

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS

Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel

Programa de Pós-Graduação em Agronomia

Área: Fruticultura de Clima Temperado



Tese

**Dormência da macieira no Sul do Brasil: aspectos fisiológicos e modelos
estimadores de necessidades térmicas**

Léo Omar Duarte Marques

Pelotas, 2021

Léo Omar Duarte Marques

**Dormência da macieira no Sul do Brasil: aspectos fisiológicos e modelos
estimadores de necessidades térmicas**

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 (área de conhecimento: Fruticultura de Clima Temperado).

Orientador: Prof. Dr. Flavio Gilberto Herter

Coorientadores: Dr. Paulo Celso de Mello Farias

Dr. André Amarildo Sezerino

Pelotas, 2021

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

M357d Marques, Léo Omar Duarte

Dormência da macieira no Sul do Brasil: aspectos fisiológicos e modelos estimadores de necessidades térmicas / Léo Omar Duarte Marques ; Flavio Gilberto Herter, orientador ; Paulo Celso de Mello Farias, André Amarildo Sezerino, coorientadores. — Pelotas, 2021.
116 f.

Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2021.

1. Malus domestica Borkh. 2. Fenologia. 3. Inverno ameno. 4. Indução de brotação. 5. Fruticultura de clima temperado. I. Herter, Flavio Gilberto, orient. II. Farias, Paulo Celso de Mello, coorient. III. Sezerino, André Amarildo, coorient. IV. Título.

CDD : 634.11

Léo Omar Duarte Marques

Dormência da macieira no Sul do Brasil: aspectos fisiológicos e modelos
estimadores de necessidades térmicas

Tese apresentada, 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: 20 de agosto de 2021 - 13h30min.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Flavio Gilberto Herter (Orientador)
Doutor em Botanique et Physiologie Vegetal pela Université Blaise Pascal

Dr. Gabriel Berenhauser Leite
Doutor em Fisiologia Vegetal pela Université Blaise Pascal

Prof. Dr. Gilmar Arduino Bettio Marodin
Doutor em Fitotecnia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Colegio de Post Graduados do México

Dr^a. Maria do Carmo Bassols Raseira
PhD em Plant Science pela University of Arkansas

Aos meus pais, Ana Flora Duarte Marques e Elio

Voeci Marques

Às minhas avós, Santa Zenaide Duarte (*in
memoriam*) e Dercelina da Costa Marques.

À minha noiva, Josiane Duarte de Carvalho.

Dedico.

Agradecimentos

A Deus, pela vida, proteção, por me dar saúde para vencer com sucesso essa jornada.

À minha mãe Ana Flora Duarte Marques por sempre me passar confiança e desde criança me incentivar a ser corajoso e acreditar nos meus sonhos; por ter me ensinado a não aceitar derrotas e a ter ambição de vencer.

Ao meu pai Elio Voeci Marques por sempre ser um pai prestativo e dedicado, por ter me ensinado a ser uma pessoa correta e a ter senso de humor.

À minha noiva Josiane Duarte de Carvalho pelo amor, carinho, afago, alegrias, por me ajudar em avaliações de experimentos, pelas conversas, por me passar confiança e por estar ao meu lado em todas as situações.

À minha avó Santa Zenaide Duarte, que mesmo não estando mais nesse plano, sua bondade até hoje cativa, por ser o maior exemplo de ser humano que conheci, por ser uma inspiração e por todo amor que me concebeu em vida.

À minha avó Dercelina da Costa Marques, por sempre ter me dado muito carinho e sempre ser muito especial em minha vida; por sempre estar orando pelo meu melhor.

A todos os membros das famílias Duarte e Marques que me incentivaram e torceram pelo meu sucesso, destacando pela proximidade as madrinhas Anália, Maria Irai e Mara Simone.

Aos meus sogros Antônio Jesus Carvalho e Dilva Maria Duarte pela amizade e por ajudas fornecidas durante o período do doutorado.

Ao Prof. Dr. Flavio Gilberto Herter, por ser muito além de orientador, por ter uma preocupação com o lado humano, por ser um amigo e pelos ensinamentos científicos.

Ao Prof. Dr. Mateus da Silveira Pasa, por ter despendido um grande tempo e atenção para ajudar na presente tese, por sempre ser muito solícito, pelos conselhos e por todo ensinamento científico passado.

Ao Prof. Dr. Paulo Celso de Mello Farias, por ser coorientador desse projeto, por ser um amigo, conselheiro e por apostar no meu trabalho desde que cheguei a Fruticultura/UFPel como estagiário no final de 2013.

À Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) – Estação Experimental de Caçador por fornecer dados e ferramentas

para a realização dessa tese. Destacando o coorientador da presente tese Dr. André Amarildo Sezerino e o Msc. José Luiz Petri que sempre foram muito cordiais, solícitos e profissionais durante o desenvolvimento dos trabalhos.

A todos os colegas do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA/UFPel) pela convivência diária, pelo bom ambiente proporcionado, em especial as colegas Gabrielle Leivas e Tâmara Acosta pelas ajudas nas realizações dos experimentos.

Aos estagiários da Fruticultura/UFPel que foram fundamentais na realização dos experimentos, em especial os estagiários Luiz Silva Ataíde e Jéferson Prates.

A todos os demais professores e servidores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia que de uma forma ou de outra colaboraram para a realização da presente tese, em especial o Prof. Dr. Marcelo Barbosa Malgarim e o servidor Paulo Ricardo Costa (Jacu) pela parceria durante todo esse tempo.

Ao Programa de Pós-graduação em Fisiologia Vegetal (PPG em Fisiologia Vegetal), por permitir que parte da presente tese fosse realizada; em especial ao Prof. Dr. Sidnei Deuner, que sempre foi muito cordial e solícito colocando à disposição toda estrutura necessária para realização dos experimentos e a doutoranda Caroline Thiel que teve muito empenho e cordialidade durante a realização dos experimentos.

A todas as demais pessoas que dedicaram algum tempo de sua vida na construção da tese ou ajudaram com algum tipo de aporte: Prof. Dr. Idemir Citadin, MSc. Danilo Cabrera, MSc. Rodrigo Fernandes, Eng. Agr. Jai Massaut, Eng. Agríc. Odair José da Veiga e Eng. Elétric. Bruno Bender.

À Universidade Federal de Pelotas (UFPel) que forneceu estrutura para realização dos experimentos e ofertou ensino de qualidade disponibilizando profissionais de alto gabarito.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo fornecimento de bolsa de estudos.

A toda a nação brasileira que contribuiu financeiramente através do pagamento de tributos para realização da presente tese.

“Um homem quando está em paz, não quer guerra com ninguém”.

Chorão / Thiago Castanho

Resumo

Marques, Léo Omar Duarte. **Dormência da macieira no Sul do Brasil: aspectos fisiológicos e modelos estimadores de necessidades térmicas**. 2021. 116f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2021.

A macieira é oriunda de regiões de clima tipicamente temperado e, quando cultivada no Brasil, geralmente apresenta problemas adaptativos, resultando em menores produções. Para corrigir esses problemas se faz uso de indutores de brotação, principalmente cianamida hidrogenada (Dormex®) que é um produto que apresenta toxicidade. Nesse sentido, devem ser estudadas alternativas de indutores de brotação, assim como enzimas antioxidantes, pois a ação dos indutores de brotação é dependente dessas. A macieira requer frio durante a endormência e calor após essa fase, para avaliar essas exigências e as ofertas de frio e calor utilizam-se modelos estimadores do acúmulo de frio e soma térmica. Objetivou-se com a presente tese entender a atividade de enzimas antioxidantes em resposta à aplicação de indutores de brotação, buscar novas alternativas de indutores de brotação, avaliar a eficiência de modelos estimadores do acúmulo de frio e soma térmica. Estudou-se em macieiras ‘Castel Gala’ a atividade das enzimas antioxidantes: superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX) e quantificou-se o peróxido de hidrogênio (H_2O_2), assim como a eficiência de tratamentos de diferentes concentrações de Erger®, extrato de alho e Dormex® na indução de brotação e floração. Os estudos com modelos aconteceram em macieiras: ‘Baronesa’, ‘Imperatriz’, ‘Fuji Suprema’, ‘Fred Hough’ e ‘Lisgala’. Foram correlacionados nove anos de dados fenológicos e climáticos e avaliados a eficiência dos modelos de acúmulo de frio: Utah, Utah Modificado, HF (Horas de Frio) <7,2 °C, HF <10 °C, HF <15 °C, Low chill, Taiwan low chill e Daily positive Utah chill unit (PCU); e dos modelos de soma térmica: GDH (*Growing Degree Hours*) base 4,5 °C, GDH base 10 °C, GDH base 15 °C, GDH (Anderson) base 4,0, GDH (Anderson) base 10,0, GU (*Growing Units*) 4,0/25, GDH 2,5/29, GU 2,5/29 e número de dias. À medida que o estágio de dormência se aproxima do final, a atividade da enzima SOD aumenta, porém essa não é influenciada pela aplicação de indutores. A atividade da enzima CAT diminui na maioria dos tratamentos. Os níveis de H_2O_2 não foram influenciados pela data de análise e aplicação de tratamentos. O extrato de alho apresentou baixa eficiência; sendo os tratamentos Dormex® 1% + óleo mineral 3% e Erger® 7% + nitrato de cálcio 5% os mais eficientes, sendo esse último o melhor indutor alternativo testado. Em relação aos modelos do acúmulo de frio, foram considerados como eficientes (coeficiente de variação <15%) os modelos: HF <15 °C, Taiwan low chill, Low chill e Utah Modificado. Quando se aborda os modelos de soma térmica percebe-se que os modelos que apresentaram maior constância por terem baixo coeficiente de variação em diferentes estádios e cultivares foram GU 4,0/25 e GU 2,5/29. Modelos que utilizam temperatura base alta (10 °C e 15 °C) apresentam baixa eficiência quando aplicados em macieira; e o

modelo número de dias é altamente eficiente para previsão de colheita em regiões que dispõem do histórico de datas de colheita.

Palavras-Chave: *Malus domestica* Borkh; fenologia; inverno ameno; indução de brotação; fruticultura de clima temperado.

Abstract

Marques, Léo Omar Duarte. **Apple tree dormancy in southern Brazil: physiological aspects and thermal needs estimation models.** 2021. 116p. Thesis (Ph.D. degree) – Graduation Program in Agronomy. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, Brazil, 2021.

Apple trees come from regions with a typically temperate climate and, when they are cultivated in Brazil, they usually present adaptive problems, resulting in lower productions. To correct these problems, budburst inducers are used, especially hydrogenated cyanamide (Dormex®), which is a product that presents toxicity. In this sense, alternatives of budburst inducers should be studied, as well as antioxidant enzymes, because the action of budburst inducers depends on these. Apple trees require chilling during endodormancy and heat after this phase to evaluate these requirements and to offer chilling and heat, when estimating models of cold accumulation and thermal sum were used. The objective of this thesis was to understand the antioxidant enzymes activity in response to the application of budburst inducers, to seek new alternatives to budburst inducers, and to evaluate the efficiency of estimating models of cold accumulation and thermal sum. The antioxidant enzymes activity in 'Castel Gala' apple trees was studied as superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and ascorbate peroxidase (APX). Also, hydrogen peroxide (H₂O₂) was quantified, as well as the efficiency of treatments for different concentrations of Erger®, garlic extract and Dormex® in inducing budbreak and flowering. Studied model took place in apple trees as 'Baronesa', 'Imperatriz', 'Fuji Suprema', 'Fred Hough' and 'Lisgala'. Nine years of phenological and climatic data were correlated and the efficiency of the following cold accumulation models were evaluated: Utah, Utah Modified, CH (Chilling Hours) <7,2 °C, CH <10 °C, CH <15 °C, Low chill, Taiwan low chill and Daily positive Utah chill unit (PCU). And the thermal sum models were: GDH (*Growing Degree Hours*) basis 4,5 °C, GDH basis 10 °C, GDH basis 15 °C, GDH (Anderson) basis 4,0, GDH (Anderson) basis 10,0, GU (*Growing Units*) 4,0/25, GDH 2,5/29, GU 2,5/29 and number of days. As the dormancy stage approaches the end, SOD enzyme activity increases, but this is not influenced by the inducers application. CAT enzyme activity decreases in most treatments. H₂O₂ levels were not influenced by the analysis data and treatments application, being Dormex® 1% + mineral oil 3% and Erger® 7% + calcium nitrate 5% the most efficient, and the latter was the best tested alternative inducer. Regarding chilling accumulation models, the following ones were considered efficient (coefficient of variation <15%), CH <15 °C, Taiwan low chill, Low chill and Utah Modified. When approaching the thermal sum models, the ones that showed greater constancy for having a low coefficient of variation in different stages and cultivars were GU 4.0/25 and GU 2.5/29. Models that use high base temperature (10 °C and 15 °C) have low efficiency when applied to apple trees, and the number of days model is highly efficient for harvest forecasting in regions that have historical harvest dates.

Keywords: *Malus domestica* Borkh; phenology; mild winter; budbreak; temperate climate fruit growth.

Lista de Figuras

Capítulo I

Figura 1 – Atividade de enzimas antioxidantes: superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT) aos 1, 4 e 7 DAA (dias após a aplicação) em macieiras Castel Gala.32

Figura 2 – Atividade de enzima antioxidante: ascorbato peroxidase (APX) e conteúdo de peróxido de hidrogênio aos 1, 4 e 7 DAA (dias após a aplicação) em macieiras Castel Gala.....33

Figura 3 – Porcentual de brotação e floração de macieiras ‘Castel Gala’ após a aplicação de diferentes indutores de brotação aos 32, 40, 45 e 51 dias após a aplicação (DAA).34

Capítulo II

Figura 4 – Acúmulo de horas de frio abaixo de 7,2 °C observadas durante os meses de maio, junho, julho, agosto e setembro nos anos de 2019 e 2020.42

Figura 5 – Temperaturas máximas e mínimas em °C observadas durante os meses de julho, agosto e setembro nos anos de 2019 e 2020.43

Figura 6 – Frutificação efetiva de macieiras ‘Castel Gala’, no ciclo produtivo 2020/2021.53

Capítulo IV

Figura 7 – Média geral do CV de cada modelo englobando todas as cultivares nos estádios fenológicos início de brotação e início de floração.....87

Figura 8 – Média geral do CV de cada modelo englobando todas as cultivares nos estádios fenológicos plena floração e final de floração.88

Figura 9 – Média geral do CV de cada modelo englobando todas as cultivares para a colheita.....89

Anexos

Anexo C – Gemas no estágio fenológico em que foi realizada a aplicação dos indutores de brotação.....	110
Anexo D – Gemas após serem coletadas para análise da atividade de enzimas antioxidantes.	111
Anexo E – Espectrofotômetro utilizado para análise da atividade de enzimas antioxidantes	112
Anexo F – Trabalhos em laboratório para análise da atividade de enzimas antioxidantes.	113
Anexo G – Método biológico ‘teste de gema única’ logo após a implantação do experimento em Câmara Incubadora BOD.	114
Anexo H – Avaliações de estádios fenológicos	115
Anexo I – Avaliações de estádios fenológicos.....	116

Lista de Tabelas

Capítulo II

Tabela 1 – Porcentual de brotação de macieiras ‘Castel Gala’ correspondente aos ciclos produtivos 2019/2020 e 2021.48

Tabela 2 – Porcentual de floração de macieiras ‘Castel Gala’ correspondente aos ciclos produtivos 2019/2020 e 2020/2021.50

Tabela 3 – Data de ocorrência os estádios fenológicos início de brotação (C_3), início de floração (F), plena floração (F_2) e final de floração (G), nos ciclos fenológicos 2019/2020 e 2020/2021.52

Tabela 4 – Porcentual de brotação total e porcentual de brotação gemas mistas, tempo médio de brotação (TMB) e tempo médio para aparecimento das folhas abertas (TMFA) obtidos através do método biológico da gema única.....55

Capítulo III

Tabela 5 – Descrição dos modelos estimadores de acúmulo de frio estudados.66

Tabela 6 – Acúmulo de frio anual (01 de abril/31 de agosto) de 2009 a 2019, estimado através de oito modelos estimadores, no município de Caçador (SC), Brasil.67

Tabela 7 – Acúmulo de frio requerido pelas macieiras ‘Baronesa’, ‘Imperatriz’, ‘Fuji Suprema’, ‘Fred Hough’ e ‘Lisgala’ enxertadas sobre o porta-enxerto ‘M-26’ calculado por oito modelos estimadores.68

Tabela 8 – Acúmulo de frio requerido pelas macieiras ‘Baronesa’, ‘Imperatriz’, ‘Fuji Suprema’, ‘Fred Hough’ e ‘Lisgala’ enxertadas sobre o porta-enxerto ‘M-9’ calculado por oito modelos estimadores.69

Capítulo IV

Tabela 9 – Descrição dos modelos de soma térmica estudados.80

Tabela 10 - Acúmulo de frio durante os anos de estudo no município de Caçador, no período de 01 de abril até 30 de agosto pelos modelos estimadores $HF < 7,2^{\circ}\text{C}$, Utah Modificado e Low chill.81

Tabela 11 – Acúmulo de unidades de calor requerido pelas macieiras ‘Baronesa’, ‘Imperatriz’, ‘Fuji Suprema’, ‘Fred Hough’ e ‘Lisgala’ enxertadas sobre o porta-enxerto ‘M-9’ atingirem o início de brotação por nove modelos.82

Tabela 12 – Acúmulo de unidades de calor requerido pelas macieiras ‘Baronesa’, ‘Imperatriz’, ‘Fuji Suprema’, ‘Fred Hough’ e ‘Lisgala’ enxertadas sobre o porta-enxerto ‘M-9’ atingirem o início de floração por nove modelos.....83

Tabela 13 – Acúmulo de unidades de calor requerido pelas macieiras ‘Baronesa’, ‘Imperatriz’, ‘Fuji Suprema’, ‘Fred Hough’ e ‘Lisgala’ enxertadas sobre o porta-enxerto ‘M-9’ atingirem a plena floração por nove modelos84

Tabela 14 – Acúmulo de unidades de calor requerido pelas macieiras ‘Baronesa’, ‘Imperatriz’, ‘Fuji Suprema’, ‘Fred Hough’ e ‘Lisgala’ enxertadas sobre o porta-enxerto ‘M-9’ atingirem o final de floração por nove modelos.85

Tabela 15 – Acúmulo de unidades de calor requerido pelas macieiras ‘Baronesa’, ‘Imperatriz’, ‘Fuji Suprema’, ‘Fred Hough’ e ‘Lisgala’ enxertadas sobre o porta-enxerto ‘M-9’ atingirem o ponto de colheita por nove modelos.86

Sumário

1	Introdução geral.....	18
2	Capítulo I – Atividade de enzimas antioxidantes em macieiras ‘Castel Gala’ após a aplicação de indutores de brotação	24
2.1	Introdução	24
2.2	Material e métodos	26
2.2.1	Material vegetal	26
2.2.2	Local e clima.....	26
2.2.3	Indutores de brotação.....	27
2.2.4	Delineamento experimental.....	27
2.2.5	Preparo do extrato de alho e aplicação dos tratamentos	27
2.2.6	Coleta de material para análises enzimáticas	28
2.2.7	Análises da produtividade enzimática e de níveis de H ₂ O ₂	28
2.2.8	Avaliações de brotação e floração.....	30
2.2.9	Análises estatísticas	30
2.3	Resultados.....	30
2.3.1	Atividade da enzima SOD	30
2.3.2	Atividade da enzima CAT	31
2.3.3	Atividade da enzima APX	32
2.3.4	Níveis de H ₂ O ₂	32
2.3.5	Porcentual de brotação e floração.....	33
2.4	Discussão	34
2.5	Conclusões.....	38
3	Capítulo II – Influência de indutores de brotação alternativos à cianamida hidrogenada em parâmetros fenológicos de macieiras ‘Castel Gala’	40
3.1	Introdução	40
3.2	Material e métodos	41
3.2.1	Localização do experimento e caracterização do clima local	41
3.2.2	Material vegetal	43
3.2.3	Tratamentos	43
3.2.4	Obtenção do extrato de alho	44
3.2.5	Aplicação dos tratamentos	44
3.2.6	Delineamento experimental.....	45

3.2.7 Avaliações a campo	45
3.2.8 Método biológico de gema única.....	46
3.2.9 Análises estatísticas	46
3.3 Resultados.....	47
3.3.1 Porcentual de brotação	47
3.3.2 Porcentual de floração.....	48
3.3.3 Duração da brotação e floração	50
3.3.4 Frutificação efetiva	52
3.3.5 Método biológico de gema única.....	53
3.4 Discussão	56
3.5 Conclusões.....	61
4 Capítulo III – Modelos estimadores de acúmulo de frio aplicados em macieiras cultivadas em região de inverno ameno.....	62
4.1 Introdução	62
4.2 Material e métodos	64
4.2.1 Localização e clima	64
4.2.2 Dados meteorológicos e fenológicos.....	64
4.2.3 Contabilização do acúmulo de frio através dos modelos estimadores	64
4.2.4 Análise da eficiência dos modelos estimadores	66
4.3 Resultados.....	66
4.3.1 Eficiência dos modelos estimadores no acúmulo de frio anual (abril/agosto) .	66
4.3.2 Influência do porta-enxerto nas exigências de acúmulo de frio	67
4.3.3 Eficiência dos modelos estimadores nas exigências de acúmulo de frio das cultivares de macieira.....	69
4.4 Discussão	70
4.5 Conclusões.....	75
5 Capítulo IV – Eficiência de modelos de soma térmica na previsão de brotação e floração e colheita em macieiras em região de inverno ameno.....	76
5.1 Introdução	76
5.2 Material e métodos	78
5.2.1 Localização e clima	78
5.2.2 Cultivares e estádios fenológicos estudados.....	79
5.2.3 Modelos de soma térmica e ciclos produtivos estudados.....	79
5.2.4 Contabilização do frio e unidades de calor	80

5.2.5 Eficiência dos modelos de soma térmica	81
5.3 Resultados.....	81
5.3.1 Modelos de soma térmica para o início de brotação	81
5.3.2 Modelos de soma térmica para o início de floração	82
5.3.3 Modelos de soma térmica para a plena floração	83
5.3.4 Modelos de soma térmica para o final de floração	84
5.3.5 Modelos de soma térmica para a colheita	85
5.3.6 Modelos de soma térmica: avaliação geral	86
5.4 Discussão	89
5.5 Conclusões.....	94
6 Considerações finais	95
Referências	98
Anexos	107

1 Introdução geral

A macieira (*Malus domestica* Borkh) é uma fruteira pertencente à família Rosaceae, sendo a principal fruteira de clima temperado cultivada no mundo (YILDIZ e ÇOLAK, 2018). A produção mundial de maçãs em 2019 foi de 87 milhões de toneladas, sendo a produção brasileira na ordem de 1.222.979 toneladas, ficando o Brasil na 11^a posição no ranking mundial dos maiores produtores de maçãs (FAO, 2019).

A produção de maçãs no Brasil está concentrada principalmente nos estados do Sul, sendo o Rio Grande do Sul o maior produtor, com produção de 603.293 toneladas, seguido por Santa Catarina com 585.790 toneladas (IBGE, 2019). No Brasil, o cultivo da macieira pode ser considerado recente, já que até os anos 70 o país importava, principalmente da Argentina, quase que integralmente, toda maçã consumida (FACHINELLO et al., 2011). Porém, nos anos 70, houve um grande incentivo governamental ao cultivo da macieira, investindo esforços em pesquisa e extensão rural, com enfoque no melhoramento genético, adaptação de cultivares e quebra de dormência. Conforme Petri et al. (2021) nos anos 70 os estudos de quebra de dormência começaram com os sais dinitro que logo em seguida (início anos 80) foram proibidos. Diante disso principalmente pesquisas da Epagri apontaram que a cianamida hidrogenada seria a melhor alternativa de indutor de brotação, e essa passou a ser usada em associação com óleo mineral até os dias de hoje, sendo a principal alternativa para indução de brotação em fruteiras de clima temperado, contribuindo para a expansão da cultura da macieira no Brasil (PETRI et al., 2021). Seguiram-se pesquisas nas áreas de nutrição mineral, manejos fitotécnicos e fitossanitários da cultura, fazendo com que o país deixasse de ser importador para se tornar exportador desta fruta, devido à rápida expansão da cultura (FACHINELLO et al., 2011).

Mundialmente, a produção de maçãs está concentrada nas regiões frias do hemisfério norte, onde a fruteira se adapta muito bem ao clima (KVITSCHAL et al., 2019). Em regiões com invernos amenos, como no Brasil, esta fruteira apresenta alguns desafios relacionados à adaptação, apresentando diferenças na fenologia e fisiologia quando comparada com regiões de clima tipicamente temperado (PETRI et al., 2019).

Como toda a fruteira de clima temperado, a macieira passa por um período de repouso hibernar conhecido como dormência (WU et al., 2017). Durante esse período o metabolismo da planta é quase nulo, sendo esse um mecanismo fisiológico adaptativo para superar as baixas temperaturas das regiões de origem (KVITSCHAL et al., 2019).

A dormência é dividida em três fases: paradormência, endodormência e ecodormência (LANG et al., 1987). A paradormência ocorre devido às inibições correlativas, ou seja, as gemas não brotam mesmo que se tenham condições climáticas ideais, devido à presença de outros órgãos como, por exemplo, folhas, que produzem substâncias que inibem o crescimento (LANG et al., 1987). A segunda fase da dormência é a endodormência, essa acontece no interior da própria gema, devido a fatores bioquímicos e fisiológicos, como por exemplo, redução dos níveis de hormônios promotores de crescimento e aumento nos níveis de inibidores de crescimento (LANG et al., 1987). Para a planta sair do período de endodormência é necessário que essa fique exposta, por determinados períodos, a baixas temperaturas, para que as exigências fisiológicas sejam atendidas (MALAGI et al., 2015). A última fase da dormência é conhecida como ecodormência. Nessa fase as exigências internas das gemas foram satisfeitas, dependendo unicamente das condições do ambiente (LANG et al., 1987). Para a gema superar a fase da ecodormência ela necessita ficar exposta durante determinados períodos, a temperaturas mais elevadas, ou seja, é preciso acúmulo de soma térmica para superar essa fase (MALAGI et al., 2015).

Do ponto de vista fisiológico, para ativar o processo de brotação é necessário que ocorra a manifestação de genes cuja ação é desencadeada, quando ocorre o aumento nos níveis de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) (TAKEMURA et al., 2015). O aumento nos níveis de peróxido de hidrogênio causa um estresse oxidativo que desencadeia a expressão de genes responsáveis por indicarem o término da dormência (AZARABADI et al., 2017). Os níveis de H_2O_2 são regulados por enzimas antioxidantes que podem aumentá-los ou reduzi-los, como por exemplo, a superóxido dismutase (SOD) que atua sobre o radical superóxido em peróxido de hidrogênio, e enzimas que eliminam o peróxido de hidrogênio do interior das células, como é o caso da catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX) (TAKEMURA et al., 2015; CAI et al., 2019; HERNANDEZ et al., 2021).

O clima da região Sul do Brasil é distinto dos climas das regiões temperadas do centro de origem das principais espécies de macieira (Cáucaso e leste da China) e distinto também das principais áreas onde essa fruteira é cultivada (PETRI et al., 2019). Diante disso a cultura apresenta alguns problemas relacionados à adaptação, principalmente no que diz respeito ao acúmulo de frio para superar a fase de endodormência (MARTIN et al., 2017). Quando as exigências em frio não são completamente atendidas, as mesmas apresentam algumas anomalias como menor porcentual de brotação e floração, assim como período de floração prolongado e desuniforme. Essa floração desuniforme faz com que planta apresente ao mesmo tempo vários estádios fenológicos, dificultando tratamentos culturais, além de no final do ciclo produtivo haver uma produção menor e com baixa qualidade (PASA et al., 2018).

Desde que o cultivo da macieira começou no Brasil, a pesquisa tem conseguido grandes avanços no sentido de obtenção de cultivares de menor exigência em acúmulo de frio e, também, em tecnologias de indução de brotação, visando através da aplicação de produtos, obter maiores porcentuais de brotação e floração, bem como uniformizar o período de floração (ANZANELLO et al., 2020). Os produtos utilizados para corrigir falhas na brotação e floração oriundas do baixo acúmulo de frio são denominados indutores de brotação, sendo a cianamida hidrogenada o indutor de brotação mais utilizado atualmente no Brasil (MARCHI et al., 2017).

Porém, a cianamida hidrogenada é comercializada através do produto Dormex® que é classificado na categoria de perigo 3 (moderadamente tóxico) e seu uso é proibido em países pertencentes à União Europeia (RODRIGUES et al., 2016). Isso faz com que a proibição da utilização da cianamida hidrogenada no Brasil seja uma possibilidade em um futuro próximo. A cianamida hidrogenada apresenta rápida degradação no ambiente, (meia vida estimada em dois dias após a aplicação), essa se degrada no solo em ureia, amônia e nitrato não persistindo nem no solo nem nas plantas (MARCHI, 2015). Porém, mesmo apresentando baixa persistência, o produto tem uma calda extremamente reativa, podendo trazer transtornos como, por exemplo, irritação nos olhos e na pele, hipotensão, náuseas, dores de cabeça e aceleração de batimentos cardíacos em aplicadores que não executam a aplicação com a devida proteção (MARCHI, 2015). Diante disso, faz-se necessária a realização de estudos de novas alternativas de indutores de brotação com menor

impacto e eficiência semelhante à cianamida hidrogenada (MARCHI et al., 2017). Além disso, a cianamida hidrogenada não pode ser utilizada em sistemas sustentáveis de produção como o orgânico e o agroecológico, reforçando a necessidade de estudos de novas alternativas de indutores de brotação (SANTOS et al., 2020).

O Erger®, um fertilizante foliar mineral misto à base de nitrogênio e cálcio, (Valagro do Brasil Ltda.) tem sido uma possível alternativa de uso na substituição da cianamida hidrogenada, conforme apontado por Darde et al. (2019) e Margoti et al. (2020), em estudos com macieiras 'Eva' e Treviño e Gutiérrez (2018) em estudo com macieira 'Red Delicious'. Conforme Santos et al. (2020) outro indutor de brotação que tem sido apontado como promissor é o extrato de alho, esse autores concluíram que esse indutor de brotação apresenta eficiência na indução de brotação em quiveiro 'Bruno', bem como Carvalho et al. (2016) reportaram eficiência desse indutor quando aplicado em videiras 'BRS Cora'. Sendo assim, diante dos promissores resultados desses indutores de brotação em estudos anteriores, reforça-se a importância de novos estudos com esses indutores de brotação em diferentes espécies de fruteiras e cultivares, para validação ou não dos mesmos, em substituição à cianamida hidrogenada.

