

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

FISIOLOGIA E MODELAGEM DA DORMÊNCIA DE GEMAS EM MACIEIRA

Rafael Anzanello
Engenheiro Agrônomo, Mestre em Fitotecnia/UFRGS

Tese apresentada como um dos requisitos
à obtenção do Grau de Doutor em Fitotecnia
Ênfase Fisiologia e Manejo Vegetal

Porto Alegre (RS), Brasil
Setembro de 2012

CIP - Catalogação na Publicação

Anzanello, Rafael

Fisiologia e modelagem da dormência de gemas em
macieira / Rafael Anzanello. -- 2012.
281 f.

Orientador: Gilmar Arduino Bettio Marodin.

Coorientador: Flávio Bello Fialho.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia, Porto Alegre, BR-RS, 2012.

1. Dormência. 2. Brotação. 3. Fenologia. 4. Horas
de frio. 5. Malus domestica. I. Marodin, Gilmar
Arduino Bettio, orient. II. Fialho, Flávio Bello,
coorient. III. Título.

RAFAEL ANZANELLO
Engenheiro Agrônomo - UFRGS
Mestre em Fitotecnia - UFRGS

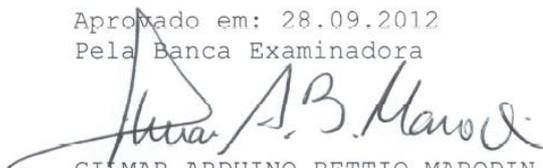
TESE

Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

DOUTOR EM FITOTECNIA

Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre (RS), Brasil

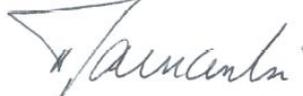
Aprovado em: 28.09.2012
Pela Banca Examinadora



GILMAR ARDUINO BETTIO MARODIN
Orientador - PPG Fitotecnia



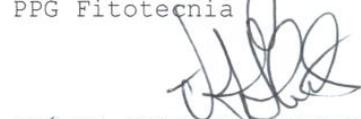
FLÁVIO BELLO FIALHO
Coorientador - EMBRAPA Uva e Vinho



HOMERO BERGAMASCHI
PPG Fitotecnia



PAULO VITOR DUTRA DE SOUZA
PPG Fitotecnia

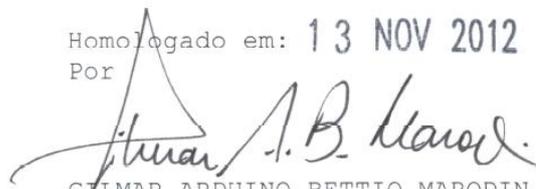


FLÁVIO GILBERTO HERTER
UFPel



LUIZ ANTONIO BIASI
UFPR

Homologado em: 13 NOV 2012
Por



GILMAR ARDUINO BETTIO MARODIN
Coordenador do Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia



PEDRO ALBERTO SELBACH
Diretor da Faculdade
de Agronomia

DEDICATÓRIA

*Aos meus pais Vilson e Ananci e a minha esposa Camila
dedico...*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida e por todas as oportunidades que me são concedidas;

aos pesquisadores Henrique Pessoa dos Santos e Flávio Bello Fialho, pela harmoniosa e valorosa convivência e pelo exemplo profissional e humano que me proporcionaram;

ao meu orientador, Prof. Gilmar Marodin, por toda liberdade prestada, ensinamentos, conselhos e companheirismo;

ao Prof. Homero Bergamaschi pela amizade, experiência de vida, considerações e incentivos dispensados ao longo do trabalho.

aos pesquisadores da Embrapa Uva e Vinho: Luis Fernando Revers, Paulo Ricardo Dias de Oliveira e Ana Beatriz Costa Czermainski pelo ensino técnico-científico aportado em suas habilidades específicas, presteza e amizade;

à equipe de apoio da Embrapa: Daniel Antunes Souza, Vanessa Buffon, Alexandre Baggio, Adriel Davi Marconatto, Dalton Antônio Zat, Denis Pedrotti, Fábio Motta Baggio, Fabrício Aramis Brum Barbosa, Gilmar José Casagrande Soligo, Heitor Corbelini, Irineu Casagrande, Jânio Lazzarini, Kátia Midori Hiwatashi, Léo Antonio Carollo, Roque Antônio Zílio, Sérgio Luis Zarpelon, Vasco Rizzon, Viviane Zanella Bello Fialho, pelo auxílio no trabalho, apoio e companheirismo;

aos colegas de pós-graduação e de iniciação científica que auxiliaram na experimentação, tanto a campo, quanto na Embrapa: Pâmela Perini, Aline Cristina

Gasperin, Marcelo Zart, Leonardo Cury da Silva, Diana Denardi, Roberta Cusin, Diogo Denardi Porto, Vitor da Silveira Falavigna, Rodrigo Corbetta e Sabrina Anderson Beker;

à FEPAGRO, em especial a diretora da unidade Serra – Veranópolis Cláudia M. Fogaça, que atestou interesse e apoio a conclusão do doutorado;

a minha esposa Camila Mensa Ciconet Anzanello, pelo apoio, compreensão, ajuda, paciência, carinho e amor prestados ao longo do estudo e por toda vida.

ao meu sogro José Luiz Ciconet e sogra Beatriz Regina Ciconet pela agradável convivência, ajuda quando necessária e conselhos concedidos em todos os momentos;

a minha família, em especial aos meus pais Ananci e Vilson Anzanello, ao meu irmão Michel José Anzanello e as minhas tias Vania Anzanello e Valderez Anzanello que tiveram contribuição decisiva na minha formação moral e intelectual e, que sempre me apoiaram, incentivaram e me ensinaram a crescer e seguir os princípios a mim herdados.

demonstro também minha gratidão à Universidade Federal do Rio Grande do Sul e ao Programa de Pós-graduação em Fitotecnia;

ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos;

à Embrapa Uva e Vinho pelo envolvimento e aporte financeiro pela execução do trabalho;

e ao produtor Décio Amorim, de Papanduva-SC, pela concessão do material experimental para elaboração do estudo.

FISIOLOGIA E MODELAGEM DA DORMÊNCIA DE GEMAS EM MACIEIRA¹

Autor: Rafael Anzanello

Orientador: Dr. Gilmar Arduino Bettio Marodin

Coorientador: Ph.D. Flávio Bello Fialho

RESUMO

Este estudo visou quantificar requerimentos térmicos durante a dormência de gemas de macieiras contrastantes em necessidade de frio hibernal (Castel Gala e Royal Gala), para desenvolver um modelo biológico teórico de predição da brotação, em condições subtropicais. Brindilas de macieiras foram coletadas em pomares de Papanduva-SC, de março a julho de 2009, 2010 e 2011. As estacas foram submetidas a diversas condições térmicas controladas, para determinar as exigências de intensidade e duração de frio (3, 6, 9 e 12°C, em 2009), o efeito de ciclos diários de temperatura (3/15°C, por 6/18h, 12/12h ou 18/6h, em 2010) e ondas de calor no período hibernal (1 ou 2 dias por semana a 25°C ou 7 dias a 25°C no início ou meio da endodormência, em 2011). Periodicamente, parte das estacas de cada tratamento foi transferida para 25°C, para avaliação diária da brotação das gemas apicais e laterais. Os dados de brotação foram analisados pelos parâmetros de brotação máxima, precocidade e uniformidade, estimados pela função de Gompertz. A temperatura base (T_b) de ambas cultivares foi determinada avaliando a brotação a 3, 5, 7, 9, 10, 11 e 12°C, após 1.512 horas de frio (HF). As gemas laterais foram controladas, principalmente, pela paradormência. A entrada em endodormência das gemas apicais foi mais efetiva em temperaturas oscilantes (3/15°C) que em frio constante (3°C), necessitando 48 a 72 HF em 'Castel Gala' e 120 a 165 HF em 'Royal Gala'. A dormência foi mais superficial em 'Castel Gala' (40% de brotação no período de máxima endodormência) que em 'Royal Gala' (brotação mínima nula ou próxima de zero). A saída da endodormência ocorreu com 300 HF em 'Castel Gala' e 600 HF em 'Royal Gala', com faixas ótimas de temperaturas de 3 a 12°C e 3 a 6°C, respectivamente. Ondas de calor com mais de 36 h na endodormência causaram aumento da necessidade de HF, anulando parte do frio acumulado. A precocidade e uniformidade de brotação foram mais regulares depois de suprido o frio exigido por cada genótipo. A T_b para estimar soma térmica na ecodormência de ambas cultivares é de 3 a 5°C. Desenvolveu-se um modelo teórico biológico do processo de dormência considerando, em conjunto, as respostas de indução e superação da endodormência e de ecodormência, em gemas de macieira.

¹ Tese de Doutorado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (281p.) Setembro, 2012.

PHYSIOLOGY AND MODELING OF BUD DORMANCY IN APPLE TREES²

Author: Rafael Anzanello

Advisor: Dr. Gilmar Arduino Bettio Marodin

Co-supervisor: Ph.D. Flávio Bello Fialho

ABSTRACT

The objective of this work was to quantify the thermal requirements during the dormancy of apple tree buds with contrasting winter chill needs (Castel Gala and Royal Gala), in order to develop a theoretical biological model for predicting budburst under subtropical conditions. Apple twigs were collected from an orchard in Papanduva-SC, from March to July of 2009, 2010 and 2011. The twigs were exposed to various controlled experimental conditions, in order to determine the requirements of intensity and duration of chilling (3, 6, 9 and 12°C, in 2009), the effect of different daily cycles of temperature (3/15°C for 6/18h, 12/12h or 18/6h, in 2010) and heat waves during the winter period (one or two days per week at 25°C, or 7 days at 25 °C at the beginning or middle of dormancy, in 2011). Periodically, a portion of twigs in each treatment was transferred to 25°C, for budburst evaluation in apical and lateral buds. Budburst data were evaluated through maximum budburst, precocity and uniformity, estimated by the Gompertz function. The base temperature of both cultivars was determined by budburst at 3, 5, 7, 9, 10, 11 and 12 °C, after a period of 1,512 chilling hours (CH). The results showed that the lateral buds were controlled mainly by paradormancy. The onset of apical bud endodormancy was more effective under fluctuating thermal conditions (3/15°C), when compared to constant chill (3°C), requiring 48-72 CH for Castel Gala and 120-165 CH for 'Royal Gala'. Dormancy of 'Castel Gala' was more superficial (40% budburst at maximum endodormancy depth) than that of 'Royal Gala' (zero or near zero minimum budburst). 'Castel Gala' buds overcame endodormancy after approximately 300 CH, while 'Royal Gala' buds required 600 CH. Optimum chill temperature ranged between 3 and 6°C in 'Royal Gala', but may be up to 12°C in 'Castel Gala'. Heat waves lasting over 36 h during endodormancy resulted in an increase of CH, canceling part of the accumulated chill. Budburst precocity and uniformity were more regular after the chill requirements of each genotype were met. The base temperature for thermal sum during ecodormancy is between 3 and 5°C for both cultivars. A theoretical biological model of the dormancy process in apple buds was developed, including details of the onset and overcoming stages of endodormancy and ecodormancy in apple buds.

² Doctoral thesis in Agronomy, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (281p.) September, 2012.

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	8
2.1 Classificação botânica e importância da cultura da macieira.....	8
2.2 Cultura da macieira no Brasil.....	9
2.3 Características das cultivares Castel Gala e Royal Gala.....	11
2.4 Dormência	13
2.4.1 Influência da temperatura sobre a dormência	20
2.4.2 Modelos de estimativa da superação da dormência.....	24
2.4.3 Métodos biológicos para avaliação da dormência	35
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	39
3.1 Coleta do material experimental	39
3.2 Condições meteorológicas.....	42
3.3 Processamento do material experimental.....	43
3.3.1 Método de estacas de nós isolados.....	45
3.3.2 Método de estacas intactas em potes	48
3.3.3 Método de estacas intactas embaladas na horizontal	50
3.3.4 Método de estacas intactas embaladas na vertical, com brotação em potes	51
3.3.5 Método de estacas intactas embaladas na vertical, com brotação em água	52
3.3.6 Método de estacas intactas embaladas na vertical, com brotação em plataforma com espuma fenólica	54
3.4 Caracterização das necessidades térmicas durante a dormência de gemas em macieira	55
3.4.1 Experimentos realizados no ano de 2009.....	56
3.4.2 Experimentos realizados no ano de 2010.....	58
3.4.3 Experimentos realizados no ano de 2011.....	61
3.5 Total de gemas amostradas para os experimentos de dormência em macieiras	69
3.6 Análise dos dados e modelagem do processo de dormência.....	70
3.7 Bases para o desenvolvimento do modelo teórico biológico para predição da brotação em macieira	79
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	82
4.1 Condições meteorológicas do local e período experimental.....	82
4.2 Comparação entre as funções de Gompertz e sigmoide simétrica para estimar a curva de brotação de gemas em macieira.....	91

4.3 Evolução do estado de dormência de gemas de macieira, após acúmulo de frio no campo	94
4.3.1 Respostas sobre o parâmetro brotação máxima	97
4.3.2 Respostas sobre o parâmetro precocidade	101
4.3.3 Respostas sobre o parâmetro uniformidade	104
4.4 Evolução do estado de dormência de gemas de macieira em condições controladas	106
4.4.1 Indução da endodormência	126
4.4.1.1 Respostas sobre o parâmetro brotação máxima	126
4.4.1.2 Respostas sobre os parâmetros precocidade e uniformidade	130
4.4.2 Superação da endodormência	131
4.4.2.1 Respostas sobre o parâmetro brotação máxima	131
a) Temperaturas de frio constantes	131
b) Oscilações térmicas diárias	133
c) Ondas de calor em meio ao frio	139
d) Evolução do frio nas gemas laterais	145
4.4.2.2 Respostas sobre o parâmetro precocidade	147
4.4.2.3 Respostas sobre o parâmetro uniformidade	150
4.4.3 Ecodormência	152
4.5 Progressão das fases da dormência em gemas de macieira durante o período hibernal	163
4.6 Aspectos metodológicos e fisiológicos para avanço da caracterização da dormência	165
4.6.1 Análise da influência de diferentes métodos biológicos para caracterização do estado de dormência de gemas de macieira ...	165
4.6.2 Influência das gemas laterais sobre a brotação da gema apical em estacas intactas de macieira	176
4.6.3 Evolução da endodormência em gemas de macieira em função da presença ou ausência de folhas no outono	184
4.7 Modelo teórico biológico para predição da brotação em macieira	189
4.7.1 Candidatos gênicos e metabólitos associados ao modelo teórico biológico para predição da brotação em macieira	197
5 CONCLUSÕES	205
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	208
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	214
8 APÊNDICES	230

RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
1. Unidades de frio para diferentes intervalos de temperatura (°C), segundo o modelo de Utah (Richardson <i>et al.</i> , 1974).	28
2. Unidades de frio para diferentes intervalos de temperatura (°C), segundo o modelo de Carolina do Norte (Shaltout & Unrath, 1983).....	29
3. Métodos de processamento e acondicionamento das estacas nos períodos de indução e superação da dormência (frio) e brotação (calor). Bento Gonçalves, RS, 2009/2010/2011.....	44
4. Resumos dos experimentos realizados em 2009, 2010 e 2011. Bento Gonçalves, RS.....	67
5. Número total de brindilas das cultivares 'Royal Gala' e 'Castel Gala' coletadas em 2009, 2010 e 2011. Papanduva, SC e Vacaria, RS.....	69
6. Quantidade de frio para a superação da endodormência, estimada pelos modelos de Horas de Frio ($HF \leq 7,2^{\circ}C$), Utah, Carolina do Norte, Utah Modificado e Carolina do Norte Modificado, para as cultivares Royal Gala (G) e Castel Gala (K), nos tratamentos do experimento 13 - junho de 2011. Bento Gonçalves, RS, 2011.....	142

RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1. Diagrama dos sinais e estações típicas do ano, correspondentes aos diferentes tipos de dormência vegetal. Adaptado de Horvath <i>et al.</i> (2003).....	14
2. Representação esquemática da progressão da dormência em gemas. Adaptado de Faust <i>et al.</i> (1997). Área hachureada acentuada: paradormência; Área não hachureada: endodormência; Área hachureada ondulada: ecodormência.....	16
3. Imagem espacial disponibilizada pelo aplicativo Google Earth® dos pomares de 'Royal Gala' (vermelho) e 'Castel Gala' (azul), onde o material vegetativo foi amostrado durante o período experimental de 2009, 2010 e 2011. Papanduva, SC.....	40
4. Detalhe do material vegetal coletado para avaliação da dormência de gemas em macieira. (A) Estruturas de frutificação da macieira; (B) Brindila de macieira; (C) Detalhe da gema apical; (D) Detalhe da gema lateral. Papanduva, SC.....	41
5. Processamento e acondicionamento das estacas de nós isolados em potes com espuma fenólica. (A) Espuma fenólica cortada; (B) Molde de padaria; (C) Pote com disco de espuma fenólica; (D) Molde de pregos; (E) Demarcação da posição de plantio das estacas; (F) Pote com estacas de nós isolados plantadas. Bento Gonçalves, RS.....	46
6. Avaliação de brotação das gemas em estacas de nós isolados (A) e estacas intactas (B), através de fotografias diárias. Bento Gonçalves, RS.....	47
7. Metodologia usada para avaliação da dormência em estacas de nós isolados. (A) Ramos de ano com 20 a 25 cm de comprimento; (B) Corte de estacas com 7 cm de comprimento, portando uma única gema lateral; (C) Corte de estacas com 7 cm de comprimento, portando uma única gema apical; (D) Estacas plantadas em potes com espuma fenólica; (E) Potes com estacas submetidas ao frio em câmaras BODs; (F) Potes com estacas após a transferência para o <i>fitotron</i> a 25°C; (G) Avaliação da brotação das gemas. Bento Gonçalves, RS.....	48

8. Metodologia usada para avaliar a dormência em estacas intactas em potes. (A) Estacas, com uma gema apical e de seis a onze gemas laterais, plantadas em espuma fenólica; (B) Potes com estacas intactas submetidas ao frio, em câmaras BODs; (C) Potes com estacas intactas após a transferência para o *fitotron* a 25°C, para avaliação da brotação das gemas. Bento Gonçalves, RS. 49
9. Metodologia usada para avaliar a dormência em estacas intactas embaladas na horizontal. (A) Estacas intactas distribuídas em feixes e embaladas em filme plástico preto; (B) Estacas embaladas submetidas ao frio, em câmaras BODs; (C) Plantio das estacas em espuma fenólica, antes da transferência para o calor; (D) Potes com estacas intactas após a transferência para o *fitotron* a 25°C, para avaliação da brotação das gemas. Bento Gonçalves, RS. 50
10. Metodologia usada para avaliar a dormência no método de estacas intactas embaladas na vertical, com brotação em potes. (A) Estacas de ano com 20 a 25 cm de comprimento; (B) Estacas distribuídas em feixes e embaladas em filme plástico preto; (C) Estacas submetidas ao frio em câmaras BODs; (D) Plantio das estacas em potes com espuma fenólica; Transferência das estacas para o calor em câmaras BOD (E) ou *fitotron* (F), para avaliação da brotação das gemas. Bento Gonçalves, RS. 52
11. Estacas dispostas no *fitotron* em posição ereta, sustentadas por uma dupla camada de tela trançada (orifícios de 1 cm x 1 cm), sobreposta a um reservatório de água, contendo uma lâmina de 3 cm de altura. Bento Gonçalves, RS. 53
12. Metodologia usada para avaliar a dormência em estacas intactas embaladas na vertical, com brotação em água. (A) Estacas de ano com 20 a 25 cm de comprimento; (B) Estacas distribuídas em feixes e embaladas em filme plástico preto; (C) Estacas embaladas submetidas ao frio, em câmaras BODs; (D) Transferência das estacas para o *fitotron* a 25°C, para avaliação da brotação das gemas. Bento Gonçalves, RS. ... 54
13. Estacas dispostas em posição ereta no *fitotron*, sustentadas por uma dupla camada de tela trançada (orifícios de 1cm x 1cm), sobreposta a uma camada de 3,75 cm de espuma fenólica umedecida. Bento Gonçalves, RS. 54
14. Metodologia usada para avaliar a dormência em estacas intactas embaladas na vertical, com brotação em espuma fenólica. (A) Ramos de ano com 20 a 25 cm de comprimento; (B) Estacas distribuídas em feixes e embaladas em filme plástico preto; (C) Estacas submetidas a diferentes regimes de frio, em câmaras BODs; (D) Transferência das estacas para a temperatura de 25°C, em *fitotron*, para avaliação da brotação das gemas. Bento Gonçalves, RS. 55

