAS, R., BENLLOCH, M., RICARDO, F. E. An approach to global warming effects on flowering and fruit set of olive trees growing under field conditions. **Scientia Horticulturae**, 240, 405-410, 2018.

BUSTAN, A.; AVNI, A.; LAVEE, S.; ZIPORI, I.; YESELSON, Y.; SCHAFFER, A. A.; DAG, A. Role of carbohydrate reserves in yield production of intensively cultivated oil olive (*Olea europea* L.) trees. **Tree physiology**, 31, 519-530, 2011.

CAPPELLARO, T. H. Período de floração e viabilidade do pólen das cultivares de oliveira Arbequina e Koroneiki, em Bagé/RS. **Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pelotas**, 2010.

CARRA, B.; PASA, M.; SILVA, C.; AMARANTE, C. V. T.; STEFFENS, C.; BARTNICKI, V.; CIOTTA, M.; MELLO-FARIAS, P.; EINHORN, T. Early spring inhibition of ethylene synthesis increases fruit set and yield of 'Rocha' pear trees in Southern Brazil. **Scientia Horticulturae**. 232, 92-96, 2018.

COUTINHO, E. F., RIBEIRO, F. C., CAPPELLARO, T. H (Ed.). Cultivo de oliveira (*Olea europaea* L.) / Enilton Fick Coutinho, Fabricio Carlotto Ribeiro, Thais Helena Cappellaro- **Pelotas: Embrapa Clima Temperado**, 2009.

CORTIÑAS, J. A.; FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, M.; GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ, E.; VÁZQUEZ-RUIZ, R. A.; RODRÍGUEZ- RAJO, F. J.; AIRA, M. J. Potential fertilization capacity of two grapevine varieties: Effects on agricultural production in designation of origin areas in the Northwestern Iberian Peninsula. **Agronomy**, 10(7), 961, 2020.

CUEVAS, J.; POLITO, V. S. The role of staminate flowers in the breeding system of *Olea europaea* (Oleaceae): an andromonoecious, wind-pollinated taxon. **Annals of Botany**, v. 93, n. 5, p. 547-553, 2004.

CUEVAS, J. J. Incompatibilidad polen-pistilo, procesos gaméticos y fructificación de cultivars de olivo (*Olea europaea* L.). **PhD Thesis, University of Córdoba, Spain**, 1992.

CUEVAS, J.; PINILLOS, V.; POLITO, V. S. Effective pollination period for 'Manzanillo' and 'Picual' olive trees. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 84, n. 3, p. 370-374, 2009.

CUEVAS, J.; POLITO, V. S. Compatibility relationships in Manzanillo Olive. **HortScience**, v. 32, n. 6, pág. 1056-1058, 1997.

EPAMIG. Pesquisa da EPAMIG garante produção de azeitonas. 2007. Documento em PDF disponível em: <http://www.epamig.br/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=63&Itemid=64>. Acesso em: 02 de novembro de 2022.

FILIPPINI A. J. M., WREGGE, M. S., COUTINHO, E., FLORES, C., JORGE, R. O. Zoneamento edafoclimático da olivicultura para o Rio Grande do Sul. In: **Congresso Brasileiro de Fruticultura**, Cuiabá: SBF, 2014.

FERNANDEZ- ESCOBAR, R.; BENLLOCH, M.; NAVARRO, C.; MARTIN, G. C. The time of floral induction in the olive. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, 117(2), 304-307, 1992.

FERNANDEZ-ESCOBAR, R.; ORTIZ- URQUIZA, A.; PRADO, M.; RAPOPORT, H. F. Nitrogen status influence on olive tree flower quality and ovule longevity. **Environmental and Experimental Botany**, 2008.

FERRARA, G.; CAMPOSEO, S.; PALASCIANO, M.; GODINI, A. Production of total and stainable pollen grain in *Olea europaea* L. **Grana**, v. 46, p.85-90, 2007.

FERREIRA, M.C.; MARTINS, F.B.; FLORÊNCIO, G.W.L.; SILVA, J.P.G.C.; PASIN, L.A.A.P. Temperaturas cardinais e necessidade térmica no desenvolvimento inicial de duas espécies nativas brasileiras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 2019.

FREITAS, C.H.de; MARTINS, F.B.; ABREU, M.C. Temperaturas cardinais para o desenvolvimento foliar de mudas de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus urophylla*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 5, p. 283-292, 2017.

GALÁN, C.; GARCÍA-MOZO, H.; VÁZQUEZ, L.; RUIZ, L.; De La GUARDIA, C. D.; TRIGO, M. M. Heat requirement for the onset of the *Olea europaea* L. pollen season in several sites in Andalusia and the effect of the expected future climate change. **International Journal of Biometeorology**, 49, 184-188, 2005.

GARRIDO, A.; FERNÁNDEZ- GONZÁLEZ, M.; VÁZQUEZ- RUIZ, R. A.; RODRÍGUEZ-RAJO, F. J.; AIRA, M. J. Reproductive biology of olive trees (*Arbequina* cultivar) at the northern limit of their distribution areas. **Forests**, 12(2), 204, 2021.

GARRIDO, A.; FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, M.; ÁLVAREZ-LÓPEZ, S.; GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ, E.; RODRÍGUEZ-RAJO, F. J. First phenological and aerobiological assessment of olive orchards at the Northern limit of the Mediterranean bioclimatic area. **Aerobiologia**, 36, 641-656, 2020.

IBRAOLIVA. Instituto Brasileiro de Olivicultura. 2020. Obtido em: <<https://www.ibraoliva.com.br/>>. Acessado em: 21 de novembro de 2022.

IOVANE, M.; CIRILLO, A.; IZZO, L. G.; Di VAIO, C.; ARONNE, G. High temperature and humidity affect pollen viability and longevity in *Olea europaea* L. **Agronomy**, 12(1), 1, 2022.

KÖPPEN, W. Climatologia. México, **Fundo de Cultura Econômica**, 1931.

KUINCHTNER, A.; BURIOL, G. A. Clima do Estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação climática de Köppen e Thornthwaite. **Disciplinarum Scientia| Naturais e Tecnológicas**, v. 2, n. 1, p. 171-182, 2001.

MANIRIHO, F. Flower differentiation and fruiting dynamics in olive trees (*Olea europaea*): Eco-physiological analysis in the Mediterranean basin. **Advances in Horticultural Science**, v. 36, n. 1, p. 53-62, 2022.

MARTINS, F.B.; FERREIRA, M.C.; SILVA, L.F.O.; RAMALHO, V.R.M.; GONÇALVES, E.D. Temperatura do Ar no Desenvolvimento Reprodutivo de Cultivares de Oliveira. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v.34, n.2, p.179-190, 2019. <https://doi.org/10.1590/0102-77863340022>.

MARTINS, P. C.; RAPOPORT, H. F.; CORDEIRO, A. M. Flower Quality in Orchards of Olive, "*Olea europaea*" L., cv. Morisca. **Flower Quality in Orchards of Olive**, p. 1000-1005, 2006.

MEIER, U. Growth stages of mono-and dicotyledonous plants. **Blackwell Wissenschafts-Verlag**, 1997.

MHANNA, M. A.; DOUAY, F. W.; RAJAB, M. 'Khoderi' olive cultivar as na eficiente polliniser for some french and Italian olive cultivars. **Poljoprivreda i Sumarstvo**, v. 65, n. 4, p. 211-220, 2019.

ORLANDI, F.; FERRANTI, F.; ROMANO, B.; FORNACIARI, M. Olive pollination: Flowers and pollen of cultivars of *Olea europaea*. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**. V. 31, p. 159-168, 2003.

OZDEMIR, Y. Effects of Climate Change on Olive Cultivation and Table Olive and Olive Oil Quality. **Horticulture**, 60, 65-59, 2016.

PASA, M.S.; CARRA, B.; SILVA, C.P.; CIOTTA, M.N.; BRIGHENTI, A.F.; PEREIRA, A.J. Early spring application of aminoethoxyvinilglycine (AVG) increases fruit set and yield of 'Rocha' pears. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 39(4), 2017.

PERICA, S., BROWN, P. H., CONNELL, J. H., NYOMORA, A. M., DORDAS, C., HU, H., STANGOULIS, J. Foliar boron application improves flower fertility and fruit set of olive. **HortScience**, 36(4), 714-716, 2001.

RAPOPORT, H. F. The reproductive biology of the olive tree and its relationship to extreme environmental conditions. In: **VII International Symposium on Olive Growing 1057**. p. 41-50, 2012.

RAPOPORT, H. F.; FABBRI, A.; SEBASTIANI, L. Olive biology. **The olive tree genome**, p. 13-25, 2016.

RIELLA, V.; BORGES, A.; ARIAS-SIBILLOTTE, M.; SPERONI, G.; SPERANZA, P. The effective pollination period of the olive cultivar 'Arbequina' (*Olea europaea* L.) in a non-traditional region. **South African Journal of Botany**, 151, 246-254, 2022.

ROJO, J.; PÉREZ-BADIA, R. Effects of topography and crown-exposure on olive tree phenology. **Trees**, 28, 449-459, 2014.

ROSATI, A.; CAPORALI, S.; PAOLETTI, A. Floral biology: implications for fruit characteristics and yield. Olive Germplasm-Olive Cultiv. **Table Olive Olive Oil Ind. Italy**, 2012.

SÁNCHEZ-ESTRADA, A.; CUEVAS, J. 'Arbequina' olive is self-incompatible. **Scientia Horticulturae**, v. 230, p. 50-55, 2018.

SÁNCHEZ-ESTRADA, A.; CUEVAS, J. Pollination designs in 'Manzanillo' olive orchards. **Scientia Horticulturae**, v. 261, p. 108918, 2020.

SANZ-CORTÉS, F.; MARTINEZ-CALVO, J.; BADENES, M. L.; BLEIHOLDER, H.; HACK, H.; LLÁCER, G.; MEIER, U. Phenological growth stages of olive trees (*Olea europaea*). **Annals of applied biology**, 140(2), 151-157, 2002.

SAUMITOU-LAPRADE, P.; VERNET, P.; VEKEMANS, X; CASTRIC, V; BARCACCIA, G.; KHADARI, B.; BALDONI, L. Controlling for genetic identity of varieties, pollen

contamination y stigma receptivity is essential to characterize the selfincompatibility system of *Olea europaea* L. **Evolutionary Applications**. 10 (9): 860–866, 2017.

SEDGLEY, M., GRÍFFÍN, A.R. Sexual reproduction of tree crops. **Academic, London, UK**, pp. 378, 2013.

SEIFI, E., GUERIN, J., KAISER, B., SEDGLEY, M. Flowering and fruit set in olive: a review. Iran. J. **Plant Physiology**, 5(2), 1263-1272, 2015.

SELAKE, G. V.; PERICA, S.; BAN, S. G.; POLIAK, M. The effect of temperature and genotype on pollen performance in olive (*Olea europaea* L.). **Scientia horticultruae**, 156, 38-46, 2013.

SOUZA, P. M. B.; MARTINS, F. B. Estimativa da temperatura basal inferior para as cultivares de oliveira Grappolo e Maria da Fé. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, p. 307-313, 2014.

TAPIA, F.; IBACACHE, A.; ASTORGA, M. Requerimientos de clima y suelo. In: TAPIA, F.; ASTORGA, A.; IBACACHE, A. MARTÍNEZ, L.; SIERRA, C.; QUIROZ, C.; LARRAÍN, P.; RIVEROS, F. Manual del cultivo del olivo. **La Serena, Chi: Instituto de Investigaciones Agropecuarias**, p.11-20, 2003.

TUPPER, N. Spanish Olive Oil Under Constant Threat from Climate Change. Disponível em: <<https://www.oliveoiltimes.com/world/spanish-olive-oil-under-constant-threat-from-climate-change/29618>> (acessado em 20 de dezembro de 2022).

VULETIN SELAK, G., CUEVAS, J., GORETA BAN, S., PINILLOS, V., DUMICIC, G., PERICA, S. The effect of temperature on the duration of the effective pollination period in ‘Oblica’olive (*Olea europaea*) cultivar. **Annals of applied biology**, 164(1), 85-94, 2014.

WANG, F. The Effect of Floral ReTain™(Aminoethoxyvinylglycine, AVG) Application on Flower Longevity, Ethylene Generation, Pollen Tube Growth and Yield in Arbequina Olives (*Olea Europaea*). **University of California, Davis**, 2021.

WILLIAMS, R. R. The effect of summer nitrogen applications on the quality of apple blossom. **Journal of Horticultural Science**, 40(1), 31-41, 1965.

YU, Y. B., ADAMNS, D. O., e YANG, S. F. 1-Aminocyclopropanecarboxylate synthase, a key enzyme in ethylene biosynthesis. **Arch. Biochem. Biophys**. 198(1), 280–286, 1979.

3. Relatório do Trabalho de Campo

No ano de 2021 ingressei no Programa de Pós- Graduação em Agronomia, para cursar doutorado na área de Fruticultura de Clima Temperado sob a orientação do Professor Dr. Flávio Gilberto Herter e coorientação do Dr. Vagner Brasil. O projeto inicial, intitulado: “Desempenho agrônômico de macieiras nos porta enxertos da série

Geneva no Sul do Brasil e metade Sul do Rio Grande do Sul” teve início em Lages, Santa Catarina, na Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) sob a coorientação do Dr. Leo Rufato.

Inicialmente o projeto seria desenvolvido em parceria entre as instituições, e seria feito em conjunto em Lages e Pelotas. No entanto, no decorrer do primeiro ano (julho/2021 a julho/2022), eu fiquei somente em Lages. Neste período eu desenvolvi uma parte do projeto inicial, do qual eu publiquei um artigo na Revista Brasileira de Fruticultura (Apêndice C), assim como outras atividades e projetos.

Posterior a este um ano, retornei a Pelotas e tive que iniciar um novo projeto, desta vez, com a cultura da oliveira. O novo projeto, intitulado: “Biologia Reprodutiva da Oliveira na região de Pelotas-RS” tinha como objetivo avaliar e determinar o processo reprodutivo de duas cultivares de oliveira na região de Pelotas/RS sob a orientação do Professor Dr. Flávio Gilberto Herter e coorientação do Professor Dr. Vagner Brasil Costa.

As avaliações estavam inicialmente previstas para iniciar em setembro de 2023, período correspondente à floração da oliveira na região de estudo. No entanto, o ano de 2023 caracterizou-se como um ano “off”, marcado por alternância de produção e escassez de florescimento, especialmente na área previamente selecionada. Essa limitação comprometeu a execução das atividades em campo, inviabilizando a realização dos experimentos conforme planejado.

Como alternativa metodológica, optou-se pela coleta das flores e pela condução de parte dos estudos sob condições controladas de laboratório, com foco na influência da temperatura, fator posteriormente identificado como um dos principais limitantes para o cultivo da oliveira na região. Diante desse cenário, foi necessário readequar o planejamento experimental, com a alteração dos locais de avaliação e a adaptação de parte da proposta originalmente estabelecida no projeto.

Os estudos, então, foram conduzidos em duas propriedades distintas: a Empresa Azeites Batalha, localizada no município de Pinheiro Machado/RS, e a Empresa Rigo Vinhedos e Olivais, situada em Dom Pedrito/RS. Na propriedade da empresa Rigo foram desenvolvidos os experimentos que compõem os artigos 1 e 2, enquanto os artigos 3 e 4 foram conduzidos na empresa Azeites Batalha.

O **Artigo 1**, formatado e submetido conforme as normas da revista Ciência e Agrotecnologia, foi desenvolvido a partir de uma série histórica de dados fenológicos

coletados entre os ciclos de 2015/2016 e 2023/2024 na empresa Rigo Vinhedos e Olivais, contemplando as cultivares Arbequina, Koroneiki, Arbosana e Picual. Atendendo à demanda por informações que possibilitem compreender o comportamento fenológico e as exigências térmicas dessas cultivares na região Sul do Brasil, foi conduzido um estudo com os objetivos de caracterizar os estádios fenológicos e determinar a temperatura base (T_b) e a soma térmica acumulada (STa) para cada cultivar, por meio da aplicação de diferentes metodologias para estimativa térmica, em cada um dos estádios fenológicos definidos.

A partir dos resultados obtidos no Artigo 1, permaneceu a necessidade de aprofundar o conhecimento sobre as exigências térmicas das cultivares estudadas, especialmente no que se refere ao acúmulo de frio requerido principalmente para os estádios fenológicos de brotação e floração. Assim, com base nos mesmos dados fenológicos utilizados anteriormente, foi desenvolvido o **Artigo 2**, voltado à determinação das necessidades de frio, expressas em horas de frio e unidades de frio, por meio da aplicação de diferentes metodologias. Para isso, foram utilizados dados meteorológicos provenientes das estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizadas no município de Dom Pedrito, RS ($31^{\circ}09'6,38''$ S, $54^{\circ}37'12,30''$ O). A soma térmica acumulada (STa) foi estimada com base no mesmo procedimento adotado no Artigo 1, permitindo avaliar suas relações com os estádios fenológicos das cultivares Arbequina, Koroneiki, Arbosana e Picual ao longo dos ciclos de 2015/2016 a 2023/2024. Este estudo foi publicado na revista *Semina: Ciências Agrárias*, como uma comunicação curta.

O **Artigo 3**, formatado conforme as norma da revista *Acta Scientiarum Agronomy*, teve como objetivo central investigar a parte feminina das flores de oliveira, com ênfase na receptividade estigmática, dada a escassez de informações disponíveis sobre esse aspecto, apesar de sua reconhecida importância nos processos de polinização e fertilização. Considerando que a temperatura tem se destacado como um dos principais fatores limitantes à produção de oliveiras na região Sul do Brasil — uma vez que a cultura é originária de ambientes com condições climáticas distintas das encontradas na região —, o estudo buscou compreender o comportamento da receptividade estigmática sob dois regimes térmicos: 18°C e 28°C , com diferentes tempos de exposição prévia à polinização (24, 48, 72 e 96 horas). Foram utilizadas três cultivares amplamente difundidas e com disponibilidade

de material floral para coleta: Arbequina, Koroneiki e Picual, dada a elevada quantidade de flores necessária para a condução do experimento. As avaliações foram realizadas nos anos de 2023 e 2024.

Os grãos de pólen, que representam a parte masculina das flores, são amplamente utilizados em experimentos relacionados à reprodução. No contexto desta tese, foram utilizados para compor o **Artigo 4**, o qual teve como objetivo avaliar o comportamento da germinação dos grãos de pólen e do crescimento do tubo polínico frente à aplicação de diferentes temperaturas médias registradas durante o período de floração na região de estudo. Foram testadas as temperaturas mínima (12 °C), máxima (22 °C), uma combinação alternada entre ambas (12–22 °C) e uma condição de controle (25 °C). Adicionalmente, foi avaliada a aplicação de boro (mg.L⁻¹), com o intuito de verificar seu possível efeito estimulador sobre as variáveis analisadas nas diferentes condições térmicas impostas. Este artigo foi formatado para a Revista Brasileira de Fruticultura, como comunicação curta.

A partir dos dados apresentados nos artigos que compõem esta tese, foram realizadas outras publicações com o intuito de divulgar os resultados obtidos, promover a visibilidade do Programa de Pós-Graduação em Agronomia e contribuir com a comunidade científica. Esses trabalhos foram apresentados em eventos científicos de relevância nacional, como o Congresso Brasileiro de Fruticultura, o Enfrute e o Senafrut. Além disso, ressalta-se que outros desdobramentos e publicações ainda podem surgir a partir dos resultados obtidos, os quais poderão futuramente contribuir tanto para o meio acadêmico quanto para o setor produtivo.

4. Artigos

Artigo 1- Fenologia, Temperatura Base Inferior e Soma Térmica das Oliveiras na Região Sudoeste do Rio Grande do Sul

Submetido a revista Ciência e Agrotecnologia

Qualis A2; JCR 1,39

Fenologia, Temperatura Base Inferior e Soma Térmica de Cultivares de Oliveira na Região Sudoeste do Rio Grande do Sul

ABSTRACT

This study aimed to evaluate phenology and its relationship with lower base temperature (Tb) and accumulated thermal sum (STa) of four olive cultivars—Arbequina, Koroneiki, Picual, and Arbosana—in the Southwestern region of Rio Grande do Sul, during the period from 2015 to 2024. Phenology was assessed based on the Biologische Bundesanstalt Bundessortenamt, Chemische Industrie (BBCH) scale. Base temperature (Tb) was determined using four different methodologies, and STa was calculated by summing degree days (GD). As a result, budburst began in August, followed by flowering in September, and ripening/harvesting in March. Accumulated thermal sum (STa) was calculated for each phenological stage, from budburst to ripening, using different Tb values. The earlier cultivars, such as ‘Arbequina’ and ‘Koroneiki’, showed lower Tb values, ranging between 6°C and 7°C, while ‘Picual’ required higher Tb values, ranging from 8.4°C to 9.4°C, resulting in shorter phenological cycles. ‘Picual’ exhibited the highest STa and the shortest cycle duration, whereas ‘Koroneiki’ had the longest cycle due to lower initial thermal requirements and higher Tb during ripening. In conclusion, these results are essential for management planning and harvest forecasting in olive-growing regions of Brazil, particularly in Rio Grande do Sul, enabling better cultivar selection and improving adaptation to local climatic conditions.

Key words: *Olea europaea*; flowering; budburst; phenological stages; degree day.

RESUMO

Este estudo teve como objetivo avaliar a fenologia e sua relação com a temperatura base inferior (Tb) e a soma térmica acumulada (STa) de quatro cultivares de oliveira — Arbequina, Koroneiki, Picual e Arbosana — na região Sudoeste do Rio Grande do Sul, durante o período de 2015 a 2024. A fenologia foi avaliada com base na escala *Biologische Bundesanstalt Bundessortenamt, Chemische Industrie* (BBCH). A temperatura base (Tb) foi determinada utilizando quatro metodologias distintas, e a STa foi calculada por meio da soma dos graus-dia (GD). Como resultado, observou-se que a brotação iniciou em agosto, seguida pela floração em setembro e pela maturação/colheita em março. A soma térmica acumulada (STa) foi calculada para cada estágio fenológico, desde a brotação até a maturação, utilizando diferentes valores de Tb. As cultivares mais precoces, como ‘Arbequina’ e ‘Koroneiki’, apresentaram menores valores de Tb, variando entre 6 °C e 7 °C, enquanto ‘Picual’ exigiu valores de Tb mais elevados, entre 8,4 °C e 9,4 °C, resultando em ciclos fenológicos mais curtos. A cultivar ‘Picual’ apresentou a maior STa e a menor duração de ciclo, ao passo que ‘Koroneiki’ teve o ciclo mais longo devido aos menores requerimentos térmicos iniciais e maior Tb durante a maturação. Conclui-se que esses resultados são essenciais para o planejamento do manejo e a previsão de colheita em regiões olivícola do Brasil, especialmente no Rio Grande do Sul, permitindo uma melhor escolha de cultivares e aprimorando a adaptação às condições climáticas locais.

Palavras-chave: *Olea europaea*; floração; brotação; estádios fenológicos; graus-dia.

Introdução

A fenologia analisa as interações entre as espécies vegetais e o clima local, caracterizando os estádios fenológicos e determinando a duração dos períodos de desenvolvimento (Boechel et al., 2022). A maioria dos estudos sobre a fenologia da oliveira foi conduzida em condições mediterrâneas ou em ambientes artificiais (Ramos et al., 2018; Medina-Alonso et al., 2020), o que dificulta a avaliação de seu desempenho em regiões com climas distintos, especialmente em regiões subtropicais.

A determinação e ocorrência dos estádios fenológicos em oliveiras dependem das exigências térmicas da cultura, como a soma térmica acumulada (STa), que reflete o acúmulo de calor e é calculada por meio da soma de graus-dia (GD) (Rojo et al., 2020; Rubio-Valdés et al., 2022). A quantificação da soma térmica necessária para cada estágio fenológico é importante, pois permite avaliar a duração do ciclo da cultura e auxilia na previsão das datas de maturação e colheita (Leite et al., 2023). No entanto, a definição do momento de início da contagem do acúmulo de calor ainda representa um desafio, devido às inconsistências nas temperaturas base utilizadas para o cálculo da soma térmica (Aguilera et al., 2015; Garrido et al., 2020).

As temperaturas base definem os limites dentro dos quais as plantas se desenvolvem adequadamente; fora desses limites, o desenvolvimento é reduzido ou cessa completamente. Esses limites são denominados temperatura base superior (TB) e temperatura base inferior (Tb) (Freitas, Martins & Abreu, 2017). A temperatura base inferior é particularmente importante, pois tende a ser mais baixa e mais frequentemente observada em condições de campo, sendo amplamente utilizada nos métodos de cálculo da soma térmica (Ferreira et al., 2019; Martins et al., 2019). Diversos estudos foram realizados para determinar a Tb para oliveiras (De Melo-Abreu, 2004; Souza & Martins, 2014; Martins et al., 2019; Garrido et al., 2020). Contudo, os

resultados são variáveis, uma vez que a Tb pode diferir conforme a região, a cultivar e o estágio fenológico.

No Brasil, o cultivo de oliveiras tem se expandido significativamente, abrangendo atualmente cerca de 10.000 hectares (Ibraoliva, 2023). O estado do Rio Grande do Sul, localizado na região Sul do Brasil, destaca-se como o principal produtor de oliveiras do país, concentrando cerca de 60% da área plantada (Ambrosini et al., 2022). Além disso, a região lidera a produção de azeite de oliva, representando 75% da produção nacional total em 2023 (Ibraoliva, 2023).

Nesse contexto, este estudo investigou o comportamento fenológico e sua relação com a temperatura base inferior e a soma térmica acumulada, ao longo de oito ciclos de observação, para quatro cultivares principais de oliveira, na região Sudoeste do Rio Grande do Sul.

Material e Métodos

Área de estudo e Material Vegetal

O experimento foi conduzido no município de Dom Pedrito, localizado na mesorregião Sudoeste do Rio Grande do Sul, Brasil (coordenadas: 31°08'46.71" S, 54°11'53.80" W e altitude de 378 m). O clima da região é classificado como subtropical úmido (Cfa), segundo Köppen (1931). Foram avaliadas quatro cultivares de oliveira (*Olea europaea* L.), Arbequina, Koroneiki, Picual e Arbosana, plantadas em 2010, com espaçamento de 7 m entre linhas e 5 m entre plantas, conduzidas no sistema de vaso policônico.