Mohamed et al. (2012) indicam que o processo de indução de brotação (fim de dormência) é determinado pelo acúmulo de H_2O_2 , que por sua vez é influenciado pela ação de enzimas antioxidantes (SOD, CAT e APX). Perez e Lira (2005) citam que a cianamida hidrogenada atua como um inibidor da atividade da CAT (enzima que converte H_2O_2 em H_2O e O_2), promovendo assim o acúmulo do peróxido de H_2O_2 e a saída do período de dormência. Azarabadi et al. (2017) citam que conforme a dormência aproxima-se do final, a atividade da enzima SOD aumenta, contribuindo para o aumento nos níveis de H_2O_2 . Ainda, de acordo com Mohamed et al. (2012), a atividade da APX tende a aumentar após o pico dos níveis de H_2O_2 , visando eliminar o excesso desta substância, que pode apresentar toxicidade aos tecidos das células. Ressaltando que o local onde a CAT e APX atuam são diferentes, por exemplo, a APX elimina o H_2O_2 dos cloroplastos, onde a CAT não atua. Os estudos relacionados à atividade dessas enzimas antioxidantes ocorrem principalmente em regiões de clima temperado. Em regiões de inverno ameno, os estudos envolvendo o complexo de enzima antioxidantes em fruteiras de clima temperado apresentam menor frequência quando comparado com regiões de clima tipicamente temperado.

Alguns estudos como os realizados Marchi et al. (2017) e Darde et al. (2019), possibilitaram compreender um pouco da ação de enzimas antioxidantes em regiões de inverno ameno, porém mais estudos precisam ser realizados para tornar mais claro qual é a ação de cada enzima antioxidante e influência dessas na quebra de dormência. Além disso, sabe-se que a cianamida hidrogenada é um eficiente indutor na redução da atividade da CAT, conforme mencionado por Perez e Lira (2005). Entretanto, não se tem um padrão definido da atuação de indutores de brotação alternativos como o extrato de alho e o Erger® sobre o complexo de enzimas antioxidantes. Diante disso, é perceptível a importância de entender como atua o complexo de enzimas antioxidantes em macieiras cultivadas em região de inverno ameno e analisar como essas respondem à aplicação de indutores de brotação alternativos.

Como citado anteriormente, a macieira precisa de um período de exposição ao frio para superar a endodormência. Contudo, cada cultivar de macieira necessita um tempo específico de frio e a disponibilidade deste varia conforme a região (BOTELHO et al., 2006). Para determinar as exigências em frio de uma cultivar faz-se uso de modelos estimadores de acúmulo de frio (CARDOSO et al., 2015). Esses modelos através de equações matemáticas com base na temperatura horária contabilizam o acúmulo de frio requerido por uma cultivar e (MINUZZI, 2018). Sendo assim, é possível entender se essa cultivar pode ser implantada na região em questão e se será necessária a utilização de indutores de brotação (FENILI et al., 2016; MINUZZI, 2018; FERNANDEZ et al., 2020).

O modelo estimador do acúmulo de frio mais utilizado no Brasil é o modelo de Weinberger (1950), denominado $HF < 7,2$ °C. Esse modelo contabiliza as horas de frio abaixo da referida temperatura no cálculo do acúmulo de frio (SANTOS et al., 2020). Outro modelo utilizado é o elaborado por Richardson et al. (1974), denominado Utah, sendo muito conhecido e utilizado na avaliação do acúmulo de frio para fruteiras de clima temperado (CARDOSO et al., 2015). Porém, ambos os modelos foram desenvolvidos no hemisfério norte, em regiões de clima tipicamente temperado, assim como outros modelos conhecidos, como o Carolina do Norte, elaborado por Shaltout e Unrath (1983). Esse fato remete a uma discussão de quão reais e verdadeiros são os resultados desses modelos em regiões de inverno ameno, como as condições encontradas no Brasil, visto as diferenças climáticas para as regiões de onde esses modelos foram desenvolvidos (MILECH et al., 2018).

O modelo de $HF < 7,2$ °C trabalha com uma temperatura fixa e não considera como eficientes temperaturas de 8,0 °C e 9,0 °C, que de acordo com Botelho et al. (2006), apresentam eficiência na superação da dormência em fruteiras de clima temperado. O modelo $HF < 7,2$ °C também não considera o efeito de temperaturas altas, por exemplo, temperaturas acima de 25 °C, que são prejudiciais ao processo de dormência, pois causam estresses fisiológicos na planta (MILECH et al., 2018). Com base no que foi relatado, fica nítida a importância da realização de estudos no sentido de analisar quais os melhores modelos estimadores para serem utilizados na avaliação do acúmulo de frio, voltado para o cultivo da macieira no Brasil.

Após a macieira suprir a necessidade de frio, para superar a endodormência, inicia-se a fase de exigência de soma térmica, a fase de ecodormência, com temperaturas mais altas (temperaturas acima de uma temperatura base); além disso, as exigências de soma térmica permanecem para superar os demais estádios fenológicos até o momento da colheita (SOUZA et al., 2011). Essas exigências de exposição a altas temperaturas requisitadas pelas cultivares apresentam variações entre as mesmas, bem como o calor ofertado apresenta variações conforme a região (PERTILLE et al., 2019). Para a avaliação da oferta de calor e entender as exigências de cada cultivar, faz-se uso de modelos de soma térmica (LEGAVE et al., 2008). Ao realizar pesquisas em revistas científicas, percebe-se que os modelos de soma térmica apresentam menor quantidade de estudos em relação aos modelos estimadores do acúmulo de frio, sendo praticamente inexistente a realização de estudos relacionados à eficiência desses modelos. Diante disso, fica nítida a necessidade de encontrar modelos de soma térmica adequados, que possam servir como ferramentas na previsão da ocorrência de estádios fenológicos e colheita.

A presente tese objetivou a realização de experimentos para contribuir com os avanços na produção de macieiras na região de Sul do Brasil. Buscou-se disponibilizar resultados com base na resposta do efeito do complexo de enzimas antioxidantes no final do período de dormência. Também se buscou respostas desse complexo de enzimas à aplicação de indutores de brotação alternativos; bem como encontrar novas alternativas de indutores de brotação para a cianamida hidrogenada; e determinar qual melhor modelo para contabilizar o acúmulo de frio e a soma térmica.

2 Capítulo I – Atividade de enzimas antioxidantes em macieiras ‘Castel Gala’ após a aplicação de indutores de brotação

2.1 Introdução

Por ser uma fruteira de clima temperado, a macieira (*Malus domestica* Borkh.) passa por uma fase de suspensão temporária do crescimento visível durante o outono-inverno, especialmente das gemas, denominado de dormência, sofrendo alterações fisiológicas, para resistir às condições adversas (FARROKHI et al., 2011; PASA et al., 2018). A duração do período de dormência apresenta variações conforme a região de cultivo e a cultivar, sendo que algumas cultivares apresentam maiores ou menores exigências de número de horas de frio para superar o período de dormência (ABREU et al., 2018). Assim, quando uma determinada cultivar é implantada em região na qual o acúmulo de frio hibernar é inferior ao requerido ocorrem alterações na brotação e floração, alterando a qualidade dos frutos (PASA et al., 2018).

A utilização de indutores de brotação aumenta os percentuais de brotação e floração, bem como promove a homogeneização dos estádios fenológicos das gemas (RADY e EL-YAZAL, 2013). O principal indutor de brotação utilizado em macieiras é a cianamida hidrogenada (RADY e EL-YAZAL, 2013). Todavia, essa apresenta riscos tanto para o aplicador como para o meio ambiente mesmo estando classificada na categoria de perigo 3 (moderadamente tóxico) (SANTOS et al., 2020). Os mesmos autores salientam a urgência da realização de estudos visando novas alternativas de produtos, como por exemplo, o Erger® e o extrato de alho. O Erger® é um fertilizante foliar a base de nitrogênio e cálcio (DARDE et al., 2019). O extrato de alho segundo Santos et al. (2020), é um produto rico em dissulfeto de dialila e outros compostos de enxofre que aumentam a produção de peróxido de hidrogênio (H_2O_2), elemento responsável pela indução de brotação.

A inibição ou ativação de enzimas antioxidantes, a expressão de genes e acúmulo de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) entre outros fatores, outros estão envolvidos nos processos de saída da dormência (RADY e EL-YAZAL, 2013; TAKEMURA et al., 2015). Mohamed et al. (2012) destacam o acúmulo máximo de H_2O_2 , como o ponto final de todos os processos fisiológicos durante a dormência, sinalizando o final do estágio de dormência e o começo da brotação. Porém, até

chegar ao final do estágio de dormência, existe todo um sistema complexo de enzimas antioxidantes, onde determinadas enzimas aumentam ou diminuem sua atividade, de acordo com seu modo de ação, a fim de que as gemas superem o referido estágio (TAKEMURA et al., 2015).

As enzimas antioxidantes que apresentam maior importância na fase de término de estágio de dormência são a superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX) (TAKEMURA et al., 2015; CAI et al., 2019). A enzima SOD é a primeira linha de defesa do sistema enzimático de defesa, diminuindo eficientemente as concentrações de radical superóxido, sendo o H_2O_2 um dos produtos da ação da SOD, sendo que a ação desta está correlacionada positivamente aos níveis do H_2O_2 , ou seja, alta atividade SOD corresponde a altos níveis de H_2O_2 (SHALIMU et al., 2016). A enzima SOD possui uma relação direta com o término do estágio de dormência, de acordo com Hernandez et al. (2021), sendo que a atividade dessa enzima aumenta progressivamente, conforme o estágio de dormência se aproxima do final, sendo seu estudo muito importante para compreender a fisiologia envolvida no processo transitório da dormência para a brotação.

A CAT é uma enzima antioxidante que atua posteriormente à SOD, pois essa é a principal enzima degradadora do H_2O_2 , que é um elemento oriundo da ação da SOD. Então essa é uma enzima que atua em uma segunda linha de defesa (MUJAHID et al., 2020). Porém, na fruticultura a CAT é a principal enzima estudada, pois essa degrada o H_2O_2 , que como citado anteriormente precisa ser acumulado para induzir a brotação. Entende-se que essa enzima é antagônica ao processo de brotação e que seus níveis precisam ser reduzidos, tanto que alguns indutores de brotação como a cianamida hidrogenada por vezes são descritos como inibidores de CAT, sendo essa uma enzima muito importante no entendimento do final do processo de dormência e na indução da brotação (MUJAHID et al., 2020).

A enzima APX assim como CAT, faz parte da segunda linha de defesa das plantas, sendo que ambas atuam na eliminação do H_2O_2 , porém as enzimas atuam em locais diferentes nas células, por exemplo, a CAT está ausente no cloroplasto, sendo a APX a enzima responsável pela eliminação do H_2O_2 nesse local; a enzima APX ainda apresenta outro importante diferencial em comparação à CAT, pois a APX possui maior afinidade com o H_2O_2 , portanto essa faz uma regulação metabólica mais fina, eliminando baixas concentrações de H_2O_2 (DOUSSEAU et al.,

2016; VULETA et al., 2016). A ação da enzima APX na indução da brotação é menos estudada em comparação à enzima CAT. Hernandez et al. (2021) citam a evolução na atividade da APX durante o processo de dormência, pois a atividade dessa é baixa no início do processo de dormência e alta no final, porém é necessário que se realizem mais estudos aprofundando o conhecimento sobre a ação APX no final do processo de dormência, já que se sabe da ação dessa enzima sobre o H_2O_2 , que é o principal elemento responsável pela indução da brotação.

Pesquisas concomitantes das três enzimas antioxidantes são fundamentais, pois as mesmas constituem um sistema complexo de defesa das plantas (CAI et al., 2019). As enzimas antioxidantes têm como função proteger as plantas de danos causados por espécies reativas de oxigênio (ERO's), sendo que as ações das três enzimas antioxidantes estão interligadas e influenciam no processo de saída de dormência, pois influenciam diretamente nos níveis de H_2O_2 (CAI et al., 2019).

O trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a atividade de enzimas antioxidantes após a aplicação de indutores de brotação, em macieiras 'Castel Gala', cultivadas na Região Sul do estado do Rio Grande do Sul (Brasil) e o desempenho desses indutores na brotação e floração.

2.2 Material e métodos

2.2.1 Material vegetal

O experimento foi realizado em plantas de macieiras 'Castel Gala' em pomar implantado em 2012. O porta-enxerto utilizado foi o 'Marubakaido' com filtro (interenxerto) de 'M-9', conduzidas em sistema de líder-central com espaçamento 5,0 m x 0,9 m.

2.2.2 Local e clima

O pomar está instalado no município de Capão do Leão, estado do Rio Grande do Sul (Brasil), coordenadas geográficas (latitude 31° 52'S, longitude 52° 21'W, altitude 13m). De acordo com a classificação de Köppen-Geiger o clima da região é classificado como sub-tropical sem estação seca e temperatura do mês mais quente >22°C. A média anual de precipitação é de 1367 mm, temperatura

média anual de 17,8 °C, 80,7% de umidade relativa do ar. O acumulo de horas de frio (HF) de 307, no período abril-setembro. O experimento foi realizado no ciclo de desenvolvimento 2019/2020. Calcularam-se as horas de frio (HF) abaixo de 7,2°C do início do mês de abril até o final dos meses de agosto e setembro. O acúmulo de frio observado foi de 275 HF e 318 HF no final de agosto e setembro, respectivamente.

2.2.3 Indutores de brotação

Os tratamentos com indutores constituíram-se de diferentes concentrações de Erger® (fertilizante foliar mineral misto à base de nitrogênio e cálcio, Valagro do Brasil Ltda.) em combinação com nitrato de cálcio; de Extrato de alho (EA) em combinação com o óleo mineral Assist® (750 mL L⁻¹ óleo mineral, Basf S.A.) e tratamento controle (sem a aplicação de nenhum produto).

2.2.4 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com quatro repetições, sendo que uma planta correspondeu a uma repetição. Deixou-se uma planta de bordadura, a fim de evitar a contaminação cruzada. Foram aplicados sete tratamentos, denominados: T1 (Erger® 3% + nitrato de cálcio 5%), T2 (Erger® 5% + nitrato de cálcio 5%), T3 (Erger® 7% + nitrato de cálcio 5%), T4 (EA 5% + óleo mineral 2%), T5 (EA 10% + óleo mineral 2%), T6 (EA 15% + óleo mineral 2%) e T7 (sem aplicação de produtos – tratamento controle).

2.2.5 Preparo do extrato de alho e aplicação dos tratamentos

O extrato foi obtido no dia anterior à aplicação através da extração a frio de bulbilhos sem casca de alho branco comum (*Allium sativum* L.) em uma centrífuga doméstica. Depois de extraído, o mesmo foi filtrado em coador de pano (com rendimento na proporção 3:1 (peso/volume). e armazenado em garrafas plásticas, envolvidas com papel alumínio até o momento da aplicação.

A aplicação dos indutores de brotação ocorreu dia 28 de agosto de 2019, antes das 10 horas da manhã e com temperatura de aproximadamente 18 °C, sem a incidência de ventos. A aplicação foi feita com pulverizador costal com ponta tipo

leque. A preparação da calda ocorreu minutos antes da aplicação, realizando-se a diluição dos produtos de acordo com o tratamento estudado. Após a aplicação de cada tratamento, o pulverizador foi submetido à tríplice lavagem com água e sabão neutro a fim de retirar todos resíduos possíveis do tratamento anterior. Pulverizou-se com a calda de cada tratamento toda parte aérea da planta até o ponto de gotejamento (aplicação de 1 L até 2 L de tratamento por planta, variando conforme o tamanho da planta).

2.2.6 Coleta de material para análises enzimáticas

Foram coletadas gemas terminais de brindilas e esporões para a análise da atividade enzimática e peróxido de hidrogênio (H_2O_2). As coletas ocorreram aos um, quatro e sete DAA sendo denominadas coletas 1, 2 e 3 respectivamente. Coletou-se aproximadamente 300 mg de tecido vegetal para análise da atividade enzimática e aproximadamente, a mesma quantidade de tecido vegetal para análise de H_2O_2 . As gemas foram destacadas da planta com auxílio de tesoura de poda. O corte ocorreu 2 cm abaixo da gema, sendo destacado um pedaço de ramo junto com a gema, de maneira a evitar a oxidação e a desidratação dos tecidos das gemas. Posteriormente ao corte, as gemas foram identificadas e armazenadas em caixa térmica com gelo. Após as coletas, as gemas foram imediatamente levadas para o laboratório e armazenadas em ultrafreezer até o momento das análises enzimáticas e de H_2O_2 , que ocorreram aproximadamente 30 DAA.

2.2.7 Análises da produtividade enzimática e de níveis de H_2O_2

As análises enzimáticas foram determinadas a partir da maceração em almofariz gelado, com a utilização nitrogênio líquido, 300 mg de tecido vegetal (gemas sem escamas) na presença de polivinilpolipirrolidona (PVPP) e homogeneizado em 2 mL do tampão de extração composto por: fosfato de potássio 100 mM (pH 7,8), EDTA 0,1 mM e ácido ascórbico 10 mM. Após centrifugação a 12.000g por 20 minutos a 4 °C, o sobrenadante foi coletado. O extrato obtido foi utilizado para a quantificação das proteínas em espectrofotômetro a 595 nm pelo método de Bradford (1976) e determinação da atividade específica das enzimas antioxidantes, descrita a seguir.

A atividade da enzima SOD foi avaliada através da sua capacidade em inibir a fotorredução do azul de nitrotetrazólio (NBT) (Giannopolitis e Ries, 1997). Ocorrendo a avaliação em um meio de reação composto por fosfato de potássio (100 mM, pH 7,8), metionina (14 mM), EDTA (0,1 μ M), NBT (75 μ M) e riboflavina (2 μ M). Iluminou-se os tubos com o meio de reação e a amostra por sete minutos, através da utilização de lâmpada fluorescente de 20W. Para o controle, o mesmo meio de reação sem a amostra foi iluminado, enquanto a prova em branco permaneceu no escuro. As leituras foram realizadas a 560 nm e calculou-se a enzima através da equação: % de inibição = (A560 amostra com extrato enzimático – A560 controle sem enzima)/(A560 controle sem enzima). Uma unidade da SOD indica a quantidade de enzima suficiente para inibir em 50% a foto redução do NBT em ensaio.

Avaliou-se a enzima catalase CAT através da execução do protocolo descrito por Azevedo et al. (1998). Sua atividade foi observada pelo decréscimo na absorbância a 240 nm durante dois minutos em um meio de reação incubado a 28°C contendo tampão fosfato de potássio (100 mM, pH 7,0) e H₂O₂ (12,5 mM).

Para determinação da enzima APX utilizou-se a metodologia proposta por Nakano e Asada (1981), sendo monitorada a taxa de oxidação do ascorbato a 290 nm. A reação foi realizada em meio composto de tampão fosfato de potássio (100 mM, pH 7,0) e ácido ascórbico (0,5 mM e H₂O₂ 0,1 mM), incubado a 28°C. O decréscimo na absorbância foi observado por um período de dois minutos após o início das reações.

Para a análise do conteúdo de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) macerou-se em almofariz gelado, através da utilização nitrogênio líquido aproximadamente 300 mg de gemas. O tampão de extração foi composto por ácido tricloroacético (TCA) a 0,1%. O homogenato foi centrifugado a 12.000g, durante 20 minutos e o sobrenadante obtido foi transferido para tubos de polipropileno de 2 mL. Foi utilizada a metodologia proposta por Velikova et al. (2000). O meio de reação foi constituído por: 0,7 mL de tampão fosfato de potássio 10 mM (pH 7,0), 1 mL de KI 1 M e 0,25 mL do sobrenadante coletado. Os tubos de ensaio foram levados em banho-maria a 30 °C durante 10 minutos. As leituras ocorreram em espectrofotômetro a 390 nm e a concentração de H₂O₂ expressa em μ mol de H₂O₂ g⁻¹ MF.

2.2.8 Avaliações de brotação e floração

Para as avaliações de brotação e floração, foram marcados quatro ramos (brindilas) por planta, selecionando-se aqueles com maior número de gemas laterais nos quatro quadrantes da planta. Contou-se o número de gemas do ramo marcado quando as gemas ainda estavam dormentes. Aos 32, 40, 45 e 51 dias após a aplicação (DAA) dos indutores de brotação, foram contabilizados os números totais de gemas brotadas para o cálculo de percentual de brotação e o número de gemas mistas para o cálculo de percentual de floração. Para o percentual de brotação utilizou-se a equação: $[(\text{número total de gemas brotadas} / \text{número de gemas}) \times 100]$. Para o percentual de floração utilizou-se a equação: $[(\text{número total de gemas mistas} / \text{número de gemas}) \times 100]$.

2.2.9 Análises estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa Statistical Analysis System (SAS Studio). A análise de variância (ANOVA) foi realizada pelo teste F, e, quando significativos, os dados foram submetidos ao teste de separação de médias por Duncan ao nível de 5% de significância. Os valores em porcentagem foram transformados pela expressão $\text{arc sen } \sqrt{x/100}$, em que x é o valor das repetições de cada variável resposta. Essa transformação foi feita para atender ao pressuposto da homogeneidade das variâncias, preconizado pela ANOVA; porém, os resultados são apresentados na escala original dessas variáveis.

2.3 Resultados

2.3.1 Atividade da enzima SOD

Os resultados obtidos na análise da enzima SOD, indicam que não houve diferença estatística entre os tratamentos aos 4 e 7 dias após a aplicação (DAA). Somente no primeiro dia houve diferenças entre tratamentos, onde o tratamento controle, juntamente com extrato de alho 10% + óleo mineral 2%, foram os tratamentos que apresentaram menor atividade da enzima SOD (Figura 1a). Ao analisar a evolução da atividade da enzima SOD entre datas, os resultados indicam

padrão de aumento na atividade desta enzima durante o período avaliado (Figura 1a), sendo que em todos os tratamentos a maior atividade da enzima foi encontrada aos 7 DAA.

2.3.2 Atividade da enzima CAT

Na enzima CAT, houve efeito de tratamento nas duas primeiras datas de coleta, sendo no primeiro DAA observou-se nos tratamentos que continham Erger® na composição, aumento na atividade da enzima CAT, principalmente na concentração mais alta de Erger (tratamento Erger® 7% + nitrato de cálcio 5%). Na terceira data de coleta não houve diferenças entre tratamentos, indicando estabilidade no sistema de defesa via CAT em todos os tratamentos.

Em relação ao padrão de atividade da enzima entre datas, os tratamentos Erger® 3% + nitrato de cálcio 5%, Erger® 7% + nitrato de cálcio 5% e extrato de alho 5% + óleo mineral 2%, apresentaram redução significativa na atividade da enzima CAT do primeiro DAA até o 7 DAA, apresentado padrão de queda na atividade enzimática (Figura 1b). Nos tratamentos Erger® 5% + nitrato de cálcio 5% e extrato de alho 10% + óleo mineral 2%, a enzima CAT apresentou oscilações entre as datas avaliadas enquanto nos tratamentos extrato de alho 15% + óleo mineral 2%, e controle, a enzima apresentou estabilidade na atividade enzimática entre as datas avaliadas.

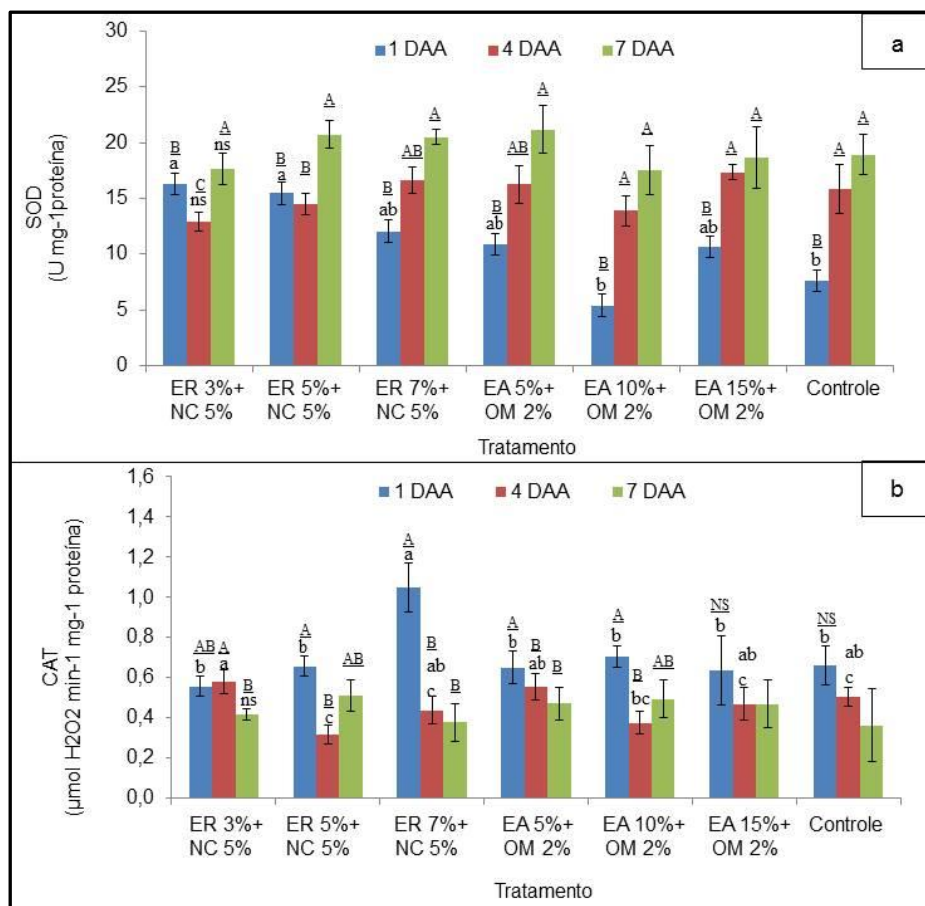


Figura 1 – Atividade de enzimas antioxidantes: superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT) aos 1, 4 e 7 DAA (dias após a aplicação) em macieiras Castel Gala.

(a) atividade da enzima superóxido dismutase (SOD); (b) atividade da enzima catalase (CAT);

ER: Erger®; NC: nitrato de cálcio; EA: extrato de alho; OM: óleo mineral e tratamento controle.

*Médias seguidas de uma mesma letra minúscula não diferem estatisticamente entre si para variável tratamento na mesma data de coleta e médias seguidas de uma mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente entre si para variável DAA (data de coleta) em um mesmo tratamento pelo teste Duncan em nível de 5% de probabilidade.

^{ns} diferença estatística não significativa em nível de 5% de probabilidade.

2.3.3 Atividade da enzima APX

A atividade da enzima APX não apresentou um padrão definido (queda ou alta na atividade). Em seis dos sete tratamentos não se identificou diferença significativa entre as datas avaliadas (Figura 2a). Em relação à aplicação de tratamentos, constatou-se diferenças no 1º DAA e aos 4 DAA. Aos 7 DAA os tratamentos não diferiram significativamente entre si.

2.3.4 Níveis de H₂O₂

Os níveis de H_2O_2 demonstraram variação de (1,87 a 2,75 $\mu\text{mol g}^{-1}$ MF) durante o período avaliado, não apresentando diferenças significativas entre as datas avaliadas e entre tratamentos (Figura 2b).

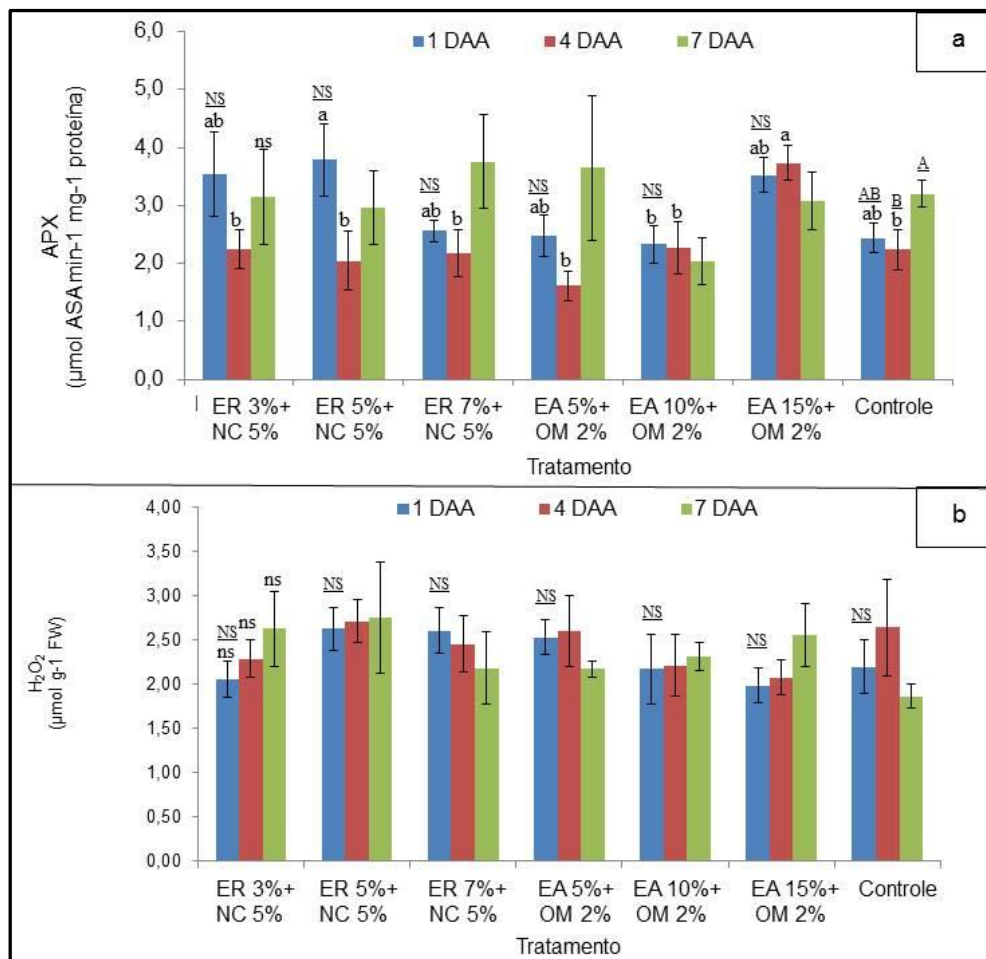


Figura 2 – Atividade de enzima antioxidante: ascorbato peroxidase (APX) e conteúdo de peróxido de hidrogênio aos 1, 4 e 7 DAA (dias após a aplicação) em macieiras Castel Gala.

(a) atividade da enzima ascorbato peroxidase (APX); (b) conteúdo de peróxido de hidrogênio (H_2O_2); ER: Erger®, NC: nitrato de cálcio; EA: extrato de alho; OM: óleo mineral e tratamento controle.

*Médias seguidas de uma mesma letra minúscula não diferem estatisticamente entre si para variável tratamento na mesma data de coleta e médias seguidas de uma mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente entre si para variável DAA (data de coleta) em um mesmo tratamento pelo teste Duncan em nível de 5% de probabilidade.

^{ns} diferença estatística não significativa em nível de 5% de probabilidade.

2.3.5 Porcentual de brotação e floração

O indutor de brotação Erger® 7% + nitrato de cálcio 5% induziu o maior porcentual de brotação final, 61,85% (Figura 3a). O valor obtido correspondeu a três vezes aos porcentuais encontrados no tratamento controle. O tratamento Erger® 7% + nitrato de cálcio 5% aos 40 DAA apresentava porcentual de brotação acima dos 60%, ou seja, precocemente já apresentava alto porcentual de brotação.