15. Tratamentos aplicados no experimento 11, visando avaliar a influência de gemas laterais sobre a brotação da gema apical em ramos de macieira. (I) Estaca intacta; (A) Estacas com remoção alternada das gemas laterais; (SI) Estacas com remoção das gemas laterais inferiores; (SS) Estacas com remoção das gemas laterais superiores; (SL) Estacas com remoção de todas as gemas laterais do ramo; (SA) Estacas com remoção da gema apical. Bento Gonçalves, RS, 2010. 61
16. Instalação de experimento a campo para avaliar se a presença ou ausência de folhas, na indução da endodormência, tem efeito sobre a profundidade e superação do processo. Ensaio aplicado na 'Royal Gala', expondo uma visão geral da área experimental (A), detalhe da aplicação do tratamento químico (B) e da desfolha manual (C e D). Vacaria, RS, 2011..... 65
17. Tratamentos aplicados no experimento 16, visando avaliar a influência das gemas laterais sobre a brotação da gema apical em ramos de macieira. (I) Estaca intacta; (SS) Estacas com remoção das gemas superiores do ramo; (FAS) Estacas com ferimento abaixo das gemas laterais superiores. Bento Gonçalves, RS, 2011. 66
18. Evolução da brotação de um grupo de gemas de 'Castel Gala' (linha laranja) e 'Royal Gala' (linha vermelha) ao longo do tempo, quando submetidas a uma temperatura adequada para a brotação. Bento Gonçalves, RS..... 70
19. Estimção da brotação usando a curva de Gompertz (A) e a curva sigmoide simétrica (B). Parâmetros atribuídos à curva de brotação: (M) Brotação máxima - Potencial máximo de brotação, em % de gemas brotadas; (P) Precocidade - tempo necessário para o alcance de 37% da brotação máxima (função assimétrica) e 50% da brotação máxima (função simétrica); (U) Uniformidade – período de tempo entre 10 e 90% da brotação máxima (Fialho, 1999; Fialho, 2002)..... 72
20. Precipitação pluvial e temperatura do ar, em base mensal, no ciclo vegetativo/produtivo de macieiras nas safras de 2008/2009, 2009/2010 e 2010/2011. Totais de precipitação de setembro a maio: 1035,7mm em 2008/2009, 1857,1mm em 2009/2010 e 1166,7mm em 2010/2011. Papanduva, SC, 2009/2010/2011..... 83
21. Nível de enfolhamento de macieiras 'Royal Gala' e 'Castel Gala' nas amostragens realizadas em 25 de março de 2009 (A), 13 de abril de 2010 (B) e 5 de abril de 2011 (C). Papanduva, SC, 2009/2010/2011..... 83
22. Precipitação pluvial diária e acumulada durante o período experimental de 2009 (A), 2010 (B) e 2011 (C) em Major Vieira, a 18,3 Km de Papanduva, SC. INMET, 2009/2010/2011. *Linhas vermelhas correspondem às épocas de coletas das gemas a campo. 85

23. Umidade relativa do ar durante o período experimental de 2009, 2010 e 2011, em Major Vieira, a 18,3 Km de Papanduva, SC. INMET, 2009/2010/2011.....	86
24. Radiação solar durante o período experimental de 2009, 2010 e 2011, em Major Vieira, a 18,3 Km de Papanduva, SC. INMET, 2009/2010/2011.....	87
25. Temperatura do ar média, média das máximas e média das mínimas, em base diária, durante o período experimental de 2009 (A), 2010 (B) e 2011 (C), em Major Vieira, a 18,3 Km de Papanduva, SC. INMET, 2009/2010/2011.....	89
26. Número de horas de frio (temperatura igual ou inferior a 7,2°C) diário e acumulado, de abril a setembro de 2009 (A), 2010 (B) e 2011 (C) em Major Vieira, a 18,3 Km de Papanduva, SC. INMET, 2009/2010/2011. *Linhas vermelhas correspondem às épocas de coletas das gemas a campo. Além das amostragens indicadas, houve uma coleta em março de 2009, com 0 HF, não mostrada na Figura 26A.	90
27. Diferenças ordenadas entre o coeficiente de determinação (R ²) das funções de Gompertz e sigmoide simétrica para estimar a curva de brotação de gemas em macieira. Valores positivos indicam que a função de Gompertz foi melhor e valores negativos apontam superioridade para a função simétrica. Bento Gonçalves, RS.....	92
28. Curvas de brotação ajustadas pela função de Gompertz para cada combinação (cultivar/tipo de gema) do tratamento controle de 2009, em estacas de nós isolados (método 3.3.1). Tratamento controle: gemas submetidas diretamente à temperatura de 25°C após trazidas do campo, tendo recebido frio apenas em condições naturais. Coleta de março (A), coleta de maio (B) e coleta de junho (C). Papanduva, SC, 2009.....	95
29. Curvas de brotação ajustadas pela função de Gompertz para cada combinação (cultivar/tipo de gema) do tratamento controle de 2010, em estacas intactas embaladas na vertical, com brotação em água (método 3.3.5). Tratamento controle: gemas submetidas diretamente à temperatura de 25°C após trazidas do campo, tendo recebido frio apenas em condições naturais. Coleta de abril (A), coleta de maio (B), coleta de junho (C) e coleta de julho (D). Papanduva, SC, 2010.....	96
30. Curvas de brotação ajustadas pela função de Gompertz para cada combinação (cultivar/tipo de gema) do tratamento controle de 2011, em estacas intactas embaladas na vertical, com brotação em espuma fenólica (método 3.3.6). Tratamento controle: gemas submetidas diretamente à temperatura de 25°C após trazidas do campo, tendo recebido frio apenas em condições naturais. Coleta de abril (A) e coleta de junho (B). Papanduva, SC, 2011.	97

31. Valores de brotação máxima para cada combinação (cultivar/tipo de gema) do tratamento controle de 2009, em estacas de nós isolados, método 3.3.1 (A), 2010 em estacas intactas embaladas na vertical, com brotação em água, método 3.3.5 (B) e 2011 em estacas intactas embaladas na vertical, com brotação em espuma fenólica, método 3.3.6 (C). (*) Gráficos com ocorrência de diferenças significativas ($P < 0,05$) entre os tratamentos (ver análise estatística no apêndice 7). Papanduva, SC, 2009/2010/2011..... 99
32. Valores de precocidade da brotação para cada combinação (cultivar/tipo de gema) do tratamento controle de 2009, em estacas de nós isolados, método 3.3.1 (A), 2010 em estacas intactas embaladas na vertical, com brotação em água, método 3.3.5 (B) e 2011 em estacas intactas embaladas na vertical, com brotação em espuma fenólica, método 3.3.6 (C). (*) Gráficos com ocorrência de diferenças significativas ($P < 0,05$) entre os tratamentos (ver análise estatística no apêndice 8). Papanduva, SC, 2009/2010/2011..... 103
33. Valores de uniformidade da brotação para cada combinação (cultivar/tipo de gema) do tratamento controle de 2009, em estacas de nós isolados, método 3.3.1 (A), 2010 em estacas intactas embaladas na vertical, com brotação em água, método 3.3.5 (B) e 2011 em estacas intactas embaladas na vertical, com brotação em espuma fenólica, método 3.3.6 (C). (*) Gráficos com ocorrência de diferenças significativas ($P < 0,05$) entre os tratamentos (ver análise estatística no apêndice 9). Papanduva, SC, 2009/2010/2011..... 105
34. Brotação máxima de gemas apicais (A, B e C) e laterais (D, E e F) em estacas de nós isolados (método 3.3.1) de macieiras 'Royal Gala', submetidas às temperaturas constantes de 3, 6, 9 e 12°C, durante o período de dormência. Área hachureada: período de indução da endodormência. Área não hachureada: período de superação da endodormência. Somas de horas de frio ($HF \leq 7,2^\circ\text{C}$) até a data de coleta estão indicadas no título dos gráficos. Os resultados referem-se às coletas de março, maio e junho de 2009. (*) Gráficos com ocorrência de diferenças significativas ($P < 0,01$) entre os tratamentos (ver análise estatística nos apêndices 10D, 10E, 10F e 11D). Bento Gonçalves, RS, 2009..... 108
35. Brotação máxima de gemas apicais (A, B e C) e laterais (D, E e F) em estacas de nós isolados (método 3.3.1) de macieiras 'Castel Gala', submetidas às temperaturas constantes de 3, 6, 9 e 12°C, durante o período de dormência. Área hachureada: período de indução da endodormência. Área não hachureada: período de superação da endodormência. Somas de horas de frio ($HF \leq 7,2^\circ\text{C}$) até a data de coleta estão indicadas no título dos gráficos. Os resultados referem-se às coletas de março, maio e junho de 2009. (*) Gráficos com ocorrência de diferenças significativas ($P < 0,01$) entre os tratamentos (ver análise estatística nos apêndices 12D, 12E e 13D) Bento Gonçalves, RS, 2009.. 109

36. Brotação máxima de gemas apicais (A, B, C e D) e laterais (E, F, G e H) em estacas intactas (método 3.3.5) de macieiras 'Royal Gala', submetidas à temperatura constante de 3°C ou ciclos diários de 3/15°C por 18/6h, 12/12h e 6/18h, durante o período de dormência. Área hachureada: período de indução da endodormência. Área não hachureada: período de superação da endodormência. Somas de horas de frio ($HF \leq 7,2^\circ\text{C}$) até a data de coleta estão indicadas no título dos gráficos. Os resultados referem-se às coletas de abril, maio, junho e julho de 2010. (*) Gráficos com ocorrência de diferenças significativas ($P < 0,01$) entre os tratamentos (ver análise estatística nos apêndices 14E, 14F, 14H, 15E, 15F, 15G, 15H). Bento Gonçalves, RS, 2010..... 110
37. Brotação máxima de gemas apicais (A, B, e C) e laterais (D, E, e F) em estacas intactas (método 3.3.5) de macieiras 'Castel Gala', submetidas à temperatura constante de 3°C ou ciclos diários de 3/15°C por 18/6h, 12/12h e 6/18h, durante o período de dormência. Área hachureada: período de indução da endodormência. Área não hachureada: período de superação da endodormência. Somas de horas de frio ($HF \leq 7,2^\circ\text{C}$) até a data de coleta estão indicadas no título dos gráficos. Os resultados referem-se às coletas de abril, maio e junho de 2010. (*) Gráficos com ocorrência de diferenças significativas ($P < 0,01$) entre os tratamentos (ver análise estatística nos apêndices 16D e 17E). Bento Gonçalves, RS, 2010..... 111
38. Brotação máxima de gemas apicais (A e B) e laterais (C e D) em estacas intactas (método 3.3.6) de macieiras 'Royal Gala', submetidas à temperatura constante de 3°C, ciclos diários de 3/15°C (12/12h) ou ondas de calor de 25°C em meio ao frio de 3°C ou 3/15°C (12/12h), durante o período de dormência. Área hachureada: período de indução da endodormência. Área não hachureada: período de superação da endodormência. Somas de horas de frio ($HF \leq 7,2^\circ\text{C}$) até a data de coleta estão indicadas no título dos gráficos. Os resultados referem-se às coletas de abril e junho de 2011. (*) Gráficos com ocorrência de diferenças significativas ($P < 0,01$) entre os tratamentos (ver análise estatística nos apêndices 18D e 19D). Bento Gonçalves, RS, 2011. 112
39. Brotação máxima de gemas apicais (A e B) e laterais (C e D) em estacas intactas (método 3.3.6) de macieiras 'Castel Gala', submetidas à temperatura constante de 3°C, ciclos diários de 3/15°C (12/12h) ou ondas de calor de 25°C em meio ao frio de 3°C, durante o período de dormência. Área hachureada: período de indução da endodormência. Área não hachureada: período de superação da endodormência. Somas de horas de frio ($HF \leq 7,2^\circ\text{C}$) até a data de coleta estão indicadas no título dos gráficos. Os resultados referem-se às coletas de abril e junho de 2011. (*) Gráficos com ocorrência de diferenças significativas ($P < 0,01$) entre os tratamentos (ver análise estatística nos apêndice 20D). Bento Gonçalves, RS, 2011..... 113

40. Precocidade da brotação de gemas apicais (A, B e C) e laterais (D, E e F) em estacas de nós isolados (método 3.3.1) de macieiras 'Royal Gala', submetidas às temperaturas constantes de 3, 6, 9 e 12°C, durante o período de dormência. Área hachureada: período de indução da endodormência, demarcada a partir do resultado do parâmetro brotação máxima das gemas apicais. Área não hachureada: período de superação da endodormência. Somas de horas de frio ($HF \leq 7,2^\circ\text{C}$) até a data de coleta estão indicadas no título dos gráficos. Os resultados referem-se às coletas de março, maio e junho de 2009. (*) Gráficos com ocorrência de diferenças significativas ($P < 0,01$) entre os tratamentos (ver análise estatística nos apêndices 22D, 22E, 23D, 23E e 23F). Bento Gonçalves, RS, 2009..... 114
41. Precocidade da brotação de gemas apicais (A, B e C) e laterais (D, E e F) em estacas de nós isolados (método 3.3.1) de macieiras 'Castel Gala', submetidas às temperaturas constantes de 3, 6, 9 e 12°C, durante o período de dormência. Área hachureada: período de indução da endodormência, demarcada a partir do resultado do parâmetro brotação máxima das gemas apicais. Área não hachureada: período de superação da endodormência. Somas de horas de frio ($HF \leq 7,2^\circ\text{C}$) até a data de coleta estão indicadas no título dos gráficos. Os resultados referem-se às coletas de março, maio e junho de 2009. (*) Gráficos com ocorrência de diferenças significativas ($P < 0,01$) entre os tratamentos (ver análise estatística nos apêndices 24D, 24E, 24F, 25D, 25E e 25F). Bento Gonçalves, RS, 2009..... 115
42. Precocidade da brotação de gemas apicais (A, B, C e D) e laterais (E, F, G e H) em estacas intactas (método 3.3.5) de macieiras 'Royal Gala', submetidas a 3°C constante ou ciclos diários de 3/15°C por 18/6h, 12/12h e 6/18h, na dormência. Área hachureada: período de indução da endodormência, demarcada a partir do resultado do parâmetro brotação máxima das gemas apicais. Área não hachureada: período de superação da endodormência. Somas de horas de frio ($HF \leq 7,2^\circ\text{C}$) até a data de coleta estão indicadas no título dos gráficos. Os resultados referem-se às coletas de abril, maio, junho e julho de 2010. (*) Gráficos com ocorrência de diferenças significativas ($P < 0,01$) entre os tratamentos (ver análise estatística nos apêndices 26E, 26F, 26G, 26H, 27E, 27F, 27G e 27H). Bento Gonçalves, RS, 2010..... 116

43. Precocidade da brotação de gemas apicais (A, B e C) e laterais (D, E e F) em estacas intactas (método 3.3.5) de macieiras 'Castel Gala', submetidas à temperatura constante de 3°C ou ciclos diários de 3/15°C por 18/6h, 12/12h e 6/18h, durante o período de dormência. Área hachureada: período de indução da endodormência, demarcada a partir do resultado do parâmetro brotação máxima das gemas apicais. Área não hachureada: período de superação da endodormência. Somas de horas de frio ($HF \leq 7,2^\circ\text{C}$) até a data de coleta estão indicadas no título dos gráficos. Os resultados referem-se às coletas de abril, maio e junho de 2010. (*) Gráficos com ocorrência de diferenças significativas ($P < 0,01$) entre os tratamentos (ver análise estatística nos apêndices 28D, 28E e 29E). Bento Gonçalves, RS, 2010. 117
44. Precocidade da brotação de gemas apicais (A e B) e laterais (C e D) em estacas intactas (método 3.3.6) de macieiras 'Royal Gala', submetidas à temperatura constante de 3°C, ciclos diários de 3/15°C (12/12h) ou ondas de calor de 25°C em meio ao frio de 3°C ou 3/15°C (12/12h), durante o período de dormência. Área hachureada: período de indução da endodormência, demarcada a partir do parâmetro brotação máxima das gemas apicais. Área não hachureada: período de superação da endodormência. Somas de horas de frio ($HF \leq 7,2^\circ\text{C}$) até a data de coleta estão indicadas no título dos gráficos. Os resultados referem-se às coletas de abril e junho de 2011. (*) Gráficos com ocorrência de diferenças significativas ($P < 0,01$) entre os tratamentos (ver análise estatística nos apêndices 30C, 30D e 31D). Bento Gonçalves, RS, 2011. 118
45. Precocidade da brotação de gemas apicais (A e B) e laterais (C e D) em estacas intactas (método 3.3.6) de macieiras 'Castel Gala', submetidas à temperatura constante de 3°C, ciclos diários de 3/15°C (12/12h) ou ondas de calor de 25°C em meio ao frio de 3°C, durante o período de dormência. Área hachureada: período de indução da endodormência. Área não hachureada: período de superação da endodormência. Somas de horas de frio ($HF \leq 7,2^\circ\text{C}$) até a data de coleta estão indicadas no título dos gráficos. Os resultados referem-se às coletas de abril e junho de 2011. (*) Gráficos com ocorrência de diferenças significativas ($P < 0,01$) entre os tratamentos (ver análise estatística nos apêndices 32C, 32D e 33D). Bento Gonçalves, RS, 2011. 119
46. Uniformidade da brotação de gemas apicais (A, B e C) e laterais (D, E e F) em estacas de nós isolados (método 3.3.1) de macieiras 'Royal Gala', submetidas às temperaturas constantes de 3, 6, 9 e 12°C, durante o período de dormência. Área hachureada: período de indução da endodormência, demarcada a partir do resultado do parâmetro brotação máxima das gemas apicais. Área não hachureada: período de superação da endodormência. Somas de horas de frio ($HF \leq 7,2^\circ\text{C}$) até a data de coleta estão indicadas no título dos gráficos. Os resultados referem-se às coletas de março, maio e junho de 2009. (*) Gráficos com ocorrência de diferenças significativas ($P < 0,01$) entre os tratamentos (ver análise estatística nos apêndices 34F e 35F). Bento Gonçalves, RS, 2009. 120

47. Uniformidade da brotação de gemas apicais (A, B e C) e laterais (D, E e F) em estacas de nós isolados (método 3.3.1) de macieiras 'Castel Gala', submetidas às temperaturas constantes de 3, 6, 9 e 12°C, durante o período de dormência. Área hachureada: período de indução da endodormência, demarcada a partir do resultado do parâmetro brotação máxima das gemas apicais. Área não hachureada: período de superação da endodormência. Somas de horas de frio ($HF \leq 7,2^\circ\text{C}$) até a data de coleta estão indicadas no título dos gráficos. Os resultados referem-se às coletas de março, maio e junho de 2009. (*) Gráficos com ocorrência de diferenças significativas ($P < 0,01$) entre os tratamentos (ver análise estatística nos apêndices 36E, 36F e 37D). Bento Gonçalves, RS, 2009..... 121
48. Uniformidade de brotação de gemas apicais (A, B, C e D) e laterais (E, F, G e H) em estacas intactas (método 3.3.5) de macieiras 'Royal Gala', submetidas à temperatura constante de 3°C ou ciclos diários de 3/15°C por 18/6h, 12/12h e 6/18h, durante o período de dormência. Área hachureada: período de indução da endodormência, demarcada a partir do resultado do parâmetro brotação máxima das gemas apicais. Área não hachureada: período de superação da endodormência. Somas de horas de frio ($HF \leq 7,2^\circ\text{C}$) até a data de coleta estão indicadas no título dos gráficos. Os resultados referem-se às coletas de abril, maio, junho e julho de 2010. Bento Gonçalves, RS, 2010. 122
49. Uniformidade da brotação de gemas apicais (A, B e C) e laterais (D, E e F) em estacas intactas (método 3.3.5) de macieiras 'Castel Gala', submetidas à temperatura constante de 3°C ou ciclos diários de 3/15°C por 18/6h, 12/12h e 6/18h, durante o período de dormência. Área hachureada: período de indução da endodormência, demarcada a partir do resultado do parâmetro brotação máxima das gemas apicais. Área não hachureada: período de superação da endodormência. Somas de horas de frio ($HF \leq 7,2^\circ\text{C}$) até a data de coleta estão indicadas no título dos gráficos. Os resultados referem-se às coletas de abril, maio e junho de 2010. (*) Gráficos com ocorrência de diferenças significativas ($P < 0,01$) entre os tratamentos (ver análise estatística no apêndice 40D). Bento Gonçalves, RS, 2010..... 123
50. Uniformidade da brotação de gemas apicais (A e B) e laterais (C e D) em estacas intactas (método 3.3.6) de macieiras 'Royal Gala', submetidas à temperatura constante de 3°C, ciclos diários de 3/15°C (12/12h) ou ondas de calor de 25°C em meio ao frio de 3°C ou 3/15°C (12/12h), durante o período de dormência. Área hachureada: período de indução da endodormência, demarcada a partir do parâmetro brotação máxima das gemas apicais. Área não hachureada: período de superação da endodormência. Somas de horas de frio ($HF \leq 7,2^\circ\text{C}$) até a data de coleta estão indicadas no título dos gráficos. Os resultados referem-se às coletas de abril e junho de 2011. (*) Gráficos com ocorrência de diferenças significativas ($P < 0,01$) entre os tratamentos (ver análise estatística no apêndice 42D). Bento Gonçalves, RS, 2011. 124

51. Uniformidade da brotação de gemas apicais (A e B) e laterais (C e D) em estacas intactas (método 3.3.6) de macieiras 'Castel Gala', submetidas à temperatura constante de 3°C, ciclos diários de 3/15°C (12/12h) ou ondas de calor de 25°C em meio ao frio de 3°C, durante o período de dormência. Área hachureada: período de indução da endodormência. Área não hachureada: período de superação da endodormência. Somas de horas de frio ($HF \leq 7,2^\circ\text{C}$) até a data de coleta estão indicadas no título dos gráficos. Os resultados referem-se às coletas de abril e junho de 2011. Bento Gonçalves, RS, 2011..... 125
52. Diferença de HF (ou UF) dos tratamentos com ondas de calor em relação àqueles que superaram a dormência com 330 HF ou 330 UF (3°C constante ou 3/15°C, 12/12h), na cultivar Castel Gala. Bento Gonçalves, RS..... 144
53. Diferença de HF (ou UF) dos tratamentos com ondas de calor em relação àqueles que superaram a dormência com 618 HF ou 618 UF (3°C constante ou 3/15°C, 12/12h), na cultivar Royal Gala. Bento Gonçalves, RS..... 144
54. Distribuição temporal da brotação das gemas apicais e laterais de macieiras 'Royal Gala' e 'Castel Gala' após a transferência do frio para o calor. As gemas em estacas de nós isolados (método 3.3.1) foram submetidas a quatro níveis de frio (3, 6, 9 e 12°C), por 2016HF, e após transferidas para cinco níveis de calor, sendo o resultado representado pela média da brotação obtida nos tratamentos de 13, 16, 19, 22 e 25°C. As barras dos gráficos representam a percentagem de gemas brotadas por dia, para as cultivares Royal Gala (vermelho) e Castel Gala (verde). Os resultados são referentes à coleta de março de 2009. Bento Gonçalves, RS, 2009..... 154
55. Distribuição temporal da brotação das gemas apicais e laterais de macieiras 'Royal Gala' e 'Castel Gala' após a transferência do frio para o calor. As gemas em estacas intactas (método 3.3.4) foram submetidas ao tratamento de frio em 3°C por 1512 HF e após transferidas para tratamentos de 3, 5, 7, 9, 10, 11 e 12°C para avaliação da brotação. Em 3°C não houve estímulo à brotação. Os resultados se referem à coleta de maio de 2010. Bento Gonçalves, RS, 2010..... 156
56. Evolução meristemática das gemas apicais de macieiras 'Castel Gala' e 'Royal Gala'. Gemas apicais da cv. Castel Gala foram mantidas no frio por 504 HF a 3°C e por 1344 HF para a cultivar Royal Gala. Após, foram avaliadas, a cada dois dias, a temperatura de 25°C, até alcançarem brotação. Experimento realizado com estacas intactas (método 3.3.5), após a coleta de abril de 2010, com auxílio de lupa com aumento de 20 vezes, com papel quadriculado de 1,5 mm. Bento Gonçalves, RS, 2010. 158