Observações Fenológicas

A fenologia das oliveiras foi avaliada ao longo de oito ciclos produtivos, entre 2015/2016 e 2023/2024. O experimento foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso, com quatro blocos compostos por cinco plantas cada, totalizando 20 plantas avaliadas. Em cada planta, foram observados 20 ramos, sendo a avaliação realizada com base no comportamento

Dados Meteorológicos

Temperatura	Base	Inferior	(Tb)
-------------	------	----------	------

Soma **Térmica** **Acumulada** **(STa)**

63

$TB > TM > Tm > Tb$	$GDD = \frac{TM + Tm}{2} + Tm - Tb$
$TB > TM > Tb > Tm$	$GDD = \frac{(TM - Tb)^2}{2(TM - Tm)}$
$TB > Tb > TM > Tm$	$GDD = 0$
$TM > TB > Tm > Tb$	$GDD = \frac{2(TM - Tm)(Tm - Tb) + (TM - Tm)^2 - (TM - TB)}{2(TM - Tm)}$
$TM > TB > Tb > Tm$	$GDD = \frac{1}{2} \cdot \frac{(TM - Tb)^2 - (TM - TB)^2}{TM - Tm}$

Posteriormente foi realizado a soma destes graus-dia o que culminou na soma térmica acumulada (STa).

Análise de Componentes Principais

Foi realizada análise multivariada de componentes principais com o objetivo de detectar possíveis agrupamentos entre todas as variáveis dependentes analisadas, reduzindo redundâncias nos dados. A análise foi conduzida com base em dados médios (para os ciclos – médias entre cultivares, e para as cultivares – médias entre os ciclos). Com base nos componentes principais, foi construído um biplot com os dois primeiros componentes principais, utilizando o software Fitopac. As variáveis que mais contribuíram foram aquelas com valores de autovetores superiores a 30%.

Resultados e Discussão

Padrões Fenológicos das Cultivares de Oliveira

No estado do Rio Grande do Sul (RS), ainda há escassez de informações precisas sobre a fenologia das oliveiras. Neste estudo, a brotação teve início na média geral em 7 de agosto e durou aproximadamente 11 dias (Figura 1), resultado semelhante ao observado em Santa Catarina (SC) sob condições climáticas comparáveis (Brugnara & Sabião, 2022). Isso ressalta

a influência do clima sobre a fenologia da oliveira e a adaptação da espécie ao sul do Brasil. Entre as cultivares avaliadas, ‘Picual’ destacou-se por ser a mais tardia a iniciar a brotação, começando esse estágio na média em 17 de agosto, aproximadamente duas semanas após as demais (Figura 1). Esse comportamento mais tardio pode estar relacionado à sua maior exigência em horas de frio (Da Silva et al., 2025).

Após a brotação, o desenvolvimento das inflorescências teve início em 20 de agosto, com duração aproximada de 34 dias (Figura 1). Esse período, que antecede a floração, é crucial no ciclo fenológico da oliveira, pois corresponde ao desenvolvimento dos botões florais (Aguilera & Ruiz Valenzuela, 2009). Observou-se que ciclos com menor duração da brotação apresentaram um intervalo maior para o desenvolvimento das inflorescências, com aproximadamente 30 dias adicionais (Figura 1). Essa extensão pode favorecer o acúmulo de reservas de carboidratos, essenciais para estádios subsequentes como a floração (Bustan et al., 2011).

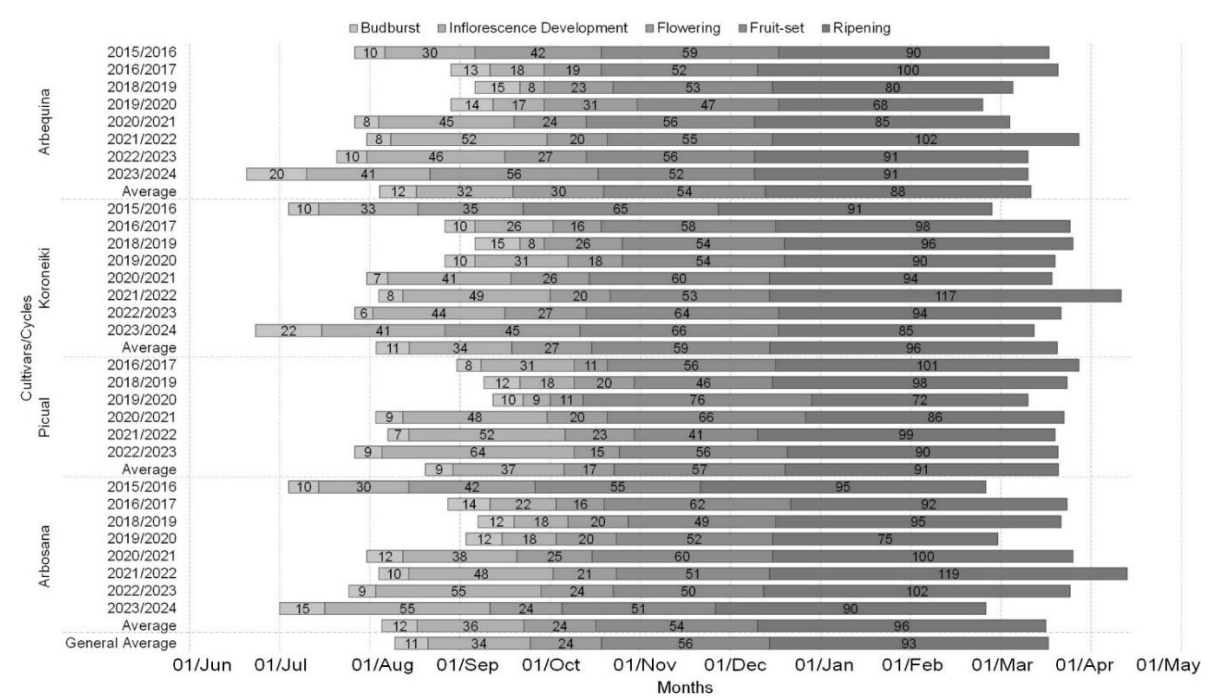


Figura 1: Estádios Fenológicos e Intervalos – Brotação, Desenvolvimento da Inflorescência, Floração, Frutificação e Maturação – de Quatro Cultivares de Oliveira ao Longo de Oito Ciclos de Avaliação.

O estágio de floração das cultivares de oliveira iniciou-se em 22 de setembro, com duração aproximada de 24 dias e pouca variação entre os ciclos avaliados (Figura 1). Em comparação com o estado de Minas Gerais, onde a floração ocorre entre o final de julho e início de agosto devido às temperaturas mais elevadas (Oliveira et al., 2012), observou-se um atraso significativo neste estudo. Por outro lado, os dados obtidos por Tazzo et al. (2020) em Encruzilhada do Sul indicam o início da floração no início de outubro, o que se alinha mais com os resultados aqui apresentados, refletindo a influência das condições climáticas locais.

Entre as cultivares avaliadas, observou-se variação no início da floração. ‘Arbequina’ e ‘Koroneiki’ destacaram-se por florescerem mais cedo, iniciando em 17 e 20 de setembro, respectivamente. Em contraste, ‘Picual’ apresentou a floração mais tardia, com início em 3 de outubro, enquanto ‘Arbosana’ exibiu um padrão intermediário, com início em 28 de setembro (Figura 1). Compreender esses padrões fenológicos, especialmente o período de floração, é essencial para o manejo da cultura, visto que a disponibilidade de pólen pode influenciar diretamente o sucesso da fertilização (Aguilera & Ruiz Valenzuela, 2009). A falta de sincronia na floração entre cultivares pode comprometer a eficiência da polinização cruzada.

Além do início, a duração da floração também é um fator-chave que influencia o sucesso reprodutivo da cultura. A cultivar ‘Picual’ apresentou um período de floração mais curto, com duração aproximada de 17 dias, diferindo das demais cultivares (Figura 1). Essa característica pode reduzir a janela de tempo para uma polinização eficaz, impactando negativamente a frutificação e, conseqüentemente, a produtividade (Vuletin Selak et al., 2014). Com as mudanças climáticas e a maior frequência de primaveras mais quentes, períodos de floração encurtados têm se tornado mais comuns (Ozdemir, 2016). Em anos particularmente quentes e úmidos, como os ciclos de 2015/2016 e 2023/2024, a sensibilidade da cultivar ‘Picual’ a essas condições pode explicar a ausência de registros fenológicos durante esses períodos (Figura 1).

No presente estudo, o início da maturação das cultivares de oliveira ocorreu em 9 de dezembro, enquanto as datas de colheita foram registradas por volta de 24 de março (Figura 1). Em um estudo conduzido em Minas Gerais, Oliveira et al. (2012) relataram colheitas mais precoces, concentradas em fevereiro. Essa antecipação pode estar relacionada à floração mais adiantada observada naquela região (Brugnara & Sabião, 2022), também evidenciada em comparação aos nossos achados. Ademais, as condições climáticas mais quentes de Minas Gerais favorecem o acúmulo mais rápido de tempo térmico, acelerando o ciclo fenológico.

Entre as cultivares avaliadas, ‘Arbequina’ destacou-se por sua colheita mais precoce, ocorrida em 13 de março, aproximadamente 10 dias antes das demais cultivares (Figura 1). Esse comportamento fenológico precoce foi consistente ao longo dos estádios, incluindo brotação e floração. Tal precocidade pode estar associada à sua menor exigência em horas de frio, estimada em aproximadamente 281 horas de frio (HF) (Da Silva et al., 2025), permitindo que ‘Arbequina’ inicie seu ciclo de desenvolvimento mais cedo que as demais cultivares.

Temperatura Base Inferior (Tb)

Os valores de temperatura base (Tb) variaram entre os estádios fenológicos da oliveira, com estimativas que oscilaram de 6,0°C a 9,4°C para a brotação, de 6,8°C a 10,2°C para o desenvolvimento das inflorescências, de 10,2°C a 11,2°C para a floração, de 12,7°C a 15,2°C para a frutificação e de 8,7°C a 14,8°C para a maturação (Tabela 1). Essas variações refletem as exigências térmicas específicas de cada fase do ciclo da cultura e estão em consonância com dados previamente reportados na literatura, como os apresentados por Hackett e Hartmann (1967), Pérez-López et al. (2008), Souza e Martins (2014) e Martins et al. (2019).

Tabela 1. Valores médios da temperatura base inferior (Tb) para quatro cultivares de oliveira em cada estágio fenológico.

Cultivares			
Arbequina	Koroneiki	Picual	Arbosana

Estádio de	Temperatura base Inferior (°C)			
Brotação	7,0	6,0	9,4	8,4
Desenvolvimento da Inflorescência	7,8	6,8	10,2	9,8
Floração	10,2	10,2	11,2	10,5
Frutificação	13,0	13,2	15,2	12,7
Maturação	14,0	14,8	8,7	14,5

As menores temperaturas base (Tb) foram observadas durante o estágio de brotação, com média de 7,7°C entre as cultivares (Tabela 1). Esses resultados estão de acordo com os reportados por De Melo-Abreu et al. (2004), que estimaram valores entre 7,0°C e 9,2°C para o início da brotação, e por Garrido et al. (2020), que identificaram 7,0°C como o limiar necessário para a superação da dormência. Em contraste, os maiores valores médios de Tb, em torno de 13,5°C, foram registrados durante os estádios de frutificação e maturação. Nesses períodos, a planta apresenta maior demanda energética devido à formação e ao desenvolvimento dos frutos (Aguilera et al., 2015; Pardo et al., 2021), exigindo temperaturas mais elevadas, tipicamente entre 25°C e 35°C, para a realização eficiente dos processos fisiológicos (Coutinho, Ribeiro & Cappellaro, 2009; Leite & Pandolfo, 2022).

As cultivares apresentaram discrepâncias nos valores de temperatura base (Tb) ao longo dos estádios fenológicos (Tabela 1). A cultivar ‘Picual’ apresentou os maiores valores de Tb desde a brotação até a frutificação (9,4°C, 10,2°C, 11,2°C e 15,2°C, respectivamente), ao passo que registrou o menor valor durante a maturação (8,7°C). Por outro lado, ‘Koroneiki’ e ‘Arbequina’ apresentaram valores de Tb mais baixos nos estádios iniciais até a floração, enquanto ‘Arbosana’ mostrou um padrão intermediário (Tabela 1). Essas diferenças refletem as distintas exigências térmicas entre as cultivares e podem influenciar diretamente o momento de ocorrência dos eventos fenológicos (Da Silva et al., 2025). Conforme observado, ‘Picual’, por

apresentar maiores valores de Tb nos estádios iniciais, apresentou um ciclo fenológico mais tardio em comparação com ‘Arbequina’ e ‘Koroneiki’.

Soma Térmica Acumulada (STa)

Para o estágio de brotação, foi necessária uma média de 101,63 °C·dia⁻¹ para a conclusão do desenvolvimento. Os ciclos de 2020/2021, 2021/2022 e 2022/2023 registraram as menores somas térmicas acumuladas (STa), variando de 61,50 a 72,65 °C·dia⁻¹, enquanto o ciclo de 2023/2024 apresentou a maior STa, com média de 161,40 °C·dia⁻¹ (Tabela 2). Essas diferenças estão principalmente associadas à duração do estágio; nos ciclos com menor STa, o período de brotação foi aproximadamente 10 dias mais curto em comparação com o ciclo que apresentou a maior STa (Figura 1). Essa variação evidencia a influência da acumulação térmica no desenvolvimento, uma vez que a energia necessária está diretamente relacionada ao número de dias no calendário (Aguilera & Ruiz Valenzuela, 2009; Martins et al., 2019).

Tabela 2: Soma Térmica Acumulada (°C·dia⁻¹) dos estádios e intervalos fenológicos em oito ciclos de avaliação de quatro cultivares de oliveira diferentes

Estádio de desenvolvimento	Ciclo	Cultivares				Média
		Arbequina	Koroneiki	Picual	Arbosana	
Brotação	2015/2016	120.00	132.70	S/N	102.40	109,90
	2016/2017	114,20	124.20	55.70	110.00	101,02
	2018/2019	156,00	172.00	103.30	116.30	136,90
	2019/2020	129,90	80.00	72.30	113.40	98,90
	2020/2021	45,40	77.10	71.40	89.30	70,80
	2021/2022	58,90	80.10	40.00	67.00	61,50
	2022/2023	103,30	62.60	52.70	72.00	72,65
	2023/2024	164,80	200.40	S/N	119.00	161,40
	Média	106,56	111,18	65,90	97,42	101,63
Desenvolvimento da Inflorescência	2015/2016	226.30	257.00	S/N	288.80	257,37
	2016/2017	142.80	202.20	165.50	123.70	158,55
	2018/2019	105.00	114.00	158.60	147.90	131,38
	2019/2020	199.20	153.30	160.40	189.60	100,62
	2020/2021	321.00	312.30	233.50	199.80	266,65
	2021/2022	470.60	511.80	384.30	382.80	438,38
	2022/2023	283.80	323.80	303.80	288.60	300,00
	2023/2024	259.00	199.90	S/N	293.30	250,73
	Média	250,96	259,29	234,35	239,31	247,20
Floração	2015/2016	227.60	255.70	S/N	245.10	242,80

	2016/2017	123.50	121.20	79.20	124.90	112,20
	2018/2019	222.30	222.30	177.90	170.80	198,32
	2019/2020	195.30	222.20	94.90	237.50	187,48
	2020/2021	129.70	140.80	99.40	125.30	123,80
	2021/2022	175.80	160.30	207.60	178.00	180,42
	2022/2023	141.10	141.10	65.10	96.60	110,98
	2023/2024	266.50	271.00	S/N	122.80	220,10
	Média	185.22	191.82	120.68	162.62	172,01
Frutificação	2015/2016	385.70	361.10	S/N	399.40	382,07
	2016/2017	362.80	402.40	373.80	451.00	397,50
	2018/2019	447.60	462.50	274.10	437.40	405,40
	2019/2020	563.10	549.00	441.80	544.40	524,58
	2020/2021	386.40	407.80	379.00	485.10	414,58
	2021/2022	491.70	466.10	273.30	471.50	425,65
	2022/2023	440.90	528.90	427.70	486.40	470,98
	2023/2024	326.50	435.60	S/N	358.70	373,60
	Média	425.59	451.68	361,62	454.24	424,29
Maturação	2015/2016	1018,20	934,00	S/N	1043,40	998,53
	2016/2017	987,20	887,10	1426,20	877,30	1044,45
	2018/2019	813,50	815,30	1529,00	858,70	1004,12
	2019/2020	661,20	678,90	1115,80	683,10	784,75
	2020/2021	772,20	765,90	1264,60	832,90	908,90
	2021/2022	1125,00	1120,90	1397,80	1165,10	1202,20
	2022/2023	1032,30	964,50	1534,90	1067,20	1149,72
	2023/2024	892,40	762,50	S/N	851,70	835,53
	Média	912,75	866,14	1378,05	922,42	991,03
Ciclo Total	2015/2016	1937,80	1900,50	S/N	2069,10	1969,13
	2016/2017	1730,50	1737,10	2100,40	1686,90	1813,72
	2018/2019	1744,40	1786,10	2242,90	1731,10	1876,12
	2019/2020	1748,70	1683,40	1884,80	1768,00	1771,22
	2020/2021	1654,70	1703,90	2047,90	1732,40	1784,72
	2021/2022	2322,20	2339,20	2303,00	2264,40	2307,20
	2022/2023	2004,40	2020,90	2384,00	2010,80	2105,02
	2023/2024	1909,20	1869,40	S/N	1675,50	1818,03
	Média	1881,49	1880,06	2143,93	1854,77	1930,65

A cultivar ‘Picual’ se destacou das demais por apresentar a menor exigência de soma térmica acumulada (STa) durante o estágio de brotação, com 65,90 °C·dia⁻¹ (Tabela 2). Esse resultado pode estar associado à sua temperatura base (Tb), que foi a mais elevada entre as cultivares (9,4 °C) (Tabela 1). Considerando a metodologia utilizada, na qual a STa é inversamente proporcional à Tb, uma menor diferença entre a temperatura média do ar e a Tb resulta em um acúmulo térmico diário inferior e, consequentemente, uma menor STa (Rojo & Pérez-Badia, 2015).

O estágio de desenvolvimento da inflorescência demandou, em média, $247,20\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{dia}^{-1}$ para ser concluído. Nos ciclos 2015/2016, 2020/2021, 2021/2022, 2022/2023 e 2023/2024, registraram-se acúmulos térmicos aproximadamente 57% superiores aos observados nos demais ciclos, o que foi associado a uma maior duração nestes ciclos, com cerca de 30 dias adicionais (Figura 1). Esse período de desenvolvimento prolongado pode favorecer um maior acúmulo térmico, o qual é essencial para o avanço da floração e para as alterações morfológicas nos botões florais (Barranco & Rallo, 2000).

Os valores de STa para o estágio de floração variaram de 65,10 a $266,50\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{dia}^{-1}$, com média de $172,01\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{dia}^{-1}$ ao longo dos ciclos analisados (Tabela 2). Esses valores são inferiores aos reportados por outros autores em diferentes regiões. Por exemplo, Martins et al. (2019) relataram uma STa de aproximadamente $447,50\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{dia}^{-1}$ em um estudo conduzido com diferentes cultivares em Minas Gerais, Brasil. Pérez-López et al. (2008) observaram uma STa de $890\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{dia}^{-1}$ para a cultivar Cornicabra, na Espanha.

Por outro lado, Tazzo et al. (2020), em um estudo realizado no Rio Grande do Sul com oito cultivares de oliveira, incluindo Arbequina, Koroneiki, Picual e Arbosana, reportaram valores similares aos do presente estudo, com uma média de STa de $157,60\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{dia}^{-1}$ ao longo de dois anos. Esses achados ressaltam a importância de realizar estudos regionais, considerando as condições climáticas e geográficas específicas que podem influenciar significativamente as exigências térmicas de diferentes cultivares.

Dentre as cultivares avaliadas, ‘Picual’ apresentou a menor exigência de STa para completar o estágio de floração, com $120,68\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{dia}^{-1}$ (Tabela 2). Esse comportamento pode estar relacionado ao seu início mais tardio de floração (Figura 1) e à maior temperatura base exigida para esse estágio ($11,2\text{ }^{\circ}\text{C}$) (Tabela 1). Esses resultados são consistentes com os reportados por Tazzo et al. (2020), que também identificaram ‘Picual’ como a cultivar com

menor demanda térmica ($125,72\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{dia}^{-1}$) em um estudo realizado em Encruzilhada do Sul, RS.

Após a floração, foi determinado o estágio de frutificação, caracterizado pelo crescimento dos frutos por meio de intensa divisão e expansão celular. Consequentemente, esse estágio demanda uma elevada quantidade de calor acumulado (Aguilera et al., 2015). No presente estudo, a STa alcançou uma média de $424,29\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{dia}^{-1}$ (Tabela 2), considerando uma temperatura base (Tb) média de $13,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Tabela 1). Essa Tb mais elevada pode explicar a discrepância nos valores de STa em relação a outros estudos, como o de Garrido et al. (2020), que utilizaram uma Tb de $7,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ e relataram valores de STa de $1033\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{dia}^{-1}$.

Durante o estágio de maturação, ocorre uma complexa combinação de processos fisiológicos e bioquímicos (Li, Flynn & Wang, 2019), juntamente com a biossíntese e acúmulo de óleo nas células do mesocarpo, levando ao aumento do volume dos frutos (Inês et al., 2022). Esse período também exige temperaturas mais elevadas, geralmente entre $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Coutinho, Ribeiro & Cappellaro, 2009). Dentre os estádios avaliados, a maturação foi caracterizada pela maior STa, alcançando $991,03\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{dia}^{-1}$ (Tabela 2), além de apresentar a maior duração, com aproximadamente 93 dias (Figura 1).

A cultivar ‘Picual’ apresentou valores mais elevados de STa durante a maturação, atingindo $1378,05\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{dia}^{-1}$ (Tabela 2), apesar de não ter a maior duração (91 dias) (Figura 1). Esse resultado pode ser atribuído à menor temperatura base (Tb) registrada para essa cultivar nesse estágio, que foi de $8,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Tabela 1). De acordo com Freitas, Martins & Abreu (2017), temperaturas base mais baixas resultam em um acúmulo térmico mais rápido, permitindo a conclusão do estágio fenológico em um período de tempo mais curto.

Análise de Componentes Principais

A análise de ACP apresentou variância total de 70,3% e 85,90% para os ciclos e cultivares, respectivamente. Nos ciclos, 39,02% da variância ficou concentrada no primeiro componente principal (Dim01) e 31,28% no segundo (Dim02). Para os cultivares, 69,59% da variância esteve em Dim01 e 16,37% em Dim02 (Figura 2).

Na Figura 2A, os ciclos 2016/2017, 2018/2019 e 2019/2020, posicionados no quadrante superior direito, apresentaram estádios fenológicos mais tardios. Em contraste, os ciclos 2015/2016 e 2023/2024 destacaram-se pela ocorrência mais precoce dos estádios fenológicos e pela maior duração do período de floração. Uma possível explicação para esse comportamento é o acúmulo de horas de frio antes da brotação, essencial para o rompimento da dormência (López-Bernal et al., 2017; Rojo et al., 2020; Abou-Saaid et al., 2022). Durante os ciclos caracterizados por estádios mais precoces, foram registrados intensos eventos de El Niño (NOAA, 2024), resultando em invernos mais quentes e uma redução significativa nas horas de frio acumuladas (Radin, Costa & Melo, 2024). A diminuição do acúmulo de frio pode

comprometer o rompimento da dormência, levando ao avanço dos estádios fenológicos (Elloumi et al., 2020; Grillakis, Kapetanakis & Goumenaki, 2022).

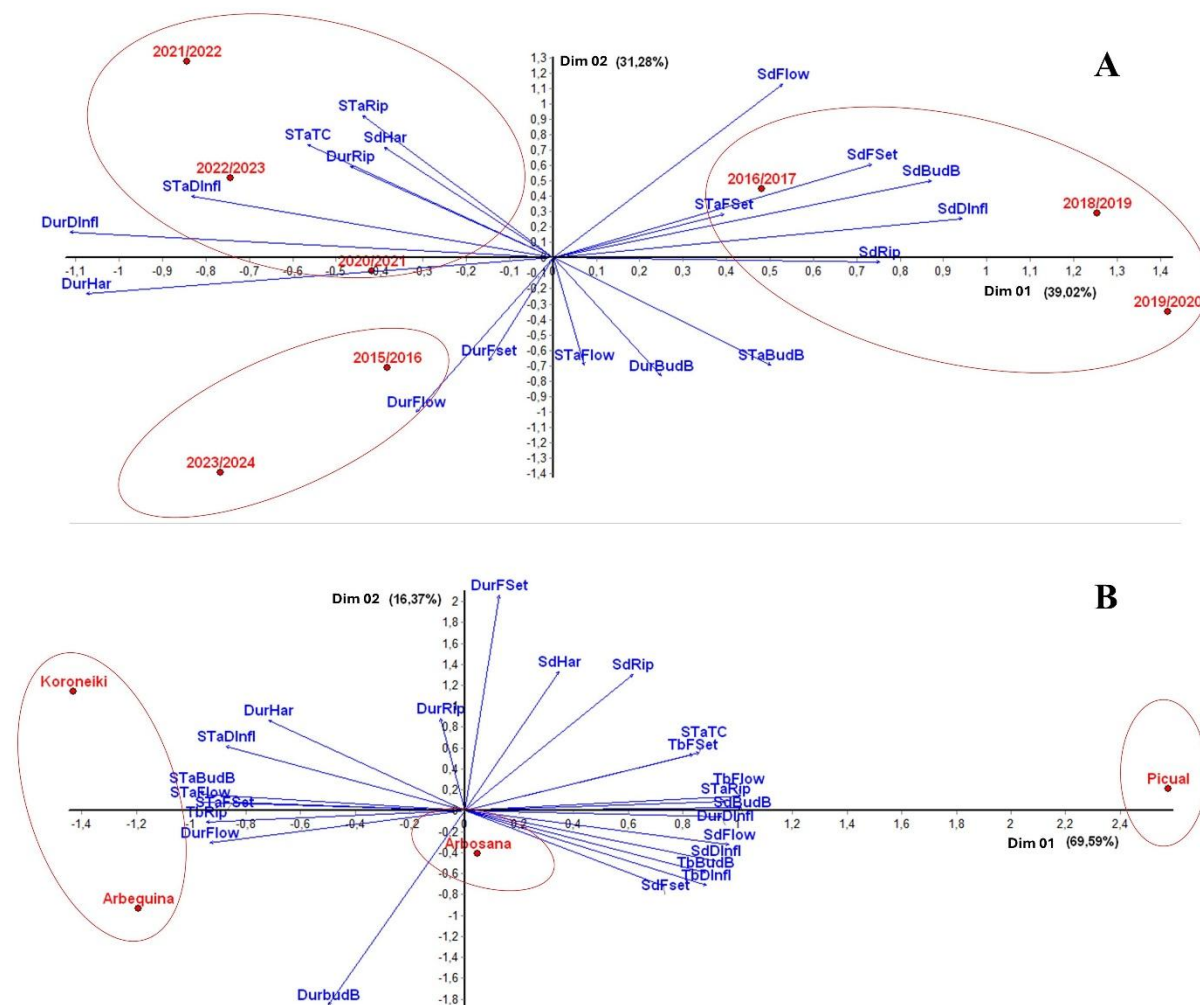


Figura 2: Análise de Componentes Principais (PCA) baseada na fenologia e nos requisitos térmicos ao longo de oito ciclos de avaliação (a) e quatro diferentes cultivares de oliveira (b). As abreviações indicam: SdBudB, DurBudB, TbBudB e STaBudB – data de início, duração, temperatura base e soma térmica do estágio de brotação; SdDInfl, DurDInfl, TbDInfl e STaDInfl – data de início, duração, temperatura base e soma térmica do estágio de desenvolvimento da inflorescência; SdFlow, DurFlow, TbFlow e STaFlow – data de início, duração, temperatura base e soma térmica do estágio de floração; SdFSet, DurFSet, TbFSet e STaFSet – data de início, duração, temperatura base e soma térmica do estágio de frutificação; SdRip, DurRip, TbRip e STaRip – data de início, duração, temperatura base e soma térmica do estágio de maturação; SdHar – data de início da colheita; DurTC e STaTC – duração e soma térmica do ciclo total.