Os resultados de floração também indicam superioridade do tratamento Erger® 7% + nitrato de cálcio 5%, o mesmo apresentou porcentual de floração de 25,44% (Figura 3b). O tratamento controle apresentou floração de 3,14%. Os extratos de alho e as outras concentrações de Erger® apresentaram floração inferior a 20%.

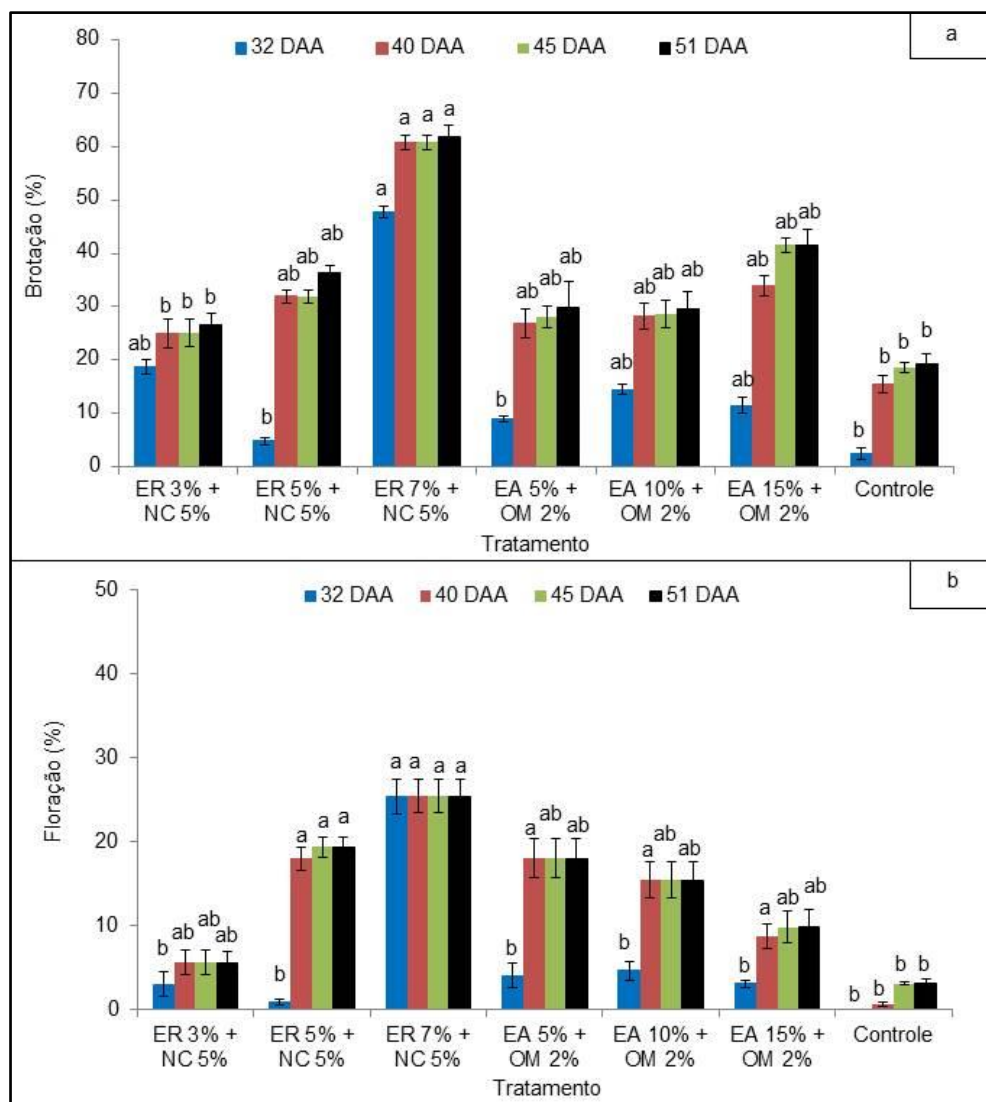


Figura 3 – Porcentual de brotação e floração de macieiras 'Castel Gala' após a aplicação de diferentes indutores de brotação aos 32, 40, 45 e 51 dias após a aplicação (DAA).

(a) porcentual de brotação; (b) porcentual de floração;

ER: Erger®; NC: nitrato de cálcio; EA: extrato de alho; OM: óleo mineral e tratamento controle.

*Médias seguidas de uma mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Duncan em nível de 5% de probabilidade.

2.4 Discussão

A enzima SOD é a primeira linha de defesa do sistema enzimático das plantas, a mesma elimina espécies reativas de oxigênio (ERO's) no interior das células (XING-LIANG et al., 2017). De acordo com Azarabadi et al. (2017), a enzima

SOD atua convertendo o radical superóxido em H_2O_2 e O_2 , assim pode-se sustentar que o aumento na sua atividade é algo positivo para a indução da brotação. Segundo os autores, um dos resultantes da ação da enzima SOD é H_2O_2 , sendo esse um elemento que precisa ser acumulado para o término do estágio de dormência e a indução da brotação. Conforme Cai et al. (2019), o aumento nos níveis da atividade enzimática da SOD é um indicativo do final da dormência e que a planta está voltando a ter um aumento em seu metabolismo. Esses autores constataram esse aumento da atividade da enzima em pesquisa com cerejeira (*Prunus avium*).

Tratamentos como Erger® 3% + nitrato de cálcio 5% e Erger® 5% + nitrato de cálcio 5% ativaram o metabolismo da planta mais rapidamente ao 1 DAA, pois a atividade da enzima SOD estava mais alta onde ocorreu a aplicação destes em comparação ao tratamentos de menor atividade (controle e extrato de alho 10% + óleo mineral 2%). De acordo com Cai et al. (2019), o aumento da atividade da enzima SOD está relacionado ao aumento do metabolismo ativando seu sistema de defesa em função da ação das ERO's (principalmente o radical superóxido). Ao longo das avaliações, todos os tratamentos apresentaram elevações na atividade da enzima SOD. Diante se fortalece a afirmação de que o aumento nos níveis da enzima SOD deveu-se à proximidade do final do inverno, coincidindo com o término do estágio de dormência e não devido à aplicação de indutores de brotação. Esta afirmação é sustentada pela constatação no tratamento controle, pois esse tratamento apresentou aumento na atividade da enzima SOD, assim como nos demais tratamentos.

De acordo com Takemura et al. (2015) a enzima CAT apresenta uma tendência de redução na sua atividade à medida que o estágio de dormência se aproxima do final e a brotação é induzida, sendo a redução na atividade da enzima CAT um sinal do final do estágio de dormência. A redução da atividade da enzima CAT é fundamental na saída da dormência, pois a mesma é responsável por degradar o H_2O_2 em H_2O e O_2 (PÉREZ e LIRA, 2005). O acúmulo de H_2O_2 nos tecidos da planta é um dos requisitos para induzir a brotação, pois esse produz um estresse oxidativo, que funciona como sinal químico para a ativação de genes responsáveis pela quebra de dormência (Takemura et al., 2015). Enquanto a CAT permanecer com a atividade alta, não é possível ocorrer o acúmulo de H_2O_2 nos tecidos da planta, logo a planta permanecerá dormente (PÉREZ e LIRA, 2005).

Cai et al. (2019) mencionam que um indutor eficiente de brotação, deve reduzir a atividade da enzima CAT em relação ao tratamento controle. No mesmo raciocínio, Pérez e Lira (2005) atribuem à alta eficiência da cianamida hidrogenada em relação aos demais produtos, devido à alta capacidade da mesma em reduzir a atividade da enzima CAT no interior da gema. Nesse sentido, percebe-se que o tratamento que proporciona maiores percentuais de brotação e floração (Erger® 7% + nitrato de cálcio 5%) apresentou juntamente com extrato de alho 5% + óleo mineral 2% essa capacidade em reduzir a atividade da enzima CAT ao longo das datas avaliadas (1 DAA até os 7 DAA), podendo esse ser um indício que fundamenta o bom desempenho do tratamento Erger® 7% + nitrato de cálcio 5%.

A alta atividade da enzima CAT no tratamento Erger® 7% + nitrato de cálcio 5% ao 1 DAA, indica que maior a dose de Erger®, provoca um maior o estresse na planta, levando a mesma a ativar o seu sistema de defesa enzimático, através da enzima CAT. Apesar da alta atividade da enzima CAT no tratamento Erger® 7% + nitrato de cálcio 5%, logo após o momento da aplicação ela não se manteve alta por muito tempo, pois o tratamento tem a capacidade de reduzir significativamente a atividade da enzima CAT e por fim, isso tende a resultar em maiores percentuais de brotação e floração.

Em relação à enzima APX, as diferenças encontradas na atividade enzimática entre tratamentos aos 1° e 4° DAA não trazem resultados conclusivos, que indiquem mudanças no metabolismo da planta em decorrência do final do estágio de dormência. Portanto, através dos resultados não é possível obter conclusões relacionando a atividade da enzima APX com a superação do estágio de dormência.

A enzima APX atua em segundo plano na linha de defesa das plantas, atuando sobre elementos como H_2O_2 , assim como a CAT, porém em compartimentos diferentes (Azarabadi et al., 2017). Segundo Cai et al. (2019), a enzima APX possui baixa atividade durante o período de dormência e conforme esse estágio se aproxima do final, a enzima aumenta sua atividade. Takemura et al. (2015) citam que a atividade mais alta da enzima APX ocorre após o pico do acúmulo de H_2O_2 , com intuito de eliminar o excesso de H_2O_2 a fim de evitar danos às células. A hipótese mais provável é que durante as coletas de materiais para a realização do presente estudo não tivesse acontecido o pico do acúmulo de H_2O_2 no interior das gemas, sendo assim, a planta ainda não tinha ativado o mecanismo de defesa e aumentado a atividade da enzima APX. A enzima SOD, que é a primeira linha de

defesa do sistema antioxidante das plantas aos 7 DAA, ainda estava com a sua atividade aumentando. Portanto, de acordo com o que indica a literatura, é provável que tenha ocorrido um aumento na atividade da enzima APX (segunda linha de defesa) posteriormente aos 7 DAA.

Os resultados encontrados no presente estudo relacionados ao H_2O_2 , não são conclusivos, isso por não haver padrão definido em relação aos níveis de H_2O_2 entre datas ou entre tratamentos. A hipótese mais provável é que as leituras dos níveis de H_2O_2 tenham ocorrido muito próximas da data de aplicação dos indutores de brotação. Darde et al. (2019), ao aplicarem Erger® em macieiras da cultivar Eva em concentrações que variaram de 3% até 5% + nitrato de cálcio, encontraram níveis de H_2O_2 aos 5 DAA inferiores a $2,00 \mu\text{mol g}^{-1}$ MF. Ao final do trabalho não foi possível encontrar relação entre os resultados encontrados e o término do estágio de dormência.

A hipótese de que a coleta foi próxima da aplicação é sustentada pelo fato de que a atividade da enzima CAT se encontrava em declínio. Conforme já mencionado anteriormente, é preciso que enzima CAT esteja baixa para haver o aumento nos níveis de H_2O_2 . Sendo assim, para perceber o aumento seria necessário observar a mínima atividade da enzima CAT primeiramente. Rady e El-Yazal (2013), em estudos com macieiras da cultivar Anna, analisando os níveis de H_2O_2 em várias coletas de gemas, por um longo período após a aplicação dos indutores de brotação, verificaram que o pico do H_2O_2 ocorreu 40 dias após a aplicação dos indutores de brotação, ou seja, em uma data mais próxima à brotação. Rady e El-Yazal (2013) encontraram aos 40 dias valores de $4,55 \mu\text{mol g}^{-1}$ MF no tratamento controle e valores acima de $7,00 \mu\text{mol g}^{-1}$ MF em tratamento com cianamida hidrogenada, ou seja, valores muito superiores aos encontrados no presente estudo.

El-Yazal e Rady (2014), estudo com macieiras da cultivar Anna também encontraram o pico do acúmulo de H_2O_2 próximo aos 40 DAA, sendo que os níveis estavam próximos aos $7,00 \mu\text{mol g}^{-1}$ MF. A cultivar Castel Gala de acordo com menor exigência em frio, assim como as cultivares Anna e Eva referidas nos estudos anteriores, sendo assim é possível que a cultivar Castel Gala reaja da mesma forma em relação aos níveis de H_2O_2 . Então, possivelmente se as coletas tivessem sido realizadas por um período maior do que 7 DAA, haveria uma maior compreensão da ação do H_2O_2 em macieiras da cultivar Castel Gala, na saída da dormência.

É notória a eficiência do indutor Erger® 7% + nitrato de cálcio 5%, nos percentuais finais de brotação (61,85%) quando se compara a estudos anteriores. Abreu et al. (2018) ao estudarem o efeito de indutores de brotação em macieira 'Castel Gala', obtiveram os melhores resultados no tratamento com Dormex® 1,5% + óleo mineral 3%, (49,91%). Os mesmos autores ao estudarem o efeito do Erger® + nitrato de Cálcio nas concentrações de 3% e 5%, obtiveram brotações de 42,91 e 41,79%, respectivamente. Margoti et al. (2020) ao estudarem doses de Erger® (3%, 5%, e 7%), associadas ao nitrato de cálcio na indução de brotação em macieira 'Eva', encontraram os maiores percentuais de brotação a exemplo do presente estudo na maior dosagem (7%), com a qual as macieiras apresentaram 51,90% de percentual de brotação. Os resultados do presente estudo apontam que novas pesquisas devem ser realizadas com o tratamento (Erger® 7% + nitrato de cálcio 5%). Esse tratamento se apresenta como potencial indutor de brotação visto que apresentou os melhores resultados, quando comparado ao trabalho com a mesma cultivar relatado por Abreu et al. (2018), acima referido. E também no estudo com a macieira 'Eva' realizado por Margoti et al. (2020) que indicou que a concentração de 7% de Erger® associada ao nitrato de cálcio apresenta superioridade em relação a outras concentrações do produto.

No percentual de floração o tratamento Erger® 7% + nitrato de cálcio 5%, também apresentou os melhores resultados, reforçando os resultados obtidos na brotação, indicando que esse tratamento é um potencial indutor de brotação a ser incluído em estudos futuros como tratamento na indução de brotação em macieiras da cultivar 'Castel Gala'.

2.5 Conclusões

- Os tratamentos não influenciaram na atividade da enzima SOD.
- A atividade da enzima SOD aumenta à medida que o estágio de dormência se aproxima do final independente do tratamento.
- A atividade da enzima CAT diminui significativamente à medida que se aproxima do término do estágio de dormência na maioria dos tratamentos.
- O indutor de brotação Erger® 7% + nitrato de cálcio 5% é o indutor estudado com maior potencial de utilização em macieiras 'Castel Gala'.

- Os níveis de H_2O_2 não foram influenciados pela aplicação de indutores de brotação e pela data de análise.

3 Capítulo II – Influência de indutores de brotação alternativos à cianamida hidrogenada em parâmetros fenológicos de macieiras ‘Castel Gala’

3.1 Introdução

A macieira (*Malus domestica* Borkh.) é uma fruteira de clima temperado, sendo no Brasil cultivada principalmente nos estados do Sul (MARTIN et al., 2017). Por ser uma fruteira de clima temperado, apresenta características como, por exemplo, queda das folhas no outono e período de dormência (repouso hibernar) no inverno, que nada mais são do que mecanismos adaptativos da cultura para sobreviver aos invernos rigorosos, característicos das regiões de origem da mesma (MARTIN et al., 2017).

Cada cultivar de macieira tem a necessidade de um determinado período de exposição ao frio, podendo ser estimado pelo acúmulo de horas abaixo de 7,2 °C, para a planta superar o período de dormência ao final do inverno (PEÑA-ANTILLON et al., 2019). De acordo com Malagi et al. (2015), a macieira, quando implantada em região de inverno ameno, onde as necessidades de frio não são completamente atendidas, costuma apresentar anomalias, destacando-se menor brotação e floração, período de floração prolongado, menor área foliar e baixa frutificação efetiva, que podem comprometer a produção e a qualidade dos frutos.

Fenili et al. (2018) apresentam as principais estratégias desenvolvidas pela pesquisa para facilitar o cultivo de macieiras em regiões de baixo acúmulo de frio, destacando a utilização de indutores de brotação e o desenvolvimento de cultivares menos exigentes em frio, tanto do grupo ‘Gala’, por exemplo, ‘Castel Gala’, ‘Eva’, ‘Maxi Gala’, como a macieira ‘Baronesa’, do grupo ‘Fuji’. Em relação à utilização de indutores de brotação, Pasa et al. (2018) destacam a importância de sua utilização, pois esses são capazes de amenizar problemas decorrentes do baixo acúmulo de frio, corrigindo falhas na brotação e floração, proporcionando principalmente, maior brotação de gemas laterais e uniformizando o período de floração.

Pasa et al. (2018) citam a cianamida hidrogenada (Dormex®) como o indutor de brotação mais eficiente, disponível no mercado brasileiro, porém os mesmos autores citam que a toxicidade do produto (classificada na categoria de perigo 3 - moderadamente tóxico) como um limitante à sua utilização em alguns sistemas de

produção. Fenili et al. (2018) citam a tradição no uso da cianamida hidrogenada em pomares de macieira no Brasil. De acordo com esses autores, há mais de 20 anos esse produto predomina como indutor de brotação, porém as restrições de uso em sistemas mais sustentáveis de produção e a proibição do mesmo em muitos países atentam para a necessidade de estudo de novas alternativas de indutores de brotação.

Para Fenili et al. (2018), um indutor de brotação ideal seria aquele que apresenta baixa toxicidade, baixo custo e alta eficiência. Nesse sentido, Darde et al. (2019), destacam o Erger®, um fertilizante foliar à base de nitrogênio inorgânico e polissacarídeos, como uma possível alternativa, tem se mostrado eficiente em muitos estudos e apresenta baixa toxicidade. Esses autores destacam o nitrato de cálcio, que pode ser aplicado em mistura com o Erger®, podendo aumentar a brotação de gemas laterais. Santos et al. (2020), citam o extrato de alho como um alternativa de indutor de brotação em fruteiras de clima temperado, sendo o uso desse permitido em sistemas orgânicos e agroecológicos de produção.

A eficiência de um indutor de brotação em macieiras pode ser avaliada através da fenologia, como também do acompanhamento dos estádios fenológicos a campo. Outro processo de avaliação é através de métodos biológicos, como por exemplo, o teste de gema única. De acordo com Anzanello et al. (2014), o método biológico de gema única apresenta vantagens devido à facilidade de execução, pois é possível alocar grande número de gemas em pequeno espaço físico, mesmo sendo destrutivo, permite fornecer o nível inercial das gemas, espacial e temporalmente, durante a fase de repouso.

Objetivou-se avaliar a eficiência de diferentes indutores de brotação em macieiras 'Castel Gala' no porcentual de brotação e floração, frutificação efetiva e tempo de período de floração, através da observação da fenologia a campo, bem como determinar a dinâmica da dormência através do método biológico, denominado teste de gema única.

3.2 Material e métodos

3.2.1 Localização do experimento e caracterização do clima local

O experimento foi realizado durante os ciclos produtivos de 2019/2020 e 2020/2021 em pomar experimental situado no município do Capão do Leão, estado do Rio Grande do Sul (Brasil), coordenadas geográficas (latitude 31° 52'S, longitude 52° 21'W, altitude 13m). O clima da região é classificado como subtropical úmido com inverno ameno (cfa), conforme a classificação de Köppen-Geiger. As médias anuais da região são de 1378 mm de precipitação, 17,8 °C de temperatura, 80,7% de umidade relativa do ar e acúmulo de 307 horas de frio (HF) abaixo de 7,2 °C no período de abril até setembro.

De acordo com dados meteorológicos disponibilizados pela Embrapa Clima Temperado, no primeiro ciclo produtivo foram acumuladas (abril-setembro) 318 horas de frio (HF) abaixo de 7,2°C, sendo que dessas 275 HF foram acumuladas até o momento da aplicação (28 de agosto). No segundo ciclo foram acumuladas (abril-setembro) 286 HF, sendo que até o momento da aplicação (14 de agosto) foram acumuladas 193 HF.

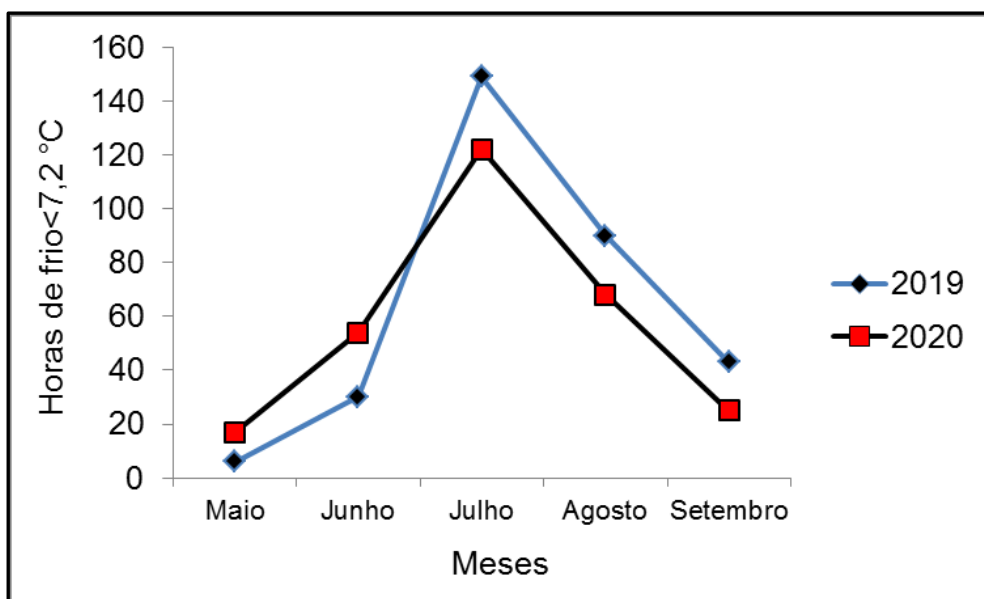


Figura 4 – Acúmulo de horas de frio abaixo de 7,2 °C observadas durante os meses de maio, junho, julho, agosto e setembro nos anos de 2019 e 2020, no município de Capão do Leão, estado do Rio Grande do Sul.

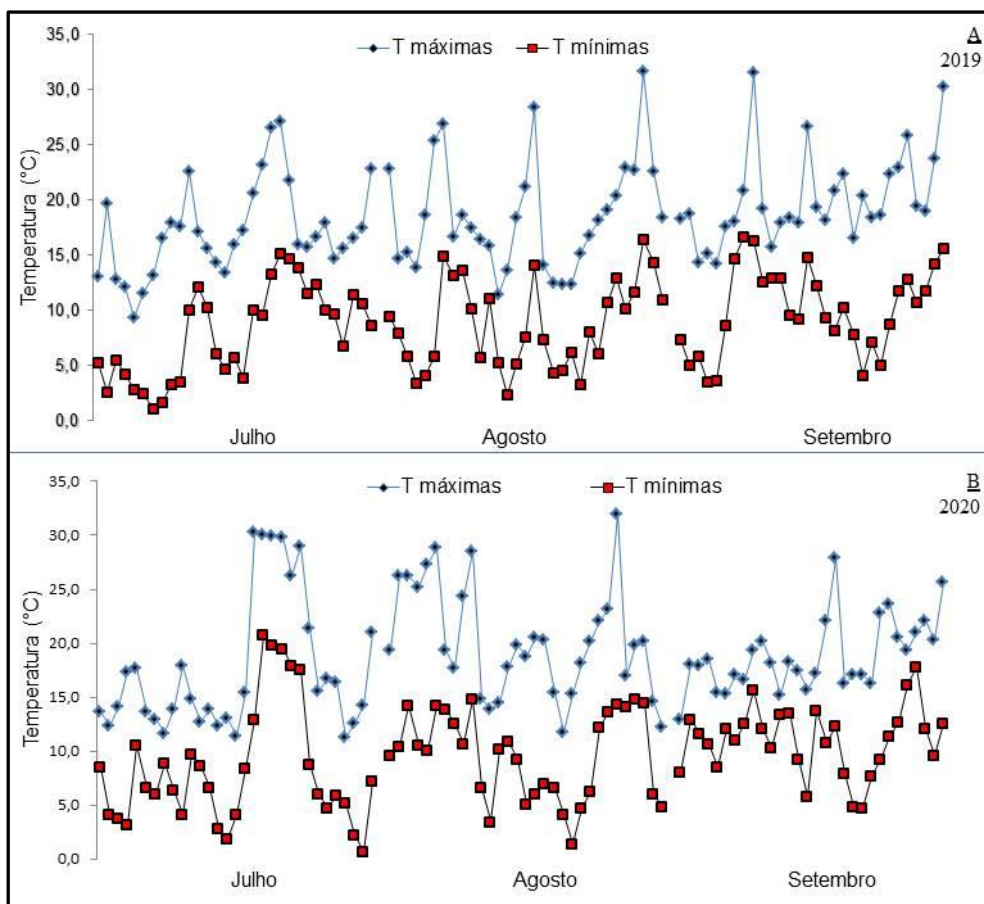


Figura 5 – Temperaturas máximas e mínimas em °C observadas durante os meses de julho, agosto e setembro nos anos de 2019 (A) e 2020 (B), no município de Capão do Leão, estado do Rio Grande do Sul.

3.2.2 Material vegetal

O material vegetal utilizado no experimento foram plantas de macieiras da cultivar Castel Gala enxertadas em 'Marubakaido' (porta-enxerto) com filtro (interenxerto) de 'M-9' conduzidas em sistema de líder-central com espaçamento 5,0 m x 0,9 m (linhas x plantas) e oito anos de idade. Macieiras da cultivar Condessa foram utilizadas como polinizadoras na proporção 10:1 (cultivar de interesse: cultivar polinizadora). O pomar de macieiras, no qual foi realizado o experimento, foi implantado no ano de 2012.

3.2.3 Tratamentos

Foram utilizados como tratamentos os indutores de brotação: Erger® (ER) (fertilizante foliar mineral misto à base de nitrogênio e cálcio, Valagro do Brasil Ltda.)

em três diferentes concentrações, todas elas em combinação com nitrato de cálcio (NC); extrato de alho (EA) em três diferentes concentrações combinado com o óleo mineral (OM) Assist® (750 mL L⁻¹ óleo mineral, Basf S.A.); e no segundo ciclo produtivo se fez uso de duas concentrações de cianamida hidrogenada através do produto comercial Dormex® (BASF S.A.) em associação com OM; nos dois ciclos produtivos foi realizado o tratamento controle (sem aplicação de nenhum produto).

No primeiro ciclo produtivo foram testados sete tratamentos: T1 (ER 3% + NC 5%), T2 (ER 5% + NC 5%), T3 (ER 7% + NC 5%), T4 (EA 5% + OM 2%), T5 (EA 10% + OM 2%), T6 (EA 15% + OM 2%) e T7 (tratamento controle). No segundo ciclo produtivo foram nove tratamentos: T1 (ER 3% + NC 5%), T2 (ER 5% + NC 5%), T3 (ER 7% + NC 5%), T4 (EA 5% + OM 2%), T5 (EA 10% + OM 2%), T6 (EA 15% + OM 2%), T7 (tratamento controle), T8 Dormex® 1% + OM 3% e T9 Dormex® 2% + OM 3%.

3.2.4 Obtenção do extrato de alho

A obtenção do extrato de alho foi realizada a frio, de bulbilhos descascados de alho branco comum (*Allium sativum* L.) em uma extratora de suco, tipo centrífuga doméstica. Na centrífuga foram postos água e alho para obtenção do extrato, sendo esse obtido na proporção 3:1 (peso de alho / volume de água). Após a extração, o extrato foi filtrado em coador de pano e armazenado em recipientes plásticos, envolvidos com papel alumínio.

3.2.5 Aplicação dos tratamentos

O momento de aplicação foi determinado quando 50% das gemas chegaram ao estágio B (gema inchada, ponta prateada). A aplicação ocorreu 12 horas após o preparo do extrato. A aplicação foi realizada antes das 10 horas da manhã, com temperatura abaixo de 18 °C, sem a incidência de ventos. A aplicação foi realizada com um pulverizador costal de 20 L de capacidade com ponta tipo leque. A calda foi preparada pouco tempo antes da aplicação, diluindo-se os produtos conforme o tratamento estudado. Após a aplicação de cada tratamento, submeteu-se o pulverizador à tríplice lavagem com água e sabão neutro para retirada de possíveis

resíduos do tratamento anterior. Foi pulverizada toda parte aérea da planta até o ponto de gotejo da calda, aplicou-se de 1 L até 2 L de tratamento por planta, variando conforme o tamanho da planta.

3.2.6 Delineamento experimental

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados (DBC), com quatro repetições por tratamento; cada repetição foi composta por uma unidade amostral (1 planta). Deixou-se uma planta de bordadura entre as plantas que receberam tratamento a fim de se evitar a deriva de produtos e por consequência a contaminação cruzada.

3.2.7 Avaliações a campo

Em cada planta (unidade amostral) tratada foi selecionado o ramo (brindila) com maior número de gemas laterais em cada um dos quatro quadrantes da planta; esses ramos foram marcados e contabilizado o número total de gemas (ainda dormentes), para posteriormente contabilizarem-se os percentuais de brotação e floração e também para o acompanhamento de mudanças nos estádios fenológicos das gemas.

No primeiro ciclo produtivo, aos 32, 40, 45 e 52 dias após a aplicação dos tratamentos (DAA) foram contabilizados os números totais de gemas brotadas para o cálculo de percentual de brotação e o número de gemas mistas floridas para o cálculo de percentual de floração. No segundo ciclo produtivo as avaliações ocorreram aos 12, 19, 27, 33, 39, 46 e 56 DAA. Para calcular o percentual de brotação utilizou-se a equação: $[(\text{número total de gemas brotadas} / \text{número de gemas}) \times 100]$. Para calcular o percentual de floração empregou-se a equação: $[(\text{número total de gemas mistas floridas} / \text{número de gemas}) \times 100]$.

A frutificação efetiva foi calculada através de equação, onde se faz uma relação entre o número de frutos contabilizados 30 dias após o final da floração e número de cachos florais contados durante a plena floração $[(\text{número de frutos} / \text{cachos florais}) \times 100]$.

3.2.8 Método biológico de gema única

Para a avaliação da dinâmica da dormência, utilizou-se o método biológico denominado de “teste de gema única”, durante o inverno de 2020. Foram coletados 10 dias após a aplicação dos tratamentos, quatro ramos por repetição em cada tratamento. Após a coleta dos ramos, os mesmos foram imediatamente transportados para o laboratório, onde foram segmentados em estacas de sete centímetros de comprimento. Cada ramo originou três estacas divididas conforme a posição (basal, mediana e terminal) nos ramos. Em cada estaca foi mantida apenas uma gema na parte superior, sendo as estacas cortadas a um centímetro acima de uma gema íntegra. A porção superior de cada estaca foi parafinada para evitar a perda de umidade. As estacas foram alocadas em bandejas plásticas com espuma fenólica embebidas em água destilada, o que manteve saturadas as extremidades basais das estacas durante todo o experimento. Posteriormente ao preparo, as bandejas com estacas foram postas em câmaras de crescimento (BOD) com temperatura de 25 ± 1 °C, fotoperíodo de 16 h e umidade relativa de $85 \pm 1\%$.