57. Brotação máxima (A), precocidade (B) e uniformidade (C) de gemas apicais e laterais, em estacas intactas das macieiras 'Castel Gala' e 'Royal Gala' ao longo do período de ecodormência. Estacas intactas (método 3.3.4) de 'Castel Gala' e 'Royal Gala' foram submetidas à temperatura de 3°C por 1146 HF, para a superação da endodormência e, após, transferidas para tratamentos compostos de 1 dia a 3°C a cada 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ou 10 dias a 25°C, em condições controladas. Os resultados são referentes à coleta junho de 2011. Bento Gonçalves, RS, 2011..... 162
58. Progressão das fases da dormência de gemas em macieira durante o período hibernar. (A) Representação adaptada de Faust et al. (1997); (B) Nova representação esquemática dos tipos de dormência em gemas. FV – final do ciclo vegetativo; C – colheita; S – senescência; D – pico da dormência; IV – início do ciclo vegetativo. Bento Gonçalves, RS..... 163
59. Distribuição da brotação geral de gemas apicais e laterais em macieiras 'Castel Gala' e 'Royal Gala', nos anos de 2009 (A), 2010 (B) e 2011 (C). Bento Gonçalves, RS, 2009/2010/2011..... 166
60. Distribuição da brotação, considerando de modo conjunto as gemas apicais e laterais das macieiras 'Castel Gala' e 'Royal Gala', para estacas de nós isolados (método 3.3.1) (A), estacas intactas embaladas na horizontal (método 3.3.3) (B) e estacas intactas em potes (método 3.3.2) (C), quando acondicionadas ao frio. Experimento realizado após a coleta de junho de 2009. Bento Gonçalves, RS, 2009. 169
61. Brotação das gemas apicais da macieira 'Royal Gala' em estacas de nós isolados (A) e estacas intactas (B) e da macieira 'Castel Gala', em estacas de nós isolados (C) e estacas intactas (D). Bento Gonçalves, RS, 2009/2010..... 172
62. Análise dos tecidos das gemas apicais, após 56 dias a temperatura de 25°C, quando as estacas foram mantidas com a base imersa em água (A) ou em espuma fenólica umedecida (B). Bento Gonçalves, RS, 2010/2011..... 174
63. Evolução da brotação da gema apical em estacas intactas (método 3.3.2) (A) e estacas de nós isolados (método 3.3.1) (B) de macieiras 'Castel Cala', coletadas em junho de 2009 e submetidas a 6°C por diferentes tempos de exposição (HF). Bento Gonçalves, RS, 2009. 177

64. Evolução da brotação máxima (A, D), precocidade (B, E) e uniformidade (C, F) das gemas apicais (esquerda) e laterais (direita) de macieiras 'Castel Gala' submetidas a diferentes tratamentos, quanto à disposição das gemas axilares no ramo, e após expostas à temperatura de 3°C constante durante o período de dormência. Experimento realizado em estacas intactas (método 3.3.5), após a coleta de maio de 2010. A quantidade de HF \leq 7,2°C ocorridas no campo até a data de coleta estão indicadas no título dos gráficos. (*) Gráficos com ocorrência de diferenças significativas (P<0,01) entre os tratamentos (ver análise estatística nos apêndices 46D, 46E, 46F, 47D e 47E). Bento Gonçalves, RS, 2010. 179
65. Evolução da brotação máxima (A, D), precocidade (B, E) e uniformidade (C, F) das gemas apicais (esquerda) e laterais (direita) de macieiras 'Castel Gala' submetidas a diferentes tratamentos, quanto à disposição das gemas axilares no ramo, e após expostas à temperatura de 3°C constante durante o período de dormência. Experimento realizado em estacas intactas (método 3.3.6), após a coleta de junho de 2011. A quantidade de HF \leq 7,2°C ocorridas no campo até a data de coleta estão indicadas no título dos gráficos. (*) Gráficos com ocorrência de diferenças significativas (P<0,05) entre os tratamentos (ver análise estatística no apêndice 48E). Bento Gonçalves, RS, 2011..... 182
66. Evolução da brotação máxima (A), precocidade (B) e uniformidade (C) das gemas apicais de macieiras 'Royal Gala' submetidas a diferentes modalidades de desfolha no campo, com 0 HF, coletadas no campo com 225 HF e expostas a temperatura de 3°C para a superação da dormência, em condições controladas. Experimento realizado em estacas intactas (método 3.3.6), após a coleta de junho de 2011. (*) Gráficos com ocorrência de diferenças significativas entre os tratamentos (ver análise estatística nos apêndices 50D e 50E). Bento Gonçalves, RS, 2011..... 186
67. Esquematização do modelo teórico biológico para predição da brotação em macieira. C = precursor indutor da endodormência; Da = endodormência induzida; Y = enzima responsável pela indução da endodormência; Di = endodormência superada; S = substância responsável pela superação da endodormência e B = brotação. Bento Gonçalves, RS..... 189

68. Representação da indução e superação da endodormência. Início da conversão de C em Da indica início da indução da endodormência. Ao finalizar esta conversão termina a fase de indução, pois o nível de endodormência é máximo. Com o início da conversão de Da em Di ocorre o início da superação da endodormência. Ao finalizar esta conversão termina a fase de superação, ocorrendo liberação das gemas da endodormência. (A) Indução e superação da endodormência em genótipo com média-alta necessidade de frio (Royal Gala); (B) Indução e superação da endodormência em genótipo com baixa necessidade de frio (Castel Gala); (C) Indução e prolongada superação (linha tracejada vermelha) da endodormência, em presença de ondas de calor em meio ao frio, durante a saída do processo em genótipo com média-alta necessidade de frio (Royal Gala). Bento Gonçalves, RS. 192
69. Evolução da dormência durante o período hibernar. (A) Invernos bons, com acúmulo de frio suficiente para superar a dormência; (B) Invernos amenos, com necessidade de superação da dormência por agentes químicos; (C) Invernos ruins, com frio insuficiente para a quebra natural ou com agentes químicos. Linha verde indica o nível crítico de Da e Di para a superação natural da dormência. Linha vermelha indica o nível crítico de Da e Di para a superação da dormência por agentes químicos. Bento Gonçalves, RS..... 195
70. Modelo de indução e superação da endodormência de gemas de plantas perenes por baixas temperaturas e dias curtos. Adaptado de Horvath (2009)..... 199
71. Perfil transcricional do gene DAM 2 durante o ciclo anual das macieiras 'Castel Gala' (linha azul) e 'Royal Gala' (linha vermelha), safra 2009/2010 (Falavigna *et al.*, 2012). Bento Gonçalves, RS. 201
72. Perfil transcricional dos genes MdDHN9, MdDHN8, MdDHN5, GoIS, GAST-like e NAC durante o ciclo anual das macieiras 'Castel Gala' (linha azul) e 'Royal Gala' (linha vermelha), safra 2009/2010 (Falavigna *et al.*, 2012). Bento Gonçalves, RS. 202
73. Perfil qualitativo de metabólitos em gemas de macieiras 'Royal Gala' e 'Castel Gala', obtidos por extração em metanol/clorofórmio e analisados em GC/MS (Falavigna *et al.*, 2012). Bento Gonçalves, RS, 2012. 204
74. Análise de componentes principais (PCA) considerando o conjunto de metabólitos e dois grupos de gemas (dormentes e não dormentes) das macieiras 'Royal Gala' e 'Castel Gala'. Dados obtidos por GC/MS (Falavigna *et al.*, 2012). Bento Gonçalves, 2012. 204

RELAÇÃO DE APÊNDICES

	Página
1. Escala fenológica da macieira (Iuchi, 2006).....	230
2. Reparametrização da curva de Gompertz.....	231
3. Curvas brutas (A, B, C e D) e curvas suavizadas (E, F, G e H) obtidas para o parâmetro brotação máxima. Bento Gonçalves, RS, 2012.	233
4. Curvas brutas (A, B e C) e curvas suavizadas (D, E e F) obtidas para o parâmetro precocidade. Bento Gonçalves, RS, 2012.	234
5. Curvas brutas (A, B e C) e curvas suavizadas (D, E e F) obtidas para o parâmetro uniformidade. Bento Gonçalves, RS, 2012.	235
6. Representação gráfica da análise da variância comparativa entre as curvas referentes à coleta de junho de 2009 para as gemas apicais de 'Royal Gala' (A), coleta de maio de 2010 para as gemas apicais de 'Castel Gala' (B), coleta de junho de 2010 para as gemas apicais de 'Royal Gala' (C) e coleta de junho para as gemas apicais de 'Castel Gala' (D). Bento Gonçalves, RS, 2012.	236
7. Valores de brotação máxima das gemas apicais controle de 2009 (A), 2010 (B), 2011 (C) e entre anos (D) e das gemas laterais controle de 2009 (E), 2010 (F), 2011 (G) e entre anos (H) para as macieiras 'Royal Gala' e 'Castel Gala'. Papanduva, SC, 2009/2010/2011.....	237
8. Valores de precocidade de brotação das gemas apicais controle de 2009 (A), 2010 (B), 2011 (C) e entre anos (D) e das gemas laterais controle de 2009 (E), 2010 (F), 2011 (G) e entre anos (H) para as macieiras 'Royal Gala' e 'Castel Gala'. Papanduva, SC, 2009/2010/2011.....	238
9. Valores de uniformidade de brotação das gemas apicais controle de 2009 (A), 2010 (B), 2011 (C) e entre anos (D) e das gemas laterais controle de 2009 (E), 2010 (F), 2011 (G) e entre anos (H) para as macieiras 'Royal Gala' e 'Castel Gala'. Papanduva, SC, 2009/2010/2011.	239
10. Suavização das curvas do parâmetro brotação máxima das gemas apicais de macieiras 'Royal Gala' (A, B e C) e representação gráfica da análise estatística (D, E e F) entre tratamentos. Coletas de março, maio e junho de 2009. Bento Gonçalves, RS, 2009.	240

11. Suavização das curvas do parâmetro brotação máxima das gemas laterais de macieiras 'Royal Gala' (A, B e C) e representação gráfica da análise estatística (D, E e F) entre tratamentos. Coletas de março, maio e junho de 2009. Bento Gonçalves, RS, 2009	241
12. Suavização das curvas do parâmetro brotação máxima das gemas apicais de macieiras 'Castel Gala' (A, B e C) e representação gráfica da análise estatística (D, E e F) entre tratamentos. Coletas de março, maio e junho de 2009. Bento Gonçalves, RS, 2009.	242
13. Suavização das curvas do parâmetro brotação máxima das gemas laterais de macieiras 'Castel Gala' (A, B e C) e representação gráfica da análise estatística (D, E e F) entre tratamentos. Coletas de março, maio e junho de 2009. Bento Gonçalves, RS, 2009.	243
14. Suavização das curvas do parâmetro brotação máxima das gemas apicais de macieiras 'Royal Gala' (A, B, C e D) e representação gráfica da análise estatística (E, F, G e H) entre tratamentos. Coletas de abril, maio, junho e julho de 2010. Bento Gonçalves, RS, 2010.	244
15. Suavização das curvas do parâmetro brotação máxima das gemas laterais de macieiras 'Royal Gala' (A, B, C e D) e representação gráfica da análise estatística (E, F, G e H) entre tratamentos. Coletas de abril, maio, junho e julho de 2010. Bento Gonçalves, RS, 2010.	245
16. Suavização das curvas do parâmetro brotação máxima das gemas apicais de macieiras 'Castel Gala' (A, B e C) e representação gráfica da análise estatística (D, E e F) entre tratamentos. Coletas de abril, maio e junho de 2010. Bento Gonçalves, RS, 2010.	246
17. Suavização das curvas do parâmetro brotação máxima das gemas laterais de macieiras 'Castel Gala' (A, B e C) e representação gráfica da análise estatística (D, E e F) entre tratamentos. Coletas de abril, maio e junho de 2010. Bento Gonçalves, RS, 2010.	247
18. Suavização das curvas do parâmetro brotação máxima das gemas apicais de macieiras 'Royal Gala' (A e B) e representação gráfica da análise estatística (C e D) entre tratamentos. Coletas de abril e junho de 2011. Bento Gonçalves, RS, 2011.	248
19. Suavização das curvas do parâmetro brotação máxima das gemas laterais de macieiras 'Royal Gala' (A e B) e representação gráfica da análise estatística (C e D) entre tratamentos. Coletas de abril e junho de 2011. Bento Gonçalves, RS, 2011.	249
20. Suavização das curvas do parâmetro brotação máxima das gemas apicais de macieiras 'Castel Gala' (A e B) e representação gráfica da análise estatística (C e D) entre tratamentos. Coletas de abril e junho de 2011. Bento Gonçalves, RS, 2011.	250

21. Suavização das curvas do parâmetro brotação máxima das gemas laterais de macieiras 'Castel Gala' (A e B) e representação gráfica da análise estatística (C e D) entre tratamentos. Coletas de abril e junho de 2011. Bento Gonçalves, RS, 2011.	251
22. Suavização das curvas do parâmetro precocidade das gemas apicais de macieiras 'Royal Gala' (A, B e C) e representação gráfica da análise estatística (D, E e F) entre tratamentos. Coletas de março, maio e junho de 2009. Bento Gonçalves, RS, 2009.	252
23. Suavização das curvas do parâmetro precocidade das gemas laterais de macieiras 'Royal Gala' (A, B e C) e representação gráfica da análise estatística (D, E e F) entre tratamentos. Coletas de março, maio e junho de 2009. Bento Gonçalves, RS, 2009.	253
24. Suavização das curvas do parâmetro precocidade das gemas apicais de macieiras 'Castel Gala' (A, B e C) e representação gráfica da análise estatística (D, E e F) entre tratamentos. Coletas de março, maio e junho de 2009. Bento Gonçalves, RS, 2009.	254
25. Suavização das curvas do parâmetro precocidade das gemas laterais de macieiras 'Castel Gala' (A, B e C) e representação gráfica da análise estatística (D, E e F) entre tratamentos. Coletas de março, maio e junho de 2009. Bento Gonçalves, RS, 2009.	255
26. Suavização das curvas do parâmetro precocidade das gemas apicais de macieiras 'Royal Gala' (A, B, C e D) e representação gráfica da análise estatística (E, F, G e H) entre tratamentos. Coletas de abril, maio, junho e julho de 2010. Bento Gonçalves, RS, 2010.	256
27. Suavização das curvas do parâmetro precocidade das gemas laterais de macieiras 'Royal Gala' (A, B, C e D) e representação gráfica da análise estatística (E, F, G e H) entre tratamentos. Coletas de abril, maio, junho e julho de 2010. Bento Gonçalves, RS, 2010.	257
28. Suavização das curvas do parâmetro precocidade das gemas apicais de macieiras 'Castel Gala' (A, B e C) e representação gráfica da análise estatística (D, E e F) entre tratamentos. Coletas de abril, maio e junho de 2010. Bento Gonçalves, RS, 2010.	258
29. Suavização das curvas do parâmetro precocidade das gemas laterais de macieiras 'Castel Gala' (A, B e C) e representação gráfica da análise estatística (D, E e F) entre tratamentos. Coletas de abril, maio e junho de 2010. Bento Gonçalves, RS, 2010.	259
30. Suavização das curvas do parâmetro precocidade das gemas apicais de macieiras 'Royal Gala' (A e B) e representação gráfica da análise estatística (C e D) entre tratamentos. Coletas de abril e junho de 2011. Bento Gonçalves, RS, 2011.	260

31. Suavização das curvas para o parâmetro precocidade das gemas laterais de macieiras 'Royal Gala' (A e B) e representação gráfica da análise estatística (C e D) entre tratamentos. Coletas de abril e junho de 2011. Bento Gonçalves, RS, 2011.	261
32. Suavização das curvas do parâmetro precocidade das gemas apicais de macieiras 'Castel Gala' (A e B) e representação gráfica da análise estatística (C e D) entre tratamentos. Coletas de abril e junho de 2011. Bento Gonçalves, RS, 2011.	262
33. Suavização das curvas do parâmetro precocidade das gemas laterais de macieiras 'Castel Gala' (A e B) e representação gráfica da análise estatística (C e D) entre tratamentos. Coletas de abril e junho de 2011. Bento Gonçalves, RS, 2011.	263
34. Suavização das curvas do parâmetro uniformidade das gemas apicais de macieiras 'Royal Gala' (A, B e C) e representação gráfica da análise estatística (D, E e F) entre tratamentos. Coletas de março, maio e junho de 2009. Bento Gonçalves, RS, 2009.	264
35. Suavização das curvas do parâmetro uniformidade das gemas laterais de macieiras 'Royal Gala' (A, B e C) e representação gráfica da análise estatística (D, E e F) entre tratamentos. Coletas de março, maio e junho de 2009. Bento Gonçalves, RS, 2009.	265
36. Suavização das curvas do parâmetro uniformidade das gemas apicais de macieiras 'Castel Gala' (A, B e C) e representação gráfica da análise estatística (D, E e F) entre tratamentos. Coletas de março, maio e junho de 2009. Bento Gonçalves, RS, 2009.	266
37. Suavização das curvas do parâmetro uniformidade das gemas laterais de macieiras 'Castel Gala' (A, B e C) e representação gráfica da análise estatística (D, E e F) entre tratamentos. Coletas de março, maio e junho de 2009. Bento Gonçalves, RS, 2009.	267
38. Suavização das curvas do parâmetro uniformidade das gemas apicais de macieiras 'Royal Gala' (A, B, C e D) e representação gráfica da análise estatística (E, F, G e H) entre tratamentos. Coletas de abril, maio, junho e julho de 2010. Bento Gonçalves, RS, 2010.	268
39. Suavização das curvas do parâmetro uniformidade das gemas laterais de macieiras 'Royal Gala' (A, B, C e D) e representação gráfica da análise estatística (E, F, G e H) entre tratamentos. Coletas de abril, maio, junho e julho de 2010. Bento Gonçalves, RS, 2010.	269
40. Suavização das curvas do parâmetro uniformidade das gemas apicais de macieiras 'Castel Gala' (A, B e C) e representação gráfica da análise estatística (D, E e F) entre tratamentos. Coletas de abril, maio e junho de 2010. Bento Gonçalves, RS, 2010.	270

41. Suavização das curvas do parâmetro uniformidade das gemas laterais de macieiras 'Castel Gala' (A, B e C) e representação gráfica da análise estatística (D, E e F) entre tratamentos. Coletas de abril, maio e junho de 2010. Bento Gonçalves, RS, 2010. 271
42. Suavização das curvas do parâmetro uniformidade das gemas apicais de macieiras 'Royal Gala' (A e B) e representação gráfica da análise estatística (C e D) entre tratamentos. Coletas de abril e junho de 2011. Bento Gonçalves, RS, 2011. 272
43. Suavização das curvas do parâmetro uniformidade das gemas laterais de macieiras 'Royal Gala' (A e B) e representação gráfica da análise estatística (C e D) entre tratamentos. Coletas de abril e junho de 2011. Bento Gonçalves, RS, 2011. 273
44. Suavização das curvas do parâmetro uniformidade das gemas apicais de macieiras 'Castel Gala' (A e B) e representação gráfica da análise estatística (C e D) entre tratamentos. Coletas de abril e junho de 2011. Bento Gonçalves, RS, 2011. 274
45. Suavização das curvas do parâmetro uniformidade das gemas laterais de macieiras 'Castel Gala' (A e B) e representação gráfica da análise estatística (C e D) entre tratamentos. Coletas de abril e junho de 2011. Bento Gonçalves, RS, 2011. 275
46. Suavização das curvas dos parâmetros brotação máxima, precocidade e uniformidade das gemas apicais de macieiras 'Castel Gala' (A, B e C) e representação gráfica da análise estatística (D, E e F) entre tratamentos, quanto à disposição das gemas axilares na estaca. Coleta de maio de 2010. Bento Gonçalves, RS, 2010. 276
47. Suavização das curvas dos parâmetros brotação máxima, precocidade e uniformidade das gemas laterais de macieiras 'Castel Gala' (A, B e C) e representação gráfica da análise estatística (D, E e F) entre tratamentos, quanto à disposição das gemas axilares na estaca. Coleta de maio de 2010. Bento Gonçalves, RS, 2010. 277
48. Suavização das curvas dos parâmetros brotação máxima, precocidade e uniformidade das gemas apicais de macieiras 'Castel Gala' (A, B e C) e representação gráfica da análise estatística (D, E e F) entre tratamentos, quanto à disposição das gemas axilares na estaca. Coleta de junho de 2011. Bento Gonçalves, RS, 2011. 278
49. Suavização das curvas dos parâmetros brotação máxima, precocidade e uniformidade das gemas laterais de macieiras 'Castel Gala' (A, B e C) e representação gráfica da análise estatística (D, E e F) entre tratamentos, quanto à disposição das gemas axilares na estaca. Coleta de junho de 2011. Bento Gonçalves, RS, 2011. 279

50. Suavização das curvas dos parâmetros brotação máxima, precocidade e uniformidade das gemas apicais de macieiras 'Royal Gala' (A, B e C) e representação gráfica da análise estatística (D, E e F) entre tratamentos (diferentes modalidades de desfolha a campo). Coleta de junho de 2011. Bento Gonçalves, RS, 2011..... 280
51. Fluxograma para avaliação da dormência de gemas de macieira, da coleta à avaliação da brotação. Bento Gonçalves, RS..... 281

1 INTRODUÇÃO

Em regiões temperadas e subtropicais, as espécies frutíferas de clima temperado, como a macieira, caracterizam-se por apresentarem um período de dormência, quando ocorre a suspensão temporária do crescimento visível dos órgãos da planta. Esse processo compreende desde a paralisação do crescimento, no fim do verão, até o início da brotação, na primavera seguinte (Petri *et al.*, 1996). A dormência de gemas é descrita por três períodos sucessivos: paradormência, endodormência e ecodormência (Lang *et al.*, 1987). Na paradormência, a ausência de desenvolvimento de uma gema é resultante da influência de outro órgão da planta. Na ecodormência, a ausência de desenvolvimento da gema acontece devido a um fator ambiental e, assim que as condições normais sejam estabelecidas, um novo fluxo de crescimento se restabelece, pois as condições intrínsecas à gema lhe são favoráveis. A falta de temperaturas elevadas e o estresse hídrico são importantes fatores ambientais que determinam a ocorrência dessa etapa.