No estágio de brotação, os ciclos localizados no quadrante superior esquerdo (2020/2021, 2021/2022 e 2022/2023) apresentaram os menores valores de STa, o que pode estar associado à menor duração desse estágio observada nesses ciclos (Figura 2A). O acúmulo de calor é proporcional ao número de dias no calendário civil (Aguilera & Ruiz Valenzuela, 2009;

Martins et al., 2019). A mesma relação entre STa e duração pode ser observada para os estádios de desenvolvimento da inflorescência e maturação, nos quais esses mesmos ciclos apresentaram maiores valores de STa acompanhados por períodos de desenvolvimento mais longos.

Para as cultivares, o início dos estádios de brotação, desenvolvimento da inflorescência e floração apresentou um padrão semelhante entre eles, exceto para ‘Picual’, que exibiu um início mais tardio em comparação com ‘Koroneiki’ e ‘Arbequina’. Quanto aos estádios finais de maturação e colheita, a cultivar ‘Arbosana’ destacou-se pelo seu desenvolvimento mais tardio (Figura 2B). Esse padrão pode ser atribuído às exigências térmicas específicas de cada cultivar, especialmente em relação ao acúmulo de frio, sendo ‘Picual’ a mais exigente entre as avaliadas (Da Silva et al., 2025).

Além disso, a temperatura base (Tb) desempenha um papel fundamental no início dos estádios fenológicos, pois a progressão para o próximo estágio pode não ocorrer mesmo com acúmulo suficiente de frio, caso as temperaturas ambientais permaneçam abaixo da Tb necessária (De Melo-Abreu et al., 2004). Essa hipótese é sustentada pelos valores de Tb determinados neste estudo, em que a cultivar ‘Picual’ apresentou temperaturas base mais altas até o estágio de maturação. Esse comportamento também foi relatado por Torreño (1993), que observou que cultivares mais tardios requerem temperaturas base mais elevadas para iniciar seus estádios fenológicos.

A temperatura base (Tb) estabelecida neste estudo foi um fator determinante tanto para a duração do ciclo quanto para os requisitos de STa dos cultivares avaliados. A análise de componentes principais (PCA) revelou uma correlação significativa entre as cultivares ‘Koroneiki’ e ‘Picual’, principalmente no que diz respeito ao ciclo total e seus respectivos valores de Tb, com destaque para o estágio de maturação (Figura 2B). Neste estágio, ‘Picual’

apresentou uma Tb inferior em comparação a ‘Koroneiki’, o que influenciou a duração final do ciclo, resultando em uma extensão do ciclo de ‘Koroneiki’ em relação a ‘Picual’.

De acordo com Meza et al. (2023), a Tb é um parâmetro essencial para a determinação da soma térmica e pode impactar significativamente a duração do ciclo da oliveira. Assim, os resultados deste estudo ressaltam a importância de estabelecer valores específicos de Tb para cada cultivar e estágio fenológico, com ênfase especial na fase de maturação, que se mostrou crucial para as diferenças observadas entre os cultivares.

Esta pesquisa forneceu resultados relevantes para a olivicultura na região sul do Brasil, auxiliando os produtores na tomada de decisões tanto para pomares estabelecidos quanto para novos plantios. A realização de estudos adicionais em outras regiões e com cultivares que apresentam potencial de cultivo são essenciais para o pleno avanço da cultura da oliveira no Rio Grande do Sul. Uma vez que, a importação de azeite é elevada pelo País, e o Rio Grande do Sul tem potencial para atender essa demanda.

Conclusão

A fenologia das oliveiras em Dom Pedrito, RS, foi caracterizada pela brotação em agosto, floração em setembro e maturação/colheita em março, com variações influenciadas pelas temperaturas base (Tb) e pelas condições climáticas de cada ciclo. A cultivar Picual apresentou o ciclo mais tardio, com duração mais curta e maior acumulação de soma térmica (STa) durante a fase de maturação. A variação das temperaturas base entre as cultivares é um recurso importante para a previsão dos estágios fenológicos e para a otimização do manejo dos olivais.

REFERÊNCIAS

- Abou-Saaïd, O et al. (2022). Statistical approach to assess chill and heat requirements of olive tree based on flowering date and temperatures data: Towards selection of adapted cultivars to global warming. *Agronomy*, 12(12):2975.
- Aguilera, F, Ruiz Valenzuela, L. (2009). Study of the floral phenology of *Olea europaea* L. in Jaén province (SE Spain) and its relation with pollen emission. *Aerobiologia*, 25:217-225.
- Aguilera, F et al. (2015). Analysis and interpretation of long temporal trends in cumulative temperatures and olive reproductive features using a seasonal trend decomposition feature. *Agricultural and Forest Meteorology*, 203:208-216.
- Ambrosini, LB et al. (2022). Cadastro olivícola do Rio Grande do Sul. Circular Technical Disclosure, 28.
- Barranco, D, Rallo, L. (2000). Olive cultivares in Spain. *HortTechnology*, 10(1):107-110.
- Boechel, T et al. (2022). Prediction of harvest time of apple trees: An RNN-based approach. *Algorithms*, 15(3):95.
- Brugnara, EC, Sabião, RR. (2022). Olive reproductive phenology in a warm and humid region of Santa Catarina, Brazil. *Agrociencia Uruguay*, 26(2).
- Bustan, A (2011). Role of carbohydrate reserves in yield production of intensively cultivated oil olive (*Olea europaea* L.) trees. *Tree physiology*, 31(5):519-530.
- Coutinho, EF, Ribeiro, FC, Cappellaro, TH. (2009). Cultivo de Oliveira (*Olea europaea* L.). Embrapa Clima Temperado. Sistemas de Produção.
- Da Silva, FL et al. (2025). Thermal requirements and impacts of chilling accumulation on the phenology of olive (*Olea europaea* L.) cultivars in Southern Brazil. *Semina Ciências Agrárias* 46:639-648.
- De Melo-Abreu, JP et al. (2004). Modelling olive flowering date using chilling for dormancy release and thermal time. *Agricultural and Forest Meteorology*, 125(1-2):117-127.
- Elloumi, O et al. (2020). Phenological performance of olive tree in a warm production area of central Tunisia. *Scientia Horticulturae*, 259:108759.
- Fagundes, JD et al. (2010). Temperatura-base e soma térmica de subperíodos do desenvolvimento de *Aspidosiphon montevidensis*. *Bragantia*, 39(2):499-509.
- Ferreira, MDC et al. (2019). Cardinal temperatures and thermal requirements for the initial development of two Brazilian native species. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 52:e00525.
- Freitas, CHD, Martins, FB, & Abreu, MC. (2017). Cardinal temperatures for the leaf development of *Corymbia citriodora* and *Eucalyptus urophylla* seedlings. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 52:283-292.

Garrido, A et al. (2020). First phenological and aerobiological assessment of olive orchards at the Northern limit of the Mediterranean bioclimatic area. *Aerobiologia*, 36:641-656.

Grillakis, MG, Kapetanakis, EG, Goumenaki, E. (2022). Climate change implications for olive flowering in Crete, Greece: Projections based on historical data. *Climatic Change*, 175(1):7.

Hackett, WP, Hartmann, HT. (1967). The influence of temperature on floral initiation. *Physiological Plant*, 20:430-436.

Ibraoliva. Instituto Brasileiro de Olivicultura. 2024. Obtido em: <<https://www.ibraoliva.com.br/>>. Accessed on: November 01th, 2024.

Inês, C et al. (2022). Os Ritmos do Ciclo Reprodutivo em Cultivares de Oliveira. *Vida Rural*, 59.

Köppen, W (1931). *Climatologia*. México. Fundo de Cultura Econômica.

Leite, GB, Pandolfo, C. (2022). Parâmetros agroclimáticos para o cultivo da oliveira. *Agropecuária Catarinense*, 35(3):103-107.

Leite, GB et al. (2023). Previsão de colheita de maçãs com base na soma térmica. *Agropecuária Catarinense*, 36(1):62-66.

Li, X, Flynn, JD, Wang, SC. (2019). The effects of variety, growing region, and drought stress on the fatty acid and sterol compositions of California olive oil. *Journal of the American Society of Petroleum Chemists*, 96(3):215-230.

López-Bernal, A et al. (2017). Do olive vegetative buds undergo a real dormant state in winter?. *Acta Horticulture*, 1160: 227-230.

Martins, FB et al. (2019). Temperatura do ar no desenvolvimento reprodutivo de cultivares de oliveira. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 34(2):179-190.

Medina-Alonso, MG et al. (2020). Differences on flowering phenology under Mediterranean and Subtropical environments for two representative olive cultivars. *Environmental and Experimental Botany*, 180:104239.

Meza, F et al. (2023). Assessing temperature-based adaptation limits to climate change of temperate perennial fruit crops. *Global Change Biology*, 29(9):2557-2571.

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration (2024) Cold & Warm Episodes by Season. Available at: <https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php>. Accessed on: November 25th, 2024.

Oliveira, MCD et al. (2012). Características fenológicas e físicas e perfil de ácidos graxos em oliveiras no sul de Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47:30-35.

Ometto, JC (1981). *Bioclimatologia vegetal*. Ceres, 440.

- Pardo, JE et al. (2021). Influence of olive maturity and season on the quality of virgin olive oils from the area assigned to the protected designation of origin of “Aceite de la Alcarria”(Spain). *Agronomy*, 11(7):1439.
- Pérez-López, D et al. (2008). Influence of temperature on the growth and development of olive (*Olea europaea* L.) trees. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 83:171-176.
- Ozdemir, Y (2016) Effects of Climate Change on Olive Cultivation and Table Olive and Olive Oil Quality. *Horticulture*, 60:65-59.
- Radin, B et al. (2024). El Niño Southern Oscillation and the accumulation of chilling hours for dormancy breaking in temperate fruit in Southern Brazil. *Ciência Rural*, 54:e20220340.
- Ramos, A et al. (2018). Chilling accumulation, dormancy release temperature, and the role of leaves in olive reproductive budburst: Evaluation using shoot explants. *Scientia Horticulturae*, 231:241-252.
- Rojo, J, Pérez-Badia, R. (2015). Models for forecasting the flowering of Cornicabra olive groves. *International Journal of biometeorology*, 59:1547-1556.
- Rojo, J et al. (2020). Estimation of chilling and heat accumulation periods based on the timing of olive pollination. *Forests*, 11(8):835.
- Rubio-Valdés, G et al. (2022). Olive Bud Dormancy Release Dynamics and Validation of Using Cuttings to Determine Chilling Requirement. *Plants*, 11(24):3461.
- Sanz-Cortés, F et al. (2002). Phenological growth stages of olive trees (*Olea europaea* L.). *Annals of Applied Biology*, 140(2):151- 157.
- Souza, PMB & Martins, FB. (2014). Estimativa da temperatura basal inferior para as cultivares de oliveira Grappolo e Maria da Fé. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 29:307-313.
- Tazzo, IF et al. (2020). Fenologia, exigências térmicas e composição mineral de folhas de cultivares de oliveira no Rio Grande do Sul. *Pesquisa agropecuária gaúcha*, 26:131-148.
- Torreño, PJ (1993). Influencia del frío em la salida del reposo de yemas de flor em olivo. *ETSIAM*, 68.
- Vuletin Selak, G et al. (2014). The effect of temperature on the duration of the effective pollination period in ‘Oblica’olive (*Olea europaea*) cultivar. *Annals of applied biology*, 164:85-94.

Artigo 2- Exigências Térmicas e Impactos do Acúmulo de Frio na Fenologia de Cultivares de Oliveira (*Olea europaea* L.) no Sul do Brasil

Short Communication

Publicado na revista Semina Ciências Agrárias v. 46 n. 2 (2025)

Qualis A4; JCR 0,5

doi: 10.5433/1679-0359.2025v46n2p639

Thermal Requirements and Impacts of Chilling Accumulation on the Phenology of Olive (*Olea europaea* L.) Cultivars in Southern Brazil

Exigências Térmicas e Impactos do Acúmulo de Frio na Fenologia de Cultivares de Oliveira (*Olea europaea* L.) no Sul do Brasil

Highlights

A negative correlation exists between chilling and heat accumulation.
Insufficient chilling leads to early budburst and flowering in olive cultivars.
Flowering in cold-requiring cultivars, e.g., 'Picual,' is affected by warm winters.

Destaques

Foi observada uma correlação negativa entre o acúmulo de frio e o acúmulo de calor.
O frio insuficiente causou brotação e floração precoces.
Cultivares que exigem frio, como a Picual, podem ter a floração afetada por invernos mais quentes.

Abstract. Chilling and thermal heat requirements play fundamental roles in the phenological cycle of olive trees (*Olea europaea* L.) by impacting the initiation of budburst, flowering, and productivity. In this study, we evaluated the thermal requirements of four olive cultivars, 'Arbequina,' 'Koroneiki,' 'Picual,' and 'Arbosana,' in the Campanha region of Rio Grande do Sul, Brazil, over eight phenological cycles (2015/2016 to 2023/2024). We determined the timing and duration of the budburst and flowering stages for these cultivars and also analyzed their chilling hour (CH), chilling unit (CU), and accumulated thermal sum (STa) requirements. The results revealed that chilling accumulation ranged from 136–419 CHs, whereas STa ranged from 61.50–161.40 °C.day⁻¹ for budburst and from 110.98–242.80 °C.day⁻¹ for flowering. Early cultivars, such as 'Arbequina' and 'Koroneiki,' exhibited lower chilling requirements and higher STa, whereas 'Picual' required greater chilling accumulation and lower STa. Principal component analysis revealed correlations between variables, demonstrating that mild winters anticipated phenological events. A negative correlation was observed between chilling and heat accumulation, and insufficient chilling compromised flowering synchrony, with potential effects on pollination and production. Early cultivars were more suited to mild winters than late cultivars, whereas late cultivars, e.g., 'Picual,' were more vulnerable to climate change. Our findings highlight the importance of adapting olive tree management to local conditions and choosing suitable cultivars to ensure adequate productivity in emerging subtropical regions.

Key words: *Olea europaea* L.; cumulative thermal sum; PCA; subtropical; chilling requirement

Resumo. As exigências térmicas de frio e calor desempenham um papel fundamental no ciclo fenológico da oliveira (*Olea europaea* L.), influenciando o início da brotação, a floração e a produtividade. Este estudo avaliou as exigências térmicas de quatro cultivares de oliveira - Arbequina, Koroneiki, Picual e Arbosana- na região da Campanha do Rio Grande do Sul, Brasil, ao longo de oito ciclos fenológicos (2015/2016 a 2023/2024). Foram determinados os estádios de brotação e floração, além de analisadas as horas de frio (HF), unidades de frio (UF) e a soma térmica acumulada (STa) para cada cultivar. Os resultados mostraram que o acúmulo de frio variou de 136 a 419 HF, enquanto a STa variou de 61,50 °C.dia⁻¹ a 161,40 °C.dia⁻¹ para brotação, e de 110,98 °C.dia⁻¹ a 242,80 °C.dia⁻¹ para floração. Cultivares precoces, como Arbequina e Koroneiki, apresentaram menor exigência em frio e

maior STa, enquanto 'Picual' demandou maior acúmulo de frio e menor STa. A análise de componentes principais revelou correlações entre as variáveis, evidenciando que invernos amenos anteciparam os eventos fenológicos. Os resultados evidenciam uma correlação negativa entre acúmulo de frio e calor. A insuficiência de frio comprometeu a sincronia da floração, com impactos potenciais na polinização e produção. As cultivares precoces mostraram-se mais adequadas a invernos amenos, enquanto cultivares tardias, como 'Picual', podem ser mais vulneráveis às mudanças climáticas. Este estudo destaca a importância de adaptar o manejo da oliveira às condições locais e à escolha de cultivares adequadas para garantir a produtividade em regiões subtropicais emergentes.

Palavras- Chaves- *Olea europaea* L.; soma térmica acumulada; PCA; subtropical; exigência de frio

The thermal requirements for chilling and heating play crucial roles in the growth and development of olive trees. The accumulation of chilling, necessary for the initiation of budburst and flowering, directly impacts the number and quality of inflorescences (Rojo et al., 2020). After meeting the chilling requirement, accumulated thermal sum (STa) becomes essential for the completion of phenological stages, which affects the duration of the plant cycle and helps in estimating maturation and harvesting, which, in turn, are essential factors for crop management and production optimization (Rubio-Valdés et al., 2022).

Most studies on these thermal requirements have been conducted in Mediterranean climate regions. However, olive phenology and productivity can vary significantly in climates other than those typical of the Mediterranean region (Medina-Alonso et al., 2020; Dias et al., 2022). With the expansion of olive cultivation in Brazil, mainly in Rio Grande do Sul, which is currently the main producer, it is necessary to determine the thermal requirements of this crop in the region. Rio Grande do Sul has approximately 6.000 ha planted and is responsible for 75% of the national olive oil production (Ibraoliva, 2024).

However, little research has been conducted on the thermal requirements of olive trees in subtropical regions, such as southern Brazil. Herein, we aimed to determine the thermal requirements of a few main olive cultivars in the Campanha region of Rio Grande do Sul and evaluate how the accumulation of chilling and heat impacts budburst and flowering periods, contributing to the knowledge regarding the adaptation of the crop to these climatic conditions.

The experiment was performed in Dom Pedrito (31°08'46.71" S, 54°11'53.80" W at an altitude of 378 m) under a humid subtropical climate (Köppen, 1931). Four olive cultivars (*Olea europaea* L.), 'Arbequina,' 'Koroneiki,' 'Picual,' and 'Arbosana,' planted in 2010 with a spacing of 7 m × 5 m between rows and plants and grown in a polyconic system, were evaluated.

The phenology was evaluated over eight cycles from 2015/2016 to 2023/2024. The following stages were determined: budburst (31; 37) and flowering (61; 69) following the Biologische Bundesanstalt Bundessortenamt, Chemische Industrie (BBCH) scale developed for olive trees (Sanz-

Cortés et al., 2002). The study duration was described in days on the civil calendar.

The chilling requirements were calculated based on two factors: chilling hours (CHs) and chilling units (CUs). Counting started on April 1 and continued until the budburst date. For estimating CHs, the hourly mean temperatures ≤ 7.2 °C were added. CUs were calculated using the Model 1 of De Melo-Abreu et al. (2004). The hourly temperature data used were obtained from the meteorological stations of the National Institute of Meteorology, located in Dom Pedrito, Rio Grande do Sul (31°09'6.38" S, 54°37'12.30" W).

STa was obtained by adding degree days (GD), calculated using the model of Ometto (1981), for each phenological stage and olive cultivar. Daily temperature data (°C) were obtained from a meteorological station in the study area.

Principal component analysis (PCA) was performed to detect possible clusters among the dependent variables. A biplot graph was constructed with the first and second principal components using the Fitopac software (version 2.1).

Table 1 shows the interannual variability over the eight phenological cycles. The CH ranged from 136 (2023/2024) to 419 (2018/2019), whereas the CU ranged from 459 to 1197 during the same period. The budburst initiation dates were between July 1 (2023/2024) and September 4 (2018/2019), and flowering ranged from September 2 (2023/2024) to October 1 (2018/2019).

Table 1

Chilling hours, chilling units, accumulated thermal sum (STa), and duration of phenological stages (budburst and flowering) for eight cycles and four olive cultivars

Cycles	Chilling Requirements	
	Chilling Hours (CH)	Chilling Units (CU)
2015/2016	298	661
2016/2017	415	1.068
2018/2019	419	1.197
2019/2020	411	940
2020/2021	332	815
2021/2022	381	847
2022/2023	356	831
2023/2024	136	459

Development Stages	Cycles	Phenology and Heat Requirements		
		Start Date	Duration (days)	STa (°C.day ⁻¹)
Budburst	2015/2016	July 25	10	136.90
	2016/2017	August 25	11	101.02
	2018/2019	September 04	14	109.90
	2019/2020	August 26	12	98.90
	2020/2021	July 29	9	70.80
	2021/2022	August 02	8	61.50

	2022/2023	August 02	9	72.65
	2023/2024	July 01	17	161.40
Flowering	2015/2016	September 04	40	220.10
	2016/2017	September 30	16	112.20
	2018/2019	October 01	22	198.32
	2019/2020	September 23	28	187.48
	2020/2021	September 19	24	123.80
	2021/2022	September 30	21	180.42
	2022/2023	September 22	23	110.98
	2023/2024	September 02	42	242.80
Cultivars	Chilling Requirements			
	Chilling Hours (CH)		Chilling Units (CU)	
Arbequina	281		779	
Koroneiki	304		813	
Picual	352		911	
Arbosana	323		853	
Development Stages	Cultivars	Phenology and Heat Requirements		
		Start Date	Duration (days)	STa (°C.day ⁻¹)
Budburst	Arbequina	August 02	12	106.56
	Koroneiki	August 02	9	111.18
	Picual	August 17	9	65.90
	Arbosana	August 09	11	97.42
Flowering	Arbequina	September 17	30	185.22
	Koroneiki	September 15	29	191.82
	Picual	October 03	17	120.68
	Arbosana	September 28	24	162.62

The PCA results (Figure 1A) revealed that the analyzed cycles were dispersed, forming three distinct clusters. The 2016/2017, 2018/2019, and 2019/2020 cycles were positively aligned with Dim1 (67.97%), indicating greater chilling accumulation and later phenology. In contrast, the 2015/2016 and 2023/2024 cycles were negatively correlated with Dim1, indicating warmer winters and earlier phenological events. The 2020/2021, 2021/2022, and 2022/2023 cycles were positioned intermediately, negatively to Dim2 (20.94%), forming the third group and exhibiting less accentuated variations than the other cycles.

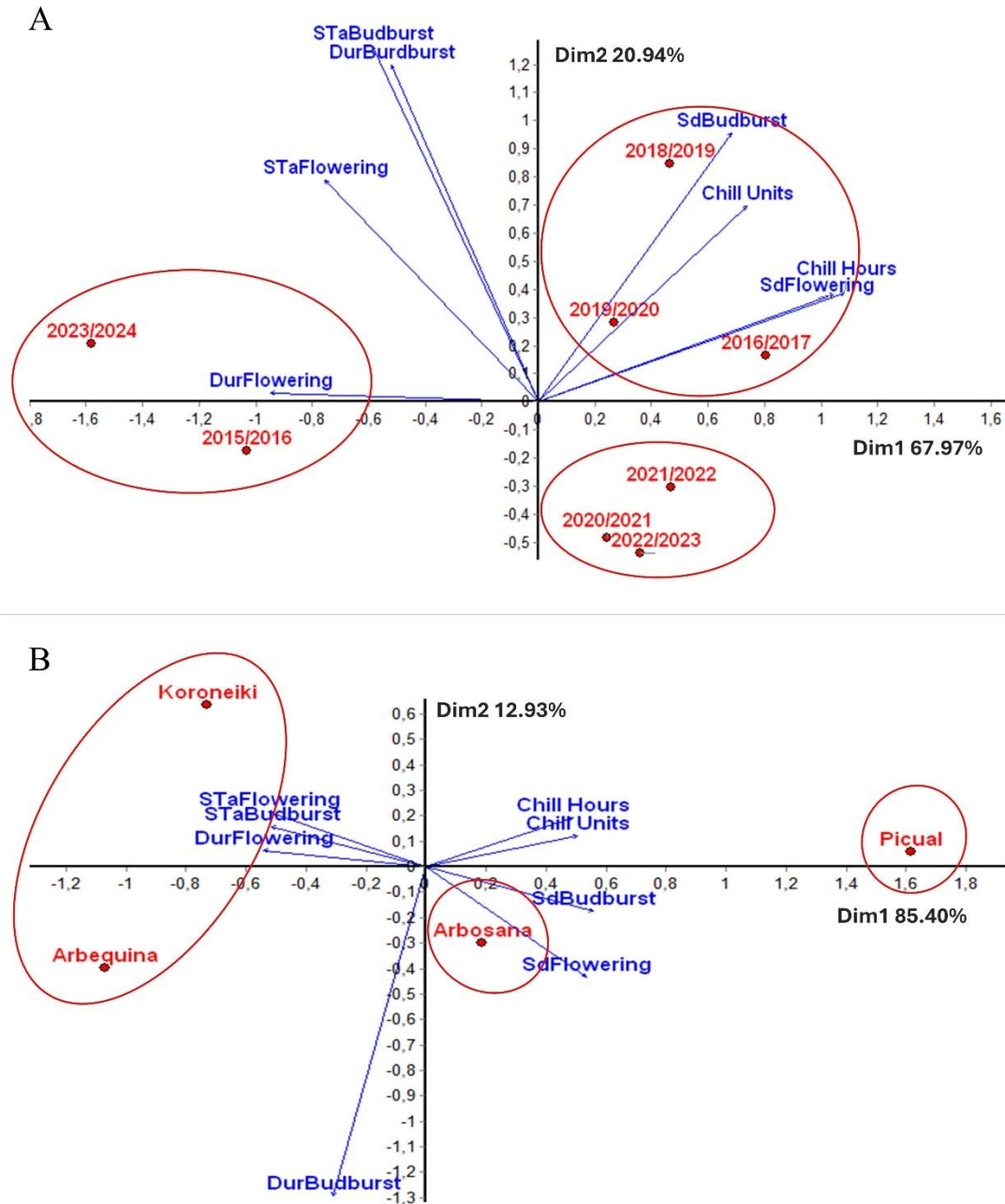


Figure 1. Principal component analysis (PCA) results based on the impacts of chill accumulation (chill hours and chill units) across eight evaluation cycles (A) and four olive cultivars (B). Abbreviations: SdBudburst, the start date of budburst; DurBudburst, duration of budburst; STaBudburst, thermal sum of budburst; SdFlowering, the start date of flowering; DurFlowering, duration of flowering; and StaFlowering, thermal sum of flowering.