As avaliações no método biológico da gema única ocorreram a cada dois ou três dias, durante trinta dias. Foi realizada avaliação individual da brotação de cada estaca, para calcular-se o tempo médio de brotação (TMB) (tempo para atingir o estágio de ponta verde – estágio C); tempo médio para aparecimento das folhas abertas (TMFA) (estádio D₂); percentual de brotação das gemas e também o percentual de brotação de gemas mistas. O TMB é avaliado a partir do número médio de dias decorridos entre a data de instalação do experimento do método biológico e a detecção do estágio C. O TMFA é avaliado a partir do número médio de dias decorridos entre a data da instalação do experimento do método biológico e a detecção do estágio D₂. O cálculo do percentual de brotação foi realizado a partir da equação: $[(\text{número total de estacas com gemas brotadas} / \text{número total de estacas}) \times 100]$. Para o cálculo do percentual de brotação de gemas mistas utilizou-se a equação: $[(\text{número total de estacas com gemas mistas brotadas} / \text{número total de estacas com gemas brotadas}) \times 100]$.

3.2.9 Análises estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas através do programa estatístico Statistical Analysis System (SAS Studio). Foi realizada a análise de variância (ANOVA) através do teste F, e, quando significativos, os dados foram submetidos ao teste de médias de Duncan em nível de 5% de significância. Os valores em porcentagem foram transformados pela expressão $\text{arc sen } \sqrt{x/100}$, onde x é o valor obtido das repetições da variável resposta. A transformação foi realizada a fim de atender ao pressuposto da homogeneidade das variâncias, preconizado pela ANOVA, porém, os resultados estão apresentados em sua escala original.

3.3 Resultados

3.3.1 Porcentual de brotação

No ciclo produtivo 2019/2020 o indutor que propiciou o porcentual mais alto de brotação, aos 51 DAA, foi o tratamento Erger® 7% + nitrato de cálcio 5% (61,86%) (Tabela 1), sendo esse o único tratamento que apresentou significativa diferença quando comparado ao tratamento controle (sem aplicação de produto). No segundo ciclo produtivo o indutor de brotação Dormex® 1% + óleo mineral 3% proporcionou o maior porcentual de brotação final (51,20%) (Tabela 1). Porém, o único tratamento que não diferiu significativamente do Dormex® 1% + óleo mineral 3% foi o Erger® 7% + nitrato de cálcio 5% (33,02%), apresentando melhor desempenho entre os indutores alternativos, constituindo-se num tratamento alternativo, tendo em vista os percentuais de brotação obtidos.

No segundo ciclo produtivo os percentuais finais de brotação foram muito inferiores ao primeiro ciclo produtivo. Tomando como exemplo, o indutor de brotação alternativo que apresentou o maior porcentual de brotação (Erger® 7% + nitrato de cálcio 5%), percebe-se que as plantas que receberam este tratamento no primeiro ciclo apresentaram quase o dobro de porcentual de brotação final em comparação com o segundo ciclo.

Tabela 1 – Porcentual de brotação de macieiras ‘Castel Gala’ correspondente aos ciclos produtivos 2019/2020 e 2021.

2019							
Porcentual de brotação							
Tratamento	Dias após a aplicação (DAA)						
	32	40	45	51			
ER 3% + NC 5%	18,70ab	25,06b	25,06b	26,72b			
ER 5% + NC 5%	4,77b	31,92ab	31,92ab	36,44ab			
ER 7% + NC 5%	47,73a	60,81a	60,81a	61,86a			
EA 5% + OM 2%	9,00b	26,92ab	28,20ab	29,84ab			
EA 10% + OM 2%	14,53ab	28,20ab	28,69ab	29,53ab			
EA 15% + OM 2%	11,53ab	33,89ab	41,54ab	41,54ab			
Controle	2,50b	15,39b	18,65b	19,29b			
C.V. (%)	16,85	12,78	12,95	12,43			
2020							
Porcentual de brotação							
Tratamento	Dias após a aplicação (DAA)						
	12	19	27	33	39	46	56
ER 3% + NC 5%	8,16ns**	13,08ns	14,16b	14,76b	14,76b	17,01b	19,74b
ER 5% + NC 5%	1,67	10,66	16,66b	16,66b	17,12b	18,50b	20,41b
ER 7% + NC 5%	1,86ns	20,94	31,06ab	31,54ab	32,15ab	32,15ab	33,02ab
EA 5% + OM 2%	5,64ns	8,83	17,16b	19,84b	21,89b	22,67b	25,63b
EA 10% + OM 2%	8,31	11,86	13,70b	14,26b	14,82b	17,78b	18,82b
EA 15% + OM 2%	10,49	12,69	18,77b	23,1b	23,55b	23,55b	26,55b
Controle	9,90	13,16	13,76b	13,76b	13,76b	15,18b	15,18b
Dormex® 1% +OM 3%	9,63	29,24	47,32a	49,13a	49,13a	51,20a	51,20a
Dormex® 2% +OM 3%	5,07	10,04	16,75b	18,85b	18,85b	21,79b	27,72b
C.V. (%)	17,82	11,63	15,49	16,91	17,78	15,53	15,33

*Médias seguidas de uma mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Duncan ($p \leq 0,05$); **ns-não significativo pelo teste F.

ER: Erger®; NC: nitrato de cálcio; EA: extrato de alho; OM: óleo mineral.

3.3.2 Porcentual de floração

O maior porcentual de floração final no primeiro ciclo produtivo foi obtido pelo tratamento Erger® 7% + nitrato de cálcio 5% (25,44%) (Tabela 2). Esse indutor juntamente com o tratamento Erger® 5% + nitrato de cálcio 5% que proporcionou 19,40% de floração, foram os únicos a diferirem do tratamento controle. No segundo

ciclo produtivo o tratamento Dormex® 1% + óleo mineral 3% proporcionou 16,91% de floração final (Tabela 2), sendo o único tratamento a diferir do tratamento controle. Entre os tratamentos alternativos, o maior percentual final de floração foi encontrado no tratamento Erger® 7% + nitrato de cálcio 5% (9,53%).

Também foi possível observar a redução nos percentuais finais de floração do primeiro para o segundo ciclo produtivo (exceto para Erger® 3% + nitrato de cálcio 5%). Utilizando-se como referência o indutor de brotação que apresentou os melhores resultados no primeiro ciclo (Erger® 7% + nitrato de cálcio 5%), percebe-se que o percentual final de floração no segundo ciclo correspondeu a menos da metade do percentual final de floração no primeiro ciclo produtivo.

Tabela 2 – Porcentual de floração de macieiras ‘Castel Gala’ correspondente aos ciclos produtivos 2019/2020 e 2020/2021.

2019							
Porcentual de floração							
Tratamento	Dias após a aplicação (DAA)						
	32	40	45	51			
ER 3% + NC 5%	3,03ab	5,55b	5,62b	5,62b			
ER 5% + NC 5%	0,83a	18,02a	19,40a	19,40a			
ER 7% + NC 5%	25,43a	25,44a	25,44a	25,44a			
EA 5% + OM 2%	4,07ab	18,00ab	18,10ab	18,10ab			
EA 10% + OM 2%	4,67ab	15,26ab	15,46ab	15,46ab			
EA 15% + OM 2%	3,07ab	8,83ab	9,87ab	9,87ab			
Controle	0,00b	0,64b	3,14b	3,16b			
C.V. (%)	11,23	15,96	13,22	14,98			
2020							
Porcentual de floração							
Tratamento	Dias após a aplicação (DAA)						
	12	19	27	33	39	46	56
ER 3% + NC 5%	0,00ns**	0,00b	3,56b	5,13b	5,56ab	7,20ab	7,20ab
ER 5% + NC 5%	0,00	0,00b	4,08b	4,94b	4,94b	5,86b	5,86b
ER 7% + NC 5%	0,00	0,00b	2,31b	3,47b	7,28ab	9,53ab	9,53ab
EA 5% + OM 2%	0,00	0,00b	0,60b	3,00b	3,53b	3,53b	3,53b
EA 10% + OM 2%	0,00	3,36ab	3,45b	4,97b	5,68ab	6,76ab	7,28ab
EA 15% + OM 2%	0,98	1,58ab	3,53b	4,24b	6,06ab	6,06ab	6,06b
Controle	0,00	0,71ab	2,41b	2,82b	2,82b	2,82b	2,82b
Dormex® 1% + OM 3%	1,09	5,36a	13,83a	15,00a	15,60a	16,20a	16,91a
Dormex® 2% + OM 3%	0,00	2,04ab	3,64b	3,64b	5,38ab	6,05b	9,27ab
C.V. (%)	23,65	22,66	21,99	20,71	18,60	20,25	19,71

*Médias seguidas de uma mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Duncan ($p \leq 0,05$); **ns-não significativo pelo teste F.

ER: Erger®; NC: nitrato de cálcio; EA: extrato de alho; OM: óleo mineral.

3.3.3 Duração da brotação e floração

No primeiro ciclo produtivo, a brotação e floração foram mais concentradas. No segundo ciclo produtivo (2020/2021), principalmente a floração ocorreu por um tempo mais prolongando (Tabela 3). Percebe-se que o tratamento controle apresentou o menor tempo de floração, entretanto, salienta-se que o mesmo apresentou baixos percentuais para essa variável, justificando então o menor

período para completar a floração. Analisando os tratamentos de melhores resultados, percebe-se que o tratamento Erger® 7% + nitrato de cálcio 5% apresentou período de floração mais concentrado em relação ao tratamento Dormex® 1% + óleo mineral 3%. Não foi observado um padrão definido entre os tratamentos, sendo que alguns tratamentos apresentaram maior período entre os estádios fenológicos (F-F2) e outros entre (F2-G).

Tabela 3 – Data de ocorrência dos estádios fenológicos início de brotação (C₃), início de floração (F), plena floração (F₂) e final de floração (G), nos ciclos fenológicos 2019/2020 e 2020/2021.

2019/2020									
Tratamento	Data				Duração do período (dias)				
	C ₃	F	F ₂	G	Apl-C ₃	Apl-F	F-F ₂	F ₂ -G	F-G
ER 3% + NC 5%	18/set	30/set	07/out	12/out	21b	33b	7a	5b	12a
ER 5% + NC 5%	25/set	03/out	07/out	12/out	28a	36ab	4b	5b	9b
ER 7% + NC 5%	13/set	25/set	30/set	07/out	16c	28c	5b	7a	12a
EA 5% + OM 2%	13/set	30/set	07/out	12/out	16c	33b	7a	5b	12a
EA 10% + OM 2%	13/set	30/set	07/out	12/out	16c	33b	7a	5b	12a
EA 15% + OM 2%	13/set	30/set	07/out	12/out	16c	33b	7a	5b	12a
Controle	25/set	07/out	12/out	18/out	28a	40a	5b	6ab	11ab
2020/2021									
Tratamento	Data				Duração do período (dias)				
	C ₃	F	F ₂	G	Apl- C ₃	Apl-F	F-F ₂	F ₂ -G	F-G
ER 3% + NC 5%	26/ago	10/set	16/set	29/set	12b	27a	6c	13c	19b
ER 5% + NC 5%	02/set	10/set	16/set	29/set	19a	27a	6c	13c	19b
ER 7% + NC 5%	02/set	10/set	22/set	29/set	19a	27a	12b	7d	19b
EA 5% + OM 2%	26/ago	10/set	16/set	22/set	12b	27a	6c	6d	12c
EA 10% + OM 2%	26/ago	02/set	22/set	09/out	12b	19b	20a	17b	37a
EA 15% + OM 2%	26/ago	02/set	16/set	22/set	12b	19b	14b	6d	20b
Controle	26/ago	02/set	10/set	16/set	12b	19b	14b	6d	20b
Dormex® 1% + OM 3%	26/ago	02/set	10/set	09/out	12b	19b	8c	29a	37a
Dormex® 2% + OM 3%	26/ago	02/set	22/set	09/out	12b	19b	20a	17b	37a

*Médias seguidas de uma mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Duncan ($p \leq 0,05$).

ER: Erger®; NC: nitrato de cálcio; EA: extrato de alho; OM: óleo mineral.

3.3.4 Frutificação efetiva

O maior porcentual de frutificação efetiva foi encontrado no tratamento controle (Figura 6), o tratamento alternativo que apresentou melhores resultados de brotação e floração nos dois ciclos produtivos (Erger® 7% + nitrato de cálcio 5%),

apresentou 77,75% de frutificação efetiva. Os tratamentos à base de cianamida hidrogenada não se destacaram nessa variável, o tratamento Dormex® 1% + óleo mineral 3% apresentou 58,10% de frutificação efetiva, desempenho semelhante ao tratamento Dormex® 2% + óleo mineral 3% que teve 51,50% de frutificação efetiva.

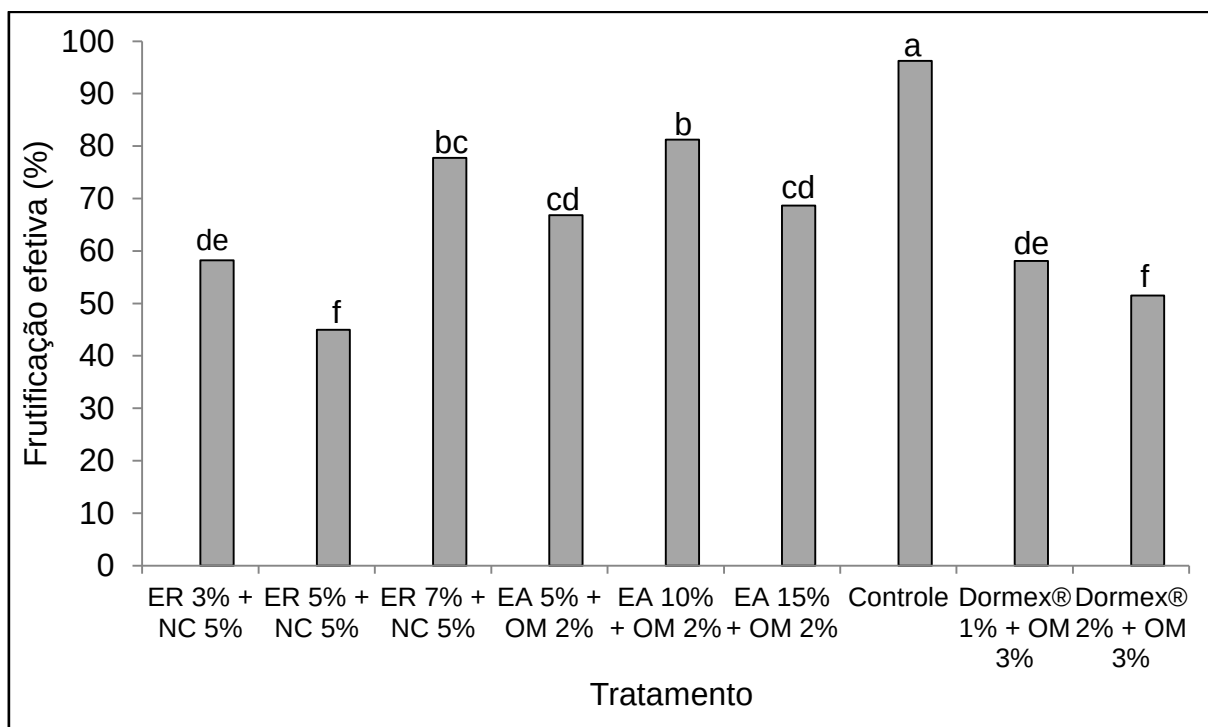


Figura 6 – Frutificação efetiva de macieiras 'Castel Gala', no ciclo produtivo 2020/2021.

*Médias seguidas de uma mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Duncan ($p \leq 0,05$).

ER: Erger®; NC: nitrato de cálcio; EA: extrato de alho; OM: óleo mineral.

3.3.5 Método biológico de gema única

No método biológico da gema única ocorreu interação significativa entre os fatores: indutor de brotação e posição da gema no ramo em todas as variáveis respostas analisadas no método. Foi possível perceber na maioria dos tratamentos, diferenças na brotação em relação à posição do ramo (Tabela 4), estacas da porção terminal apresentaram menores percentuais de brotação, enquanto estacas das porções mediana e basal apresentaram percentuais de brotação semelhantes.

Observou-se que no método biológico da gema única todos os tratamentos apresentaram altos percentuais de brotação totais (acima de 75%), destacando o tratamento Erger® 3% + nitrato de cálcio 5%, que apresentou 100% de brotação

(Tabela 4). Nos resultados de floração pelo método biológico, o tratamento Dormex® 1% + óleo mineral 3%, que apresentou o percentual de floração mais alto a campo, não mostrou bom desempenho em relação ao percentual de brotação de gemas mistas. Além disso, aconteceu o inverso com outros tratamentos, como por exemplo, Erger® 5% + nitrato de cálcio 5%, que apresentou alto percentual de brotação de gemas mistas no método biológico e resultados baixos de floração no estudo a campo.

Foi possível perceber que o maior percentual de gemas mistas está na porção terminal do ramo (Tabela 4). Nas gemas mistas se originam os cachos florais, de onde sairá a produção, ou seja, nas condições do presente estudo a produção fica concentrada na posição terminal do ramo, pois nessa estão presente as gemas mistas.

O tratamento Dormex® 2% + óleo mineral 3% apresentou menor TMB (8,4 dias) e menor TMFA (11,94 dias), sendo o tratamento que induziu uma brotação mais rápida (Tabela 4). Os tratamentos que apresentaram maior destaque ao longo do experimento: Dormex® 1% + óleo mineral 3% e Erger® 7% + nitrato de cálcio 5% tiveram resultados semelhantes, com TMB de 11,88 e 11,59 e TMFA de 16,75 e 16,48 dias, respectivamente. Observou-se que em geral, gemas terminais apresentaram menor TMB e gemas basais maior TMB.

Tabela 4 – Porcentual de brotação total e porcentual de brotação gemas mistas, tempo médio de brotação (TMB) e tempo médio para aparecimento das folhas abertas (TMFA) obtidos através do método biológico da gema única.

Tratamento	Posição da gema no ramo	% brotação	% brotação gemas mistas	TMB	TMFA
ER 3% + NC 5%	Terminal	100ns**	75a	10,75ns	16,5ns
	Mediana	100	50ab	11	14,13ns
	Basal	100	37,5b	11,38	13,88ns
	Média	100A	54,16A	11,04CD	14,84D
ER 5% + NC 5%	Terminal	87,5ns	100a	8,29ns	14,75ns
	Mediana	87,5ns	37,5b	8,75	14,14ns
	Basal	100ns	37,5b	11,63	14,63ns
	Média	91,66AB	58,33A	9,56DE	14,51D
ER 7% + NC 5%	Terminal	62,5b	100a	8b	16,8ns
	Mediana	100a	75a	12,63ab	15,75
	Basal	100a	25b	14,13a	16,88
	Média	87,5ABC	66,67A	11,59BC	16,48CD
EA 5% + OM 2%	Terminal	37,5b	75,0a	13ns	22,33a
	Mediana	100a	0b	15,76	19,63a
	Basal	87,5a	0b	10,88	14,88b
	Média	75C	25,0C	13,21B	18,95AB
EA 10% + OM 2%	Terminal	37,5b	100a	9b	18,33ns
	Mediana	100a	75a	12,63a	15,33
	Basal	100a	25b	14,88a	17,63
	Média	79,16BC	66,67A	12,17BC	17,1ABC
EA 15% + OM 2%	Terminal	75b	16,75b	11,8ns	19ns
	Mediana	100a	37,5a	13,13	18,38
	Basal	100a	0c	12,5	15,37
	Média	91,66AB	18,08C	12,48BC	17,59ABC
Controle	Terminal	62,5b	33,32ns	12,29b	24,2b
	Mediana	100a	37,5	14,63a	17,38a
	Basal	100a	25	13,88ab	16,5a
	Média	87,5ABC	31,94AB	13,6A	19,36A
Dormex® 1% + OM 3%	Terminal	87,5ns	62,5a	8,38b	17,71ns
	Mediana	100	37,5a	12,25ab	15,29
	Basal	100	12,5b	15a	17,25
	Média	95,83A	37,5AB	11,88BC	16,75CD
Dormex® 2% + OM 3%	Terminal	87,5	62,5a	4,57b	11,5ns
	Mediana	100	25b	10,13a	11,44
	Basal	100	0c	10,5a	12,88
	Média	95,83A	29,16BC	8,4E	11,94E

*Médias seguidas de uma mesma letra minúscula não diferem estatisticamente entre si para a variável posição no ramo, pelo teste Duncan ($p \leq 0,05$); **ns-não significativo pelo teste F.

*Médias seguidas de uma mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente entre si para a variável tratamento, pelo teste Duncan ($p \leq 0,05$).

ER: Erger®; NC: nitrato de cálcio; EA: extrato de alho; OM: óleo mineral.

3.4 Discussão

O fato do indutor de brotação Erger® apresentar um bom desempenho juntamente com o tradicional indutor cianamida hidrogenada já foi relatado em outros trabalhos, como, por exemplo, Darde et al. (2019) que estudando o efeito de diferentes indutores de brotação em macieiras 'Eva', constataram que os melhores tratamentos na variável brotação continham os referidos indutores na composição. Os resultados encontrados pelos autores vão ao encontro aos do presente estudo, porém, estes autores encontraram os melhores percentuais de brotação em concentrações mais baixas do produto em relação ao presente estudo. Os melhores resultados de Darde et al. (2019) foram obtidos com cianamida hidrogenada 0,6% + óleo mineral 4% e Erger® nas concentrações de 3 e 4% + nitrato de cálcio 5%. Isso reforça a importância de se estudarem diferentes concentrações de produto para cada cultivar, pois os resultados da macieira 'Castel Gala' foram diferentes da macieira 'Eva' (que apresenta exigências em frio 25% menor em comparação com a macieira 'Caste Gala'). Salienta-se que outros podem influenciar na dosagem além, do fator cultivar como, por exemplo, o fato acúmulo de frio, visto que em anos de menor acúmulo de frio, se faz a utilização de dosagens mais altas (CITADIN et al., 2006).

Darde et al. (2019) destacam a importância dos bons resultados em relação ao indutor de brotação Erger®, pois o mesmo apresenta eficiência próxima da encontrada na aplicação de cianamida hidrogenada, sendo esse produto muito menos tóxico ao ambiente, constituindo-se um importante indutor alternativo para o cultivo de macieira em regiões de inverno ameno. No presente estudo, com macieira 'Castel Gala', a partir dos resultados da brotação, observa-se o potencial do indutor Erger® 7% + nitrato de cálcio 5% e também se percebe os resultados insatisfatórios do indutor extrato de alho em todas as concentrações, pois apresentou pouco efeito sobre a brotação.

O indutor de brotação Erger®, de acordo Treviño e Gutiérrez (2018), vem apresentando eficiência, propiciando maior brotação de gemas mistas. Os autores também constataram efeito positivo da aplicação do produto na floração da macieira 'Red Delicious'. No presente trabalho, no primeiro ciclo produtivo, o tratamento Erger® 7% + nitrato de cálcio 5% apresentou bons resultados, induzindo floração

muito superior em relação ao tratamento controle. No segundo ano, o tratamento referido não diferiu do tratamento controle e nem do tratamento que apresentou o maior percentual de floração (Dormex® 1% + óleo mineral 3%). A cianamida hidrogenada é o produto mais eficiente na indução de brotação (floração) em pomares no Brasil, porém o risco da proibição de venda deste é iminente, devendo a pesquisa buscar os produtos que são capazes de atingir resultados próximos dos proporcionados pela mesma (PETRI et al., 2014). Diante disso, ao considerar os dois ciclos produtivos de pesquisa, é possível concluir que o tratamento Erger® 7% + nitrato de cálcio 5% é o que mais se aproxima dos resultados satisfatórios proporcionados pela cianamida hidrogenada, mostrando-se um potencial indutor de brotação.

A justificativa mais plausível que explique as reduções nos percentuais finais de brotação e floração do primeiro para o segundo ciclo produtivo se baseia no fato de no ciclo produtivo 2019/2020 acumularam-se até o momento da aplicação 275 HF, enquanto no ciclo produtivo 2020/2021 até o momento da aplicação haviam sido acumuladas apenas 193 HF. O menor acúmulo de frio no ciclo produtivo 2020/2021 é um dos principais fatores responsáveis pelos menores percentuais de brotação e floração, isso aliado à ocorrência de temperaturas próximas aos 30 °C na segunda metade de julho e primeira metade de agosto. No ciclo 2019/2020 o acúmulo de frio foi mais tardio, porém acredita-se que nos meses de julho e agosto com frio mais intenso no primeiro ciclo produtivo proporcionaram às plantas melhores condições durante o período de dormência, refletindo em melhores percentuais de brotação e floração. No ciclo produtivo de 2020/2021 a aplicação aconteceu 15 dias antes, em relação ao ciclo produtivo 2019/2020, pois no segundo ciclo produtivo 50% das gemas atingiram o estágio B (gema inchada, ponta de prateada) antes do que no primeiro ciclo produtivo. As temperaturas altas na segunda metade de julho (variando entre 25 °C e 30 °C) (Figura 5) e na primeira metade de agosto foram um sinal para a planta de que a dormência estava no final e isso fez com que a gema inchasse e por consequência foi realizada a aplicação dos indutores de brotação mais cedo.

De acordo com Botelho (2006), a exigência em frio da macieira 'Castel Gala' é de 400 HFs. A aplicação no primeiro ciclo produtivo foi realizada quando se tinha

acumulado 275 HFs de frio (68,75% das exigências), enquanto no segundo ciclo tinha-se acumulado 193 HFs (48,25% das exigências). Malagi et al. (2015) salientam que as gemas somente respondem bem à aplicação de indutores de brotação quando se tem 2/3 da exigência em frio acumulada através do frio hibernar. Isso explica as grandes diferenças nos resultados de um ciclo para outro. No primeiro ciclo, havia um acúmulo correspondente a 66,6% (2/3) da necessidade em frio da cultivar e, portanto, houve maior efeito da aplicação dos indutores de brotação. Salienta-se que no segundo ciclo produtivo, muito possivelmente devido aos dias quentes na segunda metade de julho e na primeira semana de agosto, as gemas já estavam inchadas (estádio B) na segunda semana de agosto. Sendo assim foi realizada a aplicação dos indutores de brotação, indo ao encontro de Hawerroth et al. (2010), que salienta que quando 50% das gemas atingem o estágio fenológico B deve ser feita a aplicação dos indutores, independente da quantidade de frio acumulado.

O longo período de floração no segundo ano é resultado do baixo acúmulo de frio. Conforme El-Yaacoubi et al. (2016), o tempo de duração no período da floração é completamente dependente do acúmulo de frio no inverno. Esses autores analisaram, em estudos com macieiras, respostas em condições de maior acúmulo de frio (França) e em condições de menor acúmulo de frio hibernar (Brasil e Marrocos). El-Yaacoubi et al. (2016) constaram que em condições de maior acúmulo o período entre estádios na floração (F-F2) e (F2-G) teve intervalos de dois dias, enquanto em condições de menor acúmulo de frio esse intervalo chegou a 15 dias. No presente estudo, no segundo ciclo produtivo, em alguns tratamentos foram observados intervalos com mais de 20 dias, entre estádios na floração, o que dificulta o manejo das plantas, ocasionando posteriormente frutos em diferentes estádios de desenvolvimento na planta.

Não foram observados durante o mês de setembro no ciclo 2020/2021 temperaturas superiores a 30 °C sendo que a temperatura máxima não superou os 20 °C na maioria dos dias. No ciclo produtivo 2019/2020 houve dias de baixa temperatura em setembro, porém mais de uma vez a temperatura máxima superou os 30 °C. Após a aplicação dos indutores de brotação no segundo ciclo a

temperatura máxima diminuiu, este fato pode também ter colaborado para um período de floração maior.

Com o presente estudo se fortalece a hipótese de que indutores de brotação não influenciam diretamente na frutificação efetiva, concordando com Hawerroth et al. (2009), que, em estudos sobre a influência de indutores de brotação em macieiras 'Imperial Gala', não encontraram diferenças significativas na frutificação efetiva entre o tratamento controle (sem aplicação de indutores) e tratamentos à base de cianamida hidrogenada. De acordo Hawerroth et al. (2009), para se ter altos valores de frutificação efetiva é preciso que se tenha boa polinização, isso depende da sincronização da floração entre a cultivar produtora e a cultivar polinizadora. O arranjo dessas cultivares e atuação do principal agente polinizador em macieira que é a abelha (*Apis mellifera* L.). A abelha tem sua atividade dependente de vários fatores, entre eles fatores climáticos. Diante disso, a mais hipótese mais provável que se chega, é de que a aplicação de indutores de brotação não exerce influência direta nos valores de frutificação efetiva, influenciando indiretamente na sincronização de épocas de floração.

Os maiores percentuais de brotação de estacas de porções basais e medianas do ramo em relação a estacas de porções terminais no método biológico da gema única, pode ser explicada com base no relatado por Hawerroth et al. (2013), que no ramo de macieira existe um gradiente de brotação, gemas terminais brotam antes de gemas da porção mediana e basal. Além disso, esses autores ainda destacam que na macieira, principalmente em condições de inverno ameno observa-se forte dominância apical, fazendo com que se reduza a brotação ao longo do ramo, pois as gemas terminais brotam primeiramente, inibindo a brotação das gemas das porções inferiores ainda dormentes. Ao se realizar o método biológico da gema única e segmentar o ramo, a dominância apical é removida, fazendo inclusive com que gemas das porções inferiores do ramo apresentassem maior percentual de brotação, fato esse que não ocorreu em condições de campo.

O fato de os percentuais de brotação no método biológico não refletirem os resultados do experimento a campo, deixa claro que o método biológico é muito eficiente no estudo de dominância apical, gradiente de dormência ao longo do ramo e estudos ecofisiológicos relacionados às fases da dormência. Porém, para estudos

relacionados à eficiência de indutores de brotação, o método é ineficiente, pois os resultados encontrados no mesmo não traduzem a realidade dos resultados encontrados no campo. Isso se dá principalmente em função da inibição correlativa, também conhecida como paradormência. De acordo com Pola et al. (2019), a paradormência é quando a gema não brota devido a presença de folhas ou outras gemas no ramo (dominância apical). No teste de gema única retiram-se todas as inibições correlativas, tornando as condições completamente diferentes das encontradas no campo, sendo assim é plausível que se encontre através do teste de gema única resultados diferentes dos encontrados no campo, pois no campo existe a influência das inibições correlativas.