A endodormência ocorre nos meses mais frios, em que o não desenvolvimento da gema é resultante de uma série de eventos bioquímicos e fisiológicos em níveis meristemáticos ou tecidos muito próximos, desencadeado pela percepção de um estímulo ambiental, normalmente causado por baixas temperaturas e/ou alterações fotoperiódicas (Lang *et al.*, 1987). A endodormência pode ocorrer com intensidade e períodos distintos, sendo superada a partir de um

determinado acúmulo de horas de frio (HF) durante o outono e o inverno, o qual varia conforme a espécie e cultivar (Herter *et al.*, 2001; Citadin *et al.*, 2002; Putti *et al.*, 2006, Biasi *et al.*, 2010). O suprimento da necessidade de frio durante a endodormência é essencial para evitar desordens fenológicas, como brotação e floração insuficientes e/ou desuniformes (Petri & Leite, 2004). Para Carvalho & Zanette (2006), em um sistema produtivo, a endodormência é o período mais preocupante para os produtores, uma vez que a má brotação ou brotação desuniforme pode comprometer tanto a produção quanto a distribuição dos ramos na planta, e a má floração e sua desuniformidade podem acarretar prejuízos à polinização e, por consequência, à eficiência de frutificação.

O Sul do Brasil se apresenta como uma região marginal quanto à disponibilidade de frio para o cultivo de espécies frutíferas de clima temperado, dentre elas, a macieira. Segundo médias climáticas, o número de horas de frio $\leq 7,2^{\circ}\text{C}$ é de 501 em Caçador; 549 em Fraiburgo; 662 em Vacaria e 759 em São Joaquim, no período de 01 de abril a 31 de agosto (Epagri, 2011). Nestas regiões de cultivo podem ocorrer grandes variações entre anos na disponibilidade de frio, exigindo, na maioria dos ciclos, a utilização de práticas para a superação da dormência, sendo empregados principalmente tratamentos químicos (Petri *et al.*, 2006). O manejo químico para superação da dormência apresenta grandes limitações de ferramentas técnicas para a tomada de decisão sobre a real necessidade de efetuar-lo no início de cada ciclo. Tal limitação leva técnicos e produtores a executarem, indiscriminadamente, a aplicação de insumos para indução da brotação em todos os anos, a fim de evitar prejuízos. Os compostos disponíveis para a superação da dormência são altamente tóxicos ao homem e ao meio ambiente. Além disso, tais insumos são, muitas vezes, usados sem critérios adequados de segurança para o produtor (Felippeto, 2008). Na Itália, o alto risco

de intoxicação pela cianamida hidrogenada, principal produto utilizado para a superação da dormência no mundo e no Brasil, levou à suspensão temporária das vendas de sua fórmula comercial em 2002, e revisão de sua regulamentação por autoridades da União Européia (Settimi *et al.*, 2005). No Brasil, por não haver recomendação que suspenda o tratamento químico para superação da dormência, são sugeridas apenas pequenas variações de dosagens entre ciclos, com base na disponibilidade de horas de frio de cada período hibernal. Contudo, essa determinação de horas de frio é baseada, principalmente, em experimentações e modelagens da dormência efetuada em condições de clima e genótipos distintos aos da realidade climática sul brasileira.

Os modelos para quantificar o acúmulo de frio ocorrido em cada ano, para a superação da dormência e conseqüente indução da brotação em espécies frutíferas caducifólias, vêm sendo trabalhados desde a década de 1930 (Nightingale & Blake, 1934), sendo que os mais aplicados se baseiam em estudos antigos, descritos por: Weinberger (1950) - Horas abaixo ou iguais a 7,2°C; Richardson *et al.* (1974) - Modelo de Utah; Shaltout & Unrath (1983) - Modelo de Carolina do Norte. Tais modelos foram ajustados às condições climáticas norte-americanas, marcadas por outonos e invernos relativamente constantes e regulares e, em sua maioria, elaborados para a cultura do pessegueiro (Weinberger, 1950; Richardson *et al.*, 1974). Já, para as condições climáticas sul brasileiras (principal pólo de produção de maçãs), onde ocorrem grandes oscilações térmicas durante o período de outono e inverno, esses modelos se mostram pouco confiáveis e, em sua maioria, imprecisos (Felippeto, 2008). Portanto, nessas condições, as variações de calor e frio na evolução e superação da dormência devem ser melhor estudadas, caracterizando-se principalmente o impacto do calor intercalado durante o período hibernal. Além dessa

caracterização, essencial para ajuste e/ou desenvolvimento de modelos eficazes ao clima do Sul do Brasil, é imprescindível a avaliação da dormência de modo estratificado para os diferentes grupos de cultivares (precoces, intermediárias e tardias), conforme recomendado por Hauagge & Cummins (1991).

Dentre os fatores que contribuem para a restrita eficácia dos modelos disponíveis, nas condições climáticas sul brasileiras, existe a limitação de parâmetros considerados na construção dos mesmos. Neste enfoque, destaca-se que nos modelos disponíveis não há uma separação de resposta para gemas laterais e apicais nos ramos, bem como a descrição do impacto das condições meteorológicas de cada inverno sobre a uniformidade e potencial máximo de brotação das gemas. Os modelos usuais se restringem à quantificação do frio e seus efeitos subjetivos sobre o início do ciclo vegetativo, sem haver uma tradução biológica das plantas frente às condições climáticas. A inclusão de características não exploradas nos modelos, para predição da brotação, pode torná-los mais fidedignos quanto à aplicabilidade, principalmente em regiões com outonos e invernos instáveis de temperaturas e/ou sujeitas ao aquecimento global, com base em cenários de previsões futuras (IPCC, 2007).

Para a elaboração dos modelos matemáticos, a influência de fatores ambientais sobre a dormência, sobretudo para determinação da necessidade de frio de cultivares, é avaliada por vários métodos biológicos (Saure, 1985). Tais métodos são caracterizados pela observação fenológica direta em material vegetal submetido a condições ambientais controladas e distintas e, buscando representar, com fidelidade, as respostas das plantas a campo, durante o período de dormência (Dole, 2001). Existem variações dos métodos biológicos, podendo-se utilizar plantas inteiras ou apenas partes destas. Dentre os métodos biológicos, podem ser citados o uso de ramos destacados, teste de estacas de nós isolados,

uso de plantas em vaso e uso de ramos enxertados (Herter, 1992; Balandier, 1992; Camelatto *et al.*, 2000; Citadin *et al.*, 2002; Wagner Júnior *et al.*, 2006; Chavarria *et al.*, 2009; Bruckner *et al.*, 2010). Apesar destas várias metodologias, existem dificuldades na compreensão do estado de dormência e na definição exata das necessidades de frio hibernal entre espécies/cultivares, dificultando a elaboração de modelos matemáticos precisos. Essas limitações se devem, principalmente, à falta de padronização de metodologias em estudos dessa natureza, resultando em informações muitas vezes contraditórias (Dennis Junior, 2003).

Diante da importância da produção de maçãs no Sul do Brasil e da carência de informações técnico-científicas sobre a influência da realidade climática local sobre o processo de dormência, salienta-se que é de suma importância a geração de informações básicas para o ajuste de modelos mais eficazes para prever as respostas de brotação da cultura. De posse de uma modelagem mais precisa, os técnicos e produtores poderão dispor de ferramentas para a tomada de decisão nas práticas de manejo de brotação, reduzindo gastos desnecessários e elevando a eficácia de tratamentos químicos em termos de dosagens e impactos ambientais. Desta forma, focalizando suposições e/ou proposições a serem comprovadas ou demonstradas, as hipóteses estabelecidas para este estudo foram as seguintes:

- ◆ A quantificação das necessidades térmicas de grupos distintos de cultivares (precoces e tardias), considerando os requerimentos de frio para superação da dormência e de calor para início da brotação, permite desenvolver ou ajustar modelos para predição do início do ciclo vegetativo anual em macieira.

- ◆ A avaliação da brotação por meio de diferentes métodos biológicos, baseada no efeito da interação entre gemas (apical e lateral), permite aumentar a precisão dos modelos de predição da superação da dormência em gemas de macieira.
- ◆ A avaliação de novos parâmetros biológicos, que representam a necessidade térmica das gemas durante o período de dormência, possibilita a elaboração ou ajuste de um modelo mais fidedigno para a predição do início do ciclo vegetativo, bem como serve para qualificar a resposta da brotação, em genótipos de macieira cultivados nas condições climáticas do Sul do Brasil.

O objetivo principal deste trabalho foi caracterizar as necessidades térmicas durante o período de dormência de gemas de cultivares de macieiras contrastantes em exigência de frio hibernal (Royal Gala e Castel Gala), visando desenvolver e/ou ajustar um modelo teórico biológico para predição da brotação, adaptado a regiões com temperaturas constantes e/ou instáveis durante o período de dormência.

Como objetivos específicos buscou-se:

- ◆ Definir as necessidades térmicas, quanto à intensidade e duração de frio, para acionar e superar o processo de endodormência, em genótipos de macieira contrastantes em demanda de frio hibernal.
- ◆ Identificar as demandas quanto à intensidade e duração de calor para o alcance de brotação, durante o período de ecodormência, em cultivares de macieiras contrastantes em exigência térmica;
- ◆ Avaliar a resposta de genótipos de diferentes necessidades de frio hibernal frente a condições de invernos com temperaturas constantes ou instáveis, simulando ciclos diários de temperaturas e ondas de calor

no período de dormência.

- ◆ Desenvolver e/ou selecionar um método biológico eficaz para caracterizar o estado de dormência de gemas em macieira.
- ◆ Ampliar a base de conhecimento científico relativo aos mecanismos de controle e resposta da dormência de gemas em espécies frutíferas temperadas.
- ◆ Ajustar e/ou desenvolver um novo modelo teórico biológico para predição do início do ciclo vegetativo anual para diferentes grupos de cultivares de macieira (precoces e tardias) e tipos de gemas (apicais e laterais), considerando novos parâmetros em relação aos modelos atualmente disponíveis/utilizados.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Classificação botânica e importância da cultura da macieira

A família botânica *Rosaceae* é representada por aproximadamente 3.000 espécies, em sua maioria, típicas de clima temperado. A família tem rica diversidade morfológica e contém espécies arbóreas, herbáceas e arbustivas. Muitos de seus membros como, por exemplo, macieira, framboeseira, morangueiro, pereira, cerejeira, ameixeira, damasqueiro e pessegueiro são identificados por seus frutos sazonais comestíveis, valorizados por seus sabores únicos, cores e propriedades nutritivas; outros, por sua utilização ornamental (rosas) ou produção de nozes (amêndoas) (Folta & Gardiner, 2009).

A macieira (*Malus domestica* Borkh.) é uma das frutíferas mais cultivadas no mundo, desde a antiguidade (Kellerhals, 2009). Pelas evidências mais recentes, ratificou-se a espécie selvagem *Malus sieversii* como o principal progenitor da macieira doméstica (Velasco *et al.*, 2010), sendo a Ásia Central considerada seu centro de diversidade e dispersão (Folta & Gardiner, 2009). A maçã pode ser consumida como fruto fresco ou processada em doces, geleias, compotas, sucos, bebidas alcoólicas e vinagre. Apresenta alto valor nutricional, principalmente pela presença de pectina, potássio, fósforo, ferro, vitamina C, vitaminas do complexo B (tiamina, riboflavina, niacina e ácido pantotênico) e flavonóides (Davey *et al.*, 2006; Lata, 2007; USDA, 2010).

Mais de 7.500 cultivares de macieira são conhecidas. No entanto, poucas são utilizadas comercialmente. Grande variedade de estudos agronômicos, fisiológicos e genômicos estão sendo conduzidos em todo o mundo, visando melhorar a competitividade econômica da cultura da macieira e para melhor compreender os princípios biológicos que controlam as diversas características agronômicas dessas plantas (Labuschagné *et al.*, 2002; Jung *et al.*, 2008; Kouassi *et al.*, 2009; Velasco *et al.*, 2010; Kumar *et al.*, 2010).

O Brasil também faz parte do cenário mundial dessa frutífera, produzindo atualmente mais de um milhão de toneladas de maçãs por ano, com a produção centrada na Região Sul do País (IBGE, 2011). Tal posição exige, também, contínuo investimento em estudo e melhoramento da pomicultura nacional.

2.2 Cultura da macieira no Brasil

Os primeiros investimentos em pomares comerciais brasileiros surgiram na região de Fraiburgo (SC), em 1969, atraídos pela Lei de Incentivos Fiscais para Reflorestamento, que incluiu a macieira no programa. Até então, havia apenas pomares domésticos cultivados por imigrantes europeus, e toda maçã de qualidade era importada da Argentina (Ferreira, 2009). Em 30 anos, a produção de maçãs aumentou em quantidade e em qualidade, fazendo com que o País passasse de importador a autossuficiente e com potencial de exportação. Além de ser um dos mais significativos exemplos de êxito alcançado no setor frutícola nacional, a cadeia produtiva da maçã foi pioneira na implantação do Sistema de Produção Integrada (PI) no Brasil (Ferreira, 2009). A PI pressupõe o emprego de técnicas que permitam o controle efetivo do sistema produtivo agropecuário por meio do monitoramento de todas as etapas, desde a aquisição dos insumos até a

oferta ao consumidor, com mecanismos reguladores que assegurem uma produção agrária sustentável (Embrapa Uva e Vinho, 2003; Ferreira, 2009).

O levantamento sistemático da produção agrícola revela que, na safra de maçãs de 2010/2011, aproximadamente 2.900 produtores estiveram envolvidos, e a área cultivada com macieiras foi de cerca de 39.600 ha, com produção estimada de 1.355.000 t (IBGE, 2011). Estes dados evidenciam o sucesso e o crescimento da cultura no Brasil, considerando a produção de apenas 1.000 t anuais no início da década de 1970 (Embrapa Uva e Vinho, 2003). Com relação à exportação de frutas frescas nacionais, a maçã ocupou, na safra 2009/2010, o quarto lugar em valor e em volume, alcançando um índice superior a 10% da quantidade total dos frutos produzidos e encaminhados ao mercado externo (IBRAF, 2011).

No Brasil, cerca de 99% da maçã é cultivada ao sul do Trópico de Capricórnio. O Estado de Santa Catarina responde por 49% da produção nacional, seguido do Rio Grande do Sul (46%) e do Paraná (4%) (IBGE, 2011). Os três grandes pólos produtores são Vacaria (RS), São Joaquim e Fraiburgo (SC) (Mello *et al.*, 2007; Ferreira, 2009).

As cultivares ‘Gala’ e ‘Fuji’ possuem qualidades organolépticas que agradam o paladar do consumidor brasileiro e, por isso, constituíram-se, naturalmente, como as principais opções de cultivo. Na safra de 2009/2010, estima-se que essas duas cultivares e clones de seus mutantes somáticos espontâneos responderam por 94,6% da produção de maçãs do País (Fioravanço *et al.*, 2010).

A concentração da produção em poucas cultivares, no entanto, pode acarretar: a) perda da diversidade genética e de características preservadas ao longo de gerações, por seleção de cultivares adaptadas a cada zona produtora (Iglesias *et al.*, 2009); b) concentração da produção em um curto período; c)

dificuldade para gerenciamento dos pomares e das casas de beneficiamento; d) maior vulnerabilidade a pragas e doenças; e) maior risco de perdas devido à ocorrência de eventos climáticos adversos em determinados estádios de desenvolvimento (Fioravanço *et al.*, 2010). Além destes aspectos, salienta-se que problemas associados a não satisfação do requerimento de frio hibernal de algumas cultivares, em virtude das grandes oscilações térmicas no Sul do Brasil ou da ocorrência de invernos mais brandos (Petri, 1997), poderiam ser contornados pela utilização de cultivares com menores exigências de frio para regulação da dormência. Esta tem sido uma das premissas do programa de melhoramento genético da macieira no Brasil, coordenado pela Epagri em parceria com a Embrapa Uva e Vinho, visando adaptação das plantas à realidade de mudanças climáticas, conforme informado por Paulo Ricardo Dias de Oliveira*.

2.3 Características das cultivares Castel Gala e Royal Gala

A 'Castel Gala' é uma mutação espontânea da cv. Gala, tendo como principal característica a baixa necessidade em frio hibernal. Essa mutação foi descoberta em 1999, pelo Engenheiro Agrônomo Jânio Seccon, em uma propriedade particular, na cidade de Monte Castelo, SC. Segundo Denardi & Seccon (2005), enquanto a 'Gala' necessita de 600 a 800 h de frio abaixo ou iguais a 7,2°C para que, na primavera, ocorra brotação em níveis adequados, a 'Castel Gala' não necessita mais que 400 h para garantir elevadas produções. Com essa característica, esta mutação torna-se uma importante alternativa para o cultivo de macieira em regiões de invernos amenos e com baixa disponibilidade

* Comunicação pessoal concedida pelo pesquisador Paulo Ricardo Dias de Oliveira, da EMBRAPA – CNPUV, Bento Gonçalves (RS), ao estudante Rafael Anzanello, bolsista de doutorado do CNPq, em 30.07.12.

de frio hibernal. A 'Castel Gala' pode oferecer maçãs frescas mais cedo para um nicho de mercado (25 de dezembro a 15 de janeiro), tanto interno quanto externo, com preços atrativos ao produtor, pois as características da fruta são similares às da cv. Royal Gala. Existem outras cultivares de macieiras precoces, como 'Eva' e 'Condessa', cujos frutos são colhidos na mesma época da 'Castel Gala', mas perdem em termos competitivos, devido à preferência dos consumidores brasileiros pela fruta do tipo 'Gala', que representa em torno de 45% das maçãs oferecidas no mercado consumidor interno (Fioravanço *et al.*, 2010).

A cultivar Royal Gala foi originada em 1971, em Matamata, Nova Zelândia e introduzida comercialmente no Brasil em 1974. Mutante espontânea da cultivar Gala, esta cultivar apresenta a mesma necessidade térmica da cultivar que lhe deu origem. Para Petri *et al.* (2006), em áreas com pouca insolação a 'Royal Gala' produz frutos com coloração vermelha mais uniforme que a 'Gala'. Além disso, é mais resistente ao manuseio que a 'Gala', não sendo 'machucada' facilmente. Quanto às demais características, as mesmas mostram-se similares à 'Gala' original.

A seleção da 'Royal Gala' para esse estudo (descrita na metodologia, posteriormente) foi devido à expressividade em área de cultivo e produção desta cultivar no Sul do Brasil, além da sua superior necessidade de frio hibernal se comparada à 'Castel Gala'. Já a escolha da 'Castel Gala' foi relacionada ao tipo de mutação, a qual pode ter sido, especificamente, no metabolismo de controle das exigências térmicas para superar a dormência, ao contrário das mutações selecionadas para cor de fruto. Neste sentido, o contraste de 'Royal Gala' e 'Castel Gala' apresentam-se como ferramenta biológica de extrema importância para o entendimento do processo de dormência.

2.4 Dormência

Em climas temperados e subtropicais, as frutíferas caducifólias se caracterizam por apresentar período vegetativo e repouso hibernar bem definidos. Durante o inverno, as temperaturas médias diárias devem ser baixas o suficiente para inibir o crescimento da macieira. Ainda que as temperaturas aumentem em algum momento, as gemas são incapazes de brotar. Neste caso, é possível afirmar que a planta está em estado de latência ou dormência (Martínez de Toda, 1991).

Diferentes tipos de dormência de gemas são observados em macieiras e outras espécies vegetais, sendo classificadas em paradormência, endodormência e ecodormência (Lang *et al.*, 1987). Na paradormência, a inibição da gema é regulada por fatores fisiológicos e externos à estrutura afetada, causada por outra parte da planta. Como exemplo disso, cita-se a dominância apical, em que o meristema apical exerce uma inibição correlativa sobre as gemas axilares, através do fluxo basipetal do fitormônio auxina (Lavee & May, 1997). Neste caso, quando as gemas são isoladas e colocadas em condições adequadas, podem brotar normalmente. A paradormência ocorre quando as plantas estão metabolicamente mais ativas, o que corresponde às fases fenológicas de crescimento e produção, nos meses mais quentes do ano (Figura 1).