These results indicate that insufficient chilling accumulation may compromise compliance with chilling requirements, resulting in early budburst and flowering (Elloumi et al., 2020). Another possibility is that the low chilling requirements of olive trees were met in the study region, and the increase in temperature may have contributed to the precocity of these phenological stages (Orlandi et al., 2004).

The STa for budburst ranged from 61.50 °C.day⁻¹ (2021/2022) to 161.40 °C.day⁻¹ (2023/2024); however, for flowering, it was 110.98 °C.day⁻¹ (2022/2023) to 242.80 °C.day⁻¹ (2023/2024) (Table 1). In the cycles of low chilling accumulation, the anticipation of budburst and flowering was accompanied by a higher STa (Figure 1A), revealing a negative correlation between chilling accumulation and the thermal sum required to complete the phenological stages.

This pattern was also observed in other cultivars. The earliest cultivars, ‘Arbequina’ and ‘Koroneiki,’ with budbursts on August 2 and flowering between September 15 and 17, exhibited the lowest chilling accumulation (281 and 304 CHs, respectively; 779 and 813 CUs, respectively) and the highest STa (106.56 and 111.18 °C.day⁻¹ for budburst, respectively; 185.22 and 191.82 °C.day⁻¹ for flowering, respectively). In contrast, ‘Picual’ was the latest, with budburst on August 17 and flowering on October 3, with the highest chilling requirement (352 CHs and 911 CUs) and the lowest STa (65.90 °C.day⁻¹ for budburst and 120.68 °C.day⁻¹ for flowering) (Table 1).

Abou-Saaïd et al. (2022) also identified a negative correlation between chilling and heat accumulation, indicating that enhanced chilling accumulation reduces the heat requirement. In contrast, Elloumi et al. (2020) reported a positive correlation between chilling and heat accumulation, suggesting that local factors and cultivar-specific characteristics may impact this relationship.

The duration of the phenological stages followed these variations, with budburst lasting from 8 d (2021/2022) to 17 d (2023/2024) and flowering from 16 d (2016/2017) to 42 d (2023/2024) (Table 1). The prolongation of these stages correlated with low chilling accumulation and increased STa in the PCA results (Figure 1A). Medina-Alonso et al. (2020) reported that insufficient winter chilling in Tenerife resulted in early and prolonged flowering; however, the increased STa may be related to the need for relatively more time to accumulate the heat necessary to complete the phenological stages (Murray et al., 1989).

Elucidating the chilling requirements of cultivars is necessary to determine suitable planting areas and assess precocity. In this study, ‘Arbequina’ and ‘Koroneiki’ were negatively positioned in Dim1 (85.40%), indicating lower chilling requirements than those of the other cultivars and early phenology. In contrast, ‘Picual’ stood out positively, confirming higher chilling requirements than those of the other cultivars and late phenological cycles, whereas ‘Arbosana’ exhibited an intermediate behavior and was positioned negatively in Dim2 (12.93%), suggesting a moderate response to climatic conditions (Figure 1B). These results, consistent with those of De Melo-Abreu et al. (2004), revealed genetic differences between the cultivars, suggesting that ‘Arbequina’ and ‘Koroneiki’ are relatively more suitable for regions with mild winters, whereas ‘Picual’ may not be ideal for high-temperature regions.

In recent years, climate change, marked by warmer springs, has altered the flowering time of

olive trees (Ozdemir, 2016). In the present study, the ‘Picual’ cultivar, which exhibited the highest chilling requirement among those evaluated, showed not only delayed flowering but also a shorter flowering duration, as shown in Table 1, with only 17 d of flowering, nearly 13 d less than that of the early cultivars. This short flowering period can impair pollination and, consequently, fruit set, affecting production.

Elucidating the effects of chilling accumulation on the phenological cycle of olive trees in regions where this crop is expanding is of great relevance, particularly because of climate change. Winter chilling accumulation is essential for budburst, a sensitive phase that can be impaired by late frost or heat waves (Rojo et al., 2020). Additionally, chilling accumulation influences the timing of flowering, which determines whether a cultivar flowers early or late. Early cultivars can flower during high spring rainfall, whereas late cultivars can flower during high temperatures (Navas-Lopez et al., 2019). Flowering synchronization among olive cultivars is important when cross-pollination is necessary and can improve productivity (Maniriho, 2022).

The results obtained in this study revealed that low chilling accumulation exerted a significant effect on olive phenology by inducing early budburst and flowering in all cultivars evaluated. A negative correlation was identified between chilling and the heat accumulation necessary to complete these phenological stages. Cultivars such as Arbequina and Koroneiki exhibited the lowest chilling requirements, whereas ‘Picual’ demonstrated the highest among the evaluated cultivars. These results emphasize the importance of adjusting olive tree management based on the chilling accumulation requirements of each cultivar.

REFERENCES

- Abou-Saaid, O., E. I., Yaacoubi, A., Moukhli, A. E. I., Bakkali, A., Oulbi, S., Delalande, M., & Khadari, B. (2022). Statistical approach to assess chill and heat requirements of olive trees based on flowering date and temperatures data: Towards selection of adapted cultivars to global warming. *Agronomy*, 12, 2975. doi:[10.3390/agronomy12122975](https://doi.org/10.3390/agronomy12122975)
- De Melo-Abreu, J. P., Barranco, D., Cordeiro, A. M., Tous, J., Rogado, B. M., & Villalobos, F. J. (2004). Modelling olive flowering date using chilling for dormancy release and thermal time. *Agricultural and Forest Meteorology*, 125(1-2), 117-127. doi:[10.1016/j.agrformet.2004.02.009](https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2004.02.009)
- Dias, C. S., Arias-Sibillotte, M., Tiscornia, G., Severino, V., Pasa, M., Herter, F. G., & Conde-Innamorato, P. (2022). Low spring temperature may negatively influence olive yield. *Australian Journal of Crop Science*, 16(9), 1094-1100.
- Elloumi, O., Ghrab, M., Chatti, A., Chaari, A., & Mimoun M. B. (2020). Phenological performance of olive tree in a warm production area of central Tunisia. *Scientia Horticulturae*, 259, 108759. doi:[10.1016/j.scienta.2019.108759](https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108759)
- Ibraoliva. Instituto Brasileiro de Olivicultura. (2024, Outubro 25). <https://www.ibraoliva.com.br>
- Köppen, W. (1931). *Climatologia*. México, Fundo de Cultura Econômica.

- Maniriho, F. (2022). Flower differentiation and fruiting dynamics in olive trees (*Olea europaea*): eco-physiological analysis in the Mediterranean basin. *Advances in Horticultural Science*, 36(1), 53-62. [doi:10.36253/ahsc-12444](https://doi.org/10.36253/ahsc-12444)
- Medina-Alonso, M. G., Navas, J. F., Cabezas, J. M., Weiland, C. M., Ríos-Mesa, D., Lorite, I. J., & de La Rosa R. (2020). Differences on flowering phenology under Mediterranean and Subtropical environments for two representative olive cultivars. *Environmental and Experimental Botany*, 180, 104239. [doi:10.1016/j.envexpbot.2020.104239](https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104239)
- Murray, M. B., Cannell, M. G. R. & Smith, R. I. (1989). Date of budburst of fifteen tree species in Britain following climatic warming. *Journal of Applied Ecology*, 693-700. [doi:10.2307/2404093](https://doi.org/10.2307/2404093)
- Navas-Lopez, J. F., León, L., Rapoport, H. F., Moreno-Álias, I., Lorite, I. J., & de La Rosa R. (2019). Genotype, environment and their interaction effects on olive tree flowering phenology and flower quality. *Euphytica*, 215, 1-13. [doi:10.1007/s10681-019-2503-5](https://doi.org/10.1007/s10681-019-2503-5)
- Ometto, J. C. (1981). *Bioclimatología vegetal*. São Paulo: Agronômica Ceres. 440.
- Orlandi, F., Garcia-Mozo, H., Ezquerro, L. V., Romano, B., Dominguez, E., Galán, C., & Fornaciari, M. (2004). Phenological olive chilling requirements in Umbria (Italy) and Andalusia (Spain). *Plant Biosystems*, 138(2), 111-116. [doi:10.1080/11263500412331283762](https://doi.org/10.1080/11263500412331283762)
- Ozdemir, Y. (2016). Effects of Climate Change on Olive Cultivation and Table Olive and Olive Oil Quality. *Horticulture*, 60, 65-59.
- Rojo, J., Orlandi, F., Em Dhiab, A., Lara, B., Picornell, A., Oterosm J., & Pérez-Badia, R. (2020). Estimation of chilling and heat accumulation periods based on the timing of olive pollination. *Forests*, 11(8), 835. [doi:10.3390/f11080835](https://doi.org/10.3390/f11080835)
- Rubio-Valdés, G., Cabello, D., Rapoport, H. F., & Rallo, L. (2022). Olive Bud Dormancy Release Dynamics and Validation of Using Cuttings to Determine Chilling Requirement. *Plants*, 11(24), 3461. [doi:10.3390/plants11243461](https://doi.org/10.3390/plants11243461)
- Sanz-Cortés, F., Martínez-Calvo, J., Badenes, M. L., Bleiholder, H., Hack, H., Llacer, G., & Meier, U. (2002). Phenological growth stages of olive trees (*Olea europaea* L.). *Annals of Applied Biology*, 2, 151- 157. [doi:10.1111/j.1744-7348.2002.tb00167.x](https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2002.tb00167.x)

Artigo 3- Receptividade estigmática de flores de oliveira (*Olea europaea* L.) submetidas ao estresse térmico em diferentes tempos antecedentes à polinização
Submissão na Revista Acta Scientiarum Agronomy
Qualis A4; JCR 1,2

Receptividade estigmática de flores de oliveira (*Olea europaea* L.) submetidas ao estresse térmico em diferentes tempos antecedentes à polinização

Receptividade estigmática da oliveira sob temperatura

Resumo:

A receptividade estigmática demonstrou ser um fator determinante para o sucesso da polinização e da frutificação em oliveiras. Este estudo avaliou os efeitos da temperatura (18°C e 28°C) e do tempo de exposição dos estigmas antes da polinização (24, 48, 72 e 96 horas) sobre a aderência, germinação de grãos de pólen e penetração dos tubos polínicos nas cultivares ‘Arbequina’, ‘Koroneiki’ e ‘Picual’. O experimento foi realizado em 2023 e 2024, na região Sul do Brasil, sob condições controladas. Os estigmas foram coletados setes dias após a polinização, fixados e corados com Lacmóide a 1%. Os resultados demonstraram que a cultivar Picual apresentou os melhores desempenhos reprodutivos em todas as variáveis analisadas, com maior estabilidade entre anos e adaptação às condições térmicas. Temperaturas mais baixas favoreceram a aderência do pólen apenas nas primeiras 24 horas, enquanto a 28°C observou-se prolongamento da receptividade estigmática entre 48 e 72 horas. A germinação do pólen foi maior a 28°C, com padrão quadrático ao longo do tempo, evidenciando a importância do equilíbrio térmico durante o período reprodutivo. A penetração dos tubos polínicos variou entre cultivares e anos, com maior instabilidade em 'Arbequina' e maior sensibilidade térmica observada em 'Koroneiki' e 'Picual' sob 28°C. Esses achados contribuem para o entendimento dos mecanismos reprodutivos da oliveira e auxiliam na definição de estratégias de manejo visando maior eficiência na frutificação, especialmente em regiões com variações térmicas significativas.

Palavras-chaves: fecundação; pólen; aderência; germinação; tubos polínicos; temperatura.

INTRODUÇÃO

A oliveira (*Olea europaea* L.) é uma cultura de grande relevância econômica, sendo amplamente cultivada em regiões de clima mediterrâneo e em expansão para outras regiões com condições climáticas favoráveis, como o Brasil. A produção de frutos e a qualidade do azeite estão diretamente associadas à eficiência do processo reprodutivo, especialmente à polinização e fertilização (Cuevas et al., 2009).

Um dos elementos determinantes para o sucesso desses processos é a receptividade estigmática, responsável pelo primeiro contato entre o pólen e o estigma. Essa superfície possibilita a aderência e germinação do pólen, permitindo a penetração dos tubos polínicos no estilete, que conduzirão os gametas até o óvulo, promovendo a fecundação (Vuletin Selak et al., 2014, Riella et al., 2022).

Entre os fatores ambientais que afetam essa etapa, a temperatura exerce influência sobre a receptividade estigmática em diversas espécies (Hedhly et al., 2003, Lora et al., 2011, Carpenedo et al., 2020). Temperaturas elevadas podem acelerar a desidratação da superfície estigmática, reduzindo sua capacidade de sustentar a germinação e a penetração dos tubos polínicos, enquanto temperaturas muito baixas podem retardar este processo (Edlund et al., 2004, Hedhly et al., 2005).

Atualmente, a olivicultura no Brasil ocupa cerca de 10 mil hectares, com o Estado do Rio Grande do Sul, localizado ao sul do país destacando-se como o principal polo de produção. O estado responde por aproximadamente 60% da área cultivada e concentra 75% da produção nacional de azeite, consolidando-se como referência no setor (Ambrosini et al., 2022, Ibraoliva 2023).

Contudo, nos últimos anos, tem-se observado uma queda na produção das oliveiras na região, apesar da emissão de um elevado número de flores (SEADPR 2024). Esse desequilíbrio entre floração abundante e baixa frutificação pode estar associada às condições de temperatura durante o período de floração, que diferem significativamente daquelas encontradas na região de origem da cultura (Medina- Alonso et al., 2020, Riella et al., 2022). Em estudo conduzido por Dias et al. (2022), observou-se que temperaturas mais baixas comprometem a germinação dos grãos de pólen, sendo possível que também afetem negativamente a receptividade estigmática, agravando o baixo pegamento dos frutos.

Com a expansão da olivicultura para regiões como o Sul do Brasil, torna-se essencial compreender os processos reprodutivos da oliveira. Embora avanços importantes tenham sido alcançado em estudos sobre fenologia (Silva et al., 2025) e qualidade de pólen (Dias et al., 2022), a receptividade estigmática ainda carece de investigações mais aprofundadas, especialmente em condições climáticas distintas das tradicionais regiões mediterrâneas.

Nesse contexto, o objetivou-se avaliar a receptividade estigmática de três cultivares de oliveira submetidas a duas condições térmicas contrastantes em quatro períodos distintos de exposição antecedente à polinização, na região Sul do Brasil.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo e material vegetal

O experimento foi conduzido nos anos 2023 e 2024 e a coleta do material foi realizada na região de Pinheiro Machado, Rio Grande do Sul (-31°50'30" S, L 53°51'19" O) no Sul do Brasil. Foram avaliadas três cultivares de oliveira (*Olea europaea* L.), Arbequina, Koroneiki e

Picual. As plantas foram plantadas em 2019, com um espaçamento de 7 m entre linhas x 5 m entre plantas de distância e cultivadas em sistema policônico.

Coleta e Preparação do Material vegetal

Foram coletados racimos florais no estágio fenológico 59 da escala Biologische Bundesanstalt Bundessortenamt, Chemische Industrie (BBCH), caracterizado por uma mudança de cor da corola de verde para branco dos botões florais (Sanz- Cortés et al., 2002) no mês de outubro de cada ano. Após a coleta, o material foi encaminhado ao laboratório LabAgro, da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, onde os botões florais foram individualmente separados dos racimos, emasculados (Figura 1 A) e fixados em espuma fenólica previamente lavada em água corrente, conforme as recomendações do fabricante.

Exposição aos tratamentos térmicos

A espuma fenólica com as flores emasculadas foi colocada em bandejas em polietileno contendo 1 cm de água destilada e então submetida ao tratamento de estresse de alta temperatura ($28 \pm 1^\circ\text{C}$) em uma estufa incubadora (BOD). Para o controle, as espumas com as flores emasculadas foram mantidas em uma BOD a $18 \pm 2^\circ\text{C}$. O material permaneceu por 24, 48, 72 ou 96h nas condições descritas anteriormente antes das flores serem polinizadas. Para a polinização, utilizou-se pólen das cultivares Arbequina (58% de viabilidade), Picual (41% de viabilidade) e Koroneiki (34% de viabilidade). As combinações de polinização foram as seguintes: Arbequina foi polinizada com pólen de Picual, Picual e Koroneiki foram polinizadas com um mix, contendo pólen de Arbequina, Koroneiki e Picual. Após a polinização (Figura 1 B), os botões foram mantidos a $18 \pm 2^\circ\text{C}$, e em sete dias os pistilos foram coletados e colocados em frascos de vidro com fixador 1:1:18 (formol, ácido acético e álcool etílico), e refrigerados até a avaliação (Johansen, 1940).

Avaliação da aderência e germinação dos grãos de pólen e penetração dos tubos polínicos

No dia da avaliação, os 20 pistilos fixados foram lavados três vezes em água destilada, deixando-se, posteriormente, por 21 horas em solução de hidróxido de sódio (8N de NaOH), a qual tem por finalidade amolecer os tecidos. Após esse período, os pistilos foram lavados três vezes com água destilada e, então, colocadas numa solução de hipoclorito de sódio a 20%, durante 15 minutos. Posteriormente, lavou-se e colocou-se os mesmos numa solução de lacmóide a 1% (Wilson & Brown, 1957) (finalidade de colorir os tecidos), durante cinco minutos. Após a coloração, os pistilos foram colocados em uma lâmina de vidro com uma gota do corante e suavemente esmagados sob uma laminula (Figura 1 C). Os pistilos foram avaliados

quanto à aderência (Figura 1 D) e germinação do pólen (Figura 1 E) e à presença de tubos polínicos no estilete (Figura 1 F) com um microscópio óptico (Carl Zeiss do Brasil Ltda., São Paulo, São Paulo, Brasil) usando uma ocular de 10× e uma objetiva de 40x.

A aderência de pólen e a germinação nos pistilos foram pontuadas da seguinte forma: 1 = zero grãos de pólen aderiram e/ou germinaram na superfície estigmática, 2 = 1-25, 3 = 26-50, 4 = 51-75, 5 = 76 a 100 e 6 = mais de 100 grãos de pólen aderiram e/ou germinaram na superfície estigmática. A presença da penetração dos tubos polínicos a partir dos germinados foi avaliada e expressa em porcentagem (Carpenedo et al., 2020).

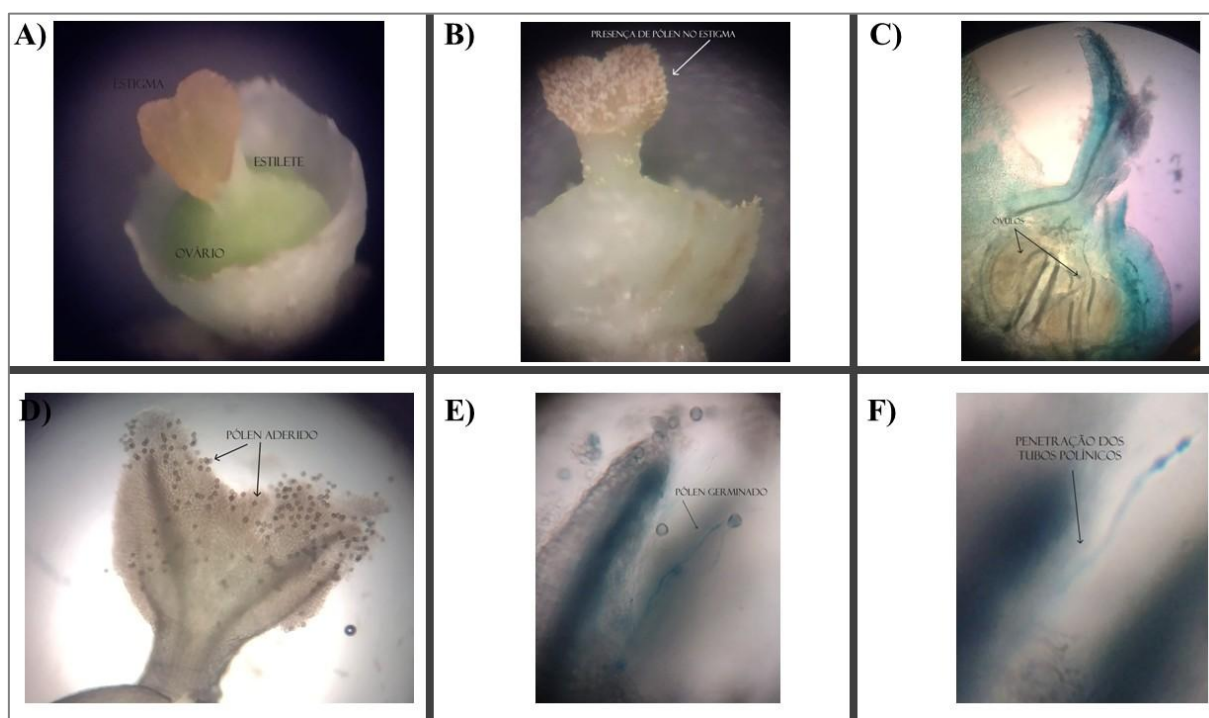


Figura 1. Processo de avaliação da receptividade estigmática em flores de oliveira. Flores emasculadas (A); Presença de pólen no estigma pós polinização (B); Presença dos óvulos no ovário (C); Pólen Aderido no estigma (D); Pólen Germinado no estigma com penetração no estilete (E); Penetração dos tubos polínicos no estilete (F). Fonte: Autora.

Delineamento experimental

O delineamento foi inteiramente casualizado com estrutura fatorial contendo dois fatores de tratamento: quatro tempos de incubação e duas temperaturas (4 x 2) com quatro repetições de cinco botões por parcela.

Análises estatísticas

Os dados relacionados às classes de aderência e germinação dos grãos de pólen na superfície estigmática das flores foram transformados usando $\log(x)$, enquanto os dados

relacionados à porcentagem de penetração dos tubos polínicos foram transformados usando arcsin. A ANOVA foi realizada utilizando o software estatístico SISVAR (Ferreira, 2011) e quando o efeito da interação foi significativo, foram calculadas curvas de regressão (tempo × temperatura) para cada cultivar durante cada ano e para temperatura foi aplicado o teste Scott Knott a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados demonstram que, para a cultivar Arbequina a temperatura não apresentou efeito significativo em nenhum dos anos analisados, enquanto o tempo de exposição antes da polinização foi significativo apenas em 2024. A interação entre tempo e temperatura foi significativa nos dois anos.

Tabela 1. Análise dos efeitos de temperatura e tempo anterior a polinização na variável pólen aderido em estigmas de flores de oliveira para três cultivares em dois anos, 2023 e 2024.

Fontes de Variação	Aderência do Pólen					
	Arbequina		Koroneiki		Picual	
	2023	2024	2023	2024	2023	2024
Temperatura (°C)	0,7715 ^{ns}	0,4804 ^{ns}	0,0000 [*]	0,0007 [*]	0,0015 [*]	0,0017 [*]
Tempo (T)	0,1687 ^{ns}	0,0111 [*]	0,0006 [*]	0,0058 [*]	0,0051 [*]	0,0147 [*]
T x °C	0,0162 [*]	0,0000 [*]	0,0000 [*]	0,0000 [*]	0,0038 [*]	0,0002 [*]
CV (%)	23.82	22,65	7,80	12,94	8,13	9,57

ns, não significativo e * significativo.

Para as cultivares Koroneiki e Picual, todos os fatores avaliados foram estatisticamente significativos em ambos os anos. A cultivar Picual destacou-se com as maiores médias de aderência, seguido por ‘Koroneiki’ e, por último, ‘Arbequina’ (Tabela 1).

A aderência do pólen foi significativamente influenciada pela interação entre tempo e temperatura em todas as cultivares (Figura 2). De modo geral, a temperatura de 18°C favoreceu a aderência do pólen apenas nas primeiras 24 horas, especialmente nas cultivares Koroneiki e Picual, possivelmente devido à menor atividade metabólica do estigma em temperaturas mais baixas, o que pode comprometer a hidratação do polén e a ação de enzimas como peroxidase, esterase e fosfatase ácida, presentes no estigma das flores de oliveira (Nava et al., 2009; Serrano & Olmedilla, 2012).