Conforme Malagi et al. (2015), o método da gema única tem como principal característica avaliar a dinâmica da dormência, ou seja, avaliar a profundidade da mesma, tempo médio para atingir determinado estágio fenológico, velocidade de brotação e gradientes de dormência ao longo do ramo. Sendo assim, não se aplica a utilização desse método para avaliar o desempenho dos indutores de brotação, no tocante à eficiência dos mesmos através do percentual de brotação e percentual de brotação de gemas mistas.

Gemas terminais apresentaram maiores tendências de serem mistas, e isso é comum em macieiras, pois de acordo com Anzanello et al. (2014), as gemas mistas se concentram na porção terminal do ramo, portanto é normal que a floração ocorra principalmente na porção terminal do ramo e conforme vai descendo para base do ramo a aumenta a predominância de gemas vegetativas, corroborando com os resultados do presente estudo.

O motivo do tratamento Dormex® 2% + óleo mineral 3% apresentar menor TMB e menor TMFA, pode ser explicado com base no trabalho de Pérez e Lira (2005), que descrevem a cianamida como um indutor de brotação muito reativo, sendo que logo após a aplicação, o mesmo atua inibindo a enzima antioxidante catalase e favorecendo o acúmulo de peróxido de hidrogênio (H_2O_2), sendo esses os processos fisiológicos que desencadeiam a indução da brotação e o fim do estágio de dormência. Portanto, doses maiores de Dormex® tendem a gerar uma reação ainda maior e mais intensa, sendo a hipótese mais provável para o indutor de

brotação Dormex® 2% + óleo mineral 3% apresentar um TMB muito inferior em comparação aos demais indutores.

O TMB tende a ser menor em gemas da porção terminal do ramo e vai aumentando conforme vai decrescendo a posição do ramo, sendo maior em gemas da porção basal. De acordo com Anzanello et al. (2014), gemas mistas tendem a ser mais precoces que gemas vegetativas. No presente estudo ocorreu uma maior quantidade de gemas mistas na porção terminal do ramo, sendo assim, justifica-se então o menor TMB em gemas terminais.

Analisando o trabalho como um todo, percebe-se que o indutor de brotação Erger® 7% + nitrato de cálcio 5% em macieiras 'Castel Gala' entre os indutores alternativos testados é o que apresenta maior potencial, porque esse foi o tratamento alternativo que mais se aproximou do tratamento Dormex® 1% + óleo mineral 3%, que esteve entre os resultados mais altos. Além disso, ficou nítido o quão forte é a questão da dominância apical em ramos de macieira 'Castel Gala' e a predominância de gemas mistas na porção terminal do ramo.

3.5 Conclusões

- O tratamento Dormex® 1% + óleo mineral 3% induz os maiores percentuais de brotação e floração em macieiras 'Castel Gala'.
- O indutor de brotação Erger® 7% + nitrato de cálcio 5% foi o indutor alternativo de melhor desempenho na brotação e floração em macieiras 'Castel Gala'.
- O indutor de brotação extrato de alho apresenta baixa eficiência na brotação de macieiras 'Castel Gala'.
- O método biológico de gema única não é adequado para teste de eficiência de indutores de brotação.

4 Capítulo III – Modelos estimadores de acúmulo de frio aplicados em macieiras cultivadas em região de inverno ameno

4.1 Introdução

As fruteiras de clima temperado, incluindo a macieira (*Malus domestica* Borkh.), ao longo de seu ciclo de desenvolvimento apresentam um período de dormência, que é um mecanismo adaptativo, para sobreviver às baixas temperaturas do inverno (PERTILLE et al., 2019). Durante a dormência, a planta diminui seu metabolismo e cessa o crescimento de seus órgãos (SANTOS et al., 2020). O período de dormência é dividido em três fases: paradormência, endodormência e ecodormência (LANG et al., 1987). A fase de endodormência é considerada a mais importante, pois essa fase necessita de acúmulo de frio, que nada mais é do que a quantidade de frio que cada planta precisa para suprir as suas necessidades fisiológicas e, posteriormente, na primavera apresentar brotação e floração abundante (LANG et al., 1987; PERTILLE et al., 2019).

A oferta de frio varia de acordo com a região e o ano, bem como a necessidade em frio varia de acordo com a espécie e a cultivar. Para estimar a oferta de frio de uma região e o acúmulo de frio necessário para uma fruteira de clima temperado superar o período de dormência foram elaborados os denominados modelos estimadores (MILECH et al., 2018). Os modelos estimadores, basicamente relacionam as características do clima de determinada região com as exigências em frio de determinada cultivar, e assim, se tem a viabilidade de implantação da cultivar em questão na região (FELIPPETO et al., 2013; MELKE, 2015).

O modelo mais utilizado no Brasil para quantificar o acúmulo de frio é o elaborado por Weinberger (1950), que contabiliza todas as temperaturas abaixo de 7,2 °C (FENILI et al., 2016). Com o passar dos anos outros modelos estimadores foram surgindo e sendo utilizados pelos setores envolvidos na fruticultura, como por exemplo, o modelo Utah elaborado por Richardson et al. (1974) e o modelo Carolina do Norte desenvolvido por Shaltout e Unrath (1983). Porém, esses modelos estimadores foram desenvolvidos no hemisfério norte, tendo como base dados de fruteiras adaptadas às condições de clima local, que são muito diferentes das

encontradas no sul do Brasil (FENILI et al., 2016). De acordo com Luedeling (2012), os modelos estimadores para acúmulo de frio não possuem uma utilização global e são aplicáveis na região em que os mesmos foram elaborados ou em regiões de clima semelhante. Nesse sentido, Cardoso et al. (2015) citam que nas regiões onde os principais modelos estimadores foram desenvolvidos, ou seja, no hemisfério norte, o inverno apresenta maior oferta de frio e maior uniformidade de temperatura. Diferentemente, na região Sul do Brasil ocorrem oscilações térmicas que são comuns, tornando-se necessários estudos de modelos estimadores aplicáveis nas condições da referida região brasileira.

De acordo com Luedeling (2012), outro fator importante é o quão realista é esse modelo, ou seja, o quanto esse modelo consegue relacionar a variável climática com as respostas da cultura em estudo. Por exemplo, alguns estudos referem que temperaturas de congelamento não são eficientes na superação da dormência em muitas fruteiras de clima temperado, porém muitos modelos estimadores contabilizam temperaturas de congelamento como eficientes. Fernandez et al. (2020) citam que devido à alta variação na eficiência dos modelos estimadores de acúmulo de frio, os mesmos devem ser estudados por região e também por espécie e cultivar, pois, a utilização de um modelo indevido pode resultar em tomadas de decisões incorretas como, por exemplo, escolha equivocada de cultivares.

Lamela et al. (2020) citam que para regiões onde o acúmulo de frio é menor estão sendo utilizados modelos alternativos que são variações do modelo Utah como, por exemplo, o modelo Low chill elaborado por Gilreath e Buchanan (1981), Taiwan low chill elaborado por Ou e Chen (2000) e Daily positive Utah chill unit (PCU) elaborado por Linsley-Noakes et al. (1994). Além desses modelos citados anteriormente, é possível encontrar modelos elaborados e adaptados para as condições do sul do Brasil, como por exemplo, o modelo Utah Modificado proposto por Lamela et al. (2020) para a cultura da videira, os modelos estimadores elaborados por Chavarria et al. (2009) para a cultura do pessegueiro e o modelo Carolina do Norte Modificado desenvolvido por Ebert et al. (1986) utilizado em muitas fruteiras de clima temperado, destacando a macieira. Cabe à pesquisa estudar a eficiência desses diferentes modelos estimadores em culturas como, por exemplo, a macieira quando cultivada em condições de inverno ameno, onde há baixo acúmulo de frio, estimado pelos métodos tradicionais, e comparar a eficiência

de modelos alternativos com a eficiência dos modelos mais conhecidos como, por exemplo, $HF < 7,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ de Weinberger (1950).

Objetivou-se avaliar através de dados meteorológicos e fenológicos, a eficiência de oito diferentes modelos estimadores de acúmulo de frio para cinco cultivares de macieira, cultivadas sobre dois diferentes porta-enxertos em região de inverno ameno no Brasil.

4.2 Material e métodos

4.2.1 Localização e clima

O estudo foi realizado no município de Caçador, estado de Santa Catarina, Brasil, localizado na região meio oeste catarinense, coordenadas geográficas ($26^{\circ}50'S$, $50^{\circ}58'O$) e 960 metros de altitude. O clima é classificado como Cfb - temperado úmido, com verões amenos, de acordo com classificação de Köppen. As médias anuais são: temperatura $16,6\text{ }^{\circ}\text{C}$; pluviosidade 1653 mm; umidade relativa do ar 79%; horas de frio $< 7,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 550 HF's, conforme dados disponibilizados pelo CIRAM/EPAGRI.

4.2.2 Dados meteorológicos e fenológicos

Os dados meteorológicos e fenológicos utilizados nesse estudo foram obtidos e fornecidos pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), estação experimental de Caçador (SC), oriundos de uma estação meteorológica e de um pomar de macieiras pertencentes a essa estação experimental.

Foram utilizados dados de nove anos, de 2009 a 2019 (exceto 2015 e 2017, devidos a problemas na estação meteorológica) tomando-se as temperaturas horárias, entre 01 de abril e 30 de agosto de cada ano.

4.2.3 Contabilização do acúmulo de frio através dos modelos estimadores

Após ter os dados meteorológicos e fenológicos calculou-se o acúmulo de frio para cada ano, de acordo com os modelos: Utah, Utah Modificado, $HF < 7,2\text{ }^{\circ}\text{C}$,

HF<10 °C, HF<15 °C, Low chill, Taiwan low chill e Daily positive Utah chill unit (PCU) (Tabela 5).

Um segundo cálculo foi realizado através de cada um dos modelos estimadores para as diferentes cultivares de macieira, entre o dia 01 de abril de cada ano e o dia anterior à data do início de brotação. Foram utilizados os dados fenológicos dos anos (2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2016, 2018 e 2019) de cinco diferentes cultivares de macieira: 'Imperatriz', 'Fred Hough', 'Baronesa', 'Fuji Suprema' e 'Lisgala'. Gabardo et al. (2016) descrevem as macieiras 'Imperatriz' e 'Fred Hough' como de média exigência em frio (300 – 600 HF<7,2 °C) e as macieiras 'Baronesa', 'Fuji Suprema' e 'Lisgala' como de alta exigência em frio (acima de 600 HF<7,2°C). Avaliou-se também a quantidade de acúmulo de frio para que cada cultivar necessitou para superar o período de dormência, em dois diferentes porta-enxertos ('M-26' e 'M-9').

Para o cálculo de acúmulo de frio requerido para as cultivares superarem a dormência, considerou-se como início de brotação o critério utilizado por Fenili et al. (2018), onde os autores atribuíram como início da brotação quando 50% das gemas de uma cultivar entraram no estágio fenológico (C-C₃) conhecido como ponta verde. Sendo assim, contabilizou-se o acúmulo de frio obtido até às 23h59min do dia anterior a que 50% das gemas entraram no estágio fenológico de ponta verde, posteriormente através de cada modelo contabilizou-se o requerimento em frio para cada cultivar.

Tabela 5 – Descrição dos modelos estimadores de acúmulo de frio estudados.

Modelos	Unidade de frio							Referência
	0,0	0,5	1,0	0,5	0,0	-0,5	-1,0	
Utah	<1,4	1,5~2,4	2,5~9,1	9,2~12,4	12,5~15,9	16,0~18,0	>18,0	Richardson (1974)
Utah Modificado	<1,4	1,5~2,4	2,5~9,1	9,2~12,4	>12,5			Lamela et al. (2020)
HF<7,2 °C	>7,2		<7,2					Weinberger (1950)
HF<10 °C	>10,0		<10,0					Chavarria et al. (2009)
HF<15 °C	>15,0		<15,0					Chavarria et al. (2009)
Low chill	<-1,0	1,8~7,9	8,0~13,9	14,0~16,9	17,0~19,4	19,5~20,4	>20,5	Gilreath e Buchanan (1981)
Taiwan low chill			<7,2	7,3~15,0	15,1~26,6	26,7~27,8	>27,8	Ou e Chen (2000)
Daily positive Utah chill unit (PCU)	O cálculo é feito utilizando o modelo de Utah, ao longo das 24 horas diárias, calculando o $\sum$ das unidades de frio. $\sum$ (24 h) negativo, acumula-se 0. $\sum$ (24h) positivo, adiciona-se as unidades de frio ao total já acumulado							Linsley-Noakes et al. (1994)

4.2.4 Análise da eficiência dos modelos estimadores

A precisão dos modelos estimadores foi medida através do coeficiente de variação [(desvio padrão/média) x 100]. Foi considerado adequado o modelo que apresentou coeficiente de variação abaixo de 15%. Esse limite foi estabelecido, pois conforme Pontelli e Mucheroni (2009) esse valor de coeficiente de variação de 15% seria um limite máximo tolerado em estudos a campo.

Os cálculos de acúmulo de frio para todos os modelos estimadores foram realizados por meio do software Microsoft Excel®, no qual se calculou a média e o coeficiente de variação dos resultados dos modelos estimadores referentes ao acúmulo de frio no período de abril a agosto e também do acúmulo necessário para cada cultivar superar o período de dormência.

4.3 Resultados

4.3.1 Eficiência dos modelos estimadores no acúmulo de frio anual (abril/agosto)

No período abril/agosto (acúmulo de frio anual) os modelos estimadores que apresentaram menores resultados de coeficiente de variação (abaixo de 15%)

referentes ao acúmulo de frio nos nove anos estudados foram: HF<15 °C (8,65%), Taiwan low chill (10,43%), Low chill (11,03%) e Utah Modificado (12,82%). Esses modelos estimadores citados foram os que apresentaram maior eficiência ao longo do período de estudo (Tabela 6).

O modelo Utah, foi o que apresentou as maiores variações nos resultados de acúmulo de frio anual (Tabela 6), apresentando nos nove anos analisados coeficiente de variação de 776,42%, indicando ser um modelo inadequado para ser utilizado em regiões de inverno ameno.

O modelo HF<7,2 °C foi o segundo modelo que apresentou maior coeficiente de variação (28,40%) na análise de acúmulo de frio anual (Tabela 6). Isso indica que mesmo sendo o modelo mais utilizado para contabilizar acúmulo de frio, esse não é tão confiável, pois é inconstante, conforme indicado pelo coeficiente de variação.

Tabela 6 – Acúmulo de frio anual (01 de abril/31 de agosto) de 2009 a 2019, estimado através de oito modelos estimadores, no município de Caçador (SC), Brasil.

Ano	Utah	Utah Modificado	HF<7,2 °C	HF<10 °C	HF<15 °C	Low chill	Taiwan low chill	Daily positive Utah chill unit (PCU)
2009	185	1036,5	463	927	2364	1600,5	1409,5	647,5
2010	232	1078,5	382	861	2372	1736	1340,5	770
2011	104,5	955	533	909	2300	1484,5	1402,5	708
2012	247	934	279	727	2119	1576	1197,5	590
2013	142	1021,5	529	925	2264	1515,5	1391	616
2014	-107	832,5	286	633	2184	1608,5	1240,5	542,5
2016	161,5	1088	543	969	2244	1386,5	1305,5	850
2018	-109	950	454	821	2092	1260,5	1256,5	645,5
2019	-570,5	681,5	218	523	1718	1200,5	959,5	381
Média	31,72	953	409	810	2184	1485	1278	638
C.V. (%)	776,42	12,82	28,40	17,70	8,65	11,03	10,43	19,89

4.3.2 Influência do porta-enxerto nas exigências de acúmulo de frio

Quando se analisa o fator porta-enxerto não foi observada diferença na eficiência dos modelos entre porta-enxertos, uma vez que ao analisar a eficiência de determinado modelo em uma cultivar enxertada sobre 'M-26' percebe-se que o mesmo apresentou eficiência de resultados muito semelhante ao ser aplicado nessa mesma cultivar quando enxertada sobre 'M-9' (Tabelas 7 e 8).

É possível perceber que o porta-enxerto não interfere na questão referente ao modelo que melhor se ajusta para determinada cultivar, pois os modelos estimadores que melhor se ajustaram em determinada cultivar enxertada sobre 'M-26' foram os mesmos para essa cultivar enxertada sobre 'M-9' (Tabelas 7 e 8).

Tabela 7 – Acúmulo de frio requerido pelas macieiras 'Baronesa', 'Imperatriz', 'Fuji Suprema', 'Fred Hough' e 'Lisgala' enxertadas sobre o porta-enxerto 'M-26' calculado por oito modelos estimadores.

Modelo	Parâmetro	Cultivar				
		Baronesa	Imperatriz	Fuji Suprema	Fred Hough	Lisgala
Utah	Média	-9,67	-15,88	-24,83	-21,61	-44,33
	C.V (%)	-3012,2	-1800,5	-1173,9	-1329,5	-642,1
Utah Modificado	Média	1010	1012	1036	1024	1041
	C.V (%)	13,14	11,29	13,63	12,11	13,02
HF<7,2 °C	Média	424	420	431	424	429
	C.V (%)	30,81	30,08	31,69	30,76	31,79
HF<10 °C	Média	849	849	865	857	867
	C.V (%)	18,91	17,36	19,66	18,15	19,09
HF<15 °C	Média	2355	2367	2438	2396	2451
	C.V (%)	8,79	7,5	9,5	8,02	8,27
Low chill	Média	1598	1609	1663	1628	1664
	C.V (%)	9	8,27	9,97	8,4	8,41
Taiwan low chill	Média	1362	1365	1405	1381	1410
	C.V (%)	12,26	11,14	12,84	11,59	11,61
Daily positive Utah chill unit (PCU)	Média	654	660	676	664	671
	C.V (%)	20,52	19,09	21,17	20,39	21,36

*Acúmulo de frio calculado através de cada modelo no período de 01 de abril até o início de brotação de cada cultivar.

Tabela 8 – Acúmulo de frio requerido pelas macieiras ‘Baronesa’, ‘Imperatriz’, ‘Fuji Suprema’, ‘Fred Hough’ e ‘Lisgala’ enxertadas sobre o porta-enxerto ‘M-9’ calculado por oito modelos estimadores.

Modelo	Parâmetro	Cultivar				
		Baronesa	Imperatriz	Fuji Suprema	Fred Hough	Lisgala
Utah	Média	-8,89	-15,3	-26,7	-21,6	-44,89
	C.V (%)	-3280	-1866,9	-1088,3	-1329,5	-635
Utah Modificado	Média	1012	1012	1034	1024	1042
	C.V (%)	13,26	11,25	13,9	12,11	12,93
HF<7,2 °C	Média	424	420	430	424	429
	C.V (%)	30,81	30,08	31,9	30,76	31,79
HF<10 °C	Média	851	849	864	857	867,67
	C.V (%)	19,06	17,36	19,85	18,16	19,03
HF<15 °C	Média	2364	2365	2435	2396	2454
	C.V (%)	9,27	7,41	9,49	8,03	8,23
Low chill	Média	1606	1606	1659	1629	1666
	C.V (%)	9,51	8,13	9,88	8,4	8,47
Taiwan low chill	Média	1366	1365	1403	1381	1411
	C.V (%)	12,67	11,05	12,89	11,6	11,56
Daily positive Utah chill unit (PCU)	Média	668	661	676	667	679
	C.V (%)	20,36	18,09	20,78	19,25	20,5

*Acúmulo de frio calculado através de cada modelo no período de 01 de abril até o início de brotação de cada cultivar.

4.3.3 Eficiência dos modelos estimadores nas exigências de acúmulo de frio das cultivares de macieira

Em todas as cultivares, independente do porta-enxerto utilizado, a ordem dos modelos estimadores que melhor se ajustaram com base no coeficiente de variação foi igual (Tabelas 7 e 8). HF<15 °C foi o modelo que apresentou menor variação em todas as cultivares (CV% variando entre 7,41 e 9,50); seguido por Low chill (CV% variando entre 8,13 e 9,97); Taiwan low chill (CV% variando entre 11,05 e 12,89) e Utah Modificado (CV% variando entre 11,25 e 13,90).

O modelo Utah apresentou a maior variação em todas as cultivares (Tabelas 7 e 8), não se mostrando um modelo confiável, bem como o modelo HF<7,2 °C que apesar de apresentar uma variação bem inferior ao modelo Utah em todas as cultivares, esteve com o coeficiente de variação acima de 30%, não se mostrando

um modelo confiável. Os modelos estimadores PCU e $HF < 10,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ apresentaram resultados intermediários em todas as cultivares analisadas e também na análise do acúmulo de frio no período abril/agosto.

4.4 Discussão

O modelo $HF < 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ apresentou o menor coeficiente de variação tanto para o acúmulo de frio anual, quanto para acúmulo de frio exigido para as cultivares superarem a dormência. Porém, esse modelo apresenta uma limitação que é o fato desse não trabalhar com faixas de temperatura, ou seja, abaixo de $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ toda temperatura tem o mesmo peso no somatório do acúmulo de frio. Isso faz com que o modelo divirja bastante dos outros modelos que apresentaram bom desempenho. O coeficiente de variação é um parâmetro utilizado por muitos autores para identificar o modelo que melhor se adapta à dada região ou cultivar em estudo (MILECH et al., 2018; LAMELA et al., 2020). De acordo com Erez (2000), baixas temperaturas apresentam eficiência distinta no acúmulo de frio, por exemplo, temperaturas próximas a $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ não apresentam a mesma eficiência de temperaturas próximas a $6\text{ }^{\circ}\text{C}$, portanto além da quantidade de frio deve se analisar a qualidade do frio.

Modelos simplistas como $HF < 7,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, $HF < 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $HF < 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ tendem a serem os preferidos pelo setor produtivo devido à facilidade de cálculo e interpretação dos mesmos (LUEDELING, 2012). Porém esses modelos além de não considerarem a qualidade do frio, os mesmos não consideram o efeito de altas temperaturas. De acordo com Botelho et al. (2006), temperaturas altas resultam em efeitos negativos sobre o acúmulo de frio, portanto um modelo que englobe a ação negativa dessas altas temperaturas no cálculo, tende a ser mais realista.

O modelo $HF < 15\text{ }^{\circ}\text{C}$, foi desenvolvido por Chavarria et al. (2009), para a cultura do pessegueiro. De acordo com Falavigna et al. (2014) a dormência na macieira apresenta diferenças em relação à cultura do pessegueiro. O processo de dormência na macieira é regulado basicamente por baixas temperaturas, enquanto no pessegueiro o processo de dormência é induzido pela curta duração do dia e intensificado pelas baixas temperaturas e, além disso, normalmente as cultivares de macieira necessitam de maior acúmulo de frio. Portanto deve se ter muita cautela em indicar a utilização do modelo $HF < 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ em macieiras, pois esse apresenta baixo coeficiente de variação, ajustando-se bem às condições de clima inverno

ameno como a de Caçador (SC), porém, este modelo considera que uma temperatura de 14,5 °C apresenta a mesma eficiência no somatório para acúmulo de frio que uma temperatura de 6,0 °C, o que é um tanto quanto discutível com base no que já foi citado anteriormente. Nesse sentido, recomenda-se a continuidade na coleta de informações e também verificar o seu desempenho em outras condições antes de recomendá-lo para utilização pelo setor produtivo.

O modelo Taiwan low chill, apresentou o segundo menor coeficiente de variação na avaliação do acúmulo de frio anual e o terceiro menor coeficiente de variação no acúmulo de frio para as cultivares superarem o período de dormência, apresenta características interessantes como contabilização de unidades de frio de acordo com a faixa de temperatura no somatório do acúmulo de frio e contabilização do efeito negativo de altas temperaturas. De acordo com Pertille et al. (2019), o modelo Taiwan low chill foi desenvolvido para ser aplicado em regiões mais quentes, não sendo aplicado em regiões de clima tipicamente temperado. Como Caçador (SC) está na região meio oeste catarinense (uma das principais produtoras de maçãs em SC) e não apresenta um clima tipicamente temperado, esse modelo acaba se ajustando bem às condições de clima local. Ainda conforme Pertille et al. (2019), esse modelo foi desenvolvido tendo como cultura de referência o pessegueiro, assim como modelo HF<15 °C, porém o Taiwan low chill tem critérios mais rígidos, pois o mesmo analisa a qualidade do frio.

Em Pelotas (RS), região que apresenta acúmulo de frio aproximadamente 40% menor em relação à Caçador (SC), Milech et al. (2018) ao estudarem a precisão de diferentes modelos estimadores apontaram o Taiwan low chill como um dos modelos estimadores que apresenta melhor uso devido à precisão dos resultados, mostrando que esse modelo pode se ajustar bem às condições de clima do sul do Brasil. Além do Taiwan low chill, Milech et al. (2018) apontam o modelo Low chill, como outro que se ajusta bem às condições de clima de Pelotas (RS), a exemplo do que aconteceu no estudo citado, o modelo também apresenta bom desempenho nas condições do presente estudo.

O modelo Low chill apresentou o segundo menor coeficiente de variação na avaliação de acúmulo de frio para as cultivares brotarem e o terceiro menor coeficiente de variação na avaliação de acúmulo de frio anual, porém a diferença dele para o menor coeficiente de variação anual é pequena (inferior a 2,5%). De acordo com Pertille et al. (2019), o modelo Low chill foi desenvolvido para utilização

em regiões de inverno ameno, onde o acúmulo de frio é menor, tendo como base a cultura da nectarineira. Apesar de não ter sido desenvolvido para a macieira, o modelo se ajustou bem às condições de inverno ameno como a de Caçador (SC) e as cultivares de macieiras estudadas. Este modelo demonstrou ser bem interessante, uma vez que utiliza faixas de qualidade de temperatura (analisando a qualidade do frio) e também nele é englobado o efeito de altas temperaturas, começando a contabilizar negativamente temperaturas acima de 19,5 °C.

O modelo Utah apresentou o pior desempenho na questão relacionada ao coeficiente de variação, indicando ser ineficiente para as condições do presente estudo. Além disso, em três anos o modelo registrou acúmulo negativo de frio. Luedeling (2012) descreve o modelo Utah como instável e que apresenta muitas variações nos resultados, sendo indicado estritamente para regiões de clima temperado, não apresentando bom desempenho em regiões de maior heterogeneidade de temperatura. Portanto, em regiões como a de Caçador (SC), onde não se tem um clima tipicamente temperado, existindo maior heterogeneidade de temperatura, com a ocorrência de variações das temperaturas durante o inverno, o modelo Utah se mostra ineficiente devido à sua ineficiência.

O modelo $HF < 7,2$ °C, que é o modelo mais utilizado para avaliação do acúmulo de frio no Brasil, só não apresentou maior coeficiente de variação que o modelo Utah, sendo também considerado inconsistente. Pertille et al. (2019) citam que o modelo $HF < 7,2$ °C se difundiu muito no setor produtivo devido à facilidade de cálculo do mesmo e também de entendimento dos resultados. Conforme Minuzzi (2018), o referido modelo foi desenvolvido em regiões do hemisfério norte com clima tipicamente temperado, havendo uma maior ocorrência de baixas temperaturas (abaixo 7,2 °C). De acordo com Botelho et al. (2006), existem modelos estimadores mais abrangentes que apresentam maior precisão do que o $HF < 7,2$ °C para serem utilizados em regiões de inverno ameno. Conforme esses autores, um modelo adequado para regiões de inverno ameno deve contabilizar o acúmulo de frio em uma faixa acima dos 7,2 °C e considerar o efeito negativo de temperaturas mais altas, que comumente ocorrem no inverno.

Os modelos estimadores PCU e $HF < 10$ °C apresentaram coeficiente de variação intermediário, tanto para o acúmulo de frio anual, quanto para acúmulo de frio para as cultivares superarem o período de dormência. Portanto, não se justifica a aplicação dos mesmos nas condições do presente estudo, visto que tem outros

modelos estimadores menos variáveis. O modelo Utah Modificado apresentou um coeficiente de variação inferior a 15%, sendo sempre o quarto modelo que apresentou menor coeficiente de variação. Porém esse modelo apresenta uma desvantagem em relação aos modelos estimadores Low chill e Taiwan low chill, pois o mesmo não contabiliza o efeito negativo de temperaturas altas que são prejudiciais à planta que está dormente.

De acordo com Cardoso et al. (2015), as oscilações de temperatura durante o período de dormência com a exposição da planta a altas temperaturas traz prejuízos ao repouso hibernar das mesmas. Esta adversidade faz com que não ocorra uma dormência profunda, acarretando em um aumento no tempo médio de brotação das gemas, além de prejudicar a qualidade da brotação, pois a condição ideal para haver plena floração e brotação é a exposição contínua a baixas temperaturas. Diante disso, percebe-se que a utilização de modelos estimadores com o Utah Modificado, proposto por Lamela et al. (2020) é menos interessante, pois esse modelo não contabiliza negativamente a exposição a temperaturas acima de 22°C, por exemplo, diferentemente dos modelos estimadores Low chill e Taiwan low chill.

Guak e Nielsen (2013) citam que a faixa de temperatura mais eficiente no acúmulo de frio para superação da dormência em macieira 'Gala' está entre -2 °C e 5,5 °C. Ao analisar nesse sentido, percebe-se que o Taiwan low chill apresenta vantagens em relação ao Low chill, pois o modelo Low chill não contabiliza temperaturas abaixo de -1,0 °C que de acordo com Guak e Nielsen (2013) são eficientes na superação da dormência. Além disso, a faixa de temperatura que contém maior peso no somatório de frio no modelo Low chill está entre 8 °C e 13,9 °C, enquanto no Taiwan low chill qualquer temperatura abaixo de 7,2 °C soma uma unidade de resfriamento no somatório. Portanto, o modelo Taiwan low chill apresenta uma melhor correlação com a melhor faixa de temperatura para a dormência da macieira 'Gala' relatada por Guak e Nielsen (2013).

Cultivares de macieira apresentam exigências diferentes de acúmulo de frio. De acordo com Fernandez et al. (2020) a eficiência de um modelo tende a variar de acordo com a região e com a cultivar. No entanto, Naor et al. (2003) descrevem a macieira como uma fruteira de clima temperado que responde muito bem a temperaturas baixas (próximas a 0 °C) na superação da dormência. Este fato reforça então, que as faixas de temperatura utilizadas no Taiwan low chill podem estar mais de acordo com o que se verifica no pomar ao comparar com modelo Low Chill.

Os modelos estimadores apresentaram a mesma ordem de precisão de acordo com o coeficiente de variação, independente da cultivar. É interessante salientar que os modelos estimadores apresentaram coeficiente de variação semelhante entre cultivares de média exigência em frio ('Imperatriz' e 'Fred Hough') e cultivares de alta exigência em frio ('Lisgala', 'Baronesa' e 'Fuji Suprema'). O presente trabalho não analisou as respostas de cultivares que necessitam de baixo acúmulo de frio, porém, em uma mesma região, um modelo que se mostra preciso para uma cultivar de média exigência em frio, potencialmente será eficiente para uma cultivar de baixa exigência em frio.