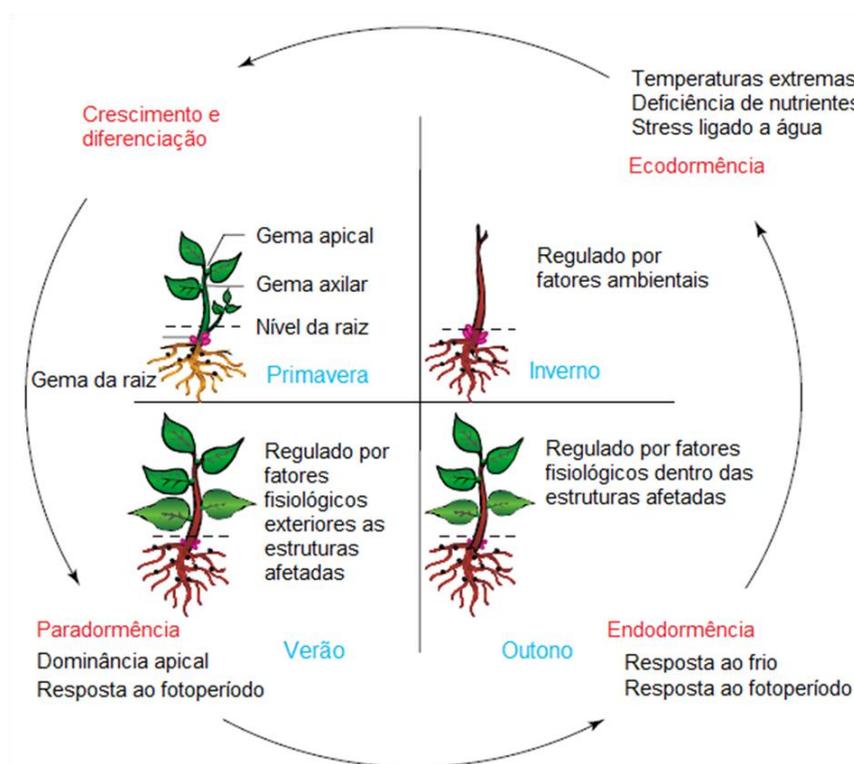


FIGURA 1. Diagrama dos sinais e estações típicas do ano, correspondentes aos diferentes tipos de dormência vegetal. Adaptado de Horvath *et al.* (2003).

Na endodormência, estabelece-se a percepção de um estímulo ambiental (baixas temperaturas e/ou diminuição na duração do comprimento dos dias), durante o outono e inverno, gerando uma condição fisiológica que paralisa o crescimento da planta (Figura 1). Para Pouget, citado por Martínez de Toda (1991), a entrada da endodormência se expressa quando o crescimento não pode ser induzido, mesmo que removida a inibição correlativa. Portanto, a endodormência plena ocorre quando há uma profunda redução das atividades metabólicas das gemas, e a superação deste processo acontece somente depois de terem sido satisfeitas as necessidades intrínsecas de frio das gemas. Destaca-se que a demanda de frio para superação da endodormência é uma característica genética e muito variável entre genótipos de macieira (Petri *et al.*, 2006). Já, na ecodormência, a ausência de desenvolvimento da gema é provocada por condições ambientais desfavoráveis. Temperaturas extremas, deficiência de

nutrientes e estresses hídricos mantêm a gema em estado quiescente, embora a mesma esteja fisiologicamente apta para se desenvolver e iniciar a brotação (Horvath *et al.*, 2003). Esta dormência ocorre no início do ciclo de crescimento (Figura 1), após a superação da endodormência, quando as gemas dependem da disponibilidade de temperaturas altas e hidratação (chuvas) na primavera para retomar o seu ciclo de crescimento (Rohde & Bhalerão, 2007).

Uma planta pode estar, simultaneamente, sob diferentes estádios de dormência, visto que há uma grande diversidade de estado fisiológico na população de gemas das plantas (Faust *et al.*, 1997). Em função disto, não existe um momento fixo que delimita os diferentes tipos de dormência, mas sim uma contínua transição de estado ao longo do tempo que resulta em momentos com maior predomínio de um tipo de dormência sobre os demais (Figura 2). Nos momentos de coexistência entre os tipos de dormência em uma mesma planta, os quais se manifestam principalmente no outono e na primavera, é que podem ocorrer as maiores variações de respostas, pois nestas estações as plantas estão metabolicamente mais ativas, em relação ao período de inverno (Figura 2). Com o acúmulo de frio durante a fase hiberna, a paradormência é reprimida (com a paralisação do crescimento) e a endodormência é elevada até um momento de máxima inibição da brotação, sendo então suprimida pela exposição contínua ao frio e pelo aumento gradual da ecodormência. Neste momento, está indicado o período de retomada da habilidade de crescimento, de forma natural, com a supressão geral da endodormência e da ecodormência (se as condições ambientais favorecerem) ou de forma artificial, respondendo a agentes químicos ou físicos que estimulam a brotação (Figura 2). Nesta representação gráfica fica evidente a necessidade de haver a superação quase que completa da endodormência, para que os tratamentos químicos para a superação da

dormência sejam eficazes. Contudo, é pouco conhecida a delimitação exata deste momento, em que a aplicação de insumos é eficiente para a indução da brotação, para as condições de cultivo de macieiras no Sul do Brasil.

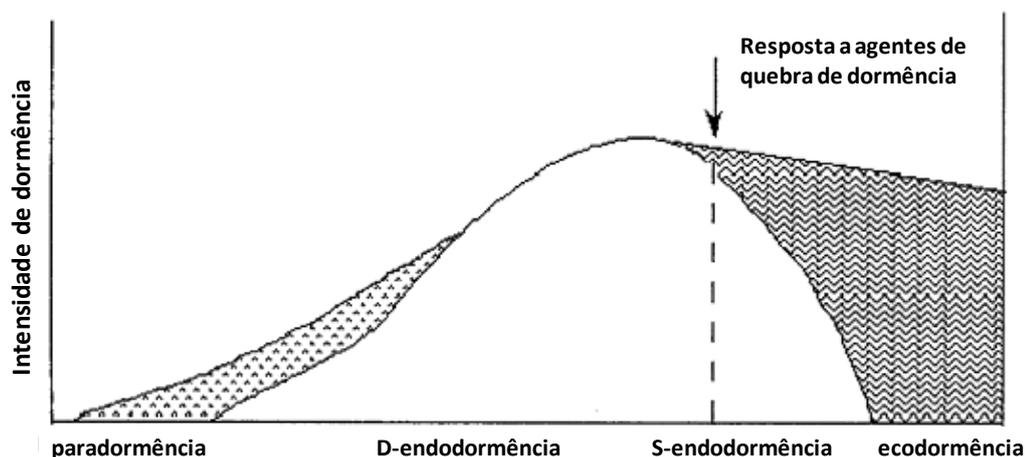


FIGURA 2. Representação esquemática da progressão da dormência em gemas. Adaptado de Faust *et al.* (1997). Área hachureada acentuada: paradormência; Área não hachureada: endodormência; Área hachureada ondulada: ecodormência.

Existem diversos fatores que influenciam a dormência. Eles podem ser divididos em três grandes grupos: 1) físicos: temperaturas baixas, altas e fotoperíodo; 2) químicos: ácido abscísico, auxinas, diversos ácidos graxos e ácidos nucléicos; 3) biológicos: presença de gemas apicais, exercendo inibição correlativa sobre as axilares (Martínez de Toda, 1991). Nas condições climáticas do Sul do Brasil, o período de dormência (endodormência), provavelmente, tem início em algumas semanas antes da queda das folhas e, normalmente, coincide com os primeiros frios dos meses de abril e maio. Esta condição se prolonga até o final de agosto ou meados de setembro, quando, frequentemente, o clima se torna adequado, principalmente em temperatura do ar para proporcionar o início da brotação.

No momento inicial da endodormência, no outono, observa-se que existem informações contraditórias na literatura com relação à importância das folhas,

neste processo. Para Jackson (2003), a queda antecipada das folhas na planta se torna um fator impeditivo para a entrada das gemas em dormência profunda. Cook *et al.* (2005) demonstraram, entretanto, que a percepção dos sinais responsáveis pela indução da dormência se encontra nas gemas, não havendo interferência das folhas neste processo. Diante da contradição da importância da folha, expõe-se uma questão sobre a necessidade ou não do manejo pós-colheita de pomares de macieira para manutenção da folhagem, considerando, principalmente, o aspecto de dormência e a intensidade e uniformidade de brotação do ciclo seguinte.

Sob condições naturais, a indução e superação da dormência são marcadas pelo envolvimento, principalmente, da temperatura e luz, precedendo a ação de reguladores de crescimento (Petri *et al.*, 2006). Lavee (1973) relatou que as gemas captam o estímulo pela variação do fotoperíodo, desencadeando alterações no nível endógeno dos fitormônios, os quais geram processos metabólicos que induzem a entrada e saída da dormência. Contudo, Heide & Prestrud (2005), trabalhando com macieira e pereira, mostraram que o fotoperíodo não apresenta função específica sobre a endodormência, sendo este processo dependente exclusivamente da temperatura. Já, para espécies do gênero *Prunus*, Heide (2008) verificou que o efeito do fotoperíodo é variável com a temperatura, no controle do crescimento e na fase de dormência. Em temperaturas superiores a 21°C, as plantas apresentam crescimento contínuo, independentemente da condição fotoperiódica. Porém, em temperaturas intermediárias, entre 12 e 15°C, as espécies de *Prunus* mostram-se sensíveis ao comprimento do dia, paralisando seu crescimento rapidamente em fotoperíodos curtos. Em temperaturas mais baixas de 9°C, a paralisação do crescimento é indiferente ao fotoperíodo.

Em regiões de clima ameno no período de outono e inverno, têm-se empregado práticas de manejo que permitam alcançar um padrão adequado de brotação. Entre tais práticas destacam-se a incisão anelar de ramos e tronco, o arqueamento de ramos, a desfolha e o frio artificial em mudas, além da utilização de produtos químicos (Petri *et al.*, 2006). Entre os produtos químicos usados para a superação artificial da dormência destacam-se o óleo mineral, cianamida hidrogenada (H_2CN_2), dinitro- σ -cresol, cianamida cálcica ($CaCN_2$) e thidiazuron (Botelho & Müller, 2007). A cianamida hidrogenada é o produto mais utilizado no sistema de produção sul brasileiro para a quebra de dormência (Petri *et al.*, 2006). Seu uso permite uniformizar a formação do dossel vegetativo, de forma que, praticamente, todas as gemas mantidas após a poda de produção possam brotar ao mesmo tempo, suprimindo a dominância apical e irregularidades de brotação por deficiências de frio durante a dormência.

O modo de ação da cianamida hidrogenada, como produto químico para a superação da dormência, não é bem conhecido, podendo seu efeito estar relacionado ao sistema respiratório das células e interferência em alguns processos enzimáticos que controlam o repouso das plantas, como por exemplo, a inibição da atividade da catalase. A inibição da enzima catalase resulta em um estresse oxidativo, devido ao acúmulo de peróxido de hidrogênio nos tecidos das gemas, promovendo a ativação do ciclo da pentose-fosfato (Omran, 1980). Entretanto, a conexão entre o estresse oxidativo induzido pela cianamida hidrogenada e o seu efeito na superação da dormência é pouco clara (Pires & Botelho, 2001; Or *et al.*, 2002). Para Or *et al.* (2000) e Pacey-Miller *et al.* (2003), as espécies reativas de oxigênio (EROs), particularmente o hidróxido de hidrogênio, podem fazer parte de uma cascata de sinais que levam à retomada do

crescimento da planta, sendo candidatas ao controle do mecanismo de evolução da dormência.

Para confirmar se gemas de videira 'Perlette' tratadas com cianamida hidrogenada mostravam sintomas de alteração no processo respiratório, Or *et al.* (2000) analisaram a influência do produto nos níveis das enzimas piruvato descarboxilase (PDC) e álcool desidrogenase (ADH), envolvidas no metabolismo fermentativo. Os autores verificaram que a aplicação de cianamida hidrogenada a 5% induziu uma simultânea e notável indução das enzimas, um dia após o tratamento, resultando em aumento na relação difosfato de adenosina/trifosfato de adenosina (ADP/ATP), sugerindo o papel da respiração na transdução do sinal que leva a superação da dormência. Para Shulman *et al.* (1986), pelo fato da cianamida hidrogenada atuar no metabolismo de oxi-redução das células, apresenta-se classificada como um insumo extremamente tóxico (Classe I). Isto, muitas vezes, não tem sido considerado por produtores, os quais aplicam o produto para indução da brotação sem o devido conhecimento técnico, podendo causar sérios problemas de intoxicação ao homem e ao ambiente, além de elevar os custos de produção.

Quanto aos processos fisiológicos envolvidos no período de dormência, embora não sejam inteiramente conhecidos, os mesmos têm sido relacionados com: a) modificações na estrutura celular das gemas (Larcher, 2003); b) alterações no metabolismo energético das gemas, envolvendo mudanças no perfil de nucleotídeos (Bonhomme *et al.*, 2000); c) variações no conteúdo de proteínas (Tamura *et al.*, 1998); d) mudanças no fluxo de carboidratos, suprimento de nutrientes e translocação de reservas à curta distância (Erez, 2000; Marquat *et al.*, 1999; Maurel *et al.*, 2004; Leite *et al.*, 2004); e) alterações hormonais (Faust *et al.*, 1987; Stafstrom, 2000); f) mudanças no estado trófico dos ramos (Citadin *et*

al., 2009; Leite *et al.*, 2004); g) trocas bioquímicas (Erez, 2000); h) variações no estado hídrico das gemas (Faust *et al.*, 1987; Citadin *et al.*, 2009) e, i) modificação na intensidade de respiração das gemas (McPherson *et al.*, 1997). Entretanto, é necessário considerar que, apesar dos avanços científicos, as razões fisiológicas e genéticas da dormência ainda estão longe de serem plenamente compreendidas. Ao que parece, este é um sistema multigênico e suas respostas ao ambiente ainda necessitam estudos mais complexos (Lavee & May, 1997).

2.4.1 Influência da temperatura sobre a dormência

De acordo com Mandelli & Tonietto (2003), o clima é um dos fatores mais importantes na definição das potencialidades de cultivo das regiões. Ele interage com os demais componentes do meio natural, em particular com o solo, assim como com a cultivar e com as técnicas agronômicas empregadas na espécie frutífera. Dentre as variáveis climáticas, a que exerce maior influência sobre a dormência é a temperatura, principal fator exógeno desencadeador do processo (Mauget, 1987). As baixas temperaturas têm dupla função, sendo propulsoras à indução da dormência e responsáveis pelo suprimento das necessidades térmicas durante o inverno, em espécies frutíferas de clima temperado (Petri *et al.*, 2006).

A quantidade de frio requerida para superar a dormência é variável de acordo com a espécie e cultivar frutífera (Braga & Steckert, 1987; Hauagge & Cummins, 1991; Herter *et al.*, 2001; Citadin *et al.*, 2002; Putti *et al.*, 2006). A definição das exigências térmicas das cultivares frutíferas e a disponibilidade de frio das regiões produtoras são de suma importância para subsidiar a escolha de genótipos com melhor adaptação climática, bem como para auxiliar os produtores quanto à necessidade de aplicação de insumos químicos para a superação da

dormência (Erez, 2000). Desta maneira, foi criado o conceito de “horas de frio”, o qual se entende como o somatório do número de horas iguais ou inferiores a um determinado valor de temperatura, durante o outono e inverno. Este somatório é a quantidade de frio requerida para determinada cultivar sair da dormência. Durante este período, ocorrem alterações metabólicas específicas (Horvath *et al.*, 2003), que são proporcionais ao tempo de exposição ao frio e atuam como registro das condições ambientais envolvidas nesta fase.

Para o cômputo de horas de frio para frutíferas de clima temperado, em geral, utiliza-se a temperatura limite de 7,2°C (45°F). Este limiar térmico vem sendo utilizado como um critério genérico, sendo o simples acúmulo aritmético do tempo (em horas) com temperaturas iguais ou inferiores a 7,2°C amplamente utilizado em zoneamentos agroclimatológicos para espécies frutíferas de clima temperado (Erez & Lavee, 1971; Angelocci *et al.*, 1979; Buriol *et al.*, 2000; Silva *et al.*, 2002; Matzenauer, 2005). Para determinadas espécies e/ou cultivares costuma-se, também, utilizar temperaturas iguais ou inferiores a 10°C para o cômputo de frio, especialmente para aquelas com menores necessidades de frio durante o período de dormência, como ‘Chardonnay’ (videira), ‘Eva’ (macieira), GulfBlaze (ameixeira), ‘Pampeano’, ‘Premier’ e ‘Flor da Prince’ (pessegueiro), conforme descrito por Lazzari (2011).

Dentre as espécies frutíferas de clima temperado, a macieira (*Malus* spp.) e a pereira (*Pyrus* spp.) são as de maior necessidade de frio hibernal para que a brotação e produção ocorram em níveis adequados. De acordo com a literatura, a exigência de frio destas espécies pode alcançar até 1400 horas de frio no outono e inverno (Petri *et al.*, 2006). Na maior parte das regiões produtoras de maçãs no Sul do Brasil, a quantidade de frio hibernal não passa de 600 h abaixo de 7,2°C, o que restringe o plantio somente aos genótipos aptos a estas condições, ficando

no limite para as cultivares do grupo Gala (600 horas de frio) e Fuji (800 horas de frio). Além disso, nestas regiões podem ocorrer geadas tardias na primavera, o que pode comprometer a produção em algumas safras (Cardoso, 2011). Normalmente, busca-se obter genótipos com baixo requerimento de frio hibernal para superar a dormência, mas, ao mesmo tempo, elevada necessidade em horas de calor para o início da brotação, como estratégia de seleção em programas de melhoramento genético (Egea *et al.*, 2003). Essa combinação permitiria desenvolver cultivares adaptadas a invernos amenos, pois contemplaria o atraso do início da brotação, diminuindo os riscos de perdas da produção provocadas por geadas tardias ou primaveris.

As espécies de clima temperado, quando introduzidas em regiões tropicais ou subtropicais, podem manifestar diversos distúrbios fenológicos e/ou fisiológicos como: abertura de gemas de forma escalonada no tempo, redução no número de gemas brotadas, redução na produção e na longevidade e, em casos extremos, a própria sobrevivência da planta é ameaçada (Diaz *et al.*, 1987; Herter, 1992; Gil, 1999). Em regiões subtropicais e temperadas, como no Sul do Brasil, o frio do outono aciona a endodormência, sendo, portanto, necessária a ocorrência de regularidade de frio para superá-la. As flutuações de temperatura durante o inverno podem ser consideradas como o principal problema em meio à endodormência. Erez & Lavee (1971) e Erez *et al.* (1979) relataram o efeito adverso das temperaturas alternadas (frio/calor) sobre a endodormência. Segundo os autores, períodos prolongados de temperaturas elevadas alternadas ao frio, na estação hibernal, podem causar consideráveis atrasos e irregularidades na brotação.

Muitos esforços têm sido empregados na procura por tratamentos químicos para promover a quebra de dormência, visando à obtenção de brotação e

florescimento homogêneos (Petri, 1997; Botelho & Müller, 2007). Tais medidas têm-se intensificado, principalmente, em países que cultivam frutíferas de clima temperado em regiões marginais, com deficiência de frio, tais como África do Sul, Israel, Nova Zelândia, Austrália, México e Brasil (Petri & Pasqual, 1982; North, 1983; Díaz *et al.*, 1987; Gamalier Lemus, 1989; Erez, 1995). Contudo, em locais que recebem um somatório de frio muito abaixo das necessidades da cultivar, suficiente apenas para acionar a endodormência, mas insuficiente para superá-la (pelo menos parcialmente), nem mesmo os tratamentos químicos se mostram capazes de reverter o processo de endodormência. Para Petri *et al.* (2006), produtos indutores de brotação, utilizados para compensar a falta de frio, terão efeito na medida em que forem acumulados 50% ou mais do frio necessário para a espécie e/ou cultivar ou 2/3 da necessidade de frio do genótipo, conforme Erez (2000). Nestes locais em que o acúmulo de frio é significativamente inferior à necessidade da planta, é essencial o emprego de cultivares com baixa necessidade de frio para viabilizar uma produção sustentável. Desse modo, além do manejo fitotécnico para a superação da dormência, por meio de insumos químicos, têm-se trabalhado, via programas de melhoramento genético, no desenvolvimento de cultivares menos exigentes em frio (Hauagge & Tsuneta, 1999).

Nas condições climáticas brasileiras, efeitos adversos da falta de temperaturas baixas e contínuas no inverno são observados, principalmente, em cultivares mais exigentes em frio. Estas, em geral, apresentam maior valor comercial e área cultivada, como é o caso das macieiras 'Gala' e 'Fuji', cuja viabilidade de cultivo se torna dependente de tratamentos para superação da dormência (Petri *et al.*, 2006). No entanto, restrições ao uso de substâncias químicas sintéticas com elevado grau de toxicidade, em sistemas de produção

sustentáveis, vêm gerando falta de alternativas para indução da quebra de dormência da macieira, fato que pode se tornar uma limitação importante, futuramente, para a produção de cultivares com maior requerimento de frio no Sul do Brasil.