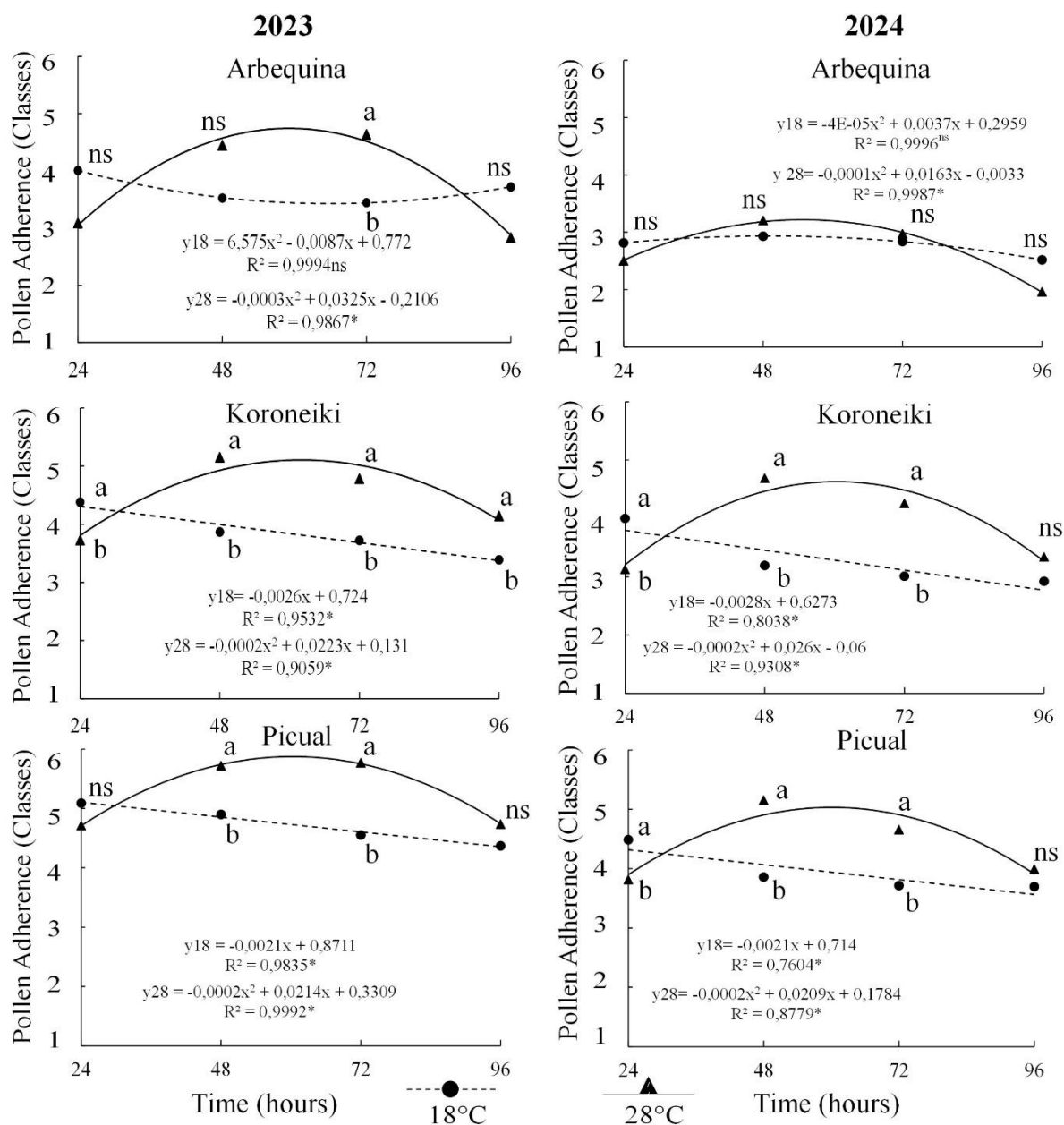


Figura 2. Adesão de pólen (classes) em estigmas de flores de oliveira após exposição a 18 °C e 28 °C por 24, 48, 72 e 96 horas, nos anos de 2023 e 2024. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tempos de exposição ($p < 0,05$); ns = não significativo.

Por outro lado, a temperatura de 28°C favoreceu a aderência em períodos mais prolongados (48 a 72 horas), com ajuste quadrático e consistente entre os anos, sugerindo que temperaturas mais elevadas prolongam a receptividade estigmática até certo limite (Figura 2). Com o avanço do tempo, a superfície estigmática sofre desidratação e degradação enzimática, comprometendo sua capacidade de retenção do pólen (Edlund et al., 2004).

Os resultados da análise de variância revelam que a germinação do pólen foi significativamente influenciada pela temperatura, pelo tempo de exposição antes da polinização

e pela interação entre esses fatores (Tabela 2). Para a cultivar Arbequina, todos os fatores foram significativos nos dois anos.

Tabela 2. Análise dos efeitos de temperatura e tempo anterior a polinização na variável pólen germinado em estigmas de flores de oliveira para três cultivares em dois anos, 2023 e 2024.

Fontes de Variação	Germinação do Pólen					
	Arbequina		Koroneiki		Picual	
	2023	2024	2023	2024	2023	2024
Temperatura (°C)	0,0029*	0,0000*	0,7517 ^{ns}	0,0000*	0,0001*	0,0996 ^{ns}
Tempo (T)	0,0006*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0015*
T x °C	0,0001*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,1490 ^{ns}
CV (%)	14,82	4,39	8,47	2,77	5,34	9,14

ns, não significativo e * significativo.

Em ‘Koroneiki’, a temperatura não foi significativa em 2023, mas passou a influenciar em 2024, enquanto o tempo e a interação foram altamente significativos em ambos os anos. Já em ‘Picual’, a temperatura foi significativa apenas em 2023, perdendo significância em 2024, ao contrário do tempo, que manteve efeito significativo nos dois anos, e da interação, que foi significativa em 2023, mas não em 2024. As maiores médias de germinação foram observadas em ‘Picual’, seguida por ‘Koroneiki’ e ‘Arbequina’ (Tabela 2).

A compreensão dos efeitos das temperaturas amenas sobre a germinação do pólen em oliveiras é essencial para a região Sul do Brasil, onde, durante o período reprodutivo, as temperaturas frequentemente variam entre 12°C e 22°C (Apêndice B). No presente estudo, verificou-se que a temperatura de 18°C resultou em um padrão decrescente de germinação do pólen ao longo do tempo para as cultivares avaliadas, enquanto a 28°C observou-se um comportamento quadrático, com incremento da germinação até 72 horas de exposição e leve redução posterior (Figura 3). A análise geral revelou maior germinação a 28°C, principalmente nos tempos finais de exposição (Figura 3), indicando que as cultivares apresentam boa adaptação a temperaturas elevadas. Esses resultados corroboram parcialmente com Vuletin Selak et al. (2013), que não identificaram influência significativa da temperatura sobre a germinação dos grãos de pólen da cultivar Oblica, sugerindo mecanismos de compensação fisiológica nos estigmas.

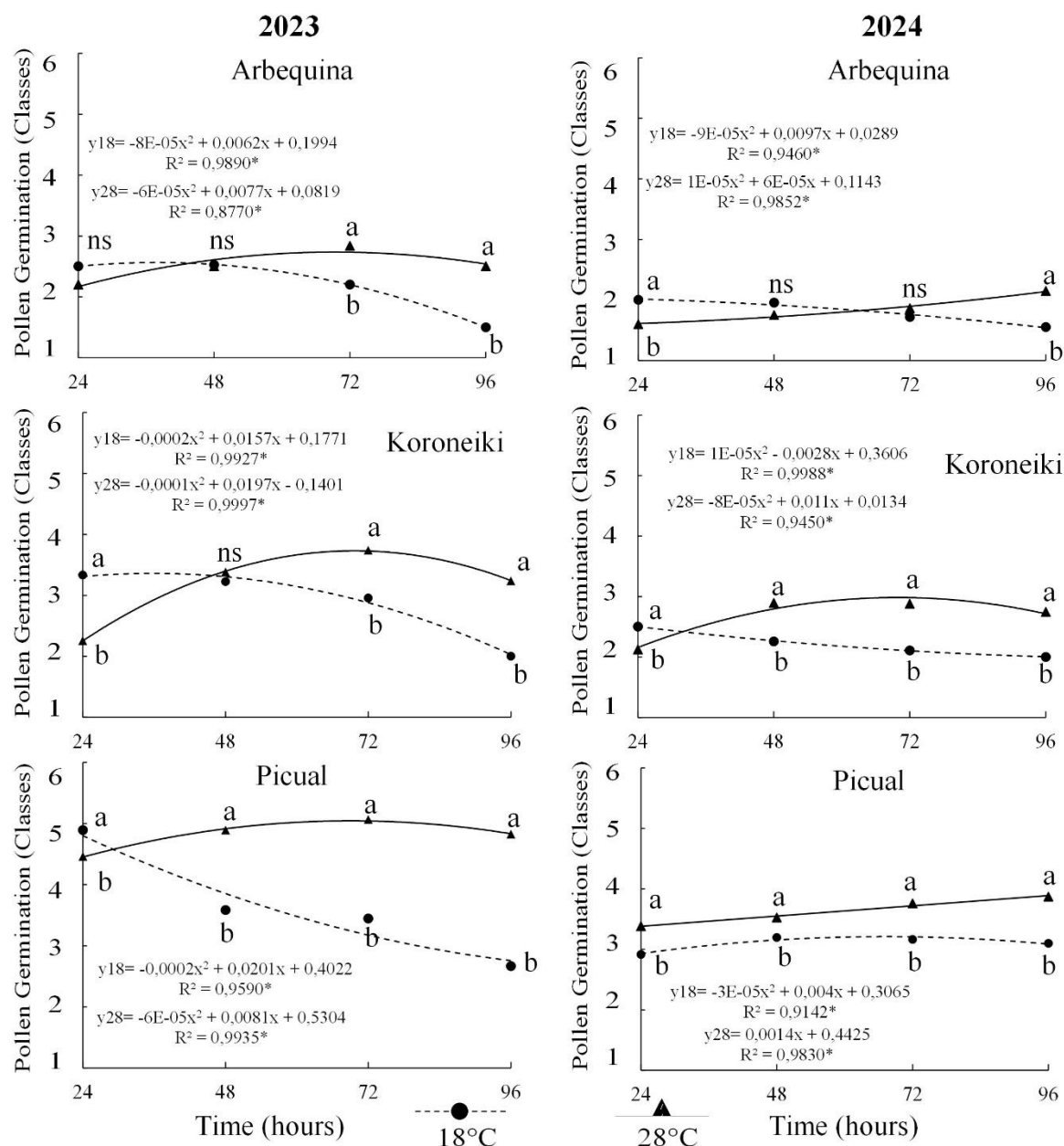


Figura 3. Germinação do pólen (classes) em estigmas de flores de oliveira após exposição a 18 °C e 28 °C por 24, 48, 72 e 96 horas, nos anos de 2023 e 2024. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tempos de exposição ($p < 0,05$); ns = não significativo.

Por outro lado, os achados contrastam com os de Zanandrea et al. (2011) em pessegueiros, nos quais temperaturas elevadas reduziram a receptividade estigmática. Além disso, estudos como o de Koubouris et al. (2009) indicam que temperaturas baixas (15°C) podem comprometer a germinação do pólen e o crescimento do tubo polínico em oliveiras, afetando negativamente a fertilização. Complementarmente, Dias et al. (2022) demonstraram, em ensaios in vitro, que temperaturas entre 10°C e 20°C não favorecem a germinação do pólen, o que pode impactar diretamente a frutificação e a produtividade das oliveiras. Esses dados

reforçam a importância de considerar o regime térmico local no planejamento e manejo de oliveais em regiões com primaveras frias.

Na penetração dos tubos polínicos, o tempo de exposição foi significativo em todas as cultivares e anos (Tabela 3). A temperatura teve efeito apenas em alguns casos, em ‘Arbequina’ (2023), ‘Koroneiki’ (2024) e ‘Picual’ (ambos os anos).

Tabela 3. Análise dos efeitos de temperatura e tempo anterior a polinização na variável penetração dos tubos polínicos em estigmas de flores de oliveira para três cultivares em dois anos, 2023 e 2024.

Fontes de Variação	Penetração dos Tubos Polínicos					
	Arbequina		Koroneiki		Picual	
	2023	2024	2023	2024	2023	2024
Temperatura (°C)	0,0187*	0,1933 ^{ns}	0,1290 ^{ns}	0,0001*	0,0343*	0,0009*
Tempo (T)	0,0011*	0,0000*	0,0000*	0,0004*	0,0014*	0,0000*
T x °C	0,0000*	0,0658 ^{ns}	0,0011*	0,0000*	0,0000*	0,0000*
CV (%)	23,31	7,58	23,36	12,44	12,56	7,06

ns, não significativo e * significativo.

A interação foi significativa em 2023 para todas as cultivares e, em 2024, apenas para ‘Koroneiki’ e ‘Picual’. A cultivar Picual apresentou as maiores médias de penetração nos dois anos, destacando-se entre as cultivares avaliadas (Tabela 3).

Na Figura 4, de forma geral a temperatura de 28°C favoreceu maior penetração dos tubos polínicos nas primeiras 24 horas, enquanto a 18°C apresentou melhor desempenho em períodos mais longos. Esse padrão pode estar relacionado à dinâmica do metabolismo dos tubos polínicos, que após a penetração passam a depender do suprimento de carboidratos do estilete, alterando seu metabolismo de autotrófico para heterotrófico (Herrero & Arbeloa, 1989). A maior atividade inicial a 28°C pode ter acelerado o consumo dessas reservas, limitando a continuidade do processo, sobretudo considerando que os pistilos estavam isolados da planta mãe e mantidos em BOD.

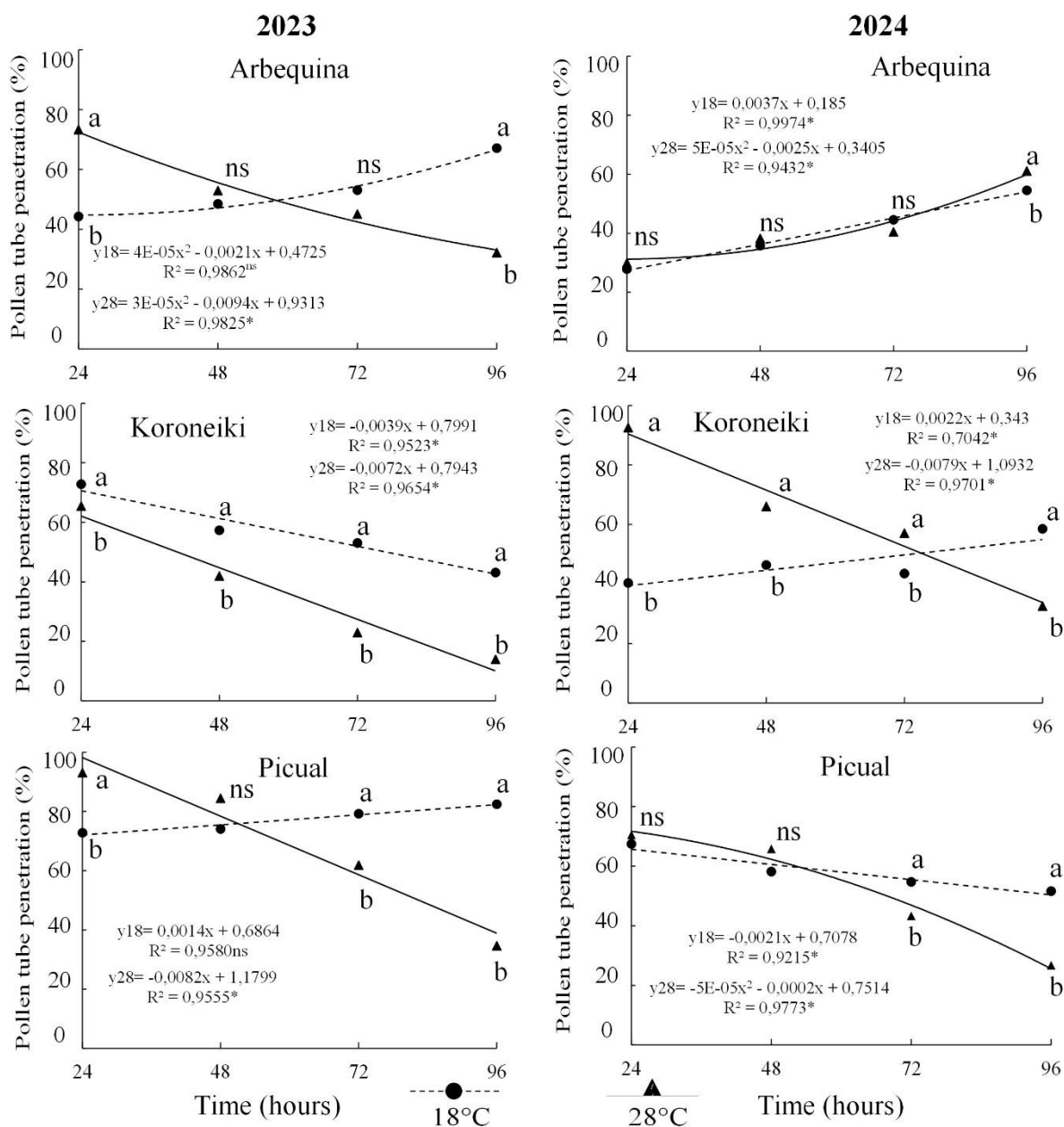


Figura 4. Penetração dos tubos polínicos (%) em estigmas de flores de oliveira após exposição a 18 °C e 28 °C por 24, 48, 72 e 96 horas, nos anos de 2023 e 2024. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tempos de exposição ($p < 0,05$); ns = não significativo.

Entre as cultivares avaliadas, Arbequina apresentou elevada variabilidade interanual, com alterações no padrão de resposta independentemente da temperatura (Figura 4). Essa instabilidade pode estar relacionada às características genótípicas da cultivar, considerada precoce em relação às demais (Silva et al., 2025). Em 2024, a floração de Arbequina ocorreu antes das outras cultivares e coincidiu com um período de precipitação anterior à coleta, o que possivelmente comprometeu o processo reprodutivo. Esse comportamento reforça a

sensibilidade da Arbequina à ocorrência de chuvas durante a floração, um fator recorrente na região estudada (Silva et al., 2021).

Por outro lado, as cultivares Koroneiki e Picual apresentaram comportamento mais estável, com tendência de redução da penetração dos tubos polínicos sob 28°C em ambos os anos, o que indica sensibilidade às temperaturas elevadas (Figura 4). Esse padrão pode estar relacionado às maiores exigências térmicas dessas cultivares, que demandam um número mais elevado de horas de frio (Silva et al., 2025), fator que pode influenciar a dinâmica do crescimento do tubo polínico sob diferentes condições de temperatura.

Neste estudo, a cultivar Picual destacou-se em relação às demais por apresentar os melhores resultados nas variáveis analisadas, demonstrando elevada eficiência reprodutiva.

Tabela 4. Aderência, germinação e penetração dos tubos polínicos de grãos de pólen em estigmas de três cultivares de oliveira (Arbequina, Koroneiki e Picual) avaliadas nos anos de 2023 e 2024.

Ano de Avaliação	Cultivares		
	Arbequina	Koroneiki	Picual
	Aderência do Pólen (Classes)		
2023	0,54 b	0,53 b	0,80 a
2024	0,35 c	0,51 b	0,63 a
Cv (%)	0,65		
Germinação do Pólen (Classes)			
2023	0,27 c	0,43 b	0,72 a
2024	0,19 c	0,34 b	0,51 a
Cv (%)	0,47		
Penetração dos Tubos Polínicos (%)			
2023	0,60 ab	0,55 b	0,73 a
2024	0,41 b	0,61 a	0,55 ab
Cv (%)	0,63		

Médias seguidas das mesmas letras na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Esse desempenho pode estar associado à sua reconhecida robustez e adaptação a condições climáticas adversas (Hegazi et al., 2012), além da possível capacidade de manter a receptividade estigmática por períodos mais prolongados. Cuevas et al. (2009) relataram que ‘Picual’ apresentou estigmas receptivos por até 16 a 20 dias antes da polinização, enquanto outras cultivares, como Manzanillo, mantiveram receptividade por apenas 8 dias. Esses fatores podem ter contribuído para os altos índices observados de aderência e germinação do pólen (Tabelas 1 e 2) e de penetração dos tubos polínicos (Tabela 3).

A receptividade estigmática em oliveira é uma temática ainda pouco explorada na literatura, sobretudo no que se refere à sua resposta fisiológica sob condições de baixa temperatura. Os resultados obtidos neste estudo demonstram que temperaturas reduzidas atuam como fator limitante à receptividade estigmática, comprometendo os processos de polinização e fecundação e, por consequência, podendo contribuir para os baixos índices produtivos observados em determinadas ciclos. Compreender os efeitos das baixas temperaturas sobre a funcionalidade estigmática é fundamental para orientar estratégias de manejo reprodutivo, como o uso de reguladores de crescimento, intervenções fitossanitárias e polinização artificial/manual, especialmente em cultivares sensíveis ao estresse térmico.

CONCLUSÃO

A cultivar Picual destacou-se pelo melhor desempenho reprodutivo e maior estabilidade, seguida por ‘Koroneiki’, enquanto ‘Arbequina’ foi mais sensível às variações ambientais. Temperaturas moderadamente elevadas (28°C) favoreceram a polinização em exposições de até 72 horas, enquanto temperaturas mais baixas limitaram os processos reprodutivos ao longo do tempo. Esses resultados reforçam a importância de considerar a janela térmica e temporal ideal para a polinização e o manejo reprodutivo em olivais, especialmente em regiões com primaveras frias.

REFERÊNCIAS

- Ambrosini, L. B., Leite de Borba, A. C., Bertollo, A. M., Lipp João, P., & Rotta de Oliveira, A. M. (2022). Cadastro olivícola do Rio Grande do Sul. Circular Technical Disclosure; SEAPDR-DDPA: Porto Alegre, Brasil.
- Carpenedo, S., Bassols, M. D. C., Franzon, R. C., Byrne, D. H., & Silva, J. B. D. (2020). Stigmatic receptivity of peach flowers submitted to heat stress. *Acta Scientiarum Agronomy*, 42(1), e42450. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v42i1.42450>
- Cuevas, J., Pinillos, V., & Polito, V. S. (2009). Effective pollination period for ‘Manzanillo’ and ‘Picual’ olive trees. *Journal Horticulture Scienci Biotechnology*, 84(3), 370-374. <https://doi.org/10.1080/14620316.2009.11512534>
- Dias, C. S., Arias-Sibillotte, M., Tiscornia, G., Severino, V., Pasa, M., Herter, F. G., & Conde Innamorato, P. (2022). Low spring temperature may negatively influence olive yield. *Australian Journal of Crop Science*, 16(9), 1094-1100. <https://doi.org/10.21475/ajcs.22.16.09.p3602>
- Edlund, A. F., Swanson, R., & Preuss, D. (2004). Pollen and stigma structure and function: the role of diversity in pollination. *Plant Cell* 16, 84-97. <https://doi.org/10.1105/tpc.015800>
- Ferreira, D. F. (2011). SISVAR: A computer statistical analysis system. *Ciencia e Agrotecnologia*, 35(6), 1039-1042. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>
- Hedhly, A., Hormaza, J. I., & Herrero, M. (2003). The effect of temperature on stigmatic receptivity in sweet cherry (*Prunus avium* L.). *Plant, Cell & Environment*, 26(10), 1673-1680. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2003.01085.x>
- Hedhly, A., Hormaza, J. I., & Herrero M. (2005). The effect of temperature on pollen germination, pollen tube growth, and stigmatic receptivity in peach. *Plant Biology*, 7(5), 476-483. <https://doi.org/10.1055/s-2005-865850>
- Hegazi, E. S., Farag, K. M., & El-Gawad, H. G. A. (2012). Evaluation of growth and productivity of olive cultivars under Egyptian conditions. *Acta Horticulture*, 949, 289–296.

- Herrero, M., & Arbeloa, A. (1989). Influence of the pistil on pollen tube kinetics in peach (*Prunus persica*). *American Journal of Botany*, 76(10), 1441–1447. <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1989.tb15124.x>
- Ibraoliva. Instituto Brasileiro de Olivicultura. 2023. Obtido em: <<https://www.ibraoliva.com.br/>>. Acessado em: 01 de abril de 2025.
- Johansen, D. A. (1940). Plant microtechnique. New York and London: McGraw-Hill Book Company Inc.
- Koubouris, G. C., Metzidakis, I. T., & Vasilakakis, M. D. (2009). Impact of temperature on olive (*Olea europaea* L.) pollen performance in relation to relative humidity and genotype. *Environmental and Experimental Botany*, 67(1), 209-214. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.06.002>
- Lora, J., Herrero, M., & Hormaza, J. I. (2011). Stigmatic receptivity in a dichogamous early-divergent angiosperm species, *Annona cherimola* (Annonaceae): Influence of temperature and humidity. *American Journal of Botany*, 98(2), 265-274. <https://doi.org/10.3732/ajb.1000185>
- Medina-Alonso, M. G., Navas, J. F., Cabezas, J. M., Weiland, C. M., Ríos-Mesa, D., Lorite, I. J., & de la ROSA, R. (2020). Differences on flowering phenology under Mediterranean and Subtropical environments for two representative olive cultivars. *Environmental and Experimental Botany*, 180, 104239. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104239>
- Nava, G. A., Marodin, G. A. B., & Santos, R. P. D. (2009). Reprodução do pessegueiro: efeito genético, ambiental e de manejo das plantas. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 31(4), 1218-1233. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452009000400042>
- Riella, V., Borges, A., Arias-Sibillote, M., Speroni, G., & Speranza, P. (2022). The effective pollination period of the olive cultivar ‘Arbequina’ (*Olea europaea* L.) in a non-traditional region. *South African Journal of Botany*, 151(2), 246-254. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.10.004>
- Sanz-Cortés, F., Martínez-Calvo, J., Badenes, M. L., Bleiholder, H., Hack, H., Llácer, G., Meier, U. (2002). Phenological growth stages of olive trees (*Olea europaea*). *Annals of Applied Biology*, 140(2), 151-157. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2002.tb00167.x>

Seadpr. Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação. Câmara Setorial das Oliveiras apresenta números da safra 2023/2024. Disponível em <<https://www.estado.rs.gov.br/camara-setorial-das-oliveiras-apresenta-numeros-da-safra-2023-2024>>. Acesso: 01 de Abril de 2025.

Serrano, I., & Olmedilla, A. (2012). Histochemical location of key enzyme activities involved receptivity and self-incompatibility in the olive tree (*Olea europaea* L.). *Plant Science*, 197, 40-49. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2012.07.007>

Silva, T. R., Reis, I., Klering, E., & Maier, E. L. B. (2021). Precipitação em Rio Grande- RS (1913-2016): Análise descritiva e da variabilidade. *Revista Brasileira de Geografia e Física*, 14(2), 537-553.

Silva, F. L. da, Gobi, S. F., Costa, V. B., & Herter, F. G. (2025). Thermal requirements and impacts of chilling accumulation on the phenology of olive (*Olea europaea* L.) cultivars in Southern Brazil. *Semina: Ciências Agrárias*, 46(2), 639–648. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2025v46n2p639>

Vuletin Selak, G., Perica, S., BAN, S. G., & Poliak, M. (2013). The effect of temperature and genotype on pollen performance in olive (*Olea europaea* L.). *Scientia horticulturae*, 156, 38-46. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.03.029>

Vuletin Selak, G., Cuevas, J., Goreta, B. S., Pinillos, V., Dumicic, G., & Perica, S. (2014). The effect of temperature on the duration of the effective pollination period in ‘Oblica’ olive (*Olea europaea*) cultivar. *Annals Applied Biology*, 164(1), 85-94. <https://doi.org/10.1111/aab.12082>

Wilson, J. A., & Brown, S. O. (1957). Differential staining of pollen tubes in grass pistils. *Agronomy Journal*, 49(4), 220-222. DOI: 10.2134/agronj1957.00021962004900040018x

Zanandrea, I., Raseira, M. D. C. B., Santos, J. D., & Silva, J. B. D. (2011). Receptividade do estigma e desenvolvimento do tubo polínico em flores de pessegueiro submetidas à temperatura elevada. *Ciência Rural*, 41(12), 2066-2072.