O presente estudo teve como foco a precisão de modelos estimadores para acúmulo de frio, porém Putti et al. (2006) citam que após as cultivares terem as exigências em frio atendidas, as mesmas necessitam de exposição a temperaturas altas, existindo modelos estimadores para medir a soma térmica. Através dos modelos estimadores de soma térmica, consegue-se fazer a previsão de estádios fenológicos como início de floração, final de floração e colheita. As cultivares possuem distintas exigências de soma térmica, portanto, salienta-se que existem dois grupos de modelos, que se complementam (PUTTI et al. 2006). No presente estudo foi abordado somente o primeiro grupo (modelos estimadores para acúmulo de frio), após as cultivares atingirem o acúmulo de frio indicado pelo modelo escolhido deve-se começar a contabilizar a soma térmica através de modelos do segundo grupo, indicados para essa finalidade.

Alguns estudos com fruteiras de clima temperado, como, por exemplo, o realizado por Yamamoto et al. (2015) com pereira europeia (*Pyrus communis*), comprovam que o porta-enxerto pode ter influência no requerimento de frio da cultivar copa. Esses autores constataram que a brotação da pereira cultivar Packham's Triumph é mais precoce ou tardia em função do requerimento de frio do porta-enxerto na qual a mesma está enxertada. No presente estudo verificou-se que o requerimento em frio para as cultivares de macieiras estudadas foi praticamente o mesmo, independente do porta-enxerto. Portanto conclui-se que os porta-enxertos 'M-26' e 'M-9', ambos ananizantes, apresentam requerimentos em frio semelhantes. Desta maneira, o modelo de acúmulo de frio que for utilizado em uma cultivar copa enxertada sobre 'M-26' pode ser utilizado em 'M-9', sendo a recíproca verdadeira, porém com porta-enxertos vigorosos são necessários novos estudos.

No presente estudo ficou claro que existe uma gama de modelos estimadores com bons ajustes e que podem ser utilizados em macieiras em regiões de inverno ameno, cabe à pesquisa e ao setor produtivo aceitarem esses modelos para avaliação do acúmulo de frio. O presente estudo não abordou todos os modelos existentes, devido à grande gama de alternativas, sendo impossível incluir todos os modelos disponíveis. Salienta-se que existem modelos como, por exemplo, o Carolina do Norte Modificado, que leva em consideração a anulação do efeito das altas temperaturas por período determinado, sugere-se que em estudos futuros esse modelo seja estudado e seus resultados comparados com os que apresentaram coeficiente abaixo de 15% no presente estudo.

4.5 Conclusões

- Os modelos HF<15 °C, Taiwan low chill, Low chill e Utah Modificado são considerados eficientes para avaliação de acúmulo de frio anual e na avaliação de requerimento de acúmulo de frio para as cultivares superarem o período de dormência.
- Os modelos estimadores Utah e HF<7,2 °C apresentam baixa eficiência.

5 Capítulo IV – Eficiência de modelos de soma térmica na previsão de brotação e floração e colheita em macieiras em região de inverno ameno

5.1 Introdução

A macieira (*Malus domestica* Borkh.) é uma frutífera de clima temperado, logo passa por um período de repouso hibernar conhecido como dormência, sendo esse período dividido em três fases: paradormência, endodormência e ecodormência (LANG et al., 1987; PERTILLE et al., 2019). A primeira fase é a paradormência, a qual tem como característica inibições correlativas, em que um determinado órgão impede o crescimento de outro, por exemplo, a gema não brota devido à presença de folhas. Posteriormente, vem a endodormência onde a gema não brota devido a condições fisiológicas internas, que ocorrem em função do balanço hormonal, onde o frio tem efeito importante para a superação desta fase. Finalmente, a ecodormência, na qual a gema começa a acumular calor para sair da dormência e posteriormente atingir os demais estádios fenológicos (LANG et al., 1987; LALANNE-TISNÉ et al., 2017; ANZANELLO E CHRISTO, 2019).

Após superar o período de dormência as plantas começam o desenvolvimento vegetativo e esse ocorre em função da temperatura do ar, onde as plantas precisam atingir determinada soma térmica (medida através do acúmulo de unidades de calor) para ocorrer o desenvolvimento órgãos (SOUZA et al., 2011). Um aspecto que tem sido muito discutido relacionado ao acúmulo térmico requisitado pelas plantas é o fato de como essas vão responder aos aumentos das temperaturas em virtude do aquecimento global, havendo um enfoque muito grande na discussão das respostas das frutíferas de clima temperado ao aumento global de temperatura (RAI et al., 2015; LALANNE-TISNÉ et al., 2017). Acredita-se que esse aquecimento, induzirá a uma endodormência mais longa, porém a uma ecodormência mais curta, pois a elevação das temperaturas tende a fazer com que se consiga atingir mais rapidamente a soma térmica necessária para superar a última fase da dormência (LALANNE-TISNÉ et al., 2017). Porém, essa antecipação referida pode ou não expor as plantas à geadas tardias, sendo através da modelagem a forma mais precisa de se fazer estudos sobre impacto do aumento das temperaturas na fenologia das frutíferas de clima temperado, a fim de preparar o

setor produtivo para eventuais mudanças (RAI et al., 2015; LALANNE-TISNÉ et al., 2017; PERTILLE et al., 2019).

Milech et al. (2018) citam a existência de uma gama de modelos para avaliação do acúmulo de frio e uma grande quantidade de estudos nesse sentido, nos últimos anos. Por outro lado, pesquisas sobre modelos para soma térmica em fruteiras de clima temperado são menos numerosos, sendo utilizados principalmente os modelos GDH base 4,5 °C, elaborado por Richardson et al. (1975), e o modelo de soma térmica GDH elaborado por Anderson et al. (1986). Esses modelos e suas variações são as principais opções para o estudo de soma térmica em macieiras (EL-YAACOUBI et al., 2016; PERTILLE et al., 2019). De acordo com Anzanello e Biasi (2016), é muito importante que sejam realizados vários estudos sobre modelos para acúmulo de unidades de calor. No sentido de determinar temperaturas base e crítica que vão compor esses modelos e o estudo do ajuste dos mesmos, pois as fruteiras de clima temperado possuem alta especificidade e as repostas fenológicas variam conforme cultivar, espécie e clima de cada região.

A principal área produtora de fruteiras de clima temperado no Brasil situa-se abaixo do paralelo 25 °S, justamente nas regiões mais frias do país, porém com o clima mais ameno do que as tradicionais regiões produtoras de frutas de clima temperado no mundo (LAMELA et al., 2020). Há também, variações nas características do clima entre as regiões produtoras de frutas de clima temperado no Brasil, pois se encontram áreas de produção ao nível do mar, bem como a 1400 m de altitude, havendo assim grandes variações na oferta de frio conforme a região (WREGGE et al., 2016). Na grande maioria das regiões produtoras de fruteiras de clima temperado no Brasil, principalmente nas de menor altitude, as temperaturas durante o inverno são irregulares, com pouco frio, fazendo com que as cultivares mais exigentes em frio apresentem problemas de adaptação, manifestando brotações irregulares, conhecidas como “erratismo”, havendo uma evolução anormal da dormência (CARAMORI et al., 2008).

Por outras vezes, após o período de frio, ocorre um período de maior temperatura e depois o frio retorna, e isso é um problema para cultivares que apresentam menor exigência de calor para saírem da ecodormência, pois essas começam o processo de brotação. Porém junto com o retorno do frio, ocorrem as geadas tardias, acarretando grandes perdas nos pomares (CARAMORI, et al., 2008). Essas questões levantadas mostram que em regiões com características de

clima semelhante às do Brasil devem ser intensificados os estudos em modelos, tanto para acúmulo de frio, quanto de soma térmica, para melhor estimar as exigências em frio e calor de cada cultivar, com base na série histórica de determinada região e fazer a análise da viabilidade do cultivo da cultivar desejada.

As temperaturas base e crítica que compõem os modelos para estimar necessidade de calor são a temperatura mínima para que o metabolismo da planta seja acionado (temperatura base), e a temperatura máxima permitida para a planta realizar fotossíntese (temperatura crítica), ou seja, é preciso que a temperatura horária esteja nessa faixa térmica para haver desenvolvimento vegetativo (ANZANELLO e CHRISTO, 2019). Existe também uma forma essa empírica, que se utiliza para estimar a duração dos estádios fenológicos que é através do número de dias. Esse método é mais simplista e possui maior facilidade de cálculo, sendo necessários os dados das datas dos estádios fenológicos dos ciclos anteriores e através da data média em que ocorre cada estágio fenológico se faz a previsão para o ciclo em estudo (ANZANELLO e BIASI, 2016).

A utilização de modelos para prever ocorrência de estádios fenológicos e colheita faz-se cada vez mais necessária, visto que esses modelos podem indicar com antecedência ao produtor a época de fazer determinadas intervenções no manejo do pomar como, por exemplo, aplicações de fungicidas e fitorreguladores, bem como para o planejamento da logística para a colheita e uso de câmaras frias (LYSIAK, 2012; BONORA et al., 2014). A modelagem é uma importante aliada do produtor de frutos, pois com base nas temperaturas ocorrentes no ciclo produtivo e conhecendo as exigências da cultivar, pode-se indicar com alta precisão as tendências fenológicas do ciclo produtivo corrente (DREPPER et al., 2020).

A realização do presente estudo objetivou avaliar a precisão de oito modelos de soma térmica horária e um modelo de dias nos principais estádios fenológicos e também na previsão de colheita em cinco cultivares de macieira, cultivadas em condições de inverno ameno.

5.2 Material e métodos

5.2.1 Localização e clima

O estudo foi realizado no município de Caçador, localizado na região do meio oeste, estado de Santa Catarina, Brasil. Foram utilizados dados meteorológicos disponibilizados pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) e dados fenológicos coletados em um pomar implantado na estação experimental da EPAGRI situada no município de Caçador (SC).

A estação experimental onde foi realizada a pesquisa está situada nas coordenadas geográficas (26°50'S, 50°58'O) e 960 metros de altitude. Conforme a classificação de Köppen, o clima de Caçador (SC) é classificado como Cfb - temperado úmido, com verões amenos. De acordo com dados fornecidos pelo CIRAM/EPAGRI, as médias anuais do clima de Caçador (SC) são: temperatura 16,6 °C; pluviosidade 1653 mm; umidade relativa do ar 79%; horas de frio <7,2 °C 550 HF's.

5.2.2 Cultivares e estádios fenológicos estudados

Foi estudada a precisão de modelos de acúmulo de soma térmica em macieiras 'Imperatriz', 'Fred Hough', 'Baronesa', 'Fuji Suprema' e 'Lisgala' para os estádios fenológicos: início de brotação (C₃), início de floração (F), plena floração (F₂), final de floração (G) até a colheita. Foi contabilizada a quantidade de calor acumulada após as 00h00min do dia 30 de agosto de cada ano até às 23h59min do dia anterior à ocorrência de cada estágio fenológico. Essa data foi definida como um padrão, pois antecede a brotação, sendo hipoteticamente uma data próxima da transição da endodormência para a ecodormência. De acordo com Gabardo et al. (2016), as macieiras 'Imperatriz' e 'Fred Hough' são classificadas como de média exigência em frio (300 – 600 HF<7,2°C), enquanto as macieiras 'Baronesa', 'Fuji Suprema' e 'Lisgala' são classificadas como de alta exigência em frio (acima de 600 HF<7,2 °C).

5.2.3 Modelos de soma térmica e ciclos produtivos estudados

Foi testada a eficiência de nove modelos: GDH base 4,5 °C, GDH base 10,0 °C, GDH base 15,0 °C, GDH (Anderson) base 4,0, GDH (Anderson) base 10,0, GU 4,0/25, GDH 2,5/29, GU 2,5/29 e número de dias, os quais estão detalhados na Tabela 9. O estudo utilizou dados de nove ciclos produtivos: de 2009/2010 até

2019/2020, estando fora do estudo os ciclos produtivos de 2015/2016 e 2017/2018 (devido à problemas na estação meteorológica que disponibilizou os dados de temperatura).

Tabela 9 – Descrição dos modelos estudados.

Modelo	Descrição	Referência
GDH base 4,5 °C	A cada hora que a temperatura estiver abaixo de 4,5 °C não se acrescenta nada; acima dessa temperatura desconta-se 4,5 do valor da temperatura; acima de 25°C considera-se o valor de 25, portanto o máximo que pode ser acumulado é 20,5.	Richardson et al. (1975).
GDH base 10 °C	A cada hora que a temperatura estiver abaixo de 10 °C não se acrescenta nada; acima dessa temperatura desconta-se 10 do valor da temperatura; acima de 25 °C considera-se o valor de 25, portanto o máximo que pode ser acumulado é 15,0.	Adaptado de Richardson et al. (1975).
GDH base 15 °C	A cada hora que a temperatura estiver abaixo de 15 °C não se acrescenta nada; acima dessa temperatura desconta-se 15 do valor da temperatura; acima de 25 °C considera-se o valor de 25, portanto o máximo que pode ser acumulado é 10.	Adaptado de Richardson et al. (1975).
GDH (Anderson) base 4	Obtido através da equação $[(T_c - T_b)/2] * \{1 + \cos[\pi/2 + \pi/2 * (T_h - T_b)/(T_c - T_b)]\}$. Onde: T_c - temperatura crítica (25 °C); T_b - temperatura base (4 °C); T_h - temperatura horária.	Adaptado de Anderson et al. (1986).
GDH (Anderson) base 10	Obtido através da equação $[(T_c - T_b)/2] * \{1 + \cos[\pi/2 + \pi/2 * (T_h - T_b)/(T_c - T_b)]\}$. Onde: T_c - temperatura crítica (25 °C); T_b - temperatura base (10 °C); T_h - temperatura horária.	Adaptado de Anderson et al. (1986).
GU 4,0/25	Considera como eficiente cada vez que a temperatura horária (t_h) esteja entre 4 °C e 25 °C. T_h entre 4 °C e 25 °C = 1 unidade de calor; $T_h < 4$ °C = 0 unidade de calor; $T_h > 25$ °C = 0 unidade de calor.	Modelo elaborado pelos autores utilizando o mesmo modelo de cálculo do modelo de unidades de frio de Weinberger (1950), pois trabalha com unidades de calor. GU: growing units.
GDH 2,5/29	A cada hora que a temperatura estiver abaixo de 2,5 °C não se acrescenta nada; acima dessa temperatura desconta-se 2,5 do valor da temperatura; acima de 29 °C considera-se o valor de 29, portanto o máximo que pode ser acumulado é 26,5.	Modelo elaborado pelos autores utilizando o mesmo princípio do modelo de Richardson et al. (1975).
GU 2,5/29	Considera como eficiente cada vez que a temperatura horária (t_h) esteja entre 2,5 °C e 29 °C. T_h entre 2,5 °C e 29 °C = 1 unidade de calor; $T_h < 2,5$ °C = 0 unidade de calor; $T_h > 29$ °C = 0 unidade de calor.	Modelo elaborado pelos autores utilizando o mesmo modelo de cálculo do modelo de unidades de frio de Weinberger (1950), pois trabalha com unidades de calor. GU: growing units.
Número de dias	Número de dias a partir de 31 de agosto e o IB, IF, PF, FF e colheita.	McIntyre et al. (1982).

5.2.4 Contabilização do frio e unidades de calor

A quantidade de frio acumulada em cada ciclo produtivo (01 de abril até 30 de agosto) apresentada na Tabela 10 foi contabilizada pelos modelos HF<7,2 °C, Utah Modificado e Low chill. A contabilização do acúmulo de unidades de calor e a eficiência de cada modelo foram calculadas através do software Microsoft Excel®. Foram calculados a média do acúmulo de unidades de calor (e dias) e o coeficiente de variação para cada modelo aplicado nas cinco cultivares nos estádios fenológicos de início de brotação, início de floração, plena flora, final de floração e colheita.

Tabela 10 - Acúmulo de frio durante os anos de estudo no município de Caçador, no período de 01 de abril até 30 de agosto pelos modelos estimadores HF< 7,2°C, Utah Modificado e Low chill.

Ano	HF< 7,2 °C	Utah Modificado	Low chill
2009	463	1036,5	1600,5
2010	382	1078,5	1736
2011	533	955	1484,5
2012	279	934	1576
2013	529	1021,5	1515,5
2014	286	832,5	1608,5
2016	543	1088	1386,5
2018	454	950	1260,5
2019	218	681,5	1200,5
Média	409	953	1485
Referência	Weinberger (1950)	Lamela et al. (2020)	Gilreath e Buchanan (1981)
Método de cálculo	1,0 Unidade de frio (UF) Temperatura (T) <7,2 °C 0,0 UF: T>7,2 °C	1,0 UF T: 2,5~9,1 °C 0,5 UF T: 1,5~2,4 °C e 9,2~12,4 °C. 0,0 UF T: <1,4 °C e >12,5 °C	Cálculo feito utilizando o modelo de Utah, ao longo das 24 horas diárias, calculando o $\sum$ das unidades de frio. $\sum$ (24 h) negativo, acumula-se 0. $\sum$ (24h) positivo, adiciona-se as unidades de frio ao total já acumulado.

5.2.5 Eficiência dos modelos de soma térmica

A eficiência dos modelos foi analisada através do coeficiente de variação: $[(\text{desvio padrão}/\text{média}) \times 100]$. O coeficiente de variação foi classificado como baixo (abaixo de 10%), médio (10% até 19,99%), alto (20% até 29,99%) e muito alto (acima de 30%), conforme proposto por Pimentel-Gomes (1990).

5.3 Resultados

5.3.1 Modelos de soma térmica para o início de brotação

O estágio fenológico início de brotação foi o estágio em que os modelos apresentaram menor eficiência (Tabela 11). Nas macieiras 'Baronesa' e 'Imperatriz', todos os modelos apresentaram coeficiente de variação (CV) classificado como muito alto, ou seja, confiabilidade baixa para avaliação desse estágio. Na macieira 'Fred Hough' os modelos apresentam CV classificado como alto, exceto o modelo GDH base 15 °C que apresentou CV muito alto. Nas macieiras 'Fuji Suprema' e 'Lisgala', os resultados dos modelos são mais satisfatórios para avaliação do início da brotação, na 'Fuji Suprema' cinco modelos apresentaram coeficiente de variação médio (GDH base 4,5 °C, GDH base 10 °C, GDH (Anderson) base 4,0, GDH (Anderson) base 10,0 e GDH 2,5/29), sendo que os demais apresentaram CV alto. Na 'Lisgala', exceto os modelos GDH base 15 °C e número de dias (CV alto), todos os demais modelos apresentaram CV médio.

Tabela 11 – Acúmulo de unidades de calor requerido pelas macieiras 'Baronesa', 'Imperatriz', 'Fuji Suprema', 'Fred Hough' e 'Lisgala' enxertadas sobre o porta-enxerto 'M-9' atingirem o início de brotação por nove modelos.

Modelos	Parâmetro	Cultivares				
		Baronesa	Imperatriz	Fuji Suprema	F. Hough	Lisgala
GDH base 4,5 °C	Média	5102,8	4812,06	6331,52	5811,70	6994,94
	C.V. (%)	33,82	41,74	19,00	24,99	15,74
GDH base 10 °C	Média	2629,69	2478,66	3247,01	2990,82	3596,72
	C.V. (%)	33,82	43,50	18,50	26,26	17,05
GDH base 15 °C	Média	950,19	905,67	1161,23	1085,52	1301,62
	C.V. (%)	37,93	51,84	23,96	33,54	26,22
GDH (Anderson) base 4,0	Média	5345,70	5033,20	6631,96	6085,12	7331,41
	C.V. (%)	33,52	41,75	18,45	24,87	15,38
GDH (Anderson) base 10,0	Média	2499,26	2348,97	3087,91	2836,66	3438,69
	C.V. (%)	32,93	43,10	18,25	25,29	16,22
GU 4,0/25	Média	437,12	411,00	550,89	500,22	609,22
	C.V. (%)	37,95	41,17	24,41	25,19	17,71
GDH 2,5/29	Média	6102,73	5753,81	7573,03	6942,29	8362,64
	C.V. (%)	34,13	41,92	19,55	25,27	16,12
GU 2,5/29	Média	466,25	438,78	583,22	531,22	644,11
	C.V. (%)	36,57	40,27	24,26	24,53	17,65
Número de dias	Média	14,62	17,00	21,44	21,11	25,78
	C.V. (%)	48,58	37,09	29,91	23,57	20,43

*Acúmulo de unidades de calor calculado através de cada modelo no período de 30 de agosto até o início de brotação de cada cultivar.

5.3.2 Modelos de soma térmica para o início de floração

No estágio início de floração os modelos diminuíram o CV, portanto aumentaram a precisão, sendo constatados dois modelos com CV baixo para a

macieira ‘Lisgala’ (GU 4,0/25 9,45% e GU 2,5/29 9,62%) (Tabela 12). Nas macieiras de média exigência em acúmulo de frio (‘Fred Hough’ e ‘Imperatriz’) e ‘Baronesa’ (que apresenta alta exigência em frio) os modelos em geral apresentaram CV alto, exceto GDH base 15 °C que apresentou CV muito alto para as referidas cultivares. Por fim, no estágio início de floração na macieira ‘Fuji Suprema’ sete modelos apresentaram CV médio, somente GDH base 10 °C e GDH base 15 °C apresentaram CV alto.

Tabela 12 – Acúmulo de unidades de calor requerido pelas macieiras ‘Baronesa’, ‘Imperatriz’, ‘Fuji Suprema’, ‘Fred Hough’ e ‘Lisgala’ enxertadas sobre o porta-enxerto ‘M-9’ atingirem o início de floração por nove modelos.

Modelos	Parâmetro	Cultivares				
		Baronesa	Imperatriz	Fuji Suprema	F. Hough	Lisgala
GDH base 4,5 °C	Média	5812,16	6365,51	7466,22	6926,76	8375,08
	C.V. (%)	27,70	27,69	18,95	22,27	12,51
GDH base 10 °C	Média	2983,65	3288,41	3855,33	3579,01	4280,68
	C.V. (%)	28,07	29,08	20,59	24,23	16,65
GDH base 15 °C	Média	1075,39	1198,04	1384,90	1294,67	1517,61
	C.V. (%)	33,76	37,40	27,94	33,7	27,66
GDH (Anderson) base 4,0	Média	6086,78	6674,56	7850,02	7272,15	8784,38
	C.V. (%)	27,42	27,44	18,95	22,19	13,05
GDH (Anderson) base 10,0	Média	2841,93	3118,50	3690,52	3403,59	4102,14
	C.V. (%)	27,16	28,87	19,68	24,03	16,86
GU 4,0/25	Média	503,00	546,22	647,22	596,33	738,56
	C.V. (%)	29,75	28,38	19,11	22,17	9,45
GDH 2,5/29	Média	6951,57	7599,46	8914,37	8272,12	10016,24
	C.V. (%)	28,019	28,03	19,07	22,4	12,39
GU 2,5/29	Média	534,63	578,67	683,00	630,67	776,78
	C.V. (%)	28,53	28,31	19,12	22,08	9,69
Número de dias	Média	22,88	22,89	26,78	21,11	29,67
	C.V. (%)	33,54	26,73	18,86	23,57	19,65

*Acúmulo de unidades de calor calculado através de cada modelo no período de 30 de agosto até o início de floração de cada cultivar.

5.3.3 Modelos de soma térmica para a plena floração

Na análise do desempenho dos modelos no estágio fenológico de plena floração, observou-se que a macieira ‘Baronesa’ apresenta maior CV em todos os modelos quando comparada às demais cultivares. Portanto, os modelos quando aplicados para estimar o acúmulo de unidades de calor nessa cultivar apresentam menor precisão, sendo que oito modelos apresentaram CV alto e o modelo GDH base 15 °C teve CV muito alto (Tabela 13). Para esse estágio, os modelos

apresentaram maior confiabilidade em relação aos estádios anteriores, sendo que na macieira ‘Imperatriz’, três modelos apresentaram CV médio (GU 2,5/29 19,2%, GU 4,0/25 12,74% e número de dias 19,48%). Nas demais cultivares percebe-se a supremacia dos modelos GU 2,5/29 e GU 4,0/25, destacando-se sempre como os dois modelos que apresentam menor CV, para a plena floração. Nas macieiras restantes foram encontrados resultados de CV de 12,45% (GU 2,5/29) e 12,74% (GU 4,0/25) - ‘Fred Hough’; 10,71% (GU 2,5/29) e 11,79% (GU 4,0/25) - ‘Fuji Suprema’; 12,45% (GU 2,5/29) e 12,74% (GU 4,0/25) - ‘Lisgala’.

Tabela 13 – Acúmulo de unidades de calor requerido pelas macieiras ‘Baronesa’, ‘Imperatriz’, ‘Fuji Suprema’, ‘Fred Hough’ e ‘Lisgala’ enxertadas sobre o porta-enxerto ‘M-9’ atingirem a plena floração por nove modelos.

Modelos	Parâmetro	Cultivares				
		Baronesa	Imperatriz	Fuji Suprema	F. Hough	Lisgala
GDH base 4,5 °C	Média	7595,11	8068,88	9110,17	8708,51	10100,11
	C.V. (%)	20,61	20,30	11,99	13,05	11,65
GDH base 10 °C	Média	3934,64	4178,70	4670,42	4483,4	5208,90
	C.V. (%)	22,63	23,06	15,20	15,91	15,16
GDH base 15 °C	Média	1420,49	1499,52	1658,68	1597,07	1862,11
	C.V. (%)	30,50	31,69	23,33	24,29	23,09
GDH (Anderson) base 4,0	Média	7993,15	8500,87	9578,15	9161,09	10636,36
	C.V. (%)	20,80	20,66	12,62	13,44	12,20
GDH (Anderson) base 10,0	Média	3756,55	3988,65	4477,29	4287,63	4981,37
	C.V. (%)	22,44	22,93	14,20	15,10	14,14
GU 4,0/25	Média	655,33	698,00	801,44	760,78	878,33
	C.V. (%)	20,90	19,24	10,74	12,74	8,80
GDH 2,5/29	Média	9061,69	9625,12	10880,99	10397,41	12048,57
	C.V. (%)	20,68	20,28	11,79	13,03	11,43
GU 2,5/29	Média	690,44	733,67	840,78	799,44	922,22
	C.V. (%)	20,52	19,20	10,71	12,45	8,99
Número de dias	Média	27,44	29,44	33,67	31,11	36,56
	C.V. (%)	25,71	19,48	16,27	15,03	14,25

*Acúmulo de unidades de calor calculado através de cada modelo no período de 30 de agosto até a plena floração de cada cultivar.

5.3.4 Modelos de soma térmica para o final de floração

Os modelos estimadores quando aplicados na macieira ‘Baronesa’ no estágio fenológico final de floração apresentaram eficiência superior em relação a quando aplicados nessa cultivar em estádios fenológicos anteriores, sendo que todos foram classificados com média eficiência nesse estágio fenológico (Tabela 14). Na macieira ‘Baronesa’ os modelos que apresentaram menor CV nesse estágio foram: GDH base 4,5 °C (11,38%) e GDH (Anderson) base 4,0 (11,39%). Nas demais

cultivares os modelos que apresentaram menor CV no estágio fenológico final de floração foram: GU 2,5/29 CV de (9,89% 'Imperatriz, 9,97 'Fuji Suprema', 10,77% 'Fred Hough' e 10,26% 'Lisgala') e GU 4,0/25 CV de (9,74% 'Imperatriz, 10,1% 'Fuji Suprema', 10,85% 'Fred Hough' e 10,28% 'Lisgala'). Observa-se que nas quatro cultivares os modelos tiveram desempenho muito semelhante, ficando na faixa de transição de baixo para médio CV.

Tabela 14 – Acúmulo de unidades de calor requerido pelas macieiras 'Baronesa', 'Imperatriz', 'Fuji Suprema', 'Fred Hough' e 'Lisgala' enxertadas sobre o porta-enxerto 'M-9' atingirem o final de floração por nove modelos.

Modelos	Parâmetro	Cultivares				
		Baronesa	Imperatriz	Fuji Suprema	F. Hough	Lisgala
GDH base 4,5 °C	Média	9641,46	9872,68	10711,77	10032,58	11225,91
	C.V. (%)	11,38	13,07	11,14	14,37	10,36
GDH base 10 °C	Média	4989,83	5082,89	5561,93	5197,22	5822,3
	C.V. (%)	12,58	16,48	13,99	17,39	13,08
GDH base 15 °C	Média	1783,43	1811,01	2000,2	1874,73	2103,01
	C.V. (%)	18,89	23,83	21,67	24,10	23,03
GDH (Anderson) base 4,0	Média	10173,3	10394,09	11310,83	10579,23	11845,82
	C.V. (%)	11,39	13,80	11,38	14,91	10,39
GDH (Anderson) base 10,0	Média	4783,46	4861,99	5329,09	4992,29	5596,57
	C.V. (%)	11,44	15,17	13,20	15,83	12,78
GU 4,0/25	Média	837,89	861,67	924,11	869,78	973,13
	C.V. (%)	12,91	9,89	9,97	10,77	10,26
GDH 2,5/29	Média	11153,5	11777,19	12741,18	11958,89	13378,03
	C.V. (%)	13,8	12,72	11,09	14,12	10,44
GU 2,5/29	Média	852	904,78	969,11	913,56	1018,5
	C.V. (%)	14,21	9,74	10,10	10,85	10,28
Número de dias	Média	34,67	36,56	40	37,89	43,13
	C.V. (%)	18,79	11,68	12,64	13,25	10,53

*Acúmulo de unidades de calor calculado através de cada modelo no período de 30 de agosto até o final de floração de cada cultivar.

5.3.5 Modelos de soma térmica para a colheita

Os modelos apresentaram resultados bastante precisos quando se considera a colheita dos frutos, os modelos GU 2,5/29 e GU 4,0/25 seguiram como modelos com menor CV para todas as cultivares (Tabela 15), indicando serem muito acurados devido à alta eficiência. Por exemplo, o GU 2,5/29 nas macieiras 'Baronesa' e 'Fuji Suprema' apresentou CV de 1,5% e 1,6%, respectivamente e o modelo GU 4,0/25 nas macieiras 'Baronesa' e 'Fuji Suprema' apresentou CV de 1,82% e 2,03%, respectivamente, indicando uma alta eficiência.

Tabela 15 – Acúmulo de unidades de calor requerido pelas macieiras ‘Baronesa’, ‘Imperatriz’, ‘Fuji Suprema’, ‘Fred Hough’ e ‘Lisgala’ enxertadas sobre o porta-enxerto ‘M-9’ atingirem o ponto de colheita por nove modelos.