Adicionalmente, o problema da dormência tende a se acentuar com a expansão de áreas de cultivo de macieiras para outras regiões mais quentes no território nacional. Além disso, com a tendência de aquecimento global e consequente queda no número de horas de frio no Estado do Rio Grande do Sul (Wrege *et al.*, 2007), incluindo a principal região produtora de maçãs do Estado (Vacaria) (Cardoso, 2011), problemas de sustentabilidade da produção de maçãs poderão ser notados. A redução no acúmulo de frio está relacionada com o aumento das temperaturas mínimas, em geral noturnas, tanto em escala global quanto regional, como observado por Marengo & Camargo (2008), Pereira *et al.* (2009) e Cordeiro (2010). Para a região Sul do Brasil, existem três cenários possíveis de ocorrência, até o final do século: otimista, pessimista e muito pessimista, com previsões de aumento das temperaturas mínimas em 1°C, 3°C e 5,8°C, respectivamente (IPCC, 2007). Diante disso, o emprego de modelos ajustados às condições de outonos e invernos com temperaturas variáveis, utilizando parâmetros adequados ao comportamento dos genótipos cultivados, também se apresenta com importância para estudos de previsão de cenários, em relação às mudanças climáticas, a fim de antever prejuízos e minimizar impactos diante da projeção de aumento da temperatura do ar.

2.4.2 Modelos de estimativa da superação da dormência

Modelos agrometeorológicos, biometeorológicos ou bioclimáticos nada mais são que estudos ou formas de análises qualitativas e quantitativas da ação

dos elementos ambientais sobre o desenvolvimento vegetal (Braga, 1995). As condições ambientais que influenciam decisivamente o crescimento e/ou desenvolvimento vegetal são: temperatura (do ar e do solo), fotoperíodo, radiação solar e precipitação pluvial (disponibilidade de água no solo).

Devido ao número elevado de fatores ambientais, aliado à complexidade das interações envolvidas em qualquer estudo clima-planta, a grande maioria dos modelos fenológicos tem sido conduzida a partir da comparação do desenvolvimento vegetal com um simples elemento ambiental, notadamente, a temperatura média do ar (Brunini, 1975). Inúmeros trabalhos de pesquisa já foram realizados neste sentido, relacionando a temperatura do ar ou do solo, ou o fotoperíodo, com desenvolvimento e/ou crescimento vegetal (Robertson, 1968; Damario & Pascale, 1971; Brunini *et al.*, 1976; Berlato & Sutili, 1976; Harding *et al.*, 1976; Luchesi *et al.*, 1977; Althoff *et al.*, 1987).

As pesquisas visando o entendimento matemático dos fatores envolvidos na superação da dormência, de modo direto e indireto, não são recentes. Dentre os métodos usados para estimar o acúmulo de frio necessário para a superação da dormência, o modelo de horas de frio abaixo ou iguais a 7,2°C durante o período de maio a setembro foi o primeiro a surgir. Esse modelo foi desenvolvido por Weinberger (1950), na Califórnia, Estados Unidos, trabalhando com cultivares de pessegueiro. Segundo Erez (2000), os princípios de que o requerimento em frio é quantitativo e pode ser mensurado pela exposição a determinado número de horas de frio, e de que existe uma temperatura crítica abaixo da qual o frio é efetivo na dormência, são as principais contribuições estabelecidas pelo método de Weinberger (1950). Entretanto, em razão da constatação de que temperaturas acima de 7,2°C exercem influência na superação da dormência, sobretudo em espécies e cultivares de menor necessidade em frio (Couvillon & Erez, 1985),

questionou-se a forma com que um processo regulado internamente poderia estar relacionado a uma temperatura fixa. Dessa forma, novos métodos foram desenvolvidos com o passar do tempo, com objetivo de prever a superação da dormência em relação a uma faixa de temperatura mais ampla, denominados de modelos de unidades de frio (UF).

Os modelos de unidades de frio se baseiam numa formulação passível de ser aplicada em anos com regimes diferentes de temperatura. Estes modelos consideram uma maior abrangência de temperaturas efetivas para a superação da dormência e incorporam efeitos negativos para temperaturas elevadas. O propósito dos modelos é avaliar a evolução da dormência, de acordo com qualidade do frio acumulado durante o período de outono e inverno, conferindo pesos às ações de frio em cada temperatura. Diversos modelos foram desenvolvidos nessa linha (Horas de Frio Ponderadas - Erez & Lavee, 1971; Modelo de Utah - Richardson *et al.*, 1974; Modelo de Carolina do Norte - Shaltout & Unrath, 1983).

O modelo de Horas de Frio Ponderadas se fundamenta na conversão horária de determinadas temperaturas em unidades de frio, sendo acumuladas até atingirem um total que, teoricamente, corresponde ao final do período de dormência de uma determinada cultivar. Erez & Lavee (1971) observaram que, sob condições controladas, a temperatura de 6°C contribui mais para o repouso completo de cultivares de pessegueiro e que temperaturas entre 3° e 8°C contribuem em cerca de 90% como horas de frio realmente efetivas, para as cultivares superarem a dormência. Já, a temperatura de 10°C contribui apenas com 50%, a metade do potencial conferido pelas baixas temperaturas. Os autores observaram, também, que flutuações de temperatura no inverno fariam com que fosse necessário aumento do número de horas de frio para elevar a brotação, e

que o efeito negativo das altas temperaturas depende do tempo que elas permanecem e da sua intensidade, sendo que exposições de 2 a 4 h a 21°C não acarretam em prejuízo, porém, quando superiores a 8 h ocorre efeito anulador das unidades de frio. Em temperatura mais alta, em torno de 24°C, 2 h de exposição já pode promover um efeito anulador. Apesar desta consideração inovadora sobre o efeito negativo de altas temperaturas, os autores deste modelo de Horas de Frio Ponderadas (Erez & Lavee, 1971) não incorporaram essa ponderação no cálculo de unidades de frio.

No modelo de Utah, elaborado por Richardson *et al.* (1974), iniciou-se o cômputo de unidades de frio negativas para temperaturas elevadas, na escala de unidades térmicas. Valores positivos e negativos foram atribuídos aos diferentes intervalos de temperaturas (Tabela 1). Temperaturas inferiores a 1,4°C e superiores a 12,5°C não são efetivas para a superação da dormência, sendo consideradas prejudiciais ao processo quando superiores a 16°C. Dessa forma, as temperaturas efetivamente funcionais estão situadas entre 1,5°C e 12,4°C, com uma faixa ótima entre 2,5°C e 9,1°C. O registro destes valores é efetuado de forma contínua durante o outono e inverno. Assim, o balanço final pode ser constantemente alterado, ora positivamente, ora negativamente, de acordo com a disponibilidade térmica do local de estudo.

TABELA 1. Unidades de frio para diferentes intervalos de temperatura (°C), segundo o modelo de Utah (Richardson *et al.*, 1974).

Temperatura do ar (°C)	Unidades de Frio (UF)
≤1,4	0
1,5 - 2,4	0,5
2,5 - 9,1	1
9,2 - 12,4	0,5
12,5 - 15,9	0
16 - 18	-0,5
>18	-1

Similarmente ao método de Utah, em que as temperaturas são convertidas para UF em base horária, podendo ter contribuição positiva, negativa ou nula, Shaltout & Unrath (1983) desenvolveram o Modelo de Carolina do Norte. Este modelo se caracteriza por apresentar uma maior abrangência de temperaturas para o cálculo das unidades de frio, além de fixar em limites mais extremos o início das unidades nulas e negativas de frio, se comparado ao modelo de Utah (Tabela 2). Segundo Shaltout & Unrath (1983), temperaturas inferiores a -1,1°C não são efetivas. A faixa funcional se situa entre -1,0°C e 16,4°C, com um pico máximo em 7,2°C. Além disso, a partir de 16,5°C as temperaturas passam a anular os efeitos do frio, de maneira progressiva até 23,3°C, permanecendo constante neste patamar, mesmo que ocorram valores superiores. O balanço parcial do frio é alterado com a evolução da dormência, em função da contribuição de valores positivos ou negativos, medidos em nível horário, sendo que uma hora exposta a 20,7°C, por exemplo, anula o efeito de uma hora a 7,2°C e assim por diante, até que o processo de dormência seja superado.

TABELA 2. Unidades de frio para diferentes intervalos de temperatura (°C), segundo o modelo de Carolina do Norte (Shaltout & Unrath, 1983).

Temperatura do ar (°C)	Unidades de Frio (UF)
-1,1	0
1,6	0,5
7,2	1
13	0,5
16,5	0
20,7	-1
22,1	-1,5
23,3	-2

Para a validação dos modelos de Utah e Carolina do Norte, Richardson *et al.* (1974) e Shaltout & Unrath (1983) consideraram o estágio de floração das frutíferas de clima temperado (pessegueiro e macieira) como marco fenológico a ser estimado. Para isso, foram comparadas datas de floração observadas a campo com datas de floração estimadas através do requerimento de frio para superação da dormência, baseado no cálculo de unidades de frio, acrescido ao requerimento de calor para ocorrência da floração, baseado no acúmulo de energia horária acima de 4,5°C após o término da dormência. Os modelos foram considerados precisos, já que as diferenças encontradas entre as datas observadas e estimadas de floração foram pequenas.

Para estimar o requerimento de calor para ocorrência da floração, Richardson *et al.* (1964), citados por Dias (1987), desenvolveram a escala de “*Growing Degree Hours Celsius*” (GDH°C), cujas unidades de calor são calculadas subtraindo-se 4,5 graus de cada valor horário, entre 4,5°C e 25°C. Temperaturas acima de 25°C são assumidas como sendo 25°C, sendo o maior acúmulo para uma hora de 20,5 GDH°C. Temperaturas iguais ou inferiores a 4,5°C não são consideradas. O limite de 4,5°C representa a temperatura base requerida para que pessegueiros e macieiras se desenvolvam. Através desse

estudo, Richardson *et al.* (1974) demonstraram que, embora o frio seja fundamental para a superação natural da dormência, nas demais etapas fenológicas sua disponibilidade deixa de ser importante em detrimento do calor que, por sua vez, passa a ser o elemento que rege o desenvolvimento vegetal. Na literatura não há informações que mostrem variação no parâmetro de temperatura base, considerando contrastes de cultivares com maior e menor exigência em frio, sendo este um importante fator a ser investigado para ajustes nos modelos de predição da fenologia.

Ebert *et al.* (1986) iniciaram uma série de estudos visando à adaptação dos modelos de Utah e Carolina do Norte para as condições do Sul do Brasil. Neste sentido, foram propostas as primeiras experiências com os modelos de unidades de frio (*chill-units*) para três locais de Santa Catarina: Videira, Caçador e São Joaquim. Os autores utilizaram três métodos, de forma comparativa: 1) modelo tradicional de acúmulo de horas de frio abaixo ou iguais a 7,2°C determinadas a partir de termógrafos e pelo método proposto por Angelocci *et al.* (1979), que considera para o cálculo das unidades de frio as temperaturas horárias obtidas por interpolação, a partir das temperaturas registradas às 21h e das máximas e mínimas diárias; 2) modelo de unidades de frio de Utah, descrito por Richardson *et al.* (1974); 3) modelo de Carolina do Norte, conforme Shaltout & Unrath (1983). Além disso, os autores modificaram os dois últimos modelos, de forma que altas temperaturas resultassem em acumulação negativa de frio somente até 96h após a última unidade de frio positiva ter sido registrada, sendo as temperaturas consideradas nulas após esse período, até que novas UFs positivas ocorressem. Tais modificações foram baseadas em pesquisas conduzidas por Erez & Lavee (1971), os quais afirmam que a acumulação de frio é suscetível a um efeito antagônico de altas temperaturas somente por poucos dias. O número de horas

abaixo ou iguais a 7,2°C foi registrado a partir de abril (outono), e o cálculo das unidades de frio iniciado quando da máxima acumulação negativa atingida, conforme descrito por Richardson *et al.* (1974). Os autores concluíram que o uso dos modelos de unidades de frio, ao invés do tradicional monitoramento de horas abaixo ou iguais a 7,2°C, parece vantajoso em climas com invernos amenos, como os do Sul do Brasil. Além disso, afirmam que os modelos de Carolina do Norte e Carolina do Norte Modificado apresentam-se melhor ajustados para as condições climáticas do Sul do Brasil, se comparados ao modelo de Utah.

Trabalhando com pessegueiro, Erez & Couvillon (1987) lançaram a teoria de que o frio seria o agente responsável pela produção de um determinado precursor de crescimento e que o mesmo seria degradado pela alternância de períodos com altas temperaturas. Assim, Erez & Fishman (1990) sugeriram um novo método de previsão da evolução da dormência chamado “modelo dinâmico”. Este método foi baseado em experimento efetuado com cultivares de pessegueiro, cujo objetivo foi avaliar as respostas das plantas ao frio, em condições controladas. Os autores asseguraram que os múltiplos efeitos da temperatura poderiam ser explicados pela formação de precursores de crescimento, que seguiriam um fluxo dividido em dois estágios. No primeiro estágio, o processo de formação do precursor dependeria do frio, e a incidência de altas temperaturas teria o efeito de frear ou, mesmo, degradar esta substância. Portanto, a sua formação seria dinamicamente reversível. No segundo estágio, a sua reversibilidade não poderia ser mais possível e os efeitos do frio seriam, então, fixados. O efeito de “fixação” dos precursores é baseado no entendimento de que, quando um nível crítico da substância é alcançado, em função da disponibilidade de frio, ele é automaticamente transferido para uma forma de energia eletromagnética (*quanta*) estável e, irreversivelmente acumulada. A

quantificação matemática desta energia é feita através das chamadas “porções de frio”. Entretanto, se o nível crítico não for alcançado, devido à reversibilidade causada pelas altas temperaturas, não importa o quão próximo deste limiar tenha chegado, pois não ocorrerá nenhum acúmulo. Os autores sustentaram que as diferenças nas necessidades de frio entre espécies ou cultivares podem ser explicadas pela maior ou menor exigência de porções de frio para superar a dormência.

Sugiura & Honjo (1997) também desenvolveram um modelo para superação da dormência, chamado DVR “development rate”, utilizando pereiras da cultivar Housui. Este modelo é utilizado para simular a evolução da dormência em três sub-períodos: endodormência, ecodormência e período de transição entre endo e ecodormência, em relação a temperatura hibernal. No período de transição, as temperaturas do ar podem ser consideradas (dependendo da faixa), simultaneamente, para acúmulo de frio para a superação da endodormência e para soma de unidades de calor para a superação da ecodormência, conforme representação da progressão da dormência por Faust *et al.* (1997) (Figura 2). Desse modo, este modelo mostra que temperaturas hibernais podem ter ação ou efeito simultâneo, nos diferentes períodos da dormência, devendo-as considerar de forma conjunta.

A utilização de métodos de acumulação de horas de frio, conforme citado anteriormente, pode ser útil na composição de modelos que objetivam a predição de datas fenológicas importantes, como a brotação de plantas criófilas, e para avaliar e demonstrar a adaptabilidade destas espécies ao ecossistema. Além disso, destaca-se que até o presente momento a maioria destes modelos se baseia em estudos antigos e feitos em condições climáticas diferentes das do Sul do Brasil. Portanto, torna-se necessário verificar qual o modelo mais adequado

para as condições de cultivo de frutíferas no Brasil, ou mesmo, propor alternativas melhores de modelagem que levem em consideração os efeitos da temperatura e outros fatores ainda não introduzidos e explorados pelos referidos modelos. Diferenças genéticas entre espécies ou cultivares de uma mesma espécie em relação à demanda por frio, a variação estrutural existente na planta quanto a respostas às baixas temperaturas, além de elementos ambientais influentes e projetados futuramente, como é o caso da elevação da temperatura pelo aquecimento global, são fatores a serem considerados no sentido de adequar e/ou ajustar novos modelos que visem prever a superação da dormência.

Muitos modelos desenvolvidos para a superação da dormência, quando testados, não simulam ou não expressam as necessidades hibernais das culturas a partir de parâmetros climáticos (Ebert *et al.*, 1986). Os impactos das mudanças climáticas globais, tendo como consequência o aumento da temperatura média em diversas regiões do planeta, tem estimulado a utilização e ajuste de modelos experimentais para prever o acúmulo de frio e auxiliar no manejo de pomares comerciais (Chmielewski & Rötzer, 2001). Em países tradicionalmente produtores de maçãs, a utilização de modelos matemáticos já permitiu comprovar alterações no desenvolvimento fenológico de cultivares, devido ao aumento da temperatura registrado nas últimas décadas (Legave *et al.*, 2008). Estes autores utilizaram funções de frio para prever o término da dormência e funções de calor para estimar a data de floração de macieiras 'Golden Delicious', em três regiões da França. Observaram que, de 1989 a 2002, ocorreu atraso do término da dormência, devido à menor intensidade de frio no inverno, e antecipação da floração, em virtude do maior acúmulo térmico proporcionado pela elevação da temperatura, se comparado ao período de 1976 a 1988. Essas alterações do ciclo sugerem o desenvolvimento e ajuste de modelos para estimar a superação da

dormência em diferentes cenários de temperatura, advindos das mudanças climáticas.

Outros possíveis ajustes e/ou adequações aos modelos de predição da superação da dormência podem ser realizados, considerando as diferenças genéticas entre as cultivares frutíferas. Segundo Hauagge & Cummins (1991) cultivares de macieira apresentam diferentes níveis de profundidade de dormência: leve, intermediária e intensa. Dessa forma, os autores sugerem a construção de modelos de superação da dormência para diferentes classes de cultivares, de acordo com seus requerimentos diferenciados de frio e temperaturas mais efetivas para a superação da dormência.

Segundo Austin *et al.* (2002), a determinação da superação da dormência e das necessidades de frio passam também por pontos estruturais da planta, os quais poderiam ser incluídos em modelos matemáticos. Segundo Petri *et al.* (2006) gemas terminais requerem uma quantidade diferenciada de frio em relação às gemas laterais. Além disso, ramos menos vigorosos e mais curtos possuem, normalmente, menor exigência em frio que ramos mais longos e vigorosos. Porta-enxertos ananizantes conferem menor necessidade de frio às gemas da cultivar copa, assim como gemas situadas em plantas melhor nutridas e sadias requerem mais frio para a superação da dormência (Petri *et al.*, 2006).

Austin *et al.* (2002) desenvolveram um modelo que quantifica a perda de potencial de brotação das gemas, levando em consideração o efeito da posição das gemas laterais no ramo e o efeito “vizinho” de uma gema sobre a outra, seguindo o princípio da dominância apical. Tais efeitos são regulados pela temperatura, a qual, à medida que se eleva, intensifica a interação existente entre as gemas, resultando numa maior perda de capacidade de brotação. Este método propicia incluir ao modelo uma maior quantidade de informações segregadas que,

juntas, podem proporcionar predições mais precisas da superação da dormência de gemas em frutíferas de clima temperado.

2.4.3 Métodos biológicos para avaliação da dormência

O conhecimento dos fatores ambientais, que são determinantes sobre o processo de dormência, é essencial para o desenvolvimento de modelos matemáticos eficazes para predição do comportamento das gemas durante o período hibernar e início da brotação. Para tanto, o uso e/ou desenvolvimento de métodos biológicos, que representem fielmente às condições de campo são ferramentas imprescindíveis para possibilitar o teste isolado de diferentes fatores. Apesar dos vários estudos desta natureza, salienta-se que existe uma ampla diversidade de estratégias e falta de padronização, o que dificulta, em muitas vezes, o entendimento e/ou isolamento dos efeitos de cada fator sobre o metabolismo de dormência em gemas (Dennis Junior, 2003).

Em condições de campo, pela restrição de controle (ex.: radiação, temperatura do ar e precipitação), não há possibilidades de se determinar com precisão o requerimento em frio de espécies frutíferas, devido à complexidade de interações que os diversos fatores do ambiente e da planta exercem sobre a dormência (Dennis Junior, 2003). Diante deste cenário, os estudos em condições controladas foram preconizados e mais empregados, sobretudo aqueles envolvendo a temperatura do ar (Hawerroth *et al.*, 2010).

Os métodos biológicos são caracterizados pela avaliação da resposta de gemas durante o período de dormência, as quais são submetidas a diferentes regimes de temperatura e, posteriormente, à avaliação da brotação e/ou floração (Hawerroth *et al.*, 2010). Dentro destas premissas, existem algumas variações importantes nas estratégias de análise destes métodos biológicos, as quais

envolvem o uso de estacas intactas, estacas de nós isolados, uso de plantas em vaso e uso de ramos enxertados.

O uso de ramos intactos isolados é o mais utilizado, no qual se utilizam ramos com aproximadamente 15 a 25 cm, que podem ser destacados das plantas em diferentes momentos do período de dormência. Após a exposição a diferentes condições experimentais (ex.: tempos de frio), esses ramos são submetidos a condições ideais de temperatura, umidade e fotoperíodo, para possibilitar a emissão da brotação e/ou floração. O uso de ramos destacados é utilizado, principalmente, em estudos para quantificação do requerimento em frio de cultivares (Weinberger, 1950; Herter *et al.*, 2000; Citadin *et al.*, 2002), sendo a sua principal limitação a desidratação do material vegetal. Isto se deve ao tempo de exposição às condições atmosféricas indutivas à brotação, favoráveis à transpiração dos tecidos das estacas.

Em outra estratégia, destaca-se o emprego de nós isolados (Champagnat, 1983). Nesta são utilizadas porções dos ramos contendo apenas uma gema, as quais são submetidas aos tratamentos para superação de dormência, eliminando-se, em conjunto, grande parte das inibições correlativas entre tecidos, para que as gemas possam expressar a máxima evolução/profundidade da dormência e capacidade de brotação (Herter, 1992; Balandier, 1992). Apesar da possibilidade de expressar comportamentos distintos de brotação, em relação ao método de estacas intactas, essa estratégia de análise também tem sido utilizada por alguns autores para determinação da necessidade de frio de cultivares de macieira (Herter *et al.*, 2001; Putti *et al.*, 2003; Faquim *et al.*, 2007). Como principal desvantagem tem-se a limitação da evolução das brotações devido ao baixo teor de reservas na estaca, dado pelo pequeno comprimento do ramo utilizado.