Artigo 4- Efeitos da temperatura e aplicação de Boro *in vitro* no desempenho reprodutivo de duas Cultivares de Oliveira

Comunicação Científica

Submissão na Revista Brasileira de Fruticultura

Qualis B1, JCR 0,9

Efeitos da temperatura e da aplicação de boro *in vitro* no desempenho reprodutivo de duas Cultivares de Oliveira

Resumo: A oliveira (*Olea europaea* L.) destaca-se no Rio Grande do Sul, principal polo da olivicultura brasileira e responsável por grande parte da área plantada e produção nacional de azeite. Contudo, enfrenta desafios como a alternância produtiva, causada pela baixa eficiência na polinização e fertilização. A viabilidade do pólen e o crescimento do tubo polínico são processos sensíveis à temperatura, com extremos térmicos prejudicando a frutificação. O boro, micronutriente essencial para esses processos, é aplicado na floração, mas sua absorção e eficácia podem ser influenciadas pela temperatura. Este estudo avaliou *in vitro* o efeito de diferentes temperaturas (12°C, 22°C, 25°C e alternância 12-22°C) e concentrações de boro (0, 50, 100, 200 e 300 mg·L⁻¹) na germinação do pólen e no crescimento do tubo polínico das cultivares Arbequina e Manzanilla, cultivadas em Dom Pedrito, RS. A germinação foi maior a 25°C para ambas as cultivares, com Arbequina apresentando maior resposta em temperaturas elevadas, e Manzanilla maior estabilidade em baixas temperaturas. O boro favoreceu a germinação e o crescimento do tubo polínico até concentrações ótimas, acima das quais ocorreu toxicidade. A alternância térmica 12-22°C reduziu a germinação e o crescimento, sugerindo efeito negativo das variações térmicas durante a floração. Os resultados indicam que a temperatura exerce maior influência que o boro na viabilidade do pólen e que o manejo adequado de boro pode otimizar a fertilização e a produtividade da oliveira no Sul do Brasil.

Termos para indexação: germinação; crescimento do tubo polínico; baixas temperaturas; extremos térmicos.

Abstract: The olive tree (*Olea europaea* L.) stands out in Rio Grande do Sul, the main hub of Brazilian olive cultivation and responsible for a large share of the country's planted area and olive oil production. However, the crop faces challenges such as alternate bearing, caused by low pollination and fertilization efficiency. Pollen viability and pollen tube growth are processes that are highly sensitive to temperature, with thermal extremes negatively affecting fruit set. Boron, an essential micronutrient for these processes, is applied during flowering, but its absorption and effectiveness may be influenced by temperature. This study evaluated *in vitro* the effect of different temperatures (12°C, 22°C, 25°C, and alternating 12–22°C) and boron concentrations (0, 50, 100, 200, and 300 mg·L⁻¹) on pollen germination and pollen tube growth of the cultivars Arbequina and Manzanilla, grown in Dom Pedrito, RS. Pollen germination was highest at 25°C for both cultivars, with Arbequina showing a stronger response at higher temperatures, while Manzanilla displayed greater stability under lower temperatures. Boron promoted pollen germination and tube growth up to optimal concentrations, beyond which toxicity was observed. Thermal alternation (12–22°C) reduced both germination and tube growth, suggesting a negative effect of temperature fluctuations during flowering. The results indicate that temperature has a greater influence than boron on pollen viability and that proper boron management can optimize fertilization and increase olive productivity in southern Brazil.

Index terms: germination; pollen tube growth; low temperatures; thermal extremes.

A oliveira (*Olea europaea* L.) tem ganhado destaque na fruticultura do Rio Grande do Sul, posicionando o estado como o principal polo da olivicultura brasileira (IBRAOLIVA, 2023). Atualmente, o RS concentra, em média, 60% da área plantada no país e é responsável por aproximadamente 75% da produção nacional de azeite (IBRAOLIVA; SEAPI, 2023). Apesar desse avanço, a cultura ainda enfrenta desafios produtivos, especialmente relacionados à alternância de produção entre safras, o que compromete a estabilidade e a previsibilidade do setor (SEADPR, 2024).

Um dos fatores que pode contribuir para essa irregularidade é a baixa eficiência nos processos de polinização e fertilização (WANG et al., 2010). A formação dos frutos depende diretamente da viabilidade do pólen, da germinação adequada dos grãos polínicos e do crescimento eficiente dos tubos polínicos através do estilete até o ovário, onde ocorre a fecundação (WANG et al., 2010; IOVANE et al., 2021). Condições ambientais desfavoráveis durante o período reprodutivo, como variações bruscas de temperatura, podem comprometer esses processos, resultando em baixa taxa de frutificação efetiva e, conseqüentemente, em safras reduzidas (SELAK et al., 2013; KOUBOURIS et al., 2009).

A temperatura, nesse contexto, é um dos principais fatores ambientais que influenciam diretamente a viabilidade e a germinação dos grãos de pólen em oliveiras (SELAK et al., 2013; VULETIN SELAK et al., 2016). Condições térmicas extremas, tanto elevadas quanto reduzidas, têm sido associadas a prejuízos significativos nesses processos. Altas temperaturas podem comprometer a integridade celular dos grãos de pólen e inibir o crescimento do tubo polínico, dificultando a fecundação (HEDHLY et al., 2005; VULETIN SELAK et al., 2016). Por sua vez, temperaturas mais baixas, embora menos frequentes nos estudos, também têm demonstrado efeitos negativos sobre a germinação (KOUBOURIS et al., 2009; DIAS et al., 2022).

Paralelamente, a aplicação do micronutriente boro (B) durante a floração é uma prática recorrente, dado o seu papel essencial nos processos reprodutivos da oliveira, influenciando diretamente a frutificação e o rendimento da cultura (PERICA et al., 2001; ARROBAS et al., 2010). O boro é fundamental para o crescimento do tubo polínico, etapa crucial para a fertilização, além de participar da ativação de enzimas desidrogenases, no transporte de assimilados, no metabolismo de ácidos nucleicos e na regulação de hormônios vegetais (MARSCHNER; RENGEL, 2023). No entanto, sua absorção, translocação e funcionalidade fisiológica podem ser sensivelmente alteradas em função das variações térmicas (NYOMORA et al., 1999). Nesse contexto, compreender como diferentes condições de temperatura

influenciam a dinâmica de absorção e utilização do boro na oliveira é essencial para o aprimoramento das estratégias de manejo nutricional, especialmente em regiões com características edafoclimáticas específicas, como o sul do Brasil.

Dessa forma, este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos de diferentes temperaturas e concentrações de boro na germinação dos grãos de pólen e no comprimento do tubo polínico em oliveira.

O material vegetal para o estudo foi coletado em Pinheiro Machado, Rio Grande do Sul ($-31^{\circ}50'30''$ S, $L 53^{\circ}51'19'$ O). Foram utilizados racimos florais de duas cultivares de oliveira (*Olea europaea* L.)- Arbequina e Manzanilla- que foram plantadas em 2019, com um espaçamento de 7m x 5m de distância e conduzidas em sistema policônico.

Aproximadamente 30 inflorescências de cada cultivar foram coletadas no estágio fenológico 59 da escala BBCH (Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie) (SANZ-CORTÉS et al., 2002). As inflorescências foram acondicionadas em caixa térmica com gelo e transportadas ao laboratório AgroLab da Universidade Federal de Pelotas. No laboratório, os racimos florais foram separados e armazenados em caixas de papel, sendo mantidos em ambiente com temperatura controlada a 27°C , por 24 horas, a fim de possibilitar a antese, a deiscência completa das anteras e a liberação dos grãos de pólen.

O meio de cultura foi preparado com 6g.L^{-1} de ágar e 150g.L^{-1} de sacarose (VITI et al., 1990) e foram adicionadas diferentes concentrações de ácido bórico: 0, 100, 150, 200, 250, 300 mg.L^{-1} . Após o preparo, o meio foi aquecido em forno micro-ondas até completa dissolução, em torno de dois minutos. Em seguida, cerca de 20 mL do meio ainda líquido foram vertidos em placas de Petri esterilizadas. Com o auxílio de um pincel, os grãos de pólen foram distribuídos uniformemente sobre a superfície do meio. As placas foram vedadas com filme plástico para evitar trocas gasosas com o ambiente externo. O ácido bórico, foi utilizado como fonte de boro.

Posteriormente, foram acondicionadas em câmaras de incubação do tipo BOD e submetidas a quatro regimes térmicos distintos: 12°C , 22°C , 25°C e alternância entre 12°C e 22°C (12 horas em cada temperatura). Essas temperaturas foram definidas com base no levantamento das temperaturas mínimas e máximas do local do experimento (Apêndice B), sendo 25°C adotada como controle. O período total de incubação foi de 24 horas.

As avaliações de germinação de grãos de pólen e comprimento de tubo polínico foram realizadas em microscópio estereoscópico, equipado com o sistema AxioVision®. Foi

considerado germinado, o grão de pólen que apresentava comprimento de tubo polínico superior ao diâmetro do grão de pólen.

O delineamento foi inteiramente casualizado com estrutura fatorial contendo três fatores de tratamento: duas cultivares, quatro temperaturas e seis concentrações boro. Havendo três repetições para cada tratamento. Cada placa foi dividida em quatro campos de visão, e foram contabilizados 100 grãos de pólen em cada placa, totalizando 300 grãos por tratamento. Para o comprimento do tubo polínico, foram selecionados aleatoriamente 10 tubos polínicos por placa e realizada a medição, totalizando 30 tubos por tratamento.

Os dados foram analisados quanto à variância (ANOVA), pelo teste F ($p \leq 0.05$). No caso de interação entre os fatores não ser significativa, considerou-se o efeito dos fatores principais. O efeito das concentrações de boro foi analisado por regressão polinomial, o efeito das cultivares pelo teste T de Student e da temperatura pelo teste Scott Knott ($p < 0.05$).

As concentrações ótimas de boro para a cultivar ‘Arbequina’ variaram de 130 a 143,7 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, dependendo da temperatura, enquanto para a cultivar ‘Manzanilla’, os valores ótimos estiveram entre 141 e 154 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, indicando uma maior exigência nutricional em boro por parte desta cultivar (Figura 1).

A eficácia da aplicação de boro na cultura da oliveira já foi relatada por diversos autores. Hemchi et al. (2015), por exemplo, observaram incremento na germinação do pólen com 100 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de boro, atingindo 33,9% em cultivares como ‘Manzanilla’. No presente estudo, no entanto, essa cultivar exigiu concentrações mais elevadas para alcançar os melhores resultados, com germinação máxima de 41,9% entre 141 e 154 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$. Para a cultivar ‘Arbequina’, Garrido et al. (2021) relataram apenas 12% de germinação com 100 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, enquanto neste estudo a máxima germinação foi de 67,4%, obtida com 132,2 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$. Esses dados reforçam a importância do fornecimento adequado de boro para o sucesso reprodutivo da oliveira, além de evidenciarem variações genotípicas nas concentrações ideais. Por outro lado, Abdallatif et al. (2023) relataram efeitos tóxicos na germinação com 150 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de boro, o que também foi observado neste estudo, com redução da germinação em concentrações mais elevadas.

Em ambas as cultivares, a temperatura de 25 °C resultou nos maiores índices de germinação dos grãos de pólen, independentemente da concentração de boro avaliada. Para a cultivar ‘Arbequina’, a temperatura de 22 °C também foi mais favorável à germinação em comparação com 12 °C e a combinação 12–22 °C. Nas temperaturas mais baixas, não houve diferenças significativas nas concentrações extremas de boro (0 e 300 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$); contudo, a 12 °C os

melhores resultados foram observados até 200 mg·L⁻¹, enquanto, na concentração de 250 mg·L⁻¹, a combinação 12–22 °C proporcionou maior germinação (Figura 1).

Esses resultados indicam que temperaturas moderadas, como 22 °C, favorecem os processos fisiológicos envolvidos na germinação, enquanto temperaturas mais baixas limitam o aproveitamento do boro e reduzem a atividade metabólica do pólen. Embora temperaturas mais frias possam preservar a viabilidade do grão de pólen até sua chegada ao estigma, o que é especialmente relevante para a oliveira, por ser uma espécie anemófila (KOUBOURIS et al., 2009), elas podem prejudicar a germinação ao retardar o metabolismo pós-deposição, comprometendo a fecundação. Nesse contexto, a oscilação térmica se torna um fator crítico para o sucesso reprodutivo da cultura (KOUBOURIS et al., 2009; IOVANE et al., 2021).

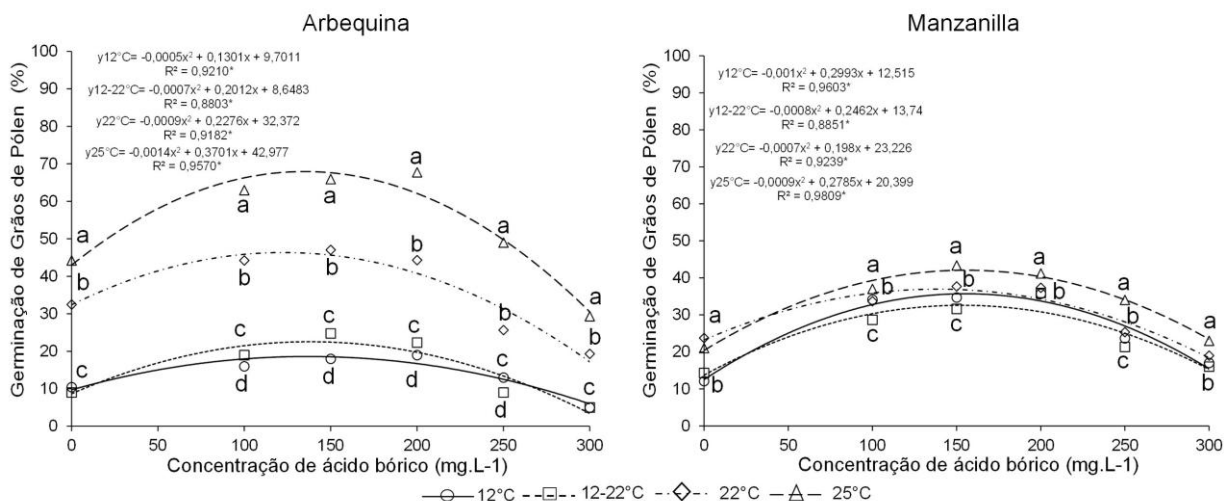


Figura 1. Germinação dos grãos de pólen das cultivares ‘Arbequina’ e ‘Manzanilla’ sob diferentes temperaturas e concentrações de ácido bórico (mg·L⁻¹). Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada concentração de boro, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para a cultivar ‘Manzanilla’, a temperatura de 22 °C não diferiu significativamente de 12 °C nem da combinação 12–22 °C nas concentrações de 200 e 300 mg·L⁻¹ de boro. De forma semelhante, nas concentrações intermediárias de 100, 150 e 250 mg·L⁻¹, também não houve diferenças significativas entre 12 °C e 22 °C quanto à germinação dos grãos de pólen (Figura 1). A ausência de interação significativa entre temperatura e boro em ‘Manzanilla’ sugere que a germinação do pólen é mais dependente da disponibilidade de boro do que da variação térmica. O boro é essencial para o crescimento do tubo polínico e a integridade da parede celular (DELGADO et al., 1994; HA et al., 1997), o que explica sua importância nesse processo. Apesar de estudos indicarem que temperaturas extremas, como 10 °C (KOUBOURIS et al., 2009) ou acima de 35 °C (VULETIN SELAK et al., 2016), prejudicam a germinação, ‘Manzanilla’

demonstrou estabilidade germinativa dentro da faixa moderada testada (12–25 °C). Isso indica menor sensibilidade térmica dessa cultivar, reforçando o papel central do boro em seu desempenho reprodutivo.

As cultivares demonstraram diferenças significativas principalmente em relação ao fator temperatura (Tabela 1). A cultivar Manzanilla apresentou os melhores índices de germinação nas temperaturas mais baixas, como 12°C e na combinação 12–22°C, independentemente da concentração de boro. Por outro lado, nas temperaturas mais elevadas, 22°C e 25°C, a cultivar Arbequina destacou-se com os melhores resultados de germinação dos grãos de pólen.

Tabela 1. Germinação dos grãos de pólen (%) das cultivares Arbequina e Manzanilla em diferentes temperaturas (°C) e concentração de ácido bórico (mg.L⁻¹).

Temperatura (°C)	Concentração de Ácido Bórico (mg.L ⁻¹)	Cultivares	
		Arbequina	Manzanilla
12	0	10,44 a	12,06 a
	100	16,33 b	34,11 a
	150	18,66 b	34,67 a
	200	18,33 b	35,56 a
	250	13,00 b	23,53 a
	300	5,00 b	17,00 a
12-22	0	9,18 b	14,26 a
	100	19,49 b	28,67 a
	150	24,73 b	31,60 a
	200	22,33 b	35,30 a
	250	9,33 b	21,33 a
	300	4,90 b	16,00 a
22	0	32,50 a	23,75 b
	100	44,41 a	33,22 b
	150	47,00 a	37,00 b
	200	44,25 a	37,33 b
	250	25,56 a	25,33 b
	300	19,24 a	19,00 b
25	0	44,42 a	21,00 b
	100	63,67 a	37,67 b
	150	65,65 a	43,67 b
	200	67,57 a	41,33 b
	250	49,67 a	34,00 b
	300	29,22 a	23,00 b
Cv (%)		6,23	

Médias seguidas das mesmas letras na linha não diferem entre si pelo teste T Student a 5% de probabilidade.

A maior estabilidade germinativa da cultivar Manzanilla sob baixas temperaturas sugere uma possível adaptação genotípica ao frio, o que pode representar uma vantagem para o cultivo em regiões de clima ameno. Essa tolerância já foi associada a mecanismos fisiológicos, como maior atividade antioxidante e acúmulo de prolina (SAADATI et al., 2020). Embora Centeno et al.

(2019) tenham apontado maior tolerância ao frio na cultivar Arbequina, seu estudo foi focado na parte vegetativa. Dessa forma, nossos resultados reforçam a importância de se considerar a fase reprodutiva, especialmente a germinação do pólen, na avaliação da tolerância ao frio em cultivares de oliveiras.

Com relação ao crescimento do tubo polínico, as concentrações de boro apresentaram comportamento distinto daquele observado na germinação dos grãos de pólen (Figura 2). Enquanto na germinação a cultivar Arbequina mostrou-se menos exigente em boro em comparação à ‘Manzanilla’, para o crescimento do tubo polínico ocorreu o contrário, as concentrações ideais variaram entre 125 e 150 mg·L⁻¹ para a Arbequina, e entre 91,67 e 137,5 mg·L⁻¹ para a Manzanilla (Figura 2). Essa diferença pode estar refletida nas variações genéticas entre as cultivares quanto à capacidade de absorção, transporte e utilização do boro durante a germinação e o crescimento do tubo polínico. Esse micronutriente desempenha papel essencial na integridade e funcionalidade da parede celular, pois está envolvido no influxo de Ca²⁺ e na organização do citoesqueleto de actina, processos fundamentais para o crescimento direcionado do tubo polínico (FANG et al., 2019; DEL PINO et al., 2021).

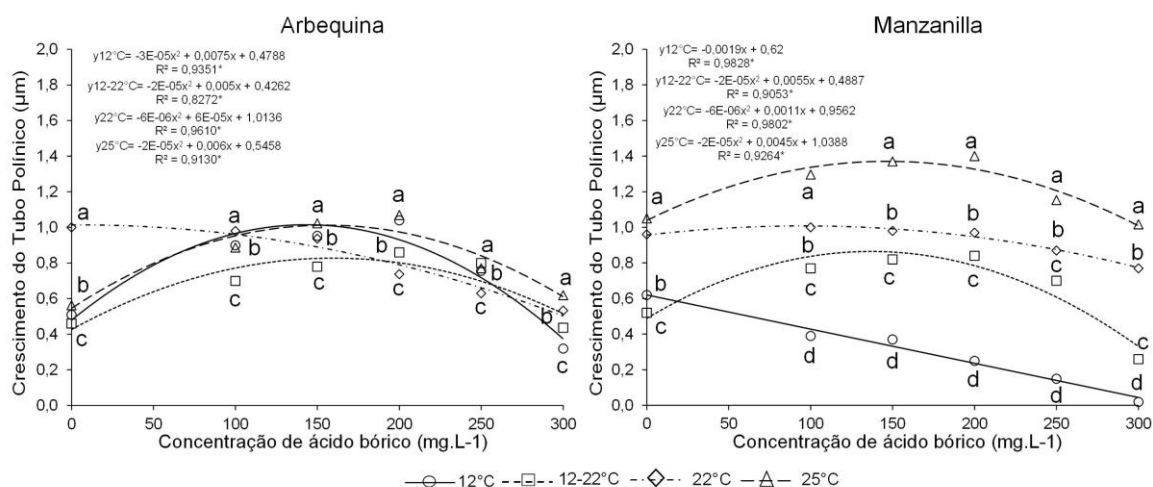


Figura 2. Comprimento do tubo polínico (μm) de duas cultivares Arbequina e Manzanilla em diferentes temperaturas e concentrações de ácido bórico (mg.L⁻¹). Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada concentração de boro, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O aumento da concentração de boro resultou em reduções progressivas no comprimento do tubo polínico (Figura 2), indicando efeito tóxico em doses elevadas. Esse padrão também foi observado nos dados de germinação (Figura 1), sugerindo que concentrações excessivas de boro comprometem ambos os processos. Essa toxicidade já foi observada em estudos anteriores com diferentes espécies vegetais, como kiwi (*Actinidia deliciosa*) (SOTOMAYOR et al., 2010) e macieira (*Malus domestica*) (FANG et al., 2016). Conforme relatado por Sotomayor et al.

(2010), o excesso de boro pode alterar a condição osmótica e acidificar o meio de cultura, tornando-o inadequado para a germinação do pólen.

As temperaturas de 22 °C e 25 °C, associadas a doses intermediárias de boro (125 a 200 mg·L⁻¹), proporcionaram os maiores valores médios de crescimento, superiores a 1,5 µm (Figura 2). Esse desempenho indica que, sob condições térmicas favoráveis, o fornecimento adequado de boro potencializa a elongação dos tubos polínicos. Nessa faixa de temperatura, pode ocorrer maior atividade enzimática favorecendo a absorção e o transporte do boro, que participa diretamente da manutenção da integridade da parede celular e do transporte de açúcares, ambos essenciais para o alongamento celular (FANG et al., 2019; Del PINO et al., 2021).

Em contrapartida, a baixa temperatura (12 °C) limitou drasticamente o crescimento do tubo polínico, com valores significativamente inferiores, mesmo quando aplicadas doses elevadas de boro (Figura 2). Esse comportamento foi semelhante em ambas as cultivares e sugere que o frio compromete a atividade metabólica dos grãos de pólen, reduzindo a absorção e o uso eficiente do boro (MARSCHNER; RENGEL, 2023). Além disso, a lentidão no crescimento em ambientes frios pode impedir que o tubo alcance o óvulo dentro da janela de viabilidade, reduzindo o sucesso reprodutivo (SEIFI et al., 2015).

A temperatura intermediária (12–22 °C) resultou em crescimento moderado, onde os tubos polínicos cresceram mais em concentrações de 150 a 200 mg·L⁻¹ (Figura 2). Esse resultado pode refletir a instabilidade térmica durante o período de crescimento, que interfere na absorção e redistribuição de boro, afetando a estabilidade da parede celular e o ritmo de elongação do tubo (FANG et al., 2016; GAO et al., 2019).

Na tabela 2, em condições de baixa temperatura (12 °C), a cultivar Manzanilla apresentou desempenho superior em relação à Arbequina, sobretudo nas concentrações extremas de boro (0 e 300 mg L⁻¹). Esse comportamento pode estar relacionado à maior tolerância desta cultivar ao frio (SAADATI et al., 2020), conseguindo manter o metabolismo e o crescimento do tubo polínico ativos.

Para a cultivar Arbequina, a temperatura de 25 °C foi limitante no tratamento controle (sem boro), mas favoreceu maior crescimento do tubo polínico nas concentrações de 200 e 250 mg L⁻¹. Resultados semelhantes foram observados para Manzanilla, especialmente nas concentrações de 150 e 200 mg L⁻¹, também sob 25 °C. Esses achados indicam que o fornecimento adequado de boro pode auxiliar o crescimento dos tubos polínicos em

temperaturas elevadas, possivelmente devido ao seu papel na manutenção da integridade da parede celular, fundamental para o alongamento e estabilidade dos tubos polínicos (FANG et al., 2019; DEL PINO et al., 2021).

Tabela 2. Comprimento dos tubos polínicos das cultivares Arbequina e Manzanilla em diferentes temperaturas (°C) e concentração de boro (mg.L⁻¹).

Temperatura (°C)	Concentração de Boro (mg.L ⁻¹)	Cultivares	
		Arbequina	Manzanilla
12	0	0,21 b	0,82 a
	100	0,60 a	0,59 a
	150	0,65 a	0,57 a
	200	0,74 a	0,45 b
	250	0,45 a	0,34 a
	300	0,01 b	0,23 a
12-22	0	0,15 b	0,51 a
	100	0,40 b	0,77 a
	150	0,48 b	0,82 a
	200	0,56 b	0,84 a
	250	0,50 b	0,72 a
	300	0,13 b	0,26 a
22	0	1,50 a	1,16 b
	100	1,48 a	1,20 b
	150	1,44 a	1,18 b
	200	1,22 a	1,17 a
	250	1,13 a	1,07 a
	300	1,05 a	0,97 a
25	0	1,06 a	1,05 a
	100	1,36 a	1,30 a
	150	1,52 a	1,37 b
	200	1,57 a	1,44 b
	250	1,27 a	1,15 b
	300	1,12 a	1,02 a
Cv (%)		8,18	

Médias seguidas das mesmas letras na linha não diferem entre si pelo teste T Student a 5% de probabilidade.

A comparação entre a temperatura constante de 12 °C e a combinação de 12-22 °C revelou padrões de resposta semelhantes entre as cultivares Arbequina e Manzanilla, com variações associadas às diferentes concentrações de boro. Em ambas as cultivares, a temperatura de 12 °C favoreceu o crescimento do tubo polínico em concentrações intermediárias de boro, como 150 mg L⁻¹. Esses resultados indicam que, sob temperaturas frias, o metabolismo polínico funciona de forma mais eficiente com doses moderadas de boro, possivelmente em razão da

menor demanda metabólica e da reduzida taxa de difusão de nutrientes nesse ambiente (MARSCHNER; RENGEL, 2023). No entanto, apesar do crescimento mais estável dos tubos polínicos, a lentidão provocada pelas baixas temperaturas pode comprometer o sucesso reprodutivo, uma vez que o tubo polínico pode não alcançar os óvulos a tempo de efetuar a fecundação (SEIFI et al., 2015).