Modelos	Parâmetro	Cultivares				
		Baronesa	Imperatriz	Fuji Suprema	F. Hough	Lisgala
GDH base 4,5 °C	Média	72798,58	51382,2	70249,92	63885,23	55230,87
	C.V. (%)	3,37	5,47	3,46	4,30	3,43
GDH base 10 °C	Média	44755,72	31087,36	43063,2	39123,99	33634,59
	C.V. (%)	4,39	7,60	4,69	5,50	4,84
GDH base 15 °C	Média	21130,65	14426,02	20286,98	18487,07	15798,35
	C.V. (%)	6,28	11,12	6,60	7,67	7,40
GDH (Anderson) base 4,0	Média	80317,75	56334,4	77396,94	70300,98	60620,99
	C.V. (%)	3,46	5,84	3,69	4,54	3,66
GDH (Anderson) base 10,0	Média	45648,77	31484,77	43880,9	39874,96	34170,93
	C.V. (%)	4,63	8,19	4,94	5,99	5,30
GU 4,0/25	Média	4588,86	3341	4452,25	4050,88	3534,5
	C.V. (%)	1,82	2,45	2,03	3,66	3,46
GDH 2,5/29	Média	84225,37	59691,19	81344,93	74024,71	64115,79
	C.V. (%)	3,34	5,28	3,37	4,14	3,31
GU 2,5/29	Média	5047,14	3666	4899,62	4464,75	3891,88
	C.V. (%)	1,50	2,09	1,60	3,20	2,85
Número de dias	Média	199,28	152,50	190,37	173,88	155,62
	C.V. (%)	3,31	4,71	3,45	3,69	3,60

*Acúmulo de unidades de calor calculado através de cada modelo no período de 30 de agosto até o ponto de colheita de cada cultivar.

5.3.6 Modelos de soma térmica: avaliação geral

O modelo simplista baseado no número de dias, exceto para macieira ‘Imperatriz’, apresentou CV de 4,71%, porém, para todas as outras cultivares teve CV abaixo de 4% para a colheita de frutos, sendo um modelo muito eficiente para tal. Além disso, o modelo destacou-se por apresentar CV médio para o estágio final de floração em todas as cultivares e CV médio no estágio fenológico de plena floração (exceto para ‘Baronesa’ que o CV foi alto, porém os demais modelos obtiveram a mesma classificação de CV nessa cultivar).

Ao observar o CV médio entre todas as cultivares, alguns resultados chamam a atenção, como, por exemplo, o modelo GDH base 15 °C que apresentou menor eficiência em comparação aos demais modelos, considerando-se todos os estágios fenológicos, pois o modelo apresentou maior CV em todas as cultivares, mostrando-se ser um modelo de menor eficiência em relação aos demais (Figuras 7, 8 e 9).

Os modelos GU 4,0/25 e GU 2,5/29 indicaram constância, com resultados satisfatórios desde o início de brotação e floração (Figura 7), porém, a partir do final de floração os modelos começam a se destacar dos demais, pois o coeficiente de

variação desses modelos é menor (Figura 8 B), consolidando-se como modelos que demonstram um CV menor nos estádios fenológicos mais avançados e na colheita (Figura 9).

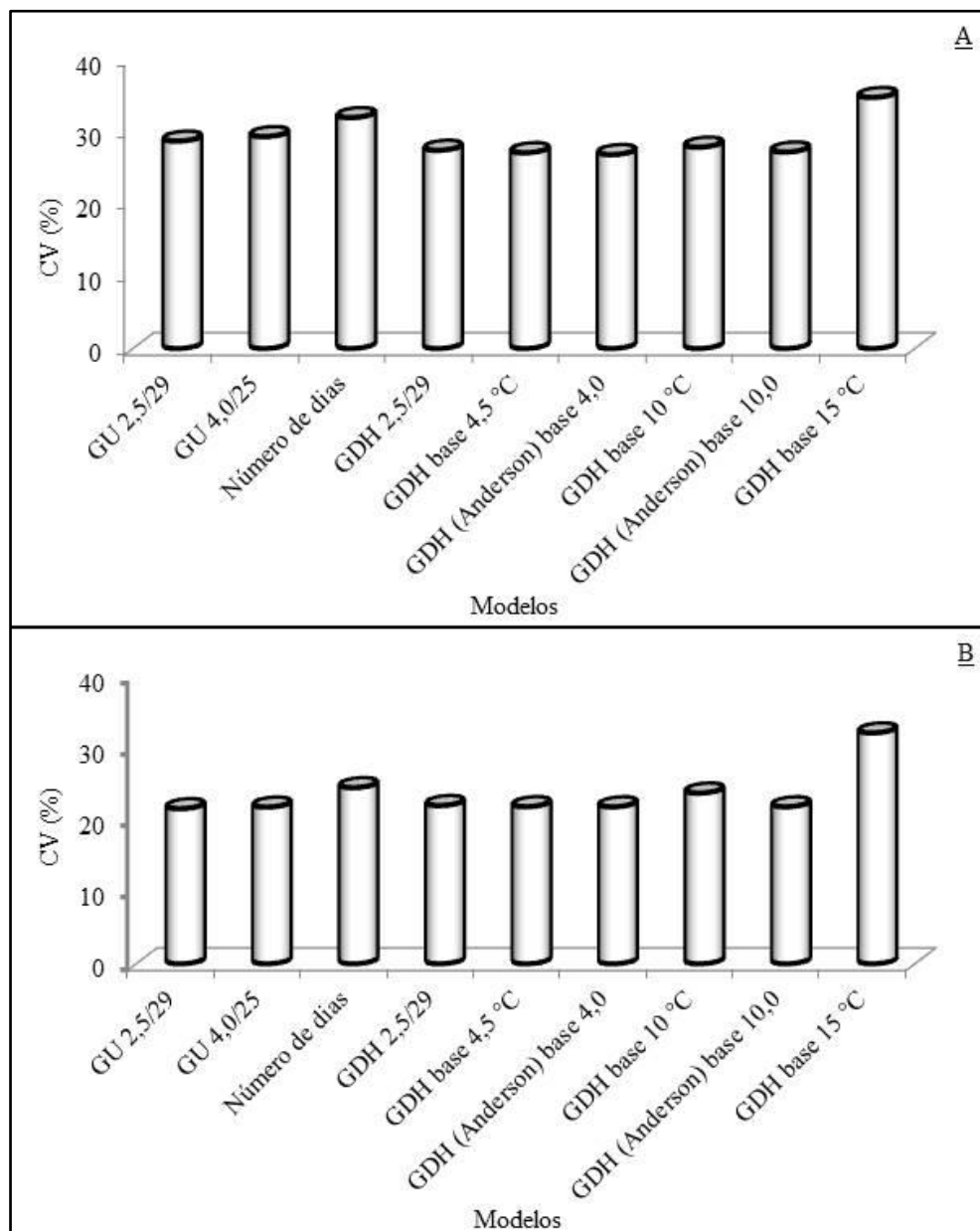


Figura 7 – Média geral do CV de cada modelo englobando todas as cultivares nos estádios fenológicos início de brotação (quadro A) e início de floração (quadro B).

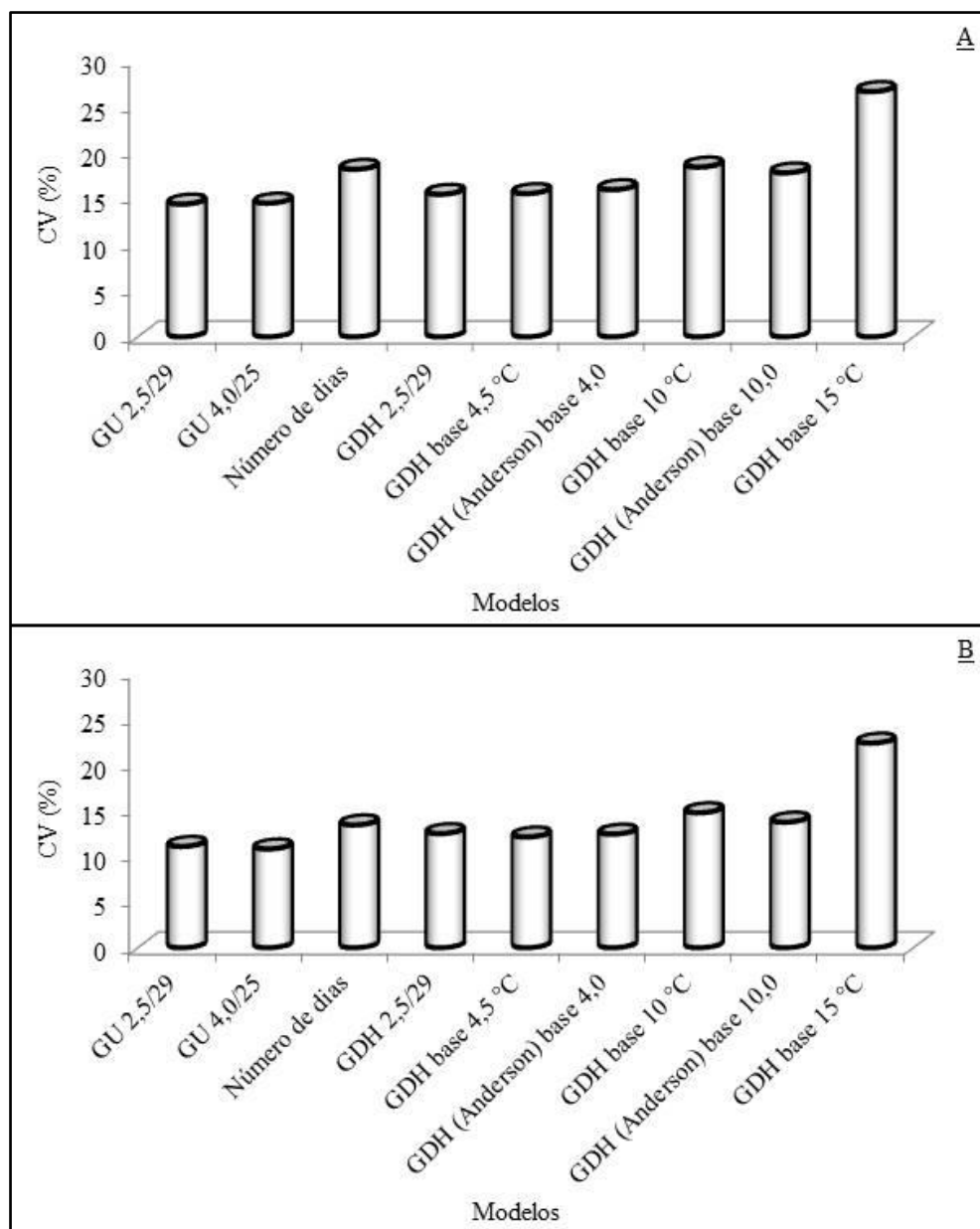


Figura 8 – Média geral do CV de cada modelo englobando todas as cultivares nos estádios fenológicos plena floração (quadro A) e final de floração (quadro B).

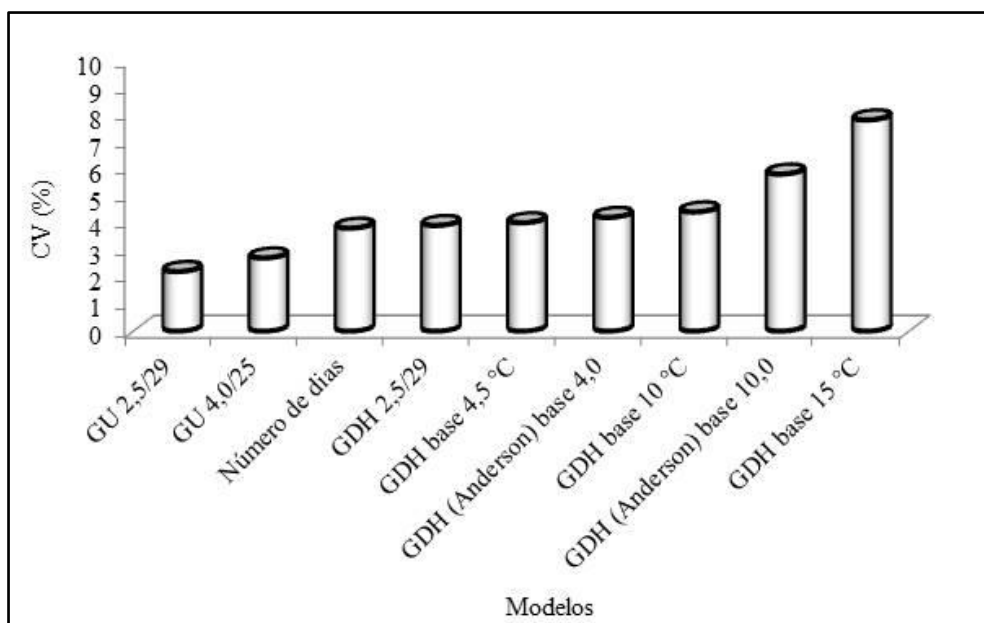


Figura 9 – Média geral do CV de cada modelo englobando todas as cultivares para a colheita.

5.4 Discussão

Os resultados indicam que em estádios iniciais na pós-dormência, como por exemplo, início de brotação, o coeficiente de variação é mais alto em todas as cultivares e, portanto, os modelos apresentam menor eficiência. Conforme citado por Rojo et al. (2020), o acúmulo de unidades de calor começa imediatamente após as necessidades de frio terem sido atendidas, ou seja, a planta sai da endodormência onde acumula unidades de frio, já entra em ecodormência e começa a acumular unidades de calor. Os ciclos produtivos apresentam distinção no acúmulo de frio, então com base nisso entende-se que em ciclos nos quais as exigências em frio foram atendidas primeiramente, o acúmulo de unidades de calor começará mais cedo. Portanto, a tendência de um início de brotação mais precoce é maior, indicando que diferentes acúmulos de frio geram diferenças na data de início de brotação.

Como o trabalho fixou uma data (acúmulo unidades de calor a partir de 30 de agosto) é normal que ocorra uma maior variação nos resultados dos modelos quando medem acúmulo de unidades de calor para início de brotação. Isso ocorre, pois em anos mais frios, determinadas macieiras menos exigentes em frio como a 'Imperatriz', poderá ter suprido as exigências em frio em meados de agosto; enquanto em anos de inverno mais quentes a mesma poderá ter suprido as exigências em frio no final agosto. Desta forma, a mesma começa a acumular

unidades de calor mais próximo da data fixada, e isso reflete em uma maior variação dos resultados. De acordo com Garrido et al. (2021), o maior problema dos modelos de soma térmica, principalmente para estádios iniciais é saber quando termina o acúmulo em frio e começa o acúmulo de unidades de calor, sendo muito difícil essa diagnose a campo, influenciando muito nos desempenhos dos modelos. Porém, como o presente estudo tem como foco avaliar o desempenho dos modelos, em vista da dificuldade de avaliar quando terminou a endodormência e começou a ecodormência, entende-se que fixar uma data é uma alternativa muito válida, pois são todos modelos são utilizados nas mesmas condições para todos os modelos. Com a finalidade de aumentar a eficiência de modelos de acúmulo de calor para previsão de início de brotação, é recomendável que estudos adicionais sejam realizados para definir o momento de superação da endodormência. Esta eficiência pode ser obtida utilizando testes biológicos como o de gemas isoladas e o princípio do DD50 (POUGET, 1963), o qual de acordo com Lamela et al. (2020), apresentou eficiência para identificar o fim do período de endodormência e previsão do início de brotação em uvas ‘Tannat’.

Os modelos para avaliar o acúmulo de unidades de calor se ajustaram melhor para algumas cultivares do que outras, por exemplo, nas cultivares ‘Baronesa’ e ‘Imperatriz’ os modelos apresentaram maior coeficiente de variação. As cultivares apresentarem variações nos resultados é esperado, pois de acordo com Anzanello et al. (2019), cada cultivar possui uma soma térmica específica. O acúmulo de unidades de calor está diretamente ligado ao acúmulo de frio, pois em anos que as necessidades em frio são completamente atendidas, é necessário menor acúmulo de unidades de calor para induzir a brotação, sendo que cada cultivar vai apresentar uma resposta específica na relação do acúmulo de frio com acúmulo de unidades de calor (COUVILLON e EREZ, 1985; PUTTI et al., 2006).

De acordo com Putti et al. (2006), a macieira ‘Baronesa’ precisa de menor acúmulo de unidades de calor para sair do período de dormência em relação à macieira ‘Fuji’; os autores ainda reforçam que uma cultivar de menor exigência em frio pode apresentar maiores exigências em calor e vice-versa. Com essa base é fácil entender o porquê os resultados apresentaram maiores variações entre cultivares, do que entre modelos. Nas macieiras ‘Lisgala’ e ‘Fuji Suprema’ já é possível perceber que os modelos apresentam um melhor ajuste, sendo as únicas cultivares que tiveram modelos classificados como médio CV (sete modelos para

‘Lisgala’ e cinco para ‘Fuji Suprema’), nas demais o CV foi classificado como alto e muito alto, sendo que o modelo GDH base 15 °C teve o CV classificado como alto ou muito alto para todas as cultivares. Destaca-se que ambas as cultivares são exigentes em frio, e apresentam maior exigência de calor, sendo que as cultivares de menor exigência em calor, foram justamente as que apresentaram maior CV (‘Baronesa’ e Imperatriz’).

Os períodos de floração (início, plena e final de floração) bem como o início de brotação, além do acúmulo de unidades de calor também são influenciados pelo acúmulo de frio (DÍEZ-PALET et al., 2019). Cada cultivar vai possuir um número de unidades de calor que devem ser acumuladas para atingir cada estágio da floração, variando essa exigência de acordo com o acúmulo de frio hibernar (DARBYSHIRE et al., 2017). Essas diferenças em exigências de acúmulo de frio, complementadas pelas exigências de acúmulo de unidades de calor que cada cultivar possui, ajudam a entender porque os modelos possuem desempenhos diferentes entre cultivares. Isto se deve ao fato de que alguns modelos se ajustam muito bem na ‘Lisgala’ que já no início de floração possui modelos com baixo CV, enquanto na ‘Baronesa’ observa-se CV alto e muito alto. Sendo assim, percebe-se que cada cultivar possui sua especificidade, sendo, por exemplo, mais fácil indicar com maior certeza, quando vão ocorrer os estágios fenológicos na ‘Lisgala’ em relação à ‘Baronesa’.

O modelo fenológico GDH base 15 °C apresentou os piores desempenhos entre todas as cultivares (ficando mais evidenciado nos estágios de floração em diante), mostrando-se ser um modelo inadequado para utilização em macieiras. Assim como aconteceu na macieira, em outras fruteiras de clima temperado como a oliveira (*Olea europaea* L.), Garrido et al. (2021) também concluíram que modelos que possuem temperaturas base mais altas possuem maior CV para avaliar o acúmulo de unidades de calor nos estágios iniciais; no referido estudo, os autores encontraram o CV alto em modelos que possuem temperatura base de 9,5 °C e 12 °C.

O fato da temperatura base alta ser ineficiente na macieira é fortalecido pelo que descrevem Putti et al. (2006) que, ao estudarem a temperatura base de seis diferentes cultivares de macieira, constataram que em todas elas a temperatura base deveria ser igual ou inferior a 3,5 °C. Lysiak (2012) indica que existem variações inerentes a cada cultivar, por exemplo, em algumas cultivares a temperatura pode estar em 0 °C. Ou seja, com base nesses autores e de acordo

com os resultados, pode-se compreender que modelos que utilizam temperaturas altas como o GDH base 15 °C não são realistas e não refletem a fisiologia da macieira, pois a temperatura base considerada nestes é muito mais alta do que a temperatura base real. Outros modelos que apresentam temperatura base alta [GDH base 10 °C e GDH (Anderson) base 10,0], também não se mostram interessantes, pois já nos estádios de floração, ambos apresentam resultados intermediários. Assim, a utilização dos mesmos já não se justifica.

A partir dos estádios de floração é possível perceber que dois modelos começam a apresentar destaque (GU 4,0/25 e GU 2,5/29), sendo estes os únicos dois modelos que tiveram CV baixo em estádios de floração. Ambos os modelos tiveram CV classificado como baixo na macieira 'Lisgala' no início e plena floração; na macieira 'Imperatriz' no final de floração; e o modelo GU 4,0/25 na macieira 'Fuji Suprema' no final de floração. Os modelos GU 4,0/25 e GU 2,5/29 possuem a mesma equação, variando apenas a temperatura base e a temperatura crítica. Ambos os modelos apresentaram o menor CV para todas as cultivares na colheita. Sendo assim, devido ao bom desempenho que esses modelos apresentam em todos os estádios de floração, aliado ao excelente desempenho na colheita, os mesmos podem ser considerados os mais indicados para contabilizar o acúmulo de unidades de calor em macieiras, cultivada, em região de inverno ameno.

O modelo GU 4,0/25 apresentou CV abaixo de 3% em três cultivares e o GU 2,5/29 apresentou CV abaixo de 3% em quatro cultivares indicando alta eficiência. Portanto, indicam-se equações que contabilizam uma unidade de calor a cada hora em que a temperatura média horária estiver entre a temperatura base e a temperatura crítica devido à alta estabilidade desses modelos. De acordo com Fiorentin et al. (2015) o clima de Caçador caracteriza-se por possuir verões brandos, ou seja, com temperaturas amenas. Esse fato induz uma eficiência maior para os modelos que não contabilizam temperaturas acima da temperatura crítica. A ocorrência de temperaturas acima da temperatura crítica (25 °C GU 4,0/25 e 29 °C GU 2,5/29) é muito inferior na região de Caçador em comparação com regiões que possuem verões quentes, como algumas regiões do Rio Grande do Sul. De acordo com Kuplich et al. (2013), neste estado observa-se altas variações de temperatura no verão (chegando próximo dos 40 °C), podendo induzir uma variação maior aos referidos modelos devido a não contabilização de temperaturas superiores às críticas nos modelos (GU 4,0/25 e 29 °C GU 2,5/29). Porém, de acordo com

Cardoso et al. (2015), a região de Vacaria principal área produtora de maçã no estado do Rio Grande do Sul, possui verões brandos, a exemplo da região de Caçador, indicando que os modelos GU 4,0/25 e GU 2,5/29 tendem a se adaptar muito bem nessa região.

Putti et al. (2000) indicam a temperatura crítica de 28 °C para macieira ‘Fuji’ e 30 °C para ‘Gala’, sendo essas de acordo com Cardoso et al. (2015), as principais cultivares de macieiras cultivadas no Brasil. Portanto, com base nisso conclui-se que modelos que contabilizam temperaturas críticas acima das indicadas para as cultivares apresentam caráter não realista. Pressupõe-se que temperaturas acima das referidas não agregam fisiologicamente no acúmulo de unidades de calor para atingir determinado estágio fenológico, reforçando que os modelos GU 4,0/25 e GU 2,5/29 além de serem altamente eficientes, possuem um formato de equação que se ajusta bem à fisiologia da planta. Possivelmente o fato de esses modelos trabalharem com uma equação que se ajuste bem à fisiologia seja o fator responsável pelo sucesso de ambos.

Em geral os modelos se ajustaram bem na contabilização de unidades de calor para colheita, como citado anteriormente, salientando o destaque dos modelos GU 4,0/25 e GU 2,5/29. Outro modelo que apresentou baixo CV para colheita foi o modelo número de dias, sendo o terceiro modelo com menor CV (exceto para ‘Lisgala’, onde foi o quarto menor CV). Esse mesmo modelo nas fases de floração apresentou CV médio para o estágio final de floração em todas as cultivares e CV médio no estágio fenológico de plena floração (exceto para ‘Baronesa’). Modelos simplistas como, por exemplo, número de dias de acordo com Bonora et al. (2014), apresentam uma grande vantagem que é a simplicidade de cálculo. De acordo com os autores citados, modelos que utilizam dados horários exigem um maior trabalho de cálculo, além desses dados muitas vezes não estarem disponíveis a produtores que querem fazer o planejamento de aplicações e colheita, sendo para esses o modelo número de dias muito atrativo e usual.

De acordo com Anzanello et al. (2019), o modelo número de dias possui uma grande limitação que é sua regionalidade. Segundo os autores, cada cultivar precisa de um acúmulo de unidades de calor determinado para superar cada estágio fenológico e, se essa cultivar for implantada em uma região com temperatura mais alta, a tendência é que a mesma cumpra a exigência de unidades de calor antes que em uma região com clima mais ameno, portanto o número de dias será menor.

Diante disso, entende-se que o modelo número de dias é muito eficiente para previsão de colheita, como constatado no presente estudo, quando se tem à disposição uma série histórica de dados fenológicos que permitem calcular com relativa eficiência o número de dias para atingir cada estágio fenológico em dada região. O número de dias calculado para cada cultivar no presente estudo somente pode ser utilizado em regiões que possuem clima semelhante ao da região de Caçador (SC), caracterizada por verões brandos, podendo nessas regiões os valores servirem como referência principalmente na previsão de colheita.

Por fim, conclui-se em uma análise geral que os modelos GU 4,0/25 e GU 2,5/29 foram os que apresentaram maior constância na análise do acúmulo de unidades de calor, principalmente a partir do início da floração, mantendo-se como os modelos que apresentam menor CV. Ambos os modelos apresentaram menor CV até em comparação com o modelo GDH base 4,5 °C, referenciado por El-Yaacoubi et al. (2016), como modelo mais difundido mundialmente na avaliação do acúmulo de unidades de calor. Conforme citado ao longo do texto os modelos GU 4,0/25 e GU 2,5/29 possuem o mesmo princípio de equação, variando a temperatura base e a temperatura crítica. Diante disso, sugere-se que ao aplicar o modelo, se tenha o conhecimento de temperaturas base e crítica da cultivar em estudo para inserir as mesmas na equação. Caso não se conheça a temperatura base e a temperatura crítica ao trabalhar com genótipos que possuem ‘Gala’ e ‘Fuji’ como parental, sugere-se aplicar o GU 2,5/29, pois esse foi inspirado em temperaturas (base/crítica) intermediárias entre as duas principais cultivares implantadas no Brasil.

5.5 Conclusões

- Os modelos GU 4,0/25 e GU 2,5/29 são os que apresentam maior eficiência para previsão dos estádios fenológicos nas cultivares de macieiras estudadas.
- O modelo número de dias é altamente eficiente para previsão de colheita das cultivares estudadas.
- A utilização de modelos que possuem temperatura base de 10 °C e 15°C não é recomendada, pois são pouco eficientes na previsão dos estádios fenológicos e colheita.

6 Considerações finais

Importantes pontos devem ser considerados a partir das pesquisas realizadas nesta tese. O primeiro refere-se à importância da coleta de dados fenológicos por maior tempo possível, para que se possa constituir uma longa série histórica. Isto permitiria analisar com maior precisão o efeito climático, no desenvolvimento das frutíferas de clima temperado. Neste sentido, destaca-se o que tem sido feito pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), através do registro de maior número de informações em Santa Catarina. Em países da Europa onde a fruticultura é avançada, como a França, a fenologia é tida como um parâmetro importante.

Muitos foram os motivos que impediram ou dificultaram a obtenção de resultados mais consistentes, tais como falta de estrutura de pesquisa, como casas de vegetação com ambiente controlado e plantas cujos tratamentos culturais sejam realizados com rigor técnico. É importante utilizar-se irrigação, para evitar problema de déficit hídrico e tratamentos fitossanitários para controlar as pragas e doenças.

Tem-se uma convicta percepção de que o que foi pesquisado e apresentado na tese pode contribuir para o avanço da cadeia de produção da maçã no Brasil, bem como base científica tanto para a pesquisa como para o ensino.

Com relação ao estudo da atividade de enzimas antioxidantes (capítulo I) após a aplicação de indutores de brotação, com objetivo de encontrar um marcador do efeito da aplicação dos indutores, os resultados podem ser considerados preliminares. Aqui cabe ressaltar que na literatura é comum encontrar muitos estudos com foco apenas na atividade da enzima CAT, o que pode ser um equívoco, pois a mesma faz parte da segunda via de defesa, atuando posteriormente à SOD, estando à atividade das duas interligadas. O mesmo acontece em relação à atividade da APX, que tem atuação sobre o H_2O_2 , assim como a CAT, porém agindo nos cloroplastos, por exemplo, onde a CAT não tem atividade. O fato de o estudo abordar as três enzimas, e fazer uma revisão de literatura agrupando várias informações sobre a ação dessas enzimas, nos permite entender como cada enzima atua no final do estágio de dormência. Observou-se que a atividade da enzima SOD aumenta conforme o estágio de dormência se aproxima do final, enquanto a atividade da enzima CAT diminui em condições de falta de frio hiberna.

Deixa-se como sugestão para estudos futuros que se aumente o número de coletas e análises para traçar a real ação dessas enzimas e do H_2O_2 . Assim, seria interessante a realização de coletas na entrada da dormência (segunda metade de abril), na paradormência; em junho e julho quando a planta está em endodormência. Neste caso, poderia realizar uma coleta 15 dias antes da aplicação dos indutores de brotação e coletas 24 horas, 4, 7 e 15 dias após a aplicação dos indutores de brotação e por fim uma coleta 30 ou 40 dias após a aplicação dos indutores. Também se sugere realizar o estudo com outras cultivares, com diferentes exigências em frio e em locais distintos como, por exemplo, no Paraná e nas Serras do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Pesquisa com tal enfoque auxiliaria a busca de indutores de brotação alternativos à cianamida hidrogenada.

No capítulo II o grande avanço encontrado são os resultados do indutor de brotação Erger®, na dosagem de 7% associado ao nitrato de cálcio 5% nos percentuais de brotação e floração da macieira 'Castel Gala'. Os resultados mostram que o Erger® no tratamento referido é uma interessante opção de uso quando se busca um indutor de brotação alternativo à cianamida hidrogenada. Outro ponto importante desse capítulo é que o extrato de alho (muitas vezes apontado como promissor indutor de brotação) apresenta muito pouca influência em macieiras 'Castel Gala', mostrando-se uma alternativa pouco interessante para essa cultivar.

Ainda, nas considerações do capítulo II, destaca-se que o método biológico "teste de gema única" é muito eficiente no estudo de dominância apical, gradiente de dormência ao longo do ramo e estudos ecofisiológicos relacionados às fases da dormência. Porém, para estudos relacionados à eficiência de indutores de brotação, o método não se mostra uma boa alternativa, pois os resultados encontrados no mesmo não traduzem a realidade dos resultados encontrados no campo, não sendo recomendado para tal finalidade.

Sobre indutores de brotação sugere-se o estudo em macieiras, de outros produtos que vêm sendo testados por produtores e alguns pesquisadores. Destacando os produtos: Sibério® (fertilizante), Brotex® (fertilizante), Acordex® (fertilizante), Bluprins® (fertilizante), Sincron® (fertilizante), Tidiazurom (herbicida) e urina bovina associada ao óleo mineral.

Em relação ao capítulo III, são notórios os avanços, pois foram identificados modelos estimadores com maior eficiência do que o modelo mais utilizado ($HF < 7,2$ °C) e o tradicional modelo Utah. Os modelos: $HF < 15$ °C, Taiwan low chill, Low chill e

Utah Modificado que apresentaram coeficiente de variação inferior a 15%, destacando-se como modelos que apresentam uma boa eficiência na estimativa do acúmulo de frio.

No capítulo IV, foi abordado um assunto que ainda carece de um maior aprofundamento na literatura que é a eficiência de modelos de soma térmica. Neste capítulo foi estudada a eficiência dos modelos desde o período final da dormência (maioria dos estudos avalia somente até esse ponto) e segue até a colheita. Ao final do estudo conclui-se que modelos como GU 4,0/25 e GU 2,5/29 são eficientes na previsão de estádios, principalmente, estádios mais avançados como plena floração e final de floração, bem como na colheita. Também se constatou que o modelo simplista número de dias é altamente eficiente na previsão da colheita de determinada cultivar, quando se dispõe do histórico da data de colheita da região.