A utilização de plantas conduzidas em vasos para estudos sobre a dormência, como realizado por Camelatto *et al.* (2000) e Silveira (2003) consiste na colocação de plantas ou mudas em câmaras de crescimento climatizadas, tipo *fitotron*, permitindo manter as inter-relações da planta. Este método, entretanto, apresenta como limitação o fato de exigir maior espaço em câmara fria e casa de vegetação, elevando os custos da pesquisa. Além disso, o uso de mudas pode conferir o problema de juvenilidade e as gemas expressarem respostas distintas daquelas situadas em plantas adultas, sendo importante atentar-se para a idade da planta no uso desta técnica (a partir de 3-5 anos, quando do uso de mudas).

O método de “ramos enxertados” consiste em enxertar ramos produtivos da espécie de interesse em porta-enxertos previamente estabelecidos em solo ou substrato, contido em sacos plásticos ou vasos, podendo ser efetuada a submissão das plantas aos tratamentos de interesse após a completa soldadura no ponto de enxertia (Silveira, 2003; Chavarria *et al.*, 2009; Wagner Júnior *et al.*, 2006). Este método permite maior longevidade dos ramos e quase nenhuma perda de gemas, comparativamente ao método de estacas de nós isolados e ramos destacados. Além disso, demanda menor espaço para a sua realização. Como limitações, salienta-se que esta técnica é bastante trabalhosa e dificulta a realização de diferentes e/ou contrastes de tratamentos, igualmente ao método de plantas em vasos, por exigir uma área física útil expressiva, se comparada ao método de estacas de gema única ou estacas intactas.

Dada à necessidade de métodos de fácil aplicabilidade, representatividade das condições naturais, rápida execução e mínimo espaço físico para a sua realização, busca-se avançar, selecionar e/ou desenvolver métodos biológicos que possam se constituir como importantes ferramentas em estudos de dormência em frutíferas de clima temperado, representando com fidelidade a

situação do material vegetal a campo. Dennis Junior (2003) sugere a realização de mais estudos de âmbito metodológico para sua subsequente padronização, principalmente no enfoque da estratégia para determinação do requerimento em frio de espécies/cultivares.

Apesar dos avanços obtidos nos estudos até então realizados com modelos de estimativa da superação da dormência e de métodos biológicos, os mecanismos fisiológicos relacionados à dormência ainda não são claramente conhecidos para dar suporte aos modelos e/ou métodos (Hawerth *et al.*, 2010). Para Arora *et al.* (2003), o profundo entendimento dos mecanismos de indução e superação da dormência deve ser atingido a partir da realização de estudos multidisciplinares envolvendo as áreas de horticultura, fisiologia vegetal, bioquímica e genética, abrangendo conjuntamente estudos de campo e em condições controladas, nos níveis da planta, tecido e bioquímica celular.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para atingir os objetivos propostos neste trabalho, a metodologia foi estruturada em uma sequência de experimentos com diferentes regimes de temperatura durante o período de dormência, avaliando-se a brotação de genótipos de macieira contrastantes em necessidade térmica hiberna. Com o contraste de genótipos, possibilita-se uma maior amplitude de resposta da dormência em relação às diferentes condições térmicas, o que é de grande valia para a modelagem do processo de dormência.

3.1 Coleta do material experimental

No contraste de genótipos foram utilizadas as cvs. Royal Gala e Castel Gala. As estacas foram coletadas em pomares comerciais pertencentes à propriedade de Décio Amorim, no município de Papanduva, SC, a 26°26'68"S, 50°05'47"W e 788 m de altitude (Figura 3). Estes pomares apresentaram uma condição "sine qua non" para a realização do estudo, pois as áreas de cada cultivar se dispunham lado a lado, com as mesmas condições de solo e clima (Figura 3).



FIGURA 3. Imagem espacial disponibilizada pelo aplicativo Google Earth® dos pomares de 'Royal Gala' (vermelho) e 'Castel Gala' (azul), onde o material vegetativo foi amostrado durante o período experimental de 2009, 2010 e 2011. Papanduva, SC.

A cidade de Papanduva está localizada na região nordeste de Santa Catarina, a 15,3 Km de Monte Castelo e 166 Km de Curitiba, PR. O clima da região é classificado como Cfb pela classificação de Köppen, subtropical úmido mesotérmico, com verões frescos, geadas frequentes no outono e inverno, sem estação seca, cujas normais climatológicas são: temperatura média do mês mais quente inferior a 22°C e do mês mais frio inferior a 18°C; chuvas distribuídas ao longo ano, com totais anuais entre 1.300 mm e 1.500 mm e umidade relativa média de 85% (Gaplan, 1986).

A coleta do material experimental para avaliação da evolução da dormência, após acúmulo de frio no campo e em condições controladas, foi realizada em 2009 (três coletas – março, maio e junho), 2010 (quatro coletas – abril, maio, junho e julho) e 2011 (duas coletas – abril e junho), coletando-se apenas ramos de ano (brindilas), formados durante o ciclo vegetativo/produtivo anterior da cultura e apresentando, em média, 25 a 30 cm de comprimento (Figura 4). Na seleção do material para coleta, além de conferir a maturidade das gemas (gemas bem fechadas) e sua sanidade (sem danos por *Grapholita molesta* B.), foram selecionadas estacas com vigor semelhante, apresentando aproximadamente 5 mm de diâmetro.

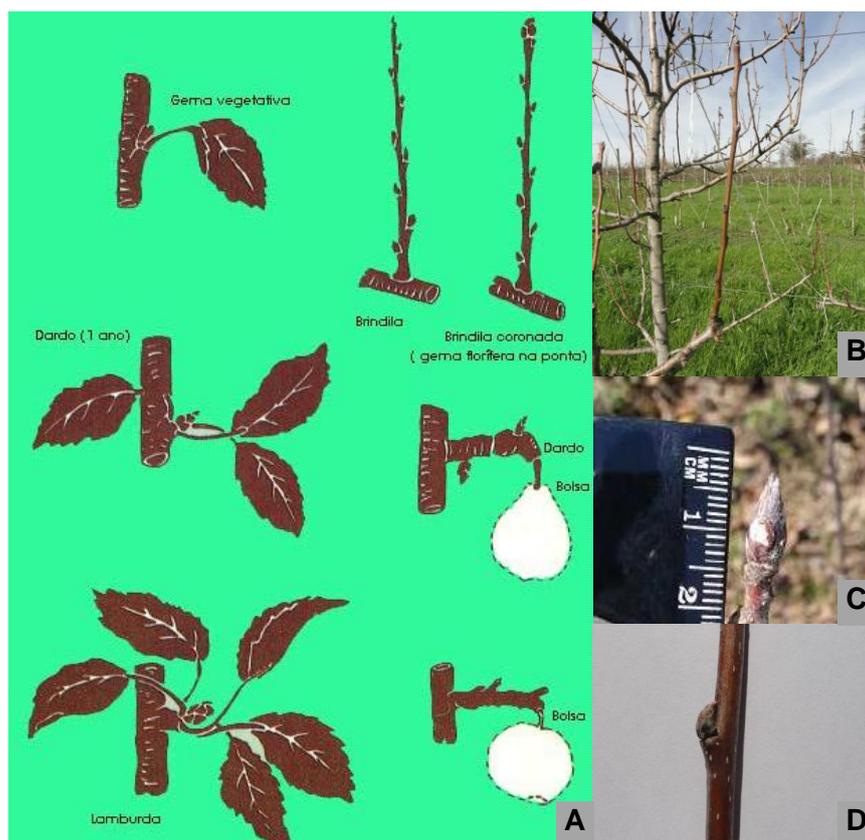


FIGURA 4. Detalhe do material vegetal coletado para avaliação da dormência de gemas em macieira. (A) Estruturas de frutificação da macieira; (B) Brindila de macieira; (C) Detalhe da gema apical; (D) Detalhe da gema lateral. Papanduva, SC.

No início do projeto, em 2009, as plantas da cultivar Royal Gala se encontravam, no campo, com cinco anos de idade, enxertadas sobre porta-enxerto 'Marubakaido', com filtro 'M9', espaçadas em 1,25 m entre plantas e 4,00 m entre linhas. Já, as plantas da cultivar Castel Gala apresentavam-se com três anos de idade, enxertadas sobre porta-enxerto M9, espaçadas em 0,80 m entre plantas e 3,50 m entre linhas. As cultivares Imperatriz e Williams Start compunham as plantas polinizadoras para a cultivar Royal Gala, numa proporção de 12% de Imperatriz e 12% de Williams Start. Já, no pomar de 'Castel Gala', as plantas polinizadoras eram compostas pelas cultivares Eva, Princesa e Condessa, numa proporção de 5% de 'Eva' e 'Princesa' e 10% de 'Condessa'.

Após a coleta a campo, os ramos foram enrolados em papel umedecido e armazenados em sacos plásticos, sendo transportados, no mesmo dia, à Embrapa Uva e Vinho, em Bento Gonçalves-RS, para processamento e instalação dos experimentos. Apenas na primeira coleta de 2009 (em março) e de 2011 (em abril), as estacas estavam com folhas (retiradas no processamento), sendo que nas demais coletas as folhas já haviam caído no campo.

Salienta-se que somente para um experimento as coletas não foram realizadas em Papanduva-SC. Trata-se do experimento 15 (detalhes na sequência), em que a amostragem foi efetuada em Vacaria-RS, apenas para a cultivar Royal Gala, sem considerar o contraste com a 'Castel Gala'.

3.2 Condições meteorológicas

De acordo com a época de amostragem do material, no campo, foram consideradas e quantificadas as condições meteorológicas ocorridas no período precedente às coletas. Para isso, foram coletados dados de temperatura do ar, radiação solar, umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica, a partir de

uma estação automática instalada no município de Major Vieira-SC, pertencente à rede do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizado a 18,3 Km, em linha reta, do pomar comercial onde foram realizadas as amostragens. O registro das variáveis compreendeu o período de 30 dias antes da primeira coleta de gemas até o final do inverno de 2009, 2010 e 2011. A partir dos dados de temperatura, pôde-se calcular o somatório de frio ocorrido no campo até o momento de cada coleta, segundo o método de horas de frio abaixo ou iguais a 7,2° C (Weinberger, 1950).

Os dados meteorológicos dos três anos foram confrontados entre si, para comparar as condições ocorridas nos três anos e sua influência sobre o estado de dormência das gemas coletadas em diferentes épocas, durante o período de outono e inverno.

3.3 Processamento do material experimental

O material experimental coletado a campo foi processado de diferentes maneiras, dependendo do experimento proposto. Seis métodos de processamento e acondicionamento das estacas foram utilizados, nos períodos de indução e superação da dormência (enquanto as gemas eram submetidas a um regime de frio) e brotação (enquanto as gemas eram submetidas a um regime de calor), conforme apresentado na Tabela 3.

Em geral, os regimes de frio foram aplicados em câmaras tipo BOD (Biologic Oxygen Demand) da marca Eletrolab, modelo EL202, sem fotoperíodo (somente escuro). O regime de calor foi aplicado em temperatura de $25 \pm 1,5^\circ\text{C}$ e fotoperíodo de 12h, empregando-se câmara de crescimento (*fitotron*), marca Percival Boone, modelo 50036, com dimensões de 4 m de comprimento, 3 m de largura e 3,5 m de altura. Em alguns experimentos foi utilizado o *fitotron* para

submeter às gemas a um período de calor no meio do frio. Em outros, também foram usadas câmaras BODs no período de brotação, para submeter às gemas a um período de frio no meio do calor ou para fornecer temperaturas de calor diferentes de 25°C. Devido a macieira ser insensível ao fotoperíodo durante a dormência (Heide & Prestud, 2005), o comprimento do dia mantido no *fitotron* foi usado apenas para possibilitar a avaliação da brotação. A temperatura e a umidade do ar nas BODs e *fitotron* foram monitoradas por um termohigrógrafo, fornecido com gráfico semanal, modelo 3-3136, marca Isuzu.

TABELA 3. Métodos de processamento e acondicionamento das estacas nos períodos de indução e superação da dormência (frio) e brotação (calor). Bento Gonçalves, RS, 2009/2010/2011.

Método	Gemas por estaca	Acondicionamento das estacas no frio	Acondicionamento das estacas no calor
Estacas de nós isolados	uma	em potes com espuma fenólica	em potes com espuma fenólica
Estacas intactas em potes	várias	em potes com espuma fenólica	em potes com espuma fenólica
Estacas intactas embaladas na horizontal	várias	embaladas em filme plástico, na horizontal	em potes com espuma fenólica
Estacas intactas embaladas na vertical, com brotação em potes	várias	embaladas em filme plástico, na vertical	em potes com espuma fenólica
Estacas intactas embaladas na vertical, com brotação em água	várias	embaladas em filme plástico, na vertical	em plataforma com água
Estacas intactas embaladas na vertical, com brotação em plataforma com espuma fenólica	várias	embaladas em filme plástico, na vertical	em plataforma com espuma fenólica

Na sequência serão detalhados os seis métodos de processamento das estacas.

3.3.1 Método de estacas de nós isolados

No método de nós isolados, as brindilas foram segmentadas em estacas com uma única gema apical ou lateral. As estacas com gema apical foram cortadas com 7 cm de comprimento, permanecendo somente a gema distal superior de cada brindila. Já, para as estacas com gema lateral foi utilizada a parte intermediária do ramo, cortando-se uma extremidade em bisel, a aproximadamente 1 cm acima de uma gema lateral, e a outra extremidade aproximadamente 7 cm abaixo do primeiro corte, eliminando-se as demais gemas axilares.

A desinfestação do material foi realizada submetendo as estacas a uma limpeza sequencial com água da torneira, imersão em etanol 70% por 60 a 90 segundos e um enxágue com água destilada, sendo depois secas à sombra, por aproximadamente 30 min.

Após a secagem, a extremidade superior das estacas com gemas laterais foi rapidamente mergulhada em parafina líquida para formar um filme protetor, para diminuir a desidratação.

O “plantio” das estacas foi feito em potes de 300 ml com discos de espuma fenólica (Figura 5F). Para isso, tijolos de espuma fenólica foram cortados de modo a ficarem com 3,75 cm de altura (Figura 5A), empregando-se um molde de padaria (Figura 5B) para extrair discos de 8 cm de diâmetro (Figura 5C). Para uniformizar a distribuição das estacas na espuma fenólica, utilizou-se um molde feito com pregos (Figura 5D) para demarcar a posição de inserção das estacas no lado superior da espuma (Figura 5E). Os potes tinham 10 cm de diâmetro de abertura, 8 cm de diâmetro de fundo e 5 cm de altura (Figura 5C). Em cada pote foram arranjadas até 21 estacas, espaçadas em 1,5 cm entre si.

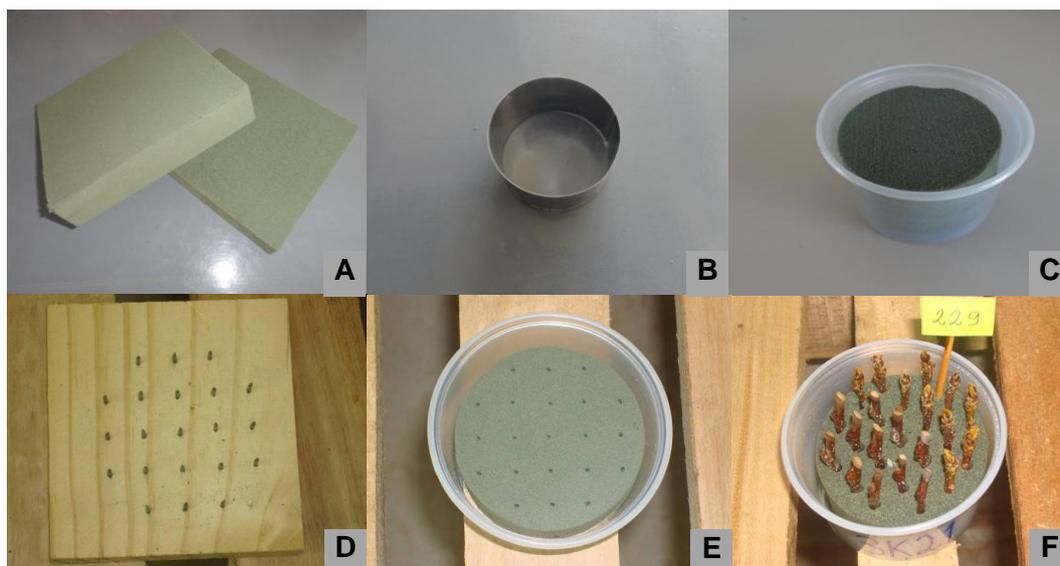


FIGURA 5. Processamento e acondicionamento das estacas de nós isolados em potes com espuma fenólica. (A) Espuma fenólica cortada; (B) Molde de padaria; (C) Pote com disco de espuma fenólica; (D) Molde de pregos; (E) Demarcação da posição de plantio das estacas; (F) Pote com estacas de nós isolados plantadas. Bento Gonçalves, RS.

Os potes dos experimentos foram acondicionados em seis prateleiras dentro das BODs, conforme a Figura 7E, sendo cada uma das três repetições por tratamento (descritos na sequência) distribuída num grupo de duas prateleiras. Isto visou controlar o efeito de diferenças na circulação de ar no interior das BODs.

A irrigação das estacas nas BODs foi realizada adicionando-se em torno de 20 ml de água por pote a cada 96 horas. A reposição de água foi suficiente para saturar a espuma fenólica, evitando-se acúmulo de água livre no pote.

Ainda nas BODs, ao longo dos experimentos realizados, fungos como *Botrytis* e *Fusarium* proliferaram sobre a espuma fenólica e estacas, numa incidência de aproximadamente 5%, sendo controlados com a aplicação de produtos fitossanitários. A utilização dos defensivos foi a base de pirimetamil e tebuconazol (sistêmicos) e iprodiona e captan (contato), pulverizados na dosagem de 1,5 a 2,0 ml L⁻¹, exceto aquele à base de tebuconazol, cuja dosagem foi de 1,0

ml L⁻¹. A frequência de aplicação foi de 7 a 14 dias, intercalando-se os produtos de contato e sistêmico.

Após um período de frio nas câmaras BODs, variável conforme o experimento, os potes foram transferidos para o *fitotron*, onde continuou-se a irrigação (a cada 24 a 48 h, devido à maior evaporação) e o tratamento fitossanitário. Em alguns casos (apontados na descrição dos experimentos), os potes foram transferidos para outra BOD, programada com uma temperatura diferente de 25°C. No *fitotron* (ou na BOD), as repetições de cada tratamento foram dispostas em três posições distintas, para bloquear, igualmente, o efeito do local.

A avaliação da brotação das gemas foi realizada através da tomada de fotografias diárias (Figura 6A), que depois foram processadas, anotando-se a data de brotação de cada gema lateral e apical no estágio de ponta verde (Estádio C - C₃ da escala fenológica de Iuchi, 2006) (Apêndice 1). As estacas foram avaliadas por um período de 56-63 dias, após transferidas para o *fitotron*, e de 84 dias, após transferidas para outras BODs.



FIGURA 6. Avaliação de brotação das gemas em estacas de nós isolados (A) e estacas intactas (B), através de fotografias diárias. Bento Gonçalves, RS.

Durante todo o período experimental, gemas com presença de fungos foram removidas dos potes e descartadas para evitar a contaminação das demais. Além disso, ao final do período de avaliação da brotação, as gemas não brotadas foram cortadas, transversalmente, e avaliadas quanto à vitalidade dos tecidos dos primórdios foliares e/ou florais (meristemas), verificando se elas estavam verdes ou secas. Esse procedimento foi importante para análise dos dados, caracterizando se a gema não brotou por estar morta, ou não brotou por algum outro fator.

O processamento, acondicionamento e avaliação das estacas de nós isoladas, após transferidas para o calor em *fitotron*, são resumidos na ilustração da Figura 7.

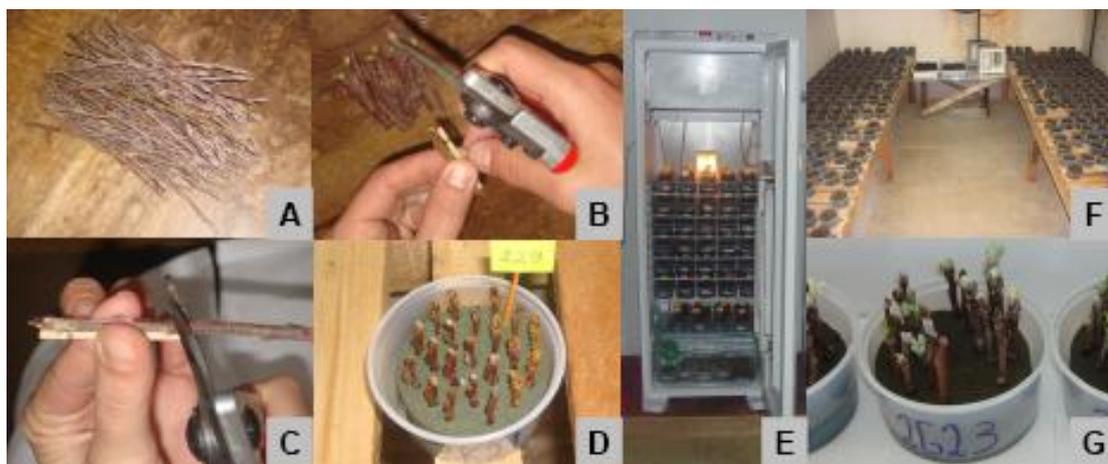


FIGURA 7. Metodologia usada para avaliação da dormência em estacas de nós isolados. (A) Ramos de ano com 20 a 25 cm de comprimento; (B) Corte de estacas com 7 cm de comprimento, portando uma única gema lateral; (C) Corte de estacas com 7 cm de comprimento, portando uma única gema apical; (D) Estacas plantadas em potes com espuma fenólica; (E) Potes com estacas submetidas ao frio em câmaras BODs; (F) Potes com estacas após a transferência para o *fitotron* a 25°C; (G) Avaliação da brotação das gemas. Bento Gonçalves, RS.