Por outro lado, a combinação 12-22 °C promoveu melhor desempenho nas concentrações mais elevadas (200 e 250 mg L⁻¹), especialmente em Manzanilla, e foi superior na concentração de 300 mg L⁻¹ para Arbequina. Essa combinação parece exigir um aumento na atividade metabólica e na taxa de crescimento celular e assim requerendo maior disponibilidade de boro para manter a integridade da parede celular, o transporte de açúcares e sinais químicos, fundamentais para o desenvolvimento do tubo polínico (FANG et al., 2016; MARSCHNER; RENGEL, 2023).

Concluimos que, a germinação do pólen e o crescimento do tubo polínico em oliveiras foram fortemente influenciados pela interação entre temperatura e concentração de boro, com respostas distintas entre as cultivares. A cultivar ‘Manzanilla’ demonstrou maior tolerância a baixas temperaturas e exigência nutricional mais elevada, com concentrações ótimas de boro variando entre 141 e 154 mg·L⁻¹ para a germinação e entre 91,67 e 137,5 mg·L⁻¹ para o crescimento do tubo polínico. Já a cultivar ‘Arbequina’ respondeu melhor a temperaturas mais altas, com germinação máxima entre 130 e 143,7 mg·L⁻¹ de boro e crescimento do tubo polínico ideal entre 125 e 150 mg·L⁻¹. Concentrações superiores a 200 mg·L⁻¹ apresentaram efeito tóxico em ambas as cultivares.

Referências

- ABDALLATIF, Abdou M.; HMMAM, Ibrahim. Insight into the In vitro Olive Response to Boron Stress. *Emerging Issues in Agricultural Sciences*, p. 151, 2023.
- AGUILERA, F., e RUIZ VALENZUELA, L. Time trend in the viability of pollen grains in the 'Picual'olive (*Olea europaea* L.) cultivar. *Palynology*, v. 37, 28-34, 2013. <https://doi.org/10.1080/01916122.2012.662920>
- CENTENO, A.; HUESO, A.; GÓMEZ-DEL-CAMPO, M. Long-term evaluation of growth and production of olive cultivars in super high-density orchard under cold-weather conditions. *Scientia Horticulturæ*, 257, 108657, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108657>
- DEL PINO, A. M., REGNI, L., D'AMATO, R., Di MICHELE, A., PROIETTI, P., e PALMERINI, C. A. Persistence of the effects of Se-fertilization in olive trees over time, monitored with the cytosolic Ca^{2+} and with the germination of pollen. *Plants*, v. 10, 2290, 2021. <https://doi.org/10.3390/plants10112290>
- DIAS, C. S.; ARIAS-SIBILLOTTE, M.; TISCORNIA, G.; SEVERINO, V.; PASA, M.; HERTER, F. G.; CONDE INNAMORATO, P. Low Spring temperature may negatively influence olive yield. *Australian Journal of Crop Science*, v. 16, 1094-1100, 2022. <https://doi.org/10.21475/ajcs.22.16.09.p3602>
- FANG, K., ZHANG, W., XING, Y., ZHANG, Q., YANG, L., CAO, Q., e QIN, L. Boron toxicity causes multiple effects on *Malus domestica* pollen tube growth. *Frontiers in Plant Science*, v. 7, 208, 2016. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00208>
- FANG, K. F., DU, B. S., ZHANG, Q., XING, Y., CAO, Q. Q., QIN, L. Boron deficiency alters cytosolic Ca^{2+} concentration and affects the cell wall components of pollen tubes in *Malus domestica*. *Plant Biology*, v. 21, 343-351, 2019. <https://doi.org/10.1111/plb.12941>
- GAO, C.; WANG, Y.; QU, H. Study of auxin regulation of pollen tube growth through calciumchannels in *Pyrus pyrifolia*. *Plant Growth Regulation*, v. 89, 99–108, 2019.
- GARRIDO, A., FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, M., VÁZQUEZ-RUIZ, R. A., RODRÍGUEZ-RAJO, F. J., e AIRA, M. J. Reproductive biology of olive trees (*Arbequina* cultivar) at the northern limit of their distribution areas. *Forests*, v. 12, 204, 2021. <https://doi.org/10.3390/f12020204>
- HEDHLY, A.; HORMAZA, J. I.; HERRERO, M. The effect of temperature on pollen germination, pollen tube growth, and stigmatic receptivity in peach. *Plant Biology*, v. 7, 476-483, 2005. <https://doi.org/10.1055/s-2005-865850>
- HECHMI, M.; KHALED, M.; ECHARARI, F. In vitro pollen germination of four olive cultivars (*Olea europaea* L.): effect of boric acid and storage. *American Journal of Plant Physiology*, v. 10, p.55-67, 2015. <https://doi.org/10.3923/ajpp.2015.55.67>
- IBRAOLIVA. Instituto Brasileiro de Olivicultura. IBRAOLIVA, 2023. Disponível em: <<https://www.ibraoliva.com.br/>>. Acesso em: jun. 2025.

IOVANE, M.; CIRILLO, A.; IZZO, L. G.; Di VAIO, C.; ARONNE, G. High temperature and humidity affect pollen viability and longevity in *Olea europaea* L. **Agronomy**, v.12, 1, 2021. <https://doi.org/10.3390/agronomy12010001>

KOUBOURIS, G. C.; METZIDAKIS, I. T.; VASILAKAKIS, M. D. Impact of temperature on olive (*Olea europaea* L.) pollen performance in relation to relative humidity and genotype. **Environmental and Experimental Botany**, v. 67, 209-214, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.06.002>

MARSCHNER, P. e RENGEL, Z. Nutrient availability in soils. In: **Marschner's Mineral Nutrition of Plants**, v. 4, 499-522, 2023. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819773-8.00003-4>

NYOMORA, A. M.; BROWN, P. H.; KRUEGER, B. Rate and time of boron application increase almond productivity and tissue boron concentration. **HortScience**, v. 34, 242-245, 1999. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.34.2.242>

SAADATI, S.; BANINASAB, B.; MOBLI, M.; GHOLAMI, M. Cold tolerance in olive leaves of three cultivars related to some physiological parameters during cold acclimation and de-acclimation stages. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 22, 1313-1326, 2020.

SANZ-CORTÉS, F.; MARTINEZ-CALVO, J.; BADENES, M. L.; BLEIHOLDER, H.; HACK, H.; LLÁCER, G.; MEIER, U. Phenological growth stages of olive trees (*Olea europaea*). **Annals of Applied Biology**, v. 140, 151-157, 2002. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2002.tb00167.x>

SEADPR. Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação. Câmara Setorial das Oliveiras apresenta números da safra 2023/2024. Disponível em: <<https://www.estado.rs.gov.br/camara-setorial-das-oliveiras-apresenta-numeros-da-safra-2023-2024>>. Acesso em: abri. 2025.

SEAPI. SECRETARIA DA AGRICULTURA, PECUÁRIA, PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL E IRRIGAÇÃO. Safra gaúcha de azeites de oliva bate recorde e registra mais de 580 mil litros em 2022/2023. Disponível em: <<https://www.agricultura.rs.gov.br/safra-gaucha-de-azeites-de-oliva-bate-recorde-e-registra-mais-de-580-mil-litros-em-2022-2023>>. Acesso em: mai. 2025.

SEIFI, E.; GUERIN, J.; KAISER, B.; SEDGLEY, M. Flowering and fruit set in olive: a review. **Iranian Journal of Plant Physiology**. v. 5, 1263-1272, 2015.

SELAK, G. V.; PERICA, S.; BAN, S. G.; POLIAK, M. The effect of temperature and genotype on pollen performance in olive (*Olea europaea* L.). **Scientia Horticulturae**, 156, 38-46, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.03.029>

SOTOMAYOR, C., RUIZ, R., e GARCÍA-HUIDOBRO, J. Boron concentration affects in vitro pollen germination and tube growth in kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) cultivar 'Matua'. In XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (IHC2010): **International Symposium on Plant 932** (pp. 517-521), 2010.

VITI, R.; BARTOLINI, S.; VITAGLIANO, C. Growth regulators on pollen germination in olive. **Internacional symposium on olive growing**. V. 230, 227-230, 1990.

VULETIN SELAK, G.; GORETA BAN, S.; PERICA, S. The effect of temperature on olive pollen germination. In II International Workshop on Floral Biology and S-Incompatibility in Fruit Species 1231, 49-54, 2016.

WANG, H. J.; HUANG, J. C.; JAUH, G. Y. Pollen germination and tube growth. In Advances in Botanical Research, v. 54, 1-52, 2010. [https://doi.org/10.1016/S0065-2296\(10\)54001-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2296(10)54001-1)

Considerações Finais

Este trabalho contribuiu significativamente para o entendimento dos fatores que afetam o desenvolvimento reprodutivo da oliveira (*Olea europaea* L.) em condições subtropicais, com foco na Região Sul do Brasil. A partir da análise integrada de quatro estudos complementares, foi possível elucidar aspectos fenológicos, térmicos e fisiológicos que influenciam diretamente a produtividade da cultura.

Nos estudos 1 e 2 foi possível realizar a caracterização fenológica das principais cultivares cultivadas no sul do Rio Grande do Sul que demonstraram diferenças marcantes quanto às exigências térmicas, com destaque para os contrastes entre Arbequina, Koroneiki e Picual. A determinação da temperatura base (T_b) e da soma térmica acumulada (STa) permitiu estimar com maior precisão os estádios fenológicos, ferramenta essencial para o planejamento agrônomo e o zoneamento de risco climático. Adicionalmente, a avaliação das exigências de frio reforçou o papel central da dormência e da sua superação na sincronia floral, especialmente em anos de invernos amenos, que têm sido cada vez mais frequentes com as mudanças climáticas.

Para o estudo 3, a análise da receptividade estigmática e do desempenho reprodutivo em condições controladas revelou que a temperatura exerce influência decisiva sobre a fertilidade das flores. A cultivar Picual destacou-se pela estabilidade reprodutiva em diferentes condições térmicas, enquanto Koroneiki e Arbequina mostraram maior sensibilidade, principalmente a temperaturas mais elevadas. Estes achados são cruciais para o entendimento da dinâmica da polinização e para estratégias de manejo voltadas à maximização da frutificação efetiva.

Por fim, no estudo 4, os testes *in vitro* com diferentes temperaturas e concentrações de boro evidenciaram que, 'Manzanilla' tolera melhor o frio e exige concentrações mais altas de boro (91,67 a 154 mg.L⁻¹), já 'Arbequina' tem melhor desempenho em temperaturas mais altas e concentrações moderadas (125 a 150 mg.L⁻¹). Concentrações superiores a 200 mg.L⁻¹ apresentaram efeito tóxico em ambas as cultivares.

De forma geral, os resultados obtidos nesta tese reforçam que o entendimento das condições térmicas, associado à escolha adequada de cultivares adaptadas às condições locais, é estratégico para a sustentabilidade da olivicultura em regiões de clima subtropical. A crescente variabilidade climática torna ainda mais urgente a

adoção de práticas baseadas em conhecimento fenológico e térmico, visando mitigar riscos, promover maior estabilidade produtiva e garantir a viabilidade econômica da cultura no Sul do Brasil.

Dessa forma, conclui-se que, embora avanços importantes tenham sido alcançados nesta tese quanto à compreensão da fenologia, das exigências térmicas e dos fatores reprodutivos da oliveira em condições subtropicais, ainda há um caminho relevante a ser percorrido. O aprofundamento dos estudos é essencial para suprir as lacunas existentes, sobretudo por meio da ampliação dos registros fenológicos em diferentes localidades e ao longo de séries históricas mais extensas na região Sul do Rio Grande do Sul, principal polo olivícola do país.

Além disso, torna-se imprescindível expandir essas análises para incluir outras cultivares promissoras, como Frantoio e Coratina, a fim de gerar um panorama mais abrangente das exigências térmicas e do comportamento reprodutivo em distintas condições edafoclimáticas. Com um banco de dados fenológicos mais robusto, será possível correlacionar com maior precisão os efeitos de eventos climáticos extremos, como El Niño e La Niña, sobre o desenvolvimento e a produção das oliveiras — especialmente no que se refere aos impactos sobre os regimes de precipitação e à sincronia floral.

A utilização de novas cultivares nos estudos também permitirá definir com maior segurança áreas de cultivo mais adequadas, bem como selecionar polinizadoras compatíveis para cada caso. Nesse sentido, destaca-se a importância de se realizar testes de compatibilidade entre cultivares, sendo possível empregar a metodologia utilizada no terceiro estudo desta tese, o qual avaliou a receptividade estigmática sob diferentes condições térmicas. Esses dados são essenciais para o planejamento de pomares mais eficientes e produtivos, contribuindo para o fortalecimento e a sustentabilidade da olivicultura nacional frente aos desafios impostos pela variabilidade climática e pela expansão da cultura em regiões de clima subtropical.

Apêndices

Apêndice A- Média dos valores observados para cada estágio fenológico e cada cultivar, calculada a partir das quatro metodologias utilizadas para determinar as temperaturas base.

Estádio de Desenvolvimento	Metodologia	Cultivares			
		Arbequina	Koroneiki	Picual	Arbosana
Brotação	DPgd	8.0	7.5	12.0	10.5
	DPd	7.0	6.5	9.5	9.5
	CVgd	7.0	5.0	8.5	7.5
	CVd	6.5	5.5	8.0	6.5
	Média	7.0	6.0	9.4	8.4
Desenvolvimento da Inflorescência	DPgd	9.5	9.0	11.5	11.0
	DPd	9.0	7.5	10.5	9.5
	CVgd	7.0	6.0	9.5	9.5
	CVd	6.0	5.0	9.0	9.0
	Média	7.8	6.8	10.2	9.8
Floração	DPgd	12.5	12.0	14.5	12.5
	DPd	11.0	10.0	12.0	12.0
	CVgd	9.5	10.0	9.5	9.0
	CVd	8.0	9.0	9.0	8.0
	Média	10.2	10.2	11.2	10.5
Frutificação	DPgd	14.0	14.0	17.0	14.0
	DPd	13.0	13.0	15.0	12.5
	CVgd	12.5	13.0	14.5	12.0
	CVd	12.5	12.5	14.0	12.5
	Média	13.0	13.2	15.2	12,7
Maturação	DPgd	16.5	15.5	12.0	15.5
	DPd	14.5	15.0	10.5	15.0
	CVgd	13.0	14.5	5.5	14.5
	CVd	12.5	14.0	6.5	13.0
	Média	14.0	14.8	8.7	14.5

Apêndice B- Médias das temperaturas mínimas e máximas de dois meses, Setembro e Outubro, em uma série de dados de 12 anos.

Ano	Mês	Temperatura		Mês	Temperatura	
		Mínima	Máxima		Mínima	Máxima
2012	Setembro	10,0	22,9	Outubro	13,0	24,2
2013		10,1	22,0		13,1	24,1
2014		10,3	21,7		13,2	23,3
2015		11,1	21,4		13,4	23,2
2016		11,7	20,9		13,4	23,1
2017		12,0	20,5		13,6	23,0
2018		12,2	20,1		13,6	22,5
2019		12,7	19,7		14,0	22,4
2020		12,8	19,5		14,8	22,0
2021		13,4	19,4		15,9	21,9
2022		14,4	18,9		16,1	20,4
2023		14,7	18,6			
Média		12,12	20,47		14,01	22,74
Média Mínima			12,06			
Média Máxima			21,60			

Apêndice C- Artigo referente ao primeiro ano de doutorado, desenvolvido em Lages/SC.



Crop Production - Original Article - Edited by: Adriane Marinho de Assis

Performance of Geneva® series apple rootstocks grafted with 'Gala Select' in four different replanting soil at Southern Brazil

Flávia Lourenço da Silva¹, Pricila Santos da Silva², Sabrina Baldissera²,
 Bruno Pirolli², Leo Rufato², Flávio Gilberto Herter¹

¹ Universidade Federal de Pelotas, Campus Capão do Leão, Capão do Leão-RS, Brasil.

² Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC, Brasil

*Corresponding author. E-mail address: flavia.lourencodasilva@hotmail.com

Abstract: The objective of this study was to evaluate the agronomic performance of the Geneva® series apple rootstocks G.202, G.213, G.210 and G.814. The rootstock G.202 and G.213 proved to be the less vigorous, being considered dwarfs. For replanting soil, 'G.210' was considered an efficient alternative. The 'G.213' was the most efficient, in a general point of view, demonstrating that it does not change its yield efficiency and stability characteristics, even under replanting conditions. All rootstocks reached the goal of 120 accumulated tons.ha⁻¹ in Caxias do Sul-RS, highlighting the faster financial return to the growers. 'G.213' has higher soluble solids content, indicating the possibility of an earlier harvesting. It is concluded that the G.210 and G. 213 rootstocks are good options for the areas evaluated, under replanting conditions, mainly G.213 for more dense systems and G.210 for areas under extreme replanting conditions.

Index terms: Yield; Yield Efficiency; Precocity; 'G.213' and 'G. 210'.

Desempenho de porta-enxertos de macieira da série Geneva® enxertados com 'Gala Select' em quatro diferentes solos de replantio no Sul do Brasil

Resumo: Neste estudo, objetivou-se avaliar o desempenho agrônomo dos porta enxertos de macieira da série Geneva® G.202, G.213, G.210 e G.814. Os porta-enxertos G.202 e G.213 demonstraram ser os menos vigorosos, sendo considerados 'anões'. Para áreas de replantio, o 'G.210' pode ser considerado uma alternativa eficiente. O porta-enxerto G.213 foi o mais eficiente em termos gerais, demonstrando que, mesmo mediante condições de replantio, não altera suas características de eficiência e de estabilidade produtivas. A meta de 120 ton.ha⁻¹ foi atingida por to-

Rev. Bras. Frutic., v.45, e-305 DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/0100-29452023305>

Received 30 Oct, 2022 • Accepted 22 Feb, 2023 • Published May/Jun, 2023. Jaboticabal - SP - Brazil.



All the contents of this journal, except where otherwise noted, is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

dos os porta-enxertos em Caxias do Sul-RS, destacando o retorno financeiro mais rápido ao produtor. 'G.213' apresenta maiores teores de sólidos solúveis, indicando a possibilidade de antecipação na colheita. Conclui-se que os porta-enxertos G.210 e G.213 são opções para solos de replantio, principalmente o G.213 para os sistemas mais adensados e o G.210 para solos em condições de replantio extremas.

Termos para indexação: Produtividade; Eficiência Produtiva; Precocidade; 'G.213' e 'G. 210'.

Introduction

Apple trees currently occupy around 32,468 hectares of planted area in Brazil (IBGE, 2020), highlighting their economic importance.

In recent years, apple orchards have been remodeled to improve land and water use, aiming to increase productivity and profitability (LORDAN et al., 2018). One of the alternatives is the increasing planting density by increasing the number of plants per area (GREGORY et al., 2013).

A higher planting density increases commercial yields since the second and third years from planting. It helps the producer to pay the high investment cost and improve the initial profitability of the orchard (REIG et al., 2020). Furthermore, according to Hampson et al. (2002), regardless of the high cost of planting, a higher plant density results on advantages to growers by increasing productivity, anticipating initial production, and augmenting quality.

One of the main factors to be considered for correctly growing these high-density systems is the correct choice of the rootstock. The so-called dwarfing or semi-dwarfing rootstocks have been efficient for these systems, as they reduce plant growth (REIG et al., 2019).

The M.9 rootstock has been widely used in high-density orchards in southern Brazil (MACEDO et al., 2021). This rootstock presents good resistance to collar rot, is highly efficient on inducing to the scion precocity of fruiting, high yield and high fruit quality (GREGORY et al., 2013; DENARDI et al., 2020). However, it is susceptible to the woolly apple aphid, induces weak branching to the scion, and has poor soil anchor-

age (ROBINSON et al., 2011; DENARDI et al., 2013). Nevertheless, it is a rootstock that does not develop well in replanting soils. Replanting soils is already urgent for cultivating apple trees in many areas at South of Brazil due to the already low availability of virgin soils. However, this practice can result on serious problems due to the so called "apple replanting disease" (ARD) (DENARDI et al., 2018).

One way to circumvent this condition without losing the characteristics of the 'M.9' was to combine it with the vigorous Marubakaido rootstock, using the M.9 as an interstem. This combination has satisfactorily served the grower's sector on maintaining similar fruit quality of 'M.9', even on virgin soil (MACEDO et al., 2021), and also to obtain early production and high productivity attributed of 'M.9' (DENARDI et al., 2020). However, 'Marubakaido' presents strong suckering on the collar of plants and the 'M.9' develops burrknotts along the stem (DENARDI et al., 2018). On the other side, 'Marubakaido' is excessively vigorous, making orchard management complex (MACEDO et al., 2021).

Growers must seek new technologies for their orchards to mitigate these current problems. One of the new alternatives that have been highlighted is the Geneva® series apple rootstocks. These rootstocks have important agronomic characteristics for use in southern Brazil (DENARDI et al., 2015). Among these characteristics, it can be highlighted the efficiency in vigor control, induction of high precocity of yield, tolerance to replanting diseases (MACEDO et al., 2021), resistance to important diseases such as collar root rot (*Phytophthora* spp), fire blight (*Erwinia amylovora*) and to the insect woolly

apple aphid (*Eriosoma lanigera*) (ROBINSON et al., 2014). In addition, some induce to the scion better branching (DENARDI et al., 2013), opening branch-angle and increasing productivity (FAZIO et al., 2013).

However, studies are still needed to understand the behavior in the edaphoclimatic conditions for replanting in Southern Brazil. Therefore, the objective of this work was to evaluate the agronomic performance of four apple rootstocks from the Geneva® series grafted with cv. Gala Select in apple replanting soils in four locations at Southern Brazil.

Material and Methods

The experiments were implemented and evaluated in four regions at Southern Brazil, with different climates and soil, to explore the performance of these rootstocks in different edaphoclimatic conditions.

The experiments consisted of the apple cultivar Gala Select as scion, grafted onto the Geneva® series apple rootstocks G.202, G.213, G.210 and G.814, all installed in 2017.

Based on a previous study carried out by Macedo et al. (2021), where the authors evaluated the G.213 rootstock compared to M.9 and Marubakaido with interstem of M.9 for a period of nine years, they concluded that 'G.213' was superior to the others, presenting low vigor, high productivity and high production efficiency. This rootstock was thus adopted as a standard in the subsequent experiments, choosing new rootstocks from the series for comparison. The rootstocks for this experiment were obtained according to the availability of imports from the Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC).

The first experiment was implemented in the municipality of Páuel, State of Santa Catarina (SC) at the Hiroyasu Hiragami company. The climate in this area is humid mesothermal with mild summers, Cfb in the Köppen classification (KÖPPEN, 1948). Average annual precipitation ranges from 1,200 to 1,900 mm, with rainfall well distributed through-

out the year. The average annual temperature recorded is 15°C to 16°C, and snow and frost may occur at low temperatures (HIGUCHI et al., 2013). The soils fall into the Humic Cambisol, Litholic Neosol, and Haplic Nitosol classes, developed from rhyodacite and basalt rocks (EMBRAPA, 2004). The soil preparation and the orchard planting were done one year after the removal of the old apple orchard.

The second experiment was installed in Caxias do Sul, State of Rio Grande do Sul (RS), at the Frutalle grower. The climate in the area is humid subtropical, with hot summers and cold, rainy winters, being classified as Cfa type, according to Köppen (KÖPPEN, 1948). The annual temperature is approximately 19.4°C, with the highest average in January (24.5°C) and the lowest in July (14.3°C). The average annual rainfall is 1,324 mm. The predominant soil is Neosol, according to the Brazilian Soil Classification System. Before the installation of the orchard, maize had been cultivated in the area for five years after the eradication of an old apple orchard.

The third experiment was implemented in the region of Vacaria (RS), in the Schio Ltda Agricultural Company. According to the Köppen classification, the climate in Vacaria is Cfb - subtropical with mild summers (KÖPPEN, 1948). The average monthly temperature ranges from 11.4°C to 20.6°C and the average year rainfall ranges from 1,212 mm to 2,088 mm (PEREIRA et al., 2009). The soils in the region is classified as Latosol Bruno, with smooth to wavy relief, with high clay and aluminum contents (EMBRAPA, 2004). The orchard was established four months after the removal of an old apple orchard in the area.

The fourth experiment was implemented in Fischer Fraiburgo Agrícola Ltda Company, in Fraiburgo (SC). The climate is classified as humid mesothermal with cool summers and severe winters, Cfb type, according to Köppen (KÖPPEN, 1948). Rainfall is evenly distributed of around 1,600 mm per year. The average annual temperature varies from 14 °C to 18°C, and the relative humidity varies from

75% to 85% (CAVALAZZI et al., 2007). The soils are classified as Latosol, Bruno, Humic, and Dystrophic (DENARDI et al., 2001). After the removal of the old orchard, the area was left fallow for two years, previously to install this experiment.

The averages of the 2019/2020-2020/2021 harvests and the 2021/2022 harvest were evaluated.

All orchard management tasks such as planting layout, pruning, training and fruit thinning, were carried out according to growers' preference in each area. The planting layout adopted for the areas of Painei-SC, Caxias do Sul-RS, and Fraiburgo-SC was 0.90 m between plants and 3.5 m between rows, totaling a density of 3,174 plants per hectare. In the Vacaria-RS region, the spacing was 0.90m between plants and 4.0m between rows, totaling 2,777 plants per hectare.

The variables evaluated were trunk cross-sectional area (TCSA) (cm²), productivity (ton.ha⁻¹), yield efficiency (kg.cm²), fruit diameter (mm), pulp firmness (N) and soluble solids content (SSC) (Brix°).

- The Trunk cross sectional area (TCSA) was obtained by the average of the longitudinal and transversal measurements of the stem diameter at 10 cm above the grafting point. To transform the diameter values into TCSA, the equation $A = (\pi d^2)/4$ was used, where d = trunk diameter;

- The productivity (ton.ha⁻¹) was calculate, by using the fruit mass per plant and the number of plants per hectare multiplied as a function of the spacing used. Only the five central plants of each plot were harvested. The accumulated productivity was obtained by the sum of the productivity of each year;

- The yield efficiency (YE) (kg.cm²) was calculated by the ratio of the average weight of fruits per plant (kg. plant⁻¹) by the TCSA of the scion (cm²), expressed in kg of fruits produced per centimeter square (cm²) of TCSA. The accumulated yield efficiency was obtained by the sum of the productivity of each year;

- The average fruit diameter (mm) was determined with 20 fruits placed on a graduated wooden ruler, adapted in an "L" shape. The total value visualized on the ruler was divided by the 20 fruits to obtain the average diameter.