Recomenda-se em estudos futuros, fazer um estudo individual por cultivar, para ver quando ela começa a acumular calor, essa questão é apontada por muitos autores como a maior dificuldade na utilização dos modelos de soma térmica. Os modelos de soma térmica apresentam alto potencial de uso e futuramente associados ao uso da tecnologia tendem a se difundir pelo setor produtivo. Porém, estudos minuciosos para ajustes em diferentes cultivares devem ser realizados a fim de se obter a mais alta eficiência dos modelos, porém são inegáveis os ganhos que o setor produtivo pode ter com a utilização destes.

Por fim, entende-se que a tese atingiu a meta prevista de buscar avanços para a ciência voltada ao cultivo da macieira em região de inverno ameno. Estudos relacionados a esses importantes temas abordados na presente tese devem ser continuados, a fim de que se ajustem possíveis falhas e cada vez mais, se aumente a eficiência da cadeia produtiva da maçã em regiões de inverno ameno, garantindo a sustentabilidade ambiental, econômica e social.

Referências

- ABREU, E. S.; CARRA, B.; SPAGNOL, D.; SCHMITZ, J. D.; SILVA, T. A.; HELLWIG, C. G.; FACHINELLO, J. C. Evaluation of the effect of different budbreak promoters on apple trees 'Eva' and 'Castel Gala' in mild winter climate conditions. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 20, n. 1, p. 1-7, 2018.
- ANDERSON, J. L.; RICHARDSON, E. A.; KESNER, C. D. Validation of chill unit and flower bud phenology models for 'Montmorency' sour cherry. **Acta Horticulturae**, v. 184, p. 71-78, 1985.
- ANZANELLO, R.; BIASI, L. A. Base temperature as a function of genotype: a foundation for modeling phenology of temperate fruit species. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 37, n. 4, p. 1811-1826, 2016.
- ANZANELLO, R.; CHRISTO, M. C.; SARTORI, G. B. D. Superação da dormência em macieira: efeito do frio combinado com uso de indutor de brotação. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 26, n. 1, p. 190-200, 2020.
- ANZANELLO, R.; CHRISTO, M. C. Temperatura base inferior, soma térmica e fenologia de cultivares de videira e quivizeiro. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 3, p. 313-322, 2019.
- ANZANELLO, R.; FIALHO, F.B.; SANTOS, H.P.; BERGAMASCHI, H.; MARODIN, G.A.B. Biological methods for assessment of budbreak in apple trees for modeling dormancy. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 3, p. 1163-1176, 2014.
- AZARABADI, S.; ABDOLLAHI, H.; TORABI, M.; SALEHI, Z.; NASIRI, J. ROS generation, oxidative burst and dynamic expression profiles of ROS-scavenging enzymes of superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and ascorbate peroxidase (APX) in response to *Erwinia amylovora* in pear (*Pyrus communis* L). **European Journal of Plant Pathology**, v. 147, n. 2, p. 279-294, 2017.
- AZEVEDO, R. A.; ALAS, R. M.; SMITH, R. J.; LEA, P. J. Response of antioxidant enzymes to transfer from elevated carbon dioxide to air and ozone fumigation, in the leaves and roots of wild-type and a catalase-deficient mutant of barley. **Physiologia Plantarum**, v. 104, n. 2, p. 280-292, 1998.
- BONORA, E.; NOFERINI, M.; STEFANELLI, D.; COSTA, G. A. A new simple modeling approach for the early prediction of harvest date and yield in nectarines. **Scientia Horticulturae**, v. 172, p. 1-9, 2014.
- BOTELHO, R. V.; AYUB, R. A.; MÜLLER, M. M. L. Unidades de frio e adaptação de plantas frutíferas de clima temperado a diferentes regiões do Estado do Paraná. **Scientia Agraria**, v. 7, p. 89-96, 2006.
- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical biochemistry**, v. 72, n. 1-2, p. 248-254, 1976.

CAI, B.; WANG, H.; LIU, T.; ZHUANG, W.; WANG, Z.; QU, S.; QIN, Y. Effects of gibberellins A₄ on budbreak, antioxidant enzymes' activity and proline content of flower buds in sweet cherry (*Prunus avium*). **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 41, n. 6, p. 1-9, 2019.

CARAMORI, P. H.; CAVIGLIONE, J. H.; WREGE, M. S.; HERTER, F. G.; HAUAGGE, R.; GONÇALVES, S. L.; CITADIN, I.; RICCE, W. D. S. Zoneamento agroclimático para o pessegueiro e a nectarineira no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 4, p. 1040-1044, 2008.

CARDOSO, L. S.; BERGAMASCHI, H.; BOSCO, L. C.; PAULA, V. A. D.; NACHTIGAL, G. R. Unidades de frio para macieiras na região de Vacaria-RS, Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, n. 2, p. 289-295, 2015.

CARVALHO, J. N.; PEREIRA, L. S.; DE CARVALHO, P. A.; DECARLOS NETO, A. Application of natural garlic extract to overcome bud dormancy of grapevines' BRS Rúbea' and 'BRS Cora'. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, n. 2, p. 216-219, 2016.

CHAVARRIA, G.; HERTER, F. G.; RASEIRA, M. D. C. B.; RODRIGUES, A. C.; REISSER, C.; SILVA, J. B. D. Mild temperatures on bud breaking dormancy in peaches. **Ciência Rural**, v. 39, n. 7, p. 2016-2021, 2009.

CITADIN, I.; BASSANI, M. H.; DANNER, M. A.; MAZARO, S. M.; GOUVÊA, A. D. Uso de cianamida hidrogenada e óleo mineral na floração, brotação e produção do pessegueiro'Chiripá'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 28, n. 1, p. 32-35, 2006.

COUVILLON, G. A.; EREZ, A. Influence of prolonged exposure to chilling temperatures on bud break and heat requirement for bloom of several fruit species. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 110, n. 1, p. 47-50, 1985.

DARBYSHIRE, R.; FARRERA, I.; MARTINEZ-LÜSCHER, J.; LEITE, G. B.; MATHIEU, V.; EL-YAACOUBI, A.; LEGAVE, J. M. A global evaluation of apple flowering phenology models for climate adaptation. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 240, p. 67-77, 2017.

DARDE, D. C.; ALMEIDA, G. K.; MARODIN, G. A. B. Budburst and flowering intensity by the spraying of dormancy-breaking products in 'Eva' apple trees. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 3, p. 1049-1062, 2019.

DÍEZ-PALET, I.; FUNES, I.; SAVÉ, R.; BIEL, C.; HERRALDE, F.; MIARNAU, X.; VARGAS, F.; ÀVILA, G.; CARBÓ, J.; ARANDA, X. Blooming under Mediterranean climate: Estimating cultivar-specific chill and heat requirements of almond and apple trees using a statistical approach. **Agronomy**, v. 9, n. 11, p. 760-781, 2019.

DOUSSEAU, S.; RODRIGUES, A. C.; LIRA, J. M. S.; RIBEIRO JÚNIOR, P. M.; PACHECO, F. V.; ALVARENGA, A. A. D.; RESENDE, M. L. V.; PAULA, A. C. C. F.

F. Aplicação exógena de quitosana no sistema antioxidante de jaborandi. **Ciência Rural**, v. 46, n. 1, p. 191-197, 2016.

DREPPER, B.; GOBIN, A.; REMY, S.; VAN ORSHOVEN, J. Comparing apple and pear phenology and model performance: what seven decades of observations reveal. **Agronomy**, v. 10, n. 1, p. 73-94, 2020.

EBERT, A.; PETRI, J. L.; BENDER, R. J.; BRAGA, H. J.. First experiences with chill units models in southern Brazil. **Acta Horticulturae**, v. 184, p. 89-96, 1986.

EL-YAACOUBI, A.; MALAGI, G.; OUKABLI, A.; CITADIN, I.; HAFIDI, M.; BONHOMME, M.; LEGAVE, J. M. Differentiated dynamics of bud dormancy and growth in temperate fruit trees relating to bud phenology adaptation, the case of apple and almond trees. **International journal of biometeorology**, v. 60, n. 11, p. 1695-1710, 2016.

EL-YAZAL, M. A. S.; RADY, M. M. Exogenous onion extract hastens bud break, positively alters enzyme activity, hormone, amino acids and phenol contents, and improves fruit quality in 'Anna' apple trees. **Scientia Horticulturae**, v. 169, p. 154-160, 2014.

EREZ, A. Bud dormancy; phenomenon, problems and solutions in the tropics and subtropics. In: **Temperate fruit crops in warm climates**. Springer, Dordrecht, 2000. p. 17-48.

FACHINELLO, J. C.; PASA, M. D. S.; SCHMITZ, J. D.; BETEMPS, D. L. Situação e perspectivas da fruticultura de clima temperado no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. SPE1, p. 109-120, 2011.

FALAVIGNA, V. S.; PORTO, D. D.; BUFFON, V.; MARGIS-PINHEIRO, M.; PASQUALI, G.; REVERS, L. F. Differential transcriptional profiles of dormancy-related genes in apple buds. **Plant Molecular Biology Reporter**, v. 32, n. 4, p. 796-813, 2014.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2019. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>>. Acesso em: 11 mai. 2021.

FARROKHI, J.; DARVISHZADEH, R.; NASERI, L.; AZAR, M. M.; MALEKI, H. H. Evaluation of Genetic Diversity Among Iranian Apple (*Malus domestica* Borkh.) Cultivars and Landraces Using Simple Sequence Repeat Markers. **Australian Journal of Crop Science**, v. 5, n. 7, p. 815-821, 2011.

FELIPPETO, J.; BERGONCI, J. I.; SANTOS, H. P.; NAVA, G. Modelos de previsão de brotação para o cultivar de videira Cabernet Sauvignon na Serra Gaúcha. **Agropecuária Catarinense**, v. 26, n. 2, p. 85-91, 2013.

FENILI, C. L.; GABARDO, G. C.; PETRI, J. L.; SEZERINO, A. A.; MARTIN, M. S. 2016. Comparação de diferentes métodos de somatória de unidades de frio na região de Caçador/SC, Brasil. **Revista da Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa-Congrega Urcamp**, v. 8, n. 1, p. 360-370, 2016.

FENILI, C.L.; PETRI, J.L.; SEZERINO, A.A.; DE MARTIN, M.S.; GABARDO, G.C.; SILVA D. E. Bluprins® as Alternative Bud Break Promoter for 'Maxi Gala' and 'Fuji Suprema' Apple Trees. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 26, p. 1-13, 2018.

FERNANDEZ, E.; WHITNEY, C.; LUEDELING, E. The importance of chill model selection-a multi-site analysis. **European Journal of Agronomy**, v. 119, p. 126103, 2020.

FIORENTIN, L. D.; TÉO, S. J.; SCHNEIDER, C. R.; COSTA, R. H.; BATISTA, S. Análise florística e padrão espacial da regeneração natural em área de Floresta Ombrófila Mista na região de Caçador, SC. **Floresta e ambiente**, v. 22, n. 1, p. 60-70, 2015.

GABARDO, G. C.; PETRI, J. L.; FENILI, C. L.; SEZERINO, A. A.; POLLI, R. G.; ESPERANÇA, C. F. Avaliação de características fenotípicas e fenológicas de cultivares de macieira na região do Meio Oeste catarinense. **Revista da Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa-Congrega Urcamp**, v. 8, n. 1, p. 158-172, 2016.

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**, v. 12, n. 2, p. 204-220, 2021.

GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K. Superoxide dismutases. I. Occurrence in higher plants. **Plant Physiology**, v. 59, n. 2, p. 309-314, 1977.

GILREATH P. R.; BUCHANAN, D. W. Rest prediction model for low-chilling 'Sungold' nectarine. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 106, n. 4, p. 426-429, 1981.

GUAK, S.; NEILSEN, D. Chill unit models for predicting dormancy completion of floral buds in apple and sweet cherry. **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, v. 54, n. 1, p. 29-36, 2013.

HAWERROTH, F. J.; HERTER, F. G.; PETRI, J. L.; MARAFON, A. C.; LEONETTI, J. F. Evaluation of winter temperatures on apple budbreak using grafted twigs. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 3, p. 713-721, 2013.

HAWERROTH, F. J.; PETRI, J. L.; HERTER, F. G.; LEITE, G. B.; LEONETTI, J. F.; MARAFON, A. C.; SIMÕES, F. Fenologia, brotação de gemas e produção de frutos de macieira em resposta à aplicação de cianamida hidrogenada e óleo mineral. **Bragantia**, v. 68, n. 4, p. 961-971, 2009.

HAWERROTH, F. J.; PETRI, J. L.; LEITE, G. B. 2011. Hydrogen cyanamide, mineral and vegetable oils on budbreak and fruit production of 'Royal Gala' apple trees. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 4Sup1, p. 1145-1154, 2010.

HERNANDEZ, J. A.; DÍAZ-VIVANCOS, P.; MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, G.; ALBURQUERQUE, N.; MARTÍNEZ, D.; BARBA-ESPÍN, G.; ACOSTA-MOTOS, J. R.; CARRERA, E.; GARCÍA-BRUNTÓN, J. Physiological and biochemical characterization of bud dormancy: Evolution of carbohydrate and antioxidant metabolisms and hormonal profile in a low chill peach variety. **Scientia Horticulturae**, v. 281, p. 109957, 2021.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2019. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457#resultado>>. Acesso em: 10 mai. 2021.

KUPLICH, T. M.; MOREIRA, A.; FONTANA, D. C. Série temporal de índice de vegetação sobre diferentes tipologias vegetais no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 10, p. 1116-1123, 2013.

KVITSCHAL, M. V.; COUTO, M.; BRANCHER, T. L. Variedades de macieira: cenário Internacional e Nacional. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 10, p. 18326-18334, 2019.

LALANNE-TISNÉ, G.; QUERO-GARCÍA, J.; LAFARGUE, M.; JOLY, J.; FOUILHAUX, L.; DIRLEWANGER, E.; COSTES, E.; LEGAVE, J. M. Comparison of phenotypic methodologies to characterize chilling and heat requirements of peach and apple cultivars. **Acta Horticulturae**, v. 1172, p. 349-354, 2017.

LAMELA, C. S. P.; REZEMINI, F.; BACINO, M. F.; MALGARIM, M. B.; HERTER, F. G.; PASA, M. S. Dormancy dynamics of 'Tannat' grapes in warm-winter climate conditions. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 288, p. 108016, 2020.

LANG G. A.; EARLY J. D.; MARTIN G. C.; DARNELL R.L. Endo-, para-, and ecodormancy: physiological terminology and classification for dormancy research. **HortScience**, v. 22, n. 3, p. 371-377, 1987.

LEGAVE, J. M.; FARRERA, I.; ALMÉRAS, T.; CALLEJA, M. Selecting models of apple flowering time and understanding how global warming has had an impact on this trait. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 83, n. 1, p. 76-84, 2008.

LINSLEY-NOAKES, G. C.; ALLAN, P.; MATTHEE, G. Modification of rest completion prediction models for improved accuracy in South African stone fruit orchards. **Journal of the Southern African Society for Horticultural Sciences**, v. 4, n. 1, p. 13-15, 1994.

LUEDELING, E. Climate change impacts on winter chill for temperate fruit and nut production: a review. **Scientia Horticulturae**, v. 144, p. 218-229, 2012.

LYSIAK, G. The sum of active temperatures as a method of determining the optimum harvest date of 'Sampion' and 'Ligol' apple cultivars. **Acta Scientiarum Polonorum-Hortorum Cultus**, v. 11, n. 6, p. 3-13, 2012.

MALAGI, G.; SACHET, M. R.; CITADIN, I.; HERTER, F. G.; BONHOMME, M.; REGNARD, J. L.; LEGAVE, J. M. The comparison of dormancy dynamics in apple

trees grown under temperate and mild winter climates imposes a renewal of classical approaches. **Trees**, v. 29, n. 5, p. 1365-1380, 2015.

MARCHI, T. **Indução da brotação e atividade enzimática de gemas de macieira mediante aplicação de óleos vegetais e mineral**. 2015. 73 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Unicentro-PR.

MARCHI, T.; OLIVARI, I. C. R.; MAIA, A. J.; SATO, A. J.; BOTELHO, R. V. Indução da brotação de gemas de macieiras com aplicação de óleos vegetais e mineral. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 3, p. 501-512, 2017.

MARGOTI, G.; DAGOSTIN, L.; FOWLER, J. G.; BIASI, L. A. Erger® e nitrato de cálcio na superação da dormência da macieira 'Eva'. **Global Science and Technology**, v. 13, n., p. 161-170, 2020.

MARTIN, M. S.; PETRI, J. L.; FENILI, C. L.; GABARDO, G. C. Quebra da dormência de macieiras 'Daiane' pelo uso do tidiazurom. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 16, n. 2, p. 81-87, 2017.

MCINTYRE, G. N.; LIDER, L. A.; FERRARI, N. L. The chronological classification of grapevine phenology. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 33, n. 2, p. 80-85, 1982.

MELKE, A. The physiology of chilling temperature requirements for dormancy release and bud-break in temperate fruit trees grown at mild winter tropical climate. **Journal of Plant Studies**, v. 4, n. 2, p. 110-136, 2015.

MILECH, C. G.; SCARIOTTO, S.; DINI, M.; HERTER, F. G.; RASEIRA, M. D. C. B. Models to estimate chilling accumulation under subtropical climatic conditions in Brazil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 23, p. 106-115, 2018.

MINUZZI, R. B. 2018. Modelagem estatística para a estimativa mensal de horas e unidades de frio em regiões de planalto do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. **Revista Ceres**, v. 65, n. 6, p. 474-480, 2018.

MOHAMED, H. B.; VADEL, A. M.; GEUNS, J. M.; KHEMIRA, H. Effects of hydrogen cyanamide on antioxidant enzymes' activity, proline and polyamine contents during bud dormancy release in Superior Seedless grapevine buds. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 34, n. 2, p. 429-437, 2012.

MUJAHID, Z.; TOUNEKTI, T.; KHEMIRA, H. Cold plasma treatment to release dormancy and improve growth in grape buds: a promising alternative to natural chilling and rest breaking chemicals. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 1-10, 2020.

NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidases in spinach chloroplasts. **Plant and Cell Physiology**, v. 22, n. 5, p. 867-880, 1981.

NAOR, A.; FLAISHMAN, M.; STERN, R.; MOSHE, A.; EREZ, A. Temperature effects on dormancy completion of vegetative buds in apple. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 128, n. 5, p. 636-641, 2003.

OU, S.; CHEN, C. Estimation of the chilling requirement and development of a low-chill model for local peach trees in Taiwan. **Journal of the Chinese Society for Horticultural Science**, v. 46, n. 4, p. 337-350, 2000.

PASA, M. D. S.; FELIPPETO, J.; NAVA, G.; SILVA, C. P. D.; BRIGHENTI, A. F.; CIOTTA, M. N. Performance of 'Fuji Suprema' apple trees treated with budbreak promoters, in São Joaquim-SC. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 40, n. 1, e-325, 2018.

PEÑA-ANTILLÓN, I. M.; JACOBO-CUÉLLAR, J. L.; PARRA-QUEZADA, R. A.; GUERRERO-PRIETO, V. M.; RAMÍREZ-LEGARRETA, M. R.; OJEDA-BARRIOS, D. L.; HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, O. A.; SALAS-SALAZAR, N. A. Influencia del frío invernal y portainjertos en la brotación y floración del manzano royal gala. **Revista Fitotecnia Mexicana**, v. 42, n. 4, p. 405-410, 2019.

PÉREZ, F. J.; LIRA, W. Possible role of catalase in post-dormancy bud break in grapevines. **Journal of Plant Physiology**, v. 162, n. 3, p. 301-308, 2005.

PERTILLE, R. H.; SACHET, M. R.; GUERREZI, M. T.; CITADIN, I. An R package to quantify different chilling and heat models for temperate fruit trees. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 167, p. 105067, 2019.

PETRI, J. L.; HAWERROTH, F. J.; FAZIO, G.; FRANCESCOTTO, P.; LEITE, G. B. Advances in fruit crop propagation in Brazil and worldwide-apple trees. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 41, n. 3, e-004, 2019.

PETRI, J. L.; LEITE, G. B.; COUTO, M.; GABARDO, G. C.; HAWERROTH, F. J.; Chemical induction of budbreak: new generation products to replace hydrogen cyanamide. **Acta Horticulturae**, v. 1042, p. 159-166, 2014.

PETRI, J. L.; SEZERINO, A. A.; HAWERROTH, F. J.; PALLADINI, L. A.; LEITE, G. B.; MARTIN, M. S. Dormência e indução à brotação de árvores frutíferas de clima temperado. **Boletim Técnico**, n. 192, 2021.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 13.ed. Piracicaba: Nobel, 1990. 468p.

POLA, A. C.; BRUNA, E. D.; PETRY, H. B.; MORETO, A. L. Florescimento precoce em pessegueiro e sua relação com a temperatura: um estudo de caso. **Agropecuária Catarinense**, v. 32, n. 1, p. 70-74, 2019.

PONTELLI, C. O.; MUCHERONI, M. F. Validação do modelo de uma suspensão de barra utilizada em pulverizadores tracionados. **Minerva**, v. 6, n. 2, p. 189-196, 2009.

POUGET, R. Physiology of vegetative dormancy in the vine. Bud dormancy and the mechanism of its breaking. **Annales de L Amelioration Des Plantes**, v. 13, p. 247, 1963.

PUTTI, G. L.; MENDEZ, M.; PETRI, J. L. Unidades de frio e de calor para a brotação de macieira (*Malus domestica*, Borck), 'Gala' e 'Fuji'. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 6, n. 3, 2000.

PUTTI, G. L.; PETRI, J. L.; MENDEZ, M. H.; LEITE, G. B. Necessidades térmicas para indução da brotação de diferentes cultivares de macieira. **Agropecuária Catarinense**, v. 19 n. 2, p. 71-74, 2006.

RADY, M. M.; EL-YAZAL, M. A. S. Response of 'Anna' apple dormant buds and carbohydrate metabolism during floral bud break to onion extract. **Scientia Horticulturae**, v. 155, p. 78-84, 2013.

RAI, R.; JOSHI, S.; ROY, S.; SINGH, O.; SAMIR, M.; CHANDRA, A. Implications of changing climate on productivity of temperate fruit crops with special reference to apple. **Journal of Horticulture**, v. 2, n. 2, p.135-141, 2015.

RICHARDSON, E. A.; SEELEY, S. D.; WALKER, D. R. A model for estimating the completion of rest for 'Redhaven' and 'Elberta' peach trees. **HortScience**, v.9, p. 331-332, 1974.

RICHARDSON, E. A.; SEELEY, S. D.; WALKER, D. R.; ANDERSON, J. L.; ASHCROFT, G. L. Pheno-climatography of spring peach bud development. **HortScience**, v. 10, n. 3, p. 236-237, 1975.

ROJO, J.; ORLANDINI, F.; BEN-DHIAB, A.; LARA, B.; PICORNELL, A.; OTEROS, J.; MSALLEM, M.; FORNACIARI, M.; PÉREZ-BADÍA, R. Estimation of chilling and heat accumulation periods based on the timing of olive pollination. **Forests**, v. 11, n. 8, p. 835-852, 2020.

SANTOS, R. F. D.; MARQUES, L. O. D.; MELLO-FARIAS, P.; MARTINS, C. R.; KONZEN, L. H.; CARVALHO, I. R.; MALGARIM, M. B. Budbreak induction in kiwifruit vines cultivated in an organic system by the biological method of single node cutting. **Bragantia**, v. 79, n. 2, p. 260-267, 2020.

SHALIMU, D.; SUN, J.; BASKIN, C. C.; BASKIN, J. M.; SUN, L.; LIU Y. Changes in oxidative patterns during dormancy break by warm and cold stratification in seeds of an edible fruit tree. **AoB Plants**, v. 8, 2016.

SHALTOUT, A. D.; UNRATH, C. R. Rest completion prediction model for 'Starkrimson Delicious' apples. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 108, n. 6, p. 957-961, 1983.

SOUZA, A. P.; RAMOS, C. M. C.; LIMA, A. D.; FLORENTINO, H. O.; ESCOBEDO, J. F. Comparison of methodologies for degree-day estimation using numerical methods. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 3, p. 391-400, 2011.

TAKEMURA, Y.; KUROKI, K.; JIANG, M.; MATSUMOTO, K.; TAMURA, F. Identification of the expressed protein and the impact of change in ascorbate peroxidase activity related to endodormancy breaking in *Pyrus pyrifolia*. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 86, p. 121-129, 2015.

TREVIÑO, M. G.; GUTIÉRREZ, A. Q. Efecto del extracto de ajo como compensador de frío en la brotación del manzano red delicious en la región de nuevo ideal Durango México. **Ingeniería y Región**, n. 20, p. 19-24, 2018.

VELIKOVA, V.; YORDANOV, I.; EDREVA, A. Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants. Protective role of exogenous polyamines. **Plant Science**, v. 151, n. 1, p. 59-66, 2000.

VULETA, A.; JOVANOVIĆ, S. M.; TUCIĆ, B. Adaptive flexibility of enzymatic antioxidants SOD, APX and CAT to high light stress: The clonal perennial monocot *Iris pumila* as a study case. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 100, p. 166-173, 2016.

WEINBERGER, J. H. Chilling requirements of peach varieties. **American Society for Horticultural Science**, v. 56, p. 122–128, 1950.

WREGE, M. S.; HERTER, F. G.; FRITZSON, E. Regiões com similaridade de horas de frio no outono-inverno no sul do Brasil (Chilling hours homogeneous areas in autumn-winter in Southern Brazil). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, p. 108-121, 2016.

WU, R.; TOMES, S.; KARUNAIRETNAM, S.; TUSTIN, S. D.; HELLENS, R. P.; ALLAN, A. C.; MACKNIGHT, R.; VARKONYI-GASIC, E. SVP-like MADS box genes control dormancy and budbreak in apple. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, 2017.

XING-LIANG, L.; JUN-KE, Z.; MIN-JI, L.; BEI-BEI, Z.; QIANG, Z.; QIN-PING, W. Genome-wide analysis of antioxidant enzyme gene families involved in drought and low-temperature responses in Apple (*Malus domestica*). **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 93, n. 4, p. 337-346, 2018.

YAMAMOTO, R. R.; LOUZADA, R. S.; FARIAS, P. C. M.; HERTER, F. G.; PEREIRA, J. F. M. Effect of rootstocks under different chilling accumulation conditions on pear dormancy release. **Acta Horticulturae**, n. 1094, p. 183-187, 2015.

YILDIZ, E.; ÇOLAK, A. M. Present condition of apple production in Uşak province. **International Journal of Agriculture Forestry and Life Sciences**, v. 2, n. 2, p. 189-193, 2018

Anexos

Anexo A: Equações modelos de acúmulo de frio para inserir no Software Microsoft Excel

X - Temperatura média horária

B1 – Temperatura média 0:00h até 0:59h

B24 - Temperatura média 23:00h até 23:59h

Z – Resultado da equação 1 do modelo PCU

- Utah

$SE(X \leq 1,4; 0; SE(E(X \geq 1,5; X \leq 2,4); 0,5; SE(E(X \geq 2,5; X \leq 9,1); 1; SE(E(X \geq 9,2; X \leq 12,4); 0,5; SE(E(X \geq 12,5; X \leq 15,9); 0; SE(E(X \geq 16; X \leq 18); -0,5; -1))))))$

- Utah Modificado

$SE(X \leq 1,4; 0; SE(E(X \geq 1,5; X \leq 2,4); 0,5; SE(E(X \geq 2,5; X \leq 9,1); 1; SE(E(X \geq 9,2; X \leq 12,4); 0,5; SE(E(X \geq 12,5; X \leq 15,9); 0; SE(E(X \geq 16; X \leq 18); 0; 0))))))$

- HF<7,2 °C

$SE(X < 7,2; 1; 0)$

- HF<10,0 °C

$SE(X < 10; 1; 0)$

- HF<15,0 °C

$SE(X < 15; 1; 0)$

- Low chill

$SE(X \leq -1; 0; SE(E(X \geq 1,8; X \leq 7,9); 0,5; SE(E(X \geq 8; X \leq 13,9); 1; SE(E(X \geq 14; X \leq 16,9); 0,5; SE(E(X \geq 17; X \leq 19,4); 0; SE(E(X \geq 19,5; X \leq 20,4); -0,5; -1))))))$

- Taiwan low chill

$SE(X < 7,2; 1; SE(E(X \geq 7,3; X \leq 15); 0,5; SE(E(X \geq 15,1; X \leq 26,6); 0; SE(E(X \geq 26,7; X \leq 27,8); -0,5; -1))))$

- Daily positive Utah chill unit (PCU)

SOMA(B1:B24A) – equação 1

SE(Z<0;0;Z) – equação 2

Anexo B: Equações modelos de soma térmica para inserir no Software Microsoft Excel

X – Temperatura média horária

Y- Temperatura média ajustada calculada pela fórmula: $(SE(X>25;25;X))$

- GDH base 4,5 °C

$SE(E(\$X \geq 4,5; \$X \leq 25); (\$X - 4,5); SE(\$X > 25; (25 - 4,5);))$

- GDH base 10 °C

$SE(E(\$X \geq 10; \$X \leq 25); (\$X - 10); SE(\$X > 25; (25 - 10);))$

- GDH base 15 °C

$SE(E(\$X \geq 15; \$X \leq 25); (\$X - 15); SE(\$X > 25; (25 - 15);))$

- GDH (Anderson) base 4,0

$((25 - 4)/2) * (1 + \cos(\pi * (\$Y - 4)/(25 - 4)))$

- GDH (Anderson) base 10,0

$((25 - 10)/2) * (1 + \cos(\pi * (\$Y - 10)/(25 - 10)))$

- GU 4,0/25

$SE(E(X \geq 4; X \leq 25); 1; 0)$

- GHD 2,5/29

$SE(E(\$X \geq 2,5; \$X \leq 29); (\$X - 2,5); SE(\$X > 29; (29 - 2,5);))$

- GU 2,5/29

$SE(E(X \geq 2,5; X \leq 29); 1; 0)$



Anexo C: Gemas no estágio fenológico em que foi realizada a aplicação dos indutores de brotação. Marques, L. O. D. UFPel, 2019.



Anexo D: Gemas após serem coletadas para análise da atividade de enzimas antioxidantes. Marques, L. O. D. UFPel, 2019.



Anexo E: Espectrofotômetro utilizado para análise da atividade de enzimas antioxidantes. Marques, L. O. D. UFPel, 2019.



Anexo F: Trabalhos em laboratório para análise da atividade de enzimas antioxidantes. Marques, L. O. D. UFPel, 2019.



Anexo G: Método biológico ‘teste de gema única’ logo após a implantação do experimento em Câmara Incubadora BOD. Marques, L. O. D. UFPel, 2020



Anexo H: Avaliações de estádios fenológicos. Marques, L. O. D. UFPel, 2019.



Anexo I: Avaliações de estádios fenológicos. Marques, L. O. D. UFPel, 2020.