- The pulp firmness was measured with a digital texturometer, TA.XTexpress/TA.XT2icon Texture Analyzer, with an 11 mm tip. The reading was performed in the equatorial zone of the fruit. A superficial cut of two epidermis discs of about 1 cm in diameter was made on opposite sides, with greater and lesser exposure to the sun to perform the reading. The results were expressed in Newtons.

- The soluble solids content (SSC) (Brix°) was determined with the juice extracted from a slice of each of 10 fruits in the sample. A digital sugar refractometer model ITREFD-45 was used.

The experimental design for each cultivation site was in randomized blocks with four replications, with each repetition composed of ten plants, from them only the five central plants were evaluated. Statistical analysis was performed using the Scott-Knott test at 5% probability in the SISVAR program (FERREIRA, 2011).

Results and Discussion

According to Czynczyk and Bielicki (2012), the TCSA measure is the most used variable to estimate plant vigor. As shown in Table 1, when analyzing the TCSA in the four regions, there were significant differences among rootstocks, where G.213 and G.202 have lower TCSA values, as compared to the other two rootstocks in all areas. In Painei-SC, these two rootstocks showed a TCSA around 25% lower when compared to G.814 and G.210. In Caxias do Sul-RS and Vacaria-RS, these dwarfing rootstocks are ~45% less vigorous than G.210 and G.814. Based on these results, it is possible to separate the genotypes into two groups, of which G.213 and G.202 can be described as dwarfing rootstocks and G.814 and G.210 as semi-dwarf-

ing. A rootstock can be called dwarf when it has a low TCSA and, consequently, induced to the scion a low vigor (DENARDI et al., 2015). Our results corroborate those described by Denardi et al. (2016).

According to Habibi et al. (2022), dwarf rootstocks are precocious and fruit earlier in relation to the more vigorous rootstocks. This study confirmed this condition for 'G.213' in two areas when evaluated the averages of the 2020/2021 harvests. In the Painei-SC region it had 37.08% more production than 'G.814' (Table 1). When evaluating the Caxias do Sul-RS experiment, this rootstock was the most productive (64.70 tons.ha⁻¹) (Table 1).

This is a satisfactory result for these regions due to the conciliation of lower plants vigor with high productivity. Presently, one of the most critical changes in the apple sector is the planting density. According to Pasa et al. (2016), the use of high plant densities associated with vigorous rootstocks is the cause of low yields in apple orchards.

The same was not observed for the G.202 dwarf rootstock. On the contrary, this rootstock was inferior to the others in yield in all the evaluated areas, reaching around 10 tons.ha⁻¹ less than 'G.213' in Caxias do Sul and also for 'G.210' in Vacaria in the two initial years of evaluation (Table 1). As already

Table 1. Trunk cross-sectional area (TCSA), productivity (Tons.ha⁻¹), and yield efficiency (Kg.cm⁻²) of Geneva® series apple rootstocks grafted with the cv. 'Gala Select' in four regions, Painei- SC, Caxias do Sul- RS, Vacaria- RS, and Fraiburgo- SC under replanting soil condition, evaluated in the 2019-2020 and 2020-2021 averages and 2021-2022.

Rootstocks	TCSA (cm ²)		Productivity (Ton. hectare ⁻¹)			Yield Efficiency (Kg.cm ⁻²)		
	Averages	2021	Averages	2021/2022	Accumulated	Averages	2021/2022	Accumulated
PAINEL- SC								
G.213	9.38 b	16.19 b	36.12 a	38.89 a	75.00 a	1.14 a	0.76 a	1.90 a
G.202	8.82 b	15.65 b	22.73 c	29.86 b	52.58 b	0.83 b	0.60 b	1.44 b
G.814	11.30 a	21.30 a	26.24 b	35.81 a	62.05 b	0.72 b	0.53 b	1.26 b
G.210	11.56 a	21.93 a	37.64 a	39.86 a	77.51 a	1.00 a	0.56 b	1.57 b
Cv%	7.90	7.82	6.64	21.15	12.71	14.49	7.96	15.24
CAXIAS DO SUL- RS								
G.213	9.28 b	13.52 c	64.70 a	64.99 b	129.67 b	2.86 a	1.61 a	4.56 a
G.202	10.10 b	18.80 b	54.70 c	72.39 b	126.83 b	2.39 b	0.99 b	3.38 b
G.814	14.65 a	25.57 a	60.25 b	84.41 a	144.66 a	1.73 a	0.80 b	2.53 c
G.210	13.71 a	23.09 a	61.35 b	78.65 a	140.00 a	1.73 a	0.94 b	2.68 c
Cv%	5.12	7.67	1.24	13.04	6.45	2.84	19.03	6.64
VACARIA- RS								
G.213	6.74 c	12.23 b	22.67 b	27.67 c	50.34 d	1.21 a	0.82 b	2.03 a
G.202	7.60 c	14.51 b	18.53 c	45.77 b	64.30 c	0.88 b	0.88 b	1.76 b
G.814	10.26 b	22.00 a	22.44 b	49.36 b	71.80 b	0.83 b	0.81 b	1.64 b
G.210	11.24 a	23.12 a	28.06 a	72.55 a	100.61 a	0.92 b	1.14 a	2.06 a
Cv%	7.02	9.78	5.01	12.09	5.99	5.44	11.18	4.94
FRAIBURGO- SC								
G.213	8.18 d	9.70 c	22.67 a	26.90 b	49.58 b	0.85 a	0.87 a	1.72 a
G.202	10.28 c	11.19 b	17.00 b	31.79 b	48.79 b	0.56 d	0.98 a	1.54 b
G.814	12.15 a	13.83 a	26.12 a	41.16 a	67.27 a	0.66 c	0.95 a	1.61 b
G.210	11.45 b	13.88 a	26.62 a	41.93 a	68.56 a	0.74 b	1.05 a	1.79 a
Cv%	7.26	4.74	13.24	11.71	8.75	7.10	11.76	4.22

The table contains the averages for the 2019-2020 harvests; 2020-2021 and 2021-2022, considering 2021 data for the TCSA for the 2021-2022 harvests.

described by other authors (DENARDI et al., 2015 and 2016), among the dwarfing rootstocks already evaluated, G.213 proves to be the most productive. Even so, this rootstock may be harmed due to the replanting conditions of the areas. According to Rufato et al. (2021), these conditions can delay the development of dwarfing rootstocks and consequently, hinder them to express their full yield potential.

The 'G.210' in the Painei region was ~30.29% more productive than 'G.814' (Table 1). In Vacaria it had an average yield of around 28.06 tons.ha⁻¹ in the first two years, being the most productive among those evaluated (Table 1). This rootstock had high productivity in all areas, reaching 50 accumulated ton.ha⁻¹ more productive than 'G.213' in Vacaria. Since the removal of the old apple orchard and the implantation of the new one took only four months, the conditions for replanting intensified, and thus, 'G.210' proved to be a good alternative for the immediate reconversion of apple orchards within the spacing conditions adopted in this experi-

ment. As described by Rufato et al. (2021), greater vigor under extreme replanting conditions may be involved with better productive performance of apple trees.

It must be stated that a standard spacing was adopted for the experiments to evaluate the performance of the rootstocks under the same conditions. The rootstock G.213 has shown a dwarfing behavior and can be used in smaller spacing, increasing plant density and consequently productivity per hectare. However, under the same spacing conditions, 'G.210' seems to have better performance in replanting areas, as seen in Vacaria-RS.

When analyzing the data from the 2021/22 crop and the accumulated yield, the G.213 dwarfing rootstock did not differ from the more vigorous (Table 1) in the Painei region only, even when facing lower rainfall in the periods that include fruiting, from October to January. The average temperature in this period was not different from the other seasons (19.6°C) (Figure 1A), a fact that could be a factor linked to this condition. Furthermore, the type of soil that this region presents can

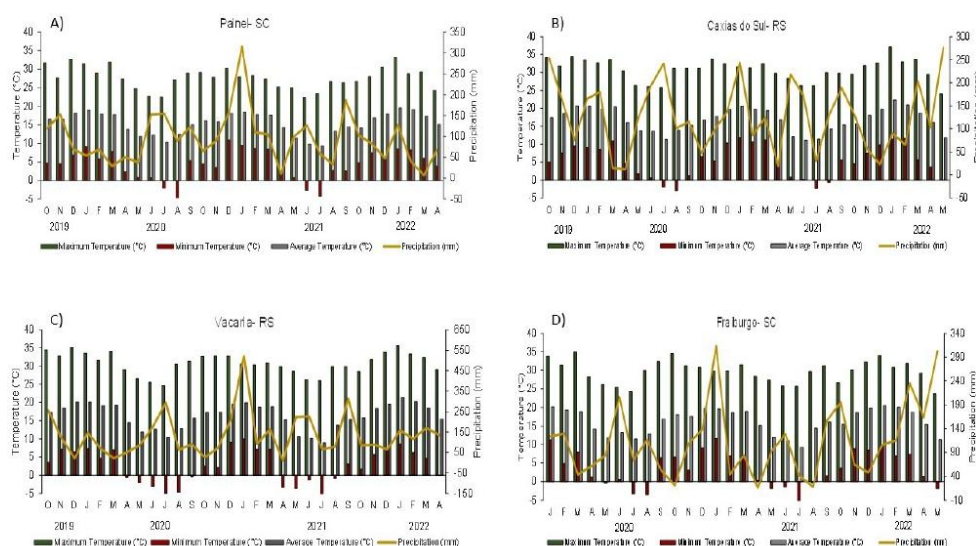


Figure 1. Monthly mean temperature (maximum, average and minimum) and rainfall observed in the municipality of Painei- SC (A), Caxias do Sul- RS (B), Vacaria- RS (C) e Fraiburgo-SC (D) in the 2019/2020; 2020/2021 and 2021/2022 harvests. Data obtained from the Epagri/Ciram meteorological station.

also contribute, as it has a high content of organic matter and thus increases water infiltration and retention (SILVA et al., 2005).

In the other areas, however, this rootstock and 'G.202' were inferior to the most vigorous ones. In Caxias do Sul, 'G.814' had 20% more production than 'G.213' in the 2021/22 crop (Table 1); 'G.210' in Fraiburgo had 15.03 tons.ha⁻¹ more than this rootstock (Table 1). It is important to emphasize that in this season, these regions suffered a period of water deficit (drought). In the periods from October to January, the Caxias do Sul region had much less intense rainfall when compared to the averages of the 2019/20 and 2020/21 harvests, reaching 19.1, 74.45, 83.55, and 113.95 mm less rain in the period in question. Temperatures were also high, reaching a maximum of 37.11°C in January 2022 (Figure 1B).

In Fraiburgo, the same situation was observed, where on the period between November and January there was a reduction in precipitation in this crop compared to the 2020/21 crop, receiving 44.4, 90.6, and 207.4 mm less rainfall (Figure 1D). According to Tombesi et al. (2011), the more vigorous rootstocks can reduce the internal water deficit of plants, as they have better hydraulic conductivity, since they have a smaller number of xylem vessels; however, vessels with larger diameters facilitate the translocation of water from the roots to the canopy.

Furthermore, rootstocks with greater vigor configure a root system that has a better ratio between thicker/thinner roots and more active cells at the tips (ATKINSON, 2001). According to Leinfender and Merwin (2006), this better-developed root system, associated with tolerance to harmful agents in apple replanting soil, is another characteristic attributed to vigorous rootstocks that can influence the development of rootstocks in replanting areas.

A significant result was observed on productivity in Caxias do Sul in the 2020/2021 harvests averages, where all rootstocks exceeded 50 tons per hectare (Table 1). According

to Reig et al. (2019), yield precocity and capital return, especially for high-density systems, are essential due to the high initial investment cost of these systems. Another crucial data observed in Caxias do Sul was the accumulated yield, where all the evaluated rootstocks reached above 120 tons in the three seasons studied in this experiment (Table 1). According to Macedo et al. (2021), reaching the goal of 150 tons in five harvests is a guarantee to the growers to pay the initial cost of installing the orchard, especially for high-density systems. According to the productivity of the last crop (2022), we can infer that this goal will be reached, benefiting growers in the region of Caxias do Sul-RS.

According to Czynczyk and Bielicki (2012), the yield efficiency, which takes into account the production per plant (kg.plant⁻¹) and the vigor (TCSA), is one of the essential parameters to be evaluated and is the one that most represents the yield potential of a grafted apple plant. Therefore, the cultivar may be the most productive (annual and cumulative yield), but, if it has lower yield efficiency, it will have a lower productive potential, as Denardi et al. (2018) described in a study with the Fuji Suprema and Galaxy apple cultivars.

Among the evaluated rootstocks, the G.213 was the most efficient, with an accumulated yield efficiency of 1.90, 4.47, and 1.72 kg.cm⁻² in Painel, Caxias do Sul and Fraiburgo, respectively (Table 1). In Vacaria, this rootstock did not differ from G.210, both being more efficient cumulatively in this area (~2.05 kg.cm⁻²) (Table 1). This demonstrates that even under replanting conditions, the 'G.213' does not change its capacity of yield efficiency and stability (RUFATO et al., 2021). Therefore, Macedo et al. (2019; 2021) consider the G.213 a new efficient and reliable apple rootstock alternative for producing apples in Southern Brazil, regardless of the planting area, both in virgin and replanting soils, and for in high-density systems.

According to Habibi et al. (2022), dwarfing rootstocks tend to induce to the scion larger fruits. These results corroborate the present study in the Fraiburgo area, where 'G.213'

induced to the scion larger fruits (Table 2). Another possibility is that in this region, in the 2021/22 harvest, this rootstock, compared to the others, had the lowest production (26.90 ton.ha⁻¹) (Table 1). It is possible that this low production, as a result from a low fruit load, may be related to the diameter of these fruits, since plants with a low load have a facilitated ability to partition assimilates, nutrients and water (YILDIRIM et al., 2016).

Table 2. Parameters of fruit quality, diameter (mm), pulp firmness (N) and soluble solids content (SSC) (Brix°) of 'Gala Select' on four apple rootstocks of the Geneva® series in four regions under replanting soil conditions Painei-SC, Caxias do Sul- RS, Vacaria- RS and Fraiburgo- SC evaluated only in the 2021-2022 season.

Rootstocks	Diameter (mm)/season 2021/2022	Firmness (N)/season 2021/2022	SSC (Brix°)/season 2021/2022
PAINEL- SC			
G.213	63.96 a	81.76 d	13.55 a
G.202	62.04 a	90.85 b	12.40 b
G.814	62.04 a	86.18 c	11.48 b
G.210	61.42 a	102.38 a	11.30 b
Cv%	5.84	1.73	9.67
CAXIAS- RS			
G.213	60.67 b	61.20 c	13.00 a
G.202	64.00 a	59.50 d	13.06 a
G.814	64.32 a	69.42 b	11.90 b
G.210	66.00 a	75.68 a	12.30 b
Cv%	2.75	0.40	3.42
VACARIA- RS			
G.213	63.50 c	52.86 b	14.20 a
G.202	63.00 c	52.56 b	13.35 b
G.814	64.75 b	73.72 a	13.25 b
G.210	67.50 a	52.62 b	13.25 b
Cv%	4.17	1.55	3.90
FRAIBURGO-SC			
G.213	65.64 a	85.13 a	14.10 a
G.202	62.75 b	65.42 d	13.38 a
G.814	63.25 b	76.60 b	12.42 b
G.210	62.54 b	69.22 c	12.22 b
Cv%	2.11	1.80	6.85

In Caxias do Sul, on the other hand, the 'G.213' had the smallest fruits among the evaluated rootstocks. This rootstock did not

differ from the others in terms of production, showing a high fruit load (64.99 ton.ha⁻¹). This factor was associated with the water deficit that occurred in the region, mainly during the period between October and January, where rainfall was only 300 mm (Figure 1B) that may have affected fruit size (MAHHOU et al., 2006). According to Boini et al. (2019), fruit growth is directly correlated with the water potential of the plant stem, and in the face of water stress, this potential decreases, making it difficult to transport water to the fruit and, consequently, reducing its growth.

In table 2 it is shown that the results of pulp firmness were significant different in all areas, where the fruits of the most vigorous rootstocks (G.210 and G.814) were the firmest in Painei, Caxias do Sul and Vacaria. However, in Fraiburgo, the fruit of 'G.213' was the firmest. Regarding soluble solids content (SSC), the two dwarfing rootstocks showed the highest levels, mainly G.213 (Table 2). According to Habibi et al. (2022), dwarfing rootstocks demonstrate a more remarkable ability to partition carbon to the reproductive areas, thus increasing the SSC in the fruits. Still, the more vigorous rootstocks need to distribute carbohydrates more intensively to the vegetative part, configuring a reserve sink and reducing the levels for the fruits (HARTMANN et al., 1997). When considering parameters such as pulp firmness and soluble solids content, our results corroborate those found by Rufato et al. (2021) that they attributed probable anticipation of fruit and consequently harvest anticipation of scions grafted on the G.213 rootstock.

Conclusion

Among the four rootstocks evaluated, G.202 and G.213 have the lowest TCSCA, consequently being the most efficient in vigor control of the scion. However, 'G.202' is less productive in all studied areas.

In the Caxias do Sul replanting soil, all the rootstocks anticipate production and reach an accumulated yield similar, reaching the

goal of 120 tons, indicating a fast financial return to the growers.

The G.210 is an efficient apple rootstocks alternative for cultivating orchards in replanting soils, at least for the cv. Gala Select.

The 'G.213' proves to have high and constant yield efficiency, maintaining good stability and being a good alternative for high density apple planting.

In terms of quality, the two dwarfing rootstocks G.202 and G.213 have a higher content of soluble solids and less firmness than

G.210 and G.814, indicating an earlier fruit ripening and, consequently earlier harvesting, mainly for G.213.

Acknowledgement

The authors thank the Hiroyasu Hiragami, Frutalle, Schio Ltda and Fischer Companies for allowing experiments in the orchards. In addition, they thank support of institutions CAV-UDESC, UFPEL, and the Companies Agromillora and Viveiro Catarinense and the funders CAPES, FAPESC and CNPq.

References

- ATKINSON, C.; ELSE, M. Understanding how rootstocks dwarf fruit trees. **Compact Fruit Tree**, East Lansing, v.34, n.2, p.46-9, 2001.
- BOINI, A.; MANFRINI, L.; BORTOLOTTI, G.; CORELLI-GRAPPADELLI, L.; MORANDI, B. Monitoring fruit daily growth indicates the onset of mild drought stress in apple. **Scientia Horticulturae**, New York, v.256, p.108520, 2019.
- CAVALAZZI, J.R.P.; STURMER, S.L.; RYGIWICZ, P.T.; MENDONÇA, M.M. Screening and selecting arbuscular mycorrhizal fungi for inoculating micropropagated apple rootstocks in acid soils. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, Dordrecht, v.90, n.2, p.117-29, 2007.
- CZYNCZYK, A.; BIELICKI, P. Eleven year evaluation of American (Geneva®) and Polish rootstocks with 'Golden Delicious Reinders' apple in Poland. **Journal of Fruit and Ornamental Plant Research**, Berlin, v.20, n.2, p.11-21, 2012.
- DENARDI, F.; SPENGLER, M.M. Comportamento da cultivar de macieira fuji (*Malus domestica*, Borkh.) sobre três diferentes porta-enxertos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.23, n.3, p.630-3, 2001.
- DENARDI, F.; BASSO, C.; KVITSCHAL, M.V.; SCHUH, F.S.; MANENTI, D.C. Efeito de porta-enxertos na indução da brotação da copa das macieiras 'Gala' e 'Fuji'. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v.26, n.2, p.61-3, 2013.
- DENARDI, F.; KVITSCHAL, M. V.; BASSO, C.; BONETI, J. I. D. S.; KATSURAYAMA, Y. Agronomic performance of the Geneva® serie apple rootstocks in the southern of Brazil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.37, n.1, p.104-11, 2015.
- DENARDI, F.; KVITSCHAL, M.V.; BASSO, C.; BONETI, J.I.D.S.; KATSURAYAMA, Y. Performance of new apple rootstocks for Gala variety in Southern Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v.16, p.147-52, 2016.
- DENARDI, F.; KVITSCHAL, M.V.; HAWERROTH, M.C. Yield performance of apple rootstocks of the Geneva series on replanting soil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.53, p.924-33, 2018.
- DENARDI, F.; HAWERROTH, M.C.; KVITSCHAL, M.V. Desempenho agrônomo de porta-enxertos de macieira da série japonesa JM no meio oeste catarinense. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v.33, n.2, p.48-53, 2020.
- EMBRAPA. **Manual de segurança e qualidade para a cultura da maçã**. Brasília: Embrapa, 2004.

- EPAGRI - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. **Banco de dados de variáveis ambientais de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri/Ciram, 2022.
- FAZIO, G.; ALDWINKLE, H.; ROBINSON, T. Unique characteristics of Geneva® apple rootstocks. **New York Fruit Quarterly**, New York, v.21, p.25-8, 2013.
- FERREIRA, D.F. SISVAR: um sistema computacional de análise estatística. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.35, p.1039-42, 2011.
- GREGORY, P.J.; ATKINSON, C.J.; BENGOUGH, A.G.; ELSE, M.A.; FERNANDEZ-FERNANDEZ, F.; HARRISON, R.J.; SCHMIDT, S. Contributions of roots and rootstocks to sustainable, intensified crop production. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.64, n.5, p.1209-22, 2013.
- HABIBI, F.; LIU, T.; FOLTA, K.; SARKHOSH, A. Physiological, biochemical, and molecular aspects of grafting in fruit trees. **Horticulture Research**, London, v.9, 2022.
- HAMPSON, C. R.; QUAMME, H.A.; BROWNEE, R. T. Canopy growth, yield, and fruit quality of 'Royal Gala' apple trees grown for eight years in five tree training systems. **HortScience**, St. Joseph, v.37, n.4, p.627-31, 2002.
- HARTMANN, H.T.; KESTER, D.E.; DAVIES, F.T.; GENEVE, R.L. **Plant propagation: principles and practices**. Upper Saddle River: Prentice- Hall International, 1997. v.6.
- HIGUCHI, P.; SILVA, A.C.D.; ALMEIDA, J.A.D.; BORTOLUZZI, R.L.D.C.; MANTOVANI, A.; FERREIRA, T.D.S.; SILVA, K.M.D. Florística e estrutura do componente arbóreo e análise ambiental de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Alto-Montana no município de Paineira, SC. **Ciência Florestal**, Viçosa, MG, v.23, p.153-64, 2013.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Tabela 1613**. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1613#resultado>. Acesso em: 30 jan. 2022.
- KÖEPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. México: Fondo de Cultura Económica, 1948. 478 p.
- LEINFELDER, M.M.; MERWIN, I.A. Management strategies for apple replant disease. **New York Fruit Quarterly**, New York, v.14, p.39-42, 2006.
- LORDAN, J.; FRANCESCATTI, P.; DOMINGUEZ, L.I.; ROBINSON, T.L. Long-term effects of tree density and tree shape on apple orchard performance, a 20 year study- Part 1, agronomic analysis. **Scientia Horticulturae**, New York, v.238, p.303-17, 2018.
- MACEDO, T.A.; SILVA, P.S.; SANDER, G.F.; WELTER, J.F.; RUFATO, L.; ROSSI, A. Productivity and quality of 'Fuji Suprema' apple fruit in different rootstocks and growing conditions. **Scientia Horticulturae**, New York, v.256, p.108651, 2019.
- MACEDO, T.A.; SILVA, P.S.; SANDER, G.F.; ROSSI, A.; KRETZSCHMARM A.A.; PETRY, D.; RUFATO, L.G. 213 rootstock- Alternative to apple tree cultivation in different planting areas in southern Brazil. **Scientia Horticulturae**, New York, v.286, p.110219, 2021.
- MAHHOU, A.; DeJONG, T.M.; SHACKEL, K.S.; CAO, T. Water stress and crop load effects on yield and fruit quality of Elegant Lady peach [Prunus persica (L.) Batch]. **Fruits**, Paris, v.61, n.6, p.407-18, 2006.
- PASA, M.D.S.; KATSURAYAMA, J.M.; BRIGHENTI, A.F.; ARAÚJO FILHO, J.V.D.; BPNETI, J.I.D.S. Performance of 'Imperial Gala' and 'Mishima Fuji' apples on different rootstocks. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.51, p.17-26, 2016.
- PEREIRA, T.P.; FONTANA, D.C.; BERGAMASCHI, H. O clima da Região dos Campos de Cima da Serra, Rio Grande do Sul: condições térmicas e hídricas. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v.15, n.2, p.145-57, 2009.

- REIG, G.; LORDAN, J.; HOYING, S.; FARGIONE, M.; DONAHUE, D.J.; FRANCESCOTTO, P.; ACIMOVC, D.; FAZIO, G.; ROBINSON, T. Long-term performance of 'Gala', Fuji and 'Honeycrisp' apple trees grafted on Geneva® rootstocks and trained to four production systems under New York State climatic conditions. **Scientia Horticulturae**, New York, v.244, p.277-93, 2019.
- REIG, G.; LORDAN, J.; HOYING, S.; FARGIONE, M.; DONAHUE, D.J.; FRANCESCOTTO, P.; ROBINSON, T. Long-term performance of 'Delicious' apple trees grafted on Geneva® rootstocks and trained to four high-density systems under New York State climatic conditions. **HortScience**, St. Joseph, v.55, n.10, p.1538-50, 2020.
- ROBINSON, T.L.; HOYING, S.A.; FAZIO, G. Performance of Geneva rootstocks in on-farm trials in New York. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v.903, p.249-56, 2011.
- ROBINSON, T.; FAZIO, G.; BLACK, B.; PARRA, R. Cornell-Geneva Apple Rootstocks for Weak Growing Scion Cultivars. **New York Fruit Quarterly**, New York, v.23, p.21-4, 2014.
- RUFATO, L.; SILVA, P.S. da; KRETZSCHMAR, A.A.; BOGO, A.; MACEDO, T.A. de; WELTER, J.F.; PETRY, D. Geneva® series rootstocks for apple trees under extreme replanting conditions in Southern Brazil. **Frontiers in Plant Science**, Hyderabad, v.12, p.712162, 2021.
- SILVA, M.A.S.D.; MAFRA, A.L.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Atributos físicos do solo relacionado ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, p.544-52, 2005.
- TOMBESI, S.; ALMEHDI, A.; DeJONG, T.M. Phenotyping vigour control capacity of new peach rootstocks by xylem vessel analysis. **Scientia Horticulturae**, New York, v.127, n.3, p.353-7, 2011.