3.3.2 Método de estacas intactas em potes

No método de estacas intactas em potes, os ramos foram mantidos inteiros, sendo apenas aparados para uniformizar o seu tamanho em

aproximadamente 20 a 25 cm, mantendo-se a gema apical e de seis a onze gemas laterais. A desinfestação e o preparo dos potes com espuma foi similar aos utilizados no método de estacas de nós isolados (3.3.1). Entretanto, o número de estacas por pote foi limitado a 10, para facilitar a visualização das gemas.

Os potes dos experimentos foram acondicionados em três prateleiras dentro das BODs, conforme a Figura 8B, sendo uma repetição por prateleira. A irrigação e o controle fitossanitário foram iguais ao método de estacas de nós isolados (3.3.1), bem como a disposição de potes no *fitotron* e, posteriormente, a avaliação da vitalidade das gemas não brotadas por ocasião do descarte.

Para fotografar as gemas para avaliação da brotação, usaram-se dois espelhos, formando um ângulo de aproximadamente 120°, para compor três vistas dos ramos (Figura 6B), sendo as gemas brotadas processadas posteriormente, de forma similar ao método de estacas de nós isolados (3.3.1).

O processamento sequencial para avaliar a brotação em estacas intactas em potes é mostrado na Figura 8.

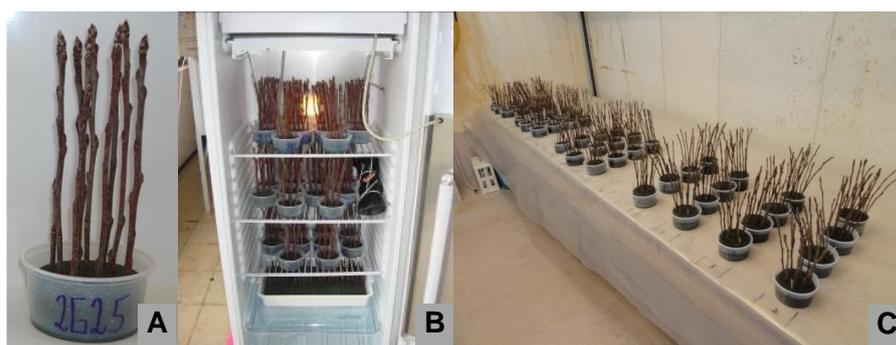


FIGURA 8. Metodologia usada para avaliar a dormência em estacas intactas em potes. (A) Estacas, com uma gema apical e de seis a onze gemas laterais, plantadas em espuma fenólica; (B) Potes com estacas intactas submetidas ao frio, em câmaras BODs; (C) Potes com estacas intactas após a transferência para o *fitotron* a 25°C, para avaliação da brotação das gemas. Bento Gonçalves, RS.

3.3.3 Método de estacas intactas embaladas na horizontal

Para este método, o processamento do material foi igual ao método de estacas intactas em potes (3.3.2), diferenciando-se apenas na forma de acondicionamento do material durante o período de frio. Ao invés de serem plantadas em espuma fenólica, as estacas foram embaladas em feixes de 60 unidades e submetidas ao frio em câmaras BODs, dispostas horizontalmente. As estacas foram acondicionadas de forma embalada durante o período de frio para melhor aproveitar o espaço interno das BODs e controlar melhor a perda de umidade dos ramos.

Após diferentes períodos de frio nas câmaras BODs, as estacas intactas foram desenroladas dos feixes, cortadas em bisel na extremidade basal, para remover o tecido desidratado e desobstruir os feixes vasculares, seguidos do plantio em espuma fenólica (acondicionada em potes) e da transferência para o *fitotron* para avaliação da brotação. Os demais passos foram similares ao método de estacas intactas plantadas em potes (3.3.2).

Na Figura 9 estão resumidos os principais passos para avaliação da brotação, pelo método de estacas intactas embaladas mantidas na horizontal.



FIGURA 9. Metodologia usada para avaliar a dormência em estacas intactas embaladas na horizontal. (A) Estacas intactas distribuídas em feixes e embaladas em filme plástico preto; (B) Estacas embaladas submetidas ao frio, em câmaras BODs; (C) Plantio das estacas em espuma fenólica, antes da transferência para o calor; (D) Potes com estacas intactas após a transferência para o *fitotron* a 25°C, para avaliação da brotação das gemas. Bento Gonçalves, RS.

3.3.4 Método de estacas intactas embaladas na vertical, com brotação em potes

Neste método as estacas intactas, após seccionadas para ficarem com 20 a 25 cm de comprimento, passaram por processo de desinfestação com água de torneira, seguida por etanol 70% por 45 a 60 segundos e hipoclorito de sódio a 2,5% por 20 minutos, com posterior enxágue com água destilada. Após a desinfestação, as estacas sofreram cortes em bisel na extremidade basal, para eliminar os tecidos oxidados pelo hipoclorito e desobstruir os feixes vasculares. Após secas, as estacas foram distribuídas em feixes de 20 unidades cada, embaladas (com identificação da posição da gema apical) e colocadas nas câmaras BODs (frio) no sentido vertical, mantendo a gema apical na posição superior. As estacas foram dispostas em sentido ereto no frio para não mascarar o efeito da dominância apical.

Os feixes de estacas intactas foram acondicionados em duas prateleiras nas BODs. Neste método, foram usadas duas repetições (feixes de 20 estacas) por tratamento (descritos posteriormente), dispostas separadamente dentro das câmaras (uma repetição por prateleira).

Após os tratamentos de frio, as estacas foram submetidas ao calor em câmaras BODs ou *fitotron*, dependendo do experimento. Ao serem transferidos do frio para o calor os feixes de estacas foram abertos, sendo as estacas cortadas em bisel na extremidade basal e plantadas em potes com espuma fenólica. As duas repetições foram dispostas separadamente, tanto no *fitotron* como nas BODs. A irrigação das estacas foi realizada com a mesma frequência e intensidade aplicada nos métodos anteriores. Adicionalmente, um umidificador foi acoplado ao *fitotron*, para manter a umidade relativa do ar entre 70 e 80%.

A avaliação da data de brotação das gemas em estacas intactas foi

realizada através de anotação manual diária, em planilhas, ao invés de tomadas de fotografias diárias. As estacas foram avaliadas por um período de 70 a 146 dias, conforme o experimento. Ao final do período de avaliação, as gemas não brotadas foram analisadas quanto à vitalidade, como nos métodos anteriores. Neste método, por ter sido feita uma desinfestação mais rigorosa, incluindo o uso de hipoclorito de sódio, foi possível dispensar os tratamentos fitossanitários para o controle de doenças nas estacas.

O método de estacas intactas embaladas em posição vertical, com brotação em potes, é esquematizado pela ilustração abaixo (Figura 10).



FIGURA 10. Metodologia usada para avaliar a dormência no método de estacas intactas embaladas na vertical, com brotação em potes. (A) Estacas de ano com 20 a 25 cm de comprimento; (B) Estacas distribuídas em feixes e embaladas em filme plástico preto; (C) Estacas submetidas ao frio em câmaras BODs; (D) Plantio das estacas em potes com espuma fenólica; Transferência das estacas para o calor em câmaras BOD (E) ou *fitotron* (F), para avaliação da brotação das gemas. Bento Gonçalves, RS.

3.3.5 Método de estacas intactas embaladas na vertical, com brotação em água

Neste método, o processamento e acondicionamento das estacas durante o período de frio foi similar ao método anterior (3.3.4). A única diferença consistiu

na disposição das estacas quando submetidas ao calor (*fitotron*). Ao invés de serem plantadas em potes com espuma fenólica, as estacas foram dispostas em um reservatório contendo uma lâmina de água de 3 cm, sustentadas por uma dupla camada de tela trançada, com orifícios de 1 cm x 1 cm (Figura 11). A água continha 5 ml L⁻¹ de hipoclorito de sódio a uma concentração de 5%. As duas repetições de cada tratamento foram alocadas em posições distintas, no interior do *fitotron*, para fins de bloqueamento. A cada duas semanas, a água do reservatório era substituída e se realizava um corte na extremidade basal de cada ramo, de aproximadamente 3 mm, para evitar a obstrução do fluxo dos feixes vasculares das estacas.



FIGURA 11. Estacas dispostas no *fitotron* em posição ereta, sustentadas por uma dupla camada de tela trançada (orifícios de 1 cm x 1 cm), sobreposta a um reservatório de água, contendo uma lâmina de 3 cm de altura. Bento Gonçalves, RS.

A adição de água ao reservatório no *fitotron* foi realizada a cada 48-72 horas mantendo-se, constantemente, uma lâmina de 3 cm de altura. Assim como no método anterior (3.3.4), neste também foram dispensados tratamentos fitossanitários preventivos para o controle de doenças nas estacas, em função da melhor desinfestação.

As estacas foram avaliadas por um período de 56 dias, a partir da transferência para o *fitotron*. As avaliações da brotação durante o período de calor e do material por ocasião do descarte foram feitas como no método de estacas intactas embaladas na vertical, com brotação em potes (3.3.4).

As etapas do método de estacas intactas embaladas na vertical, com brotação em água, são apresentadas na Figura 12.



FIGURA 12. Metodologia usada para avaliar a dormência em estacas intactas embaladas na vertical, com brotação em água. (A) Estacas de ano com 20 a 25 cm de comprimento; (B) Estacas distribuídas em feixes e embaladas em filme plástico preto; (C) Estacas embaladas submetidas ao frio, em câmaras BODs; (D) Transferência das estacas para o *fitotron* a 25°C, para avaliação da brotação das gemas. Bento Gonçalves, RS.

3.3.6 Método de estacas intactas embaladas na vertical, com brotação em plataforma com espuma fenólica

Este método foi similar ao anterior, diferenciando-se apenas quanto à sustentação das estacas no *fitotron*, em que, ao invés de ficarem com a base imersa em plataforma com água, foi inserida uma camada de espuma fenólica de 3,75 cm, situada abaixo da dupla camada de tela trançada (Figura 13), na qual foram plantadas as estacas. Não se usou aditivo na água de irrigação ou procedimento de corte periódico nas estacas.



FIGURA 13. Estacas dispostas em posição ereta no *fitotron*, sustentadas por uma dupla camada de tela trançada (orifícios de 1 cm x 1 cm), sobreposta a uma camada de 3,75 cm de espuma fenólica umedecida. Bento Gonçalves, RS.

Este método diferiu-se dos demais por se avaliar, além da vitalidade dos tecidos das gemas não brotadas, a morfologia das gemas brotadas (vegetativa ou florífera), por ocasião do descarte do material.

A metodologia usada para avaliar o método de estacas intactas embaladas na vertical, com brotação em espuma fenólica, é mostrada na Figura 14.



FIGURA 14. Metodologia usada para avaliar a dormência em estacas intactas embaladas na vertical, com brotação em espuma fenólica. (A) Ramos de ano com 20 a 25 cm de comprimento; (B) Estacas distribuídas em feixes e embaladas em filme plástico preto; (C) Estacas submetidas a diferentes regimes de frio, em câmaras BODs; (D) Transferência das estacas para a temperatura de 25°C, em *fitotron*, para avaliação da brotação das gemas. Bento Gonçalves, RS.

3.4 Caracterização das necessidades térmicas durante a dormência de gemas em macieira

A caracterização das necessidades térmicas de gemas apicais e laterais dos ramos, durante o período da dormência de 'Castel Gala' e 'Royal Gala', foi realizada de modo direto, considerando apenas o frio recebido no campo, em amostragens realizadas ao longo do período de outono e inverno, e de modo indireto, em vários experimentos sob condições térmicas controladas.

Foram realizados 16 experimentos, com diferentes objetivos, visando caracterizar o mecanismo da dormência de gemas em macieira, para elaboração de um novo modelo teórico biológico para predição da brotação da cultura, conforme mostrado na Tabela 4, empregando-se os diferentes métodos de avaliação da dormência descritos no item anterior.

Os experimentos em condições controladas foram realizados segundo o delineamento de blocos casualizados, com três repetições em 2009, e duas em 2010 e 2011, em esquema fatorial.

3.4.1 Experimentos realizados no ano de 2009

Para o preparo dos experimentos de 2009 levou-se em consideração o contraste de brotação de gemas em estacas de nós isolados (método 3.3.1) e em estacas intactas (métodos 3.3.2 e 3.3.3), assim como as formas de acondicionamento das estacas no frio, para cada método (3.3.1, 3.3.2.e 3.3.3).

Na estratégia dos ensaios, buscou-se definir a temperatura efetiva de frio para a indução e superação da endodormência, bem como a de calor para a superação da ecodormência, identificando-se se há contrastes dos efeitos de temperatura entre genótipos de macieiras com diferenças de exigência térmica hibernal ('Royal Gala' e 'Castel Gala'). A seguir estão descritos os ensaios realizados em 2009, descrevendo os regimes térmicos testados e seus respectivos objetivos.

- Experimentos 1, 2 e 3 (realizados em março, maio e junho) - visou determinar, usando o método de estacas de nós isolados (3.3.1), a intensidade e duração de frio para a indução e superação da endodormência dos dois genótipos em estudo, a partir de temperaturas constantes.

Para o material coletado em março testaram-se, por genótipo, quatro intensidades de frio (3, 6, 9, 12°C) e oito tempos de exposição (168, 336, 504, 672, 840, 1008, 1176, 1344 HF). Em maio avaliaram-se quatro intensidades de frio (3, 6, 9, 12°C) e cinco tempos de exposição (168, 336, 504, 672, 840 HF). Já, em junho, testaram-se quatro intensidades de frio (3, 6, 9, 12°C) e seis tempos de exposição (168, 336, 504, 672, 840, 1008 HF). Para cada combinação de

temperatura e tempo de exposição, foram utilizadas três repetições compostas por potes com 10 gemas apicais e 11 gemas laterais para a coleta de março, três repetições de potes com 6 gemas apicais e 8 gemas laterais para a coleta de maio, e três repetições de potes com 8 gemas apicais e 8 gemas laterais para a coleta de junho, em ambos os genótipos.

Após cada tempo de exposição ao frio de 3, 6, 9 e 12°C, uma parcela das estacas foi transferida para a temperatura de 25°C, avaliando-se diariamente a cronologia de brotação. Para cada época de coleta, foi incluído um tratamento controle, em três repetições, cujas estacas foram submetidas diretamente à temperatura de 25°C, considerando apenas o somatório de frio recebido a campo.

- **Experimento 4 (realizado em junho)** - visou comparar três métodos de processamento das estacas: estacas de nós isolados (3.3.1), estacas intactas em potes (3.3.2) e estacas intactas embaladas na horizontal (3.3.3), na avaliação da indução e superação da endodormência de gemas de macieiras. As estacas foram submetidas à temperatura de 6°C por seis tempos de exposição (168, 336, 504, 672, 840, 1008 HF), usando as cultivares Castel Gala e Royal Gala.

Os dados do método de estacas de nós isolados foram extraídos do experimento 3 (junho). Nos dois métodos de estacas intactas, usaram-se, em cada tempo de exposição, três repetições de nove estacas. Ao final de cada semana (168HF), uma parcela das estacas foi transferida para a temperatura de 25°C, avaliando-se, diariamente, a brotação. Incluiu-se também um tratamento testemunha, comum aos dois métodos de estacas intactas, com três repetições, em que as gemas foram mantidas a 25°C, depois de amostradas a campo, sem introduzir frio em condições controladas.

- **Experimento 5 (realizado em março)** – visou determinar, através do método de estacas de nós isolados (3.3.1), a temperatura ótima de calor para a

superação da ecodormência e alcance da brotação. As gemas de 'Castel Gala' e 'Royal Gala' foram submetidas a um período prolongado de frio (2016 HF), nas temperaturas de 3, 6, 9, 12°C e, posteriormente, transferidas para cinco níveis de calor (13, 16, 19 e 22°C, em BODs, e 25°C, em *fitotron*). Nas cinco intensidades de calor, a brotação foi acompanhada diariamente. Para cada combinação de temperaturas de frio e calor havia três repetições de potes com 10 gemas apicais e 11 gemas laterais.

3.4.2 Experimentos realizados no ano de 2010

Com base nos resultados obtidos nos experimentos de 2009, optou-se por utilizar estacas intactas nos ensaios de 2010, para manter a interação existente entre as gemas da planta. Na maioria dos experimentos de 2010 (Tabela 4), as estacas foram processadas pelo método de estacas intactas embaladas na vertical, com brotação em água, conforme descrito no item 3.3.5.

Para melhor simular o ciclo diário natural de temperatura, regimes com oscilação térmica diária (frio/calor) foram testados e comparados com o regime de temperatura constante de frio, para avaliar o grau de dependência da brotação a diferentes condições térmicas no período hibernar. Outro aspecto considerado nos ensaios de 2010 foi verificar a possibilidade de temperatura base contrastante entre cultivares de macieiras com variações de exigência de frio hibernar. Além disso, buscou-se caracterizar melhor a interação entre gemas apicais e laterais em estacas intactas de macieiras.

Na sequência, apresenta-se o detalhamento de cada experimento de 2010, sendo que a numeração segue a ordem temporal de realização.

- Experimentos 6, 7, 8 e 9 (realizados em abril, maio, junho e julho) – visou determinar o efeito de temperaturas oscilantes (frio/calor) para indução e

superação da endodormência nos genótipos de 'Castel Gala' e 'Royal Gala'. A temperatura foi constante a 3°C ou sujeita a ciclos diários de 6/18h, 12/12h ou 18/6h, variando entre 3 e 15°C. Tais temperaturas foram definidas com base nas condições climáticas dos principais municípios produtores de maçãs do Sul do Brasil (São Joaquim, Fraiburgo e Vacaria), que apresentam, no inverno, oscilação térmica que varia, em geral, numa amplitude de 3 a 15°C (Base de dados meteorológicos da Epagri e Embrapa Uva e Vinho, não publicados).

As gemas foram submetidas aos diferentes tratamentos por períodos crescentes de horas de frio (0 a 504 HF para a 'Castel Gala' e 0 a 1344 HF para a 'Royal Gala'), sendo considerado, para cômputo do frio, apenas o tempo (h) de exposição a 3°C. Para cada combinação entre temperatura e período de exposição foram utilizadas duas repetições, com 20 estacas por parcela. As coletas de estacas no campo foram realizadas mensalmente, de abril a junho para a 'Castel Gala' e de abril a julho para a 'Royal Gala', em função do seu ciclo mais tardio.

Em abril, todos os tratamentos foram avaliados. Em maio e julho foram testados, apenas, os tratamentos a 3°C constante e ciclos diários de 12/12h, variando entre 3 e 15°C. Em junho, avaliaram-se os tratamentos de 3°C e de 3/15°C por 12/12h e 18/6h. Para estas avaliações, a cada 36 - 96 HF (Tabela 4), uma parcela das estacas de cada tratamento foi transferida para a temperatura de 25°C, onde foi acompanhada a evolução diária da brotação. Para cada época de coleta, incluiu-se também um tratamento controle, em duas repetições, em que as estacas foram encaminhadas diretamente a 25°C, com o acúmulo de frio ocorrido apenas a campo.

- **Experimento 10 (realizado em maio)** – teve como principal objetivo complementar o experimento 5, no intuito de determinar a temperatura efetiva de

calor para o alcance da brotação, ao longo do período de ecodormência. As gemas de 'Castel Gala' e 'Royal Gala' foram submetidas a um período prolongado de frio (1512 HF) a 3°C, sendo posteriormente transferidas para sete temperaturas de "calor" (3, 5, 7, 9, 10, 11 e 12°C). As gemas foram avaliadas por um período de 146 dias, anotando-se a cronologia de brotação. Ao contrário dos demais experimentos de 2010, este seguiu o método de estacas intactas embaladas na vertical, com brotação em potes (3.3.4). O ensaio contou com duas repetições para cada temperatura testada, formadas por potes com 10 estacas cada.

- **Experimento 11 (realizado em maio)** – visou avaliar a possível influência das gemas laterais sobre a brotação da gema apical, em estacas intactas. Para isso, estacas da cultivar Castel Gala foram processadas antes de serem submetidas ao frio em cinco tratamentos: "I - Intacta", sem remoção das gemas laterais; "A - Alternadas", com remoção de 50% das gemas laterais ao longo da estaca, alternadamente; "SI – Sem inferiores" com remoção da metade inferior das gemas laterais da estaca; "SS – Sem superiores" com remoção das gemas laterais da metade superior da estaca; "SL – Sem laterais", remoção de todas as gemas laterais da estaca (Figura 15).

Após processadas, uma parte das estacas de cada tratamento foi submetida à temperatura de 25°C, sem frio (0 HF). Outra parte foi submetida à temperatura de 3°C por 168, 336 e 504 HF. Para cada tratamento e tempo de exposição ao frio foram utilizadas duas repetições de 20 estacas por parcela. Ao final de cada semana (168 HF), uma porção das estacas foi transferida para a temperatura de 25°C para avaliação da brotação. Um tratamento extra ("SA – Sem apical") foi incluído no experimento, com remoção apenas da gema apical dos ramos (Figura 15 – SA), para confirmar o efeito da dominância da gema

apical sobre as gemas laterais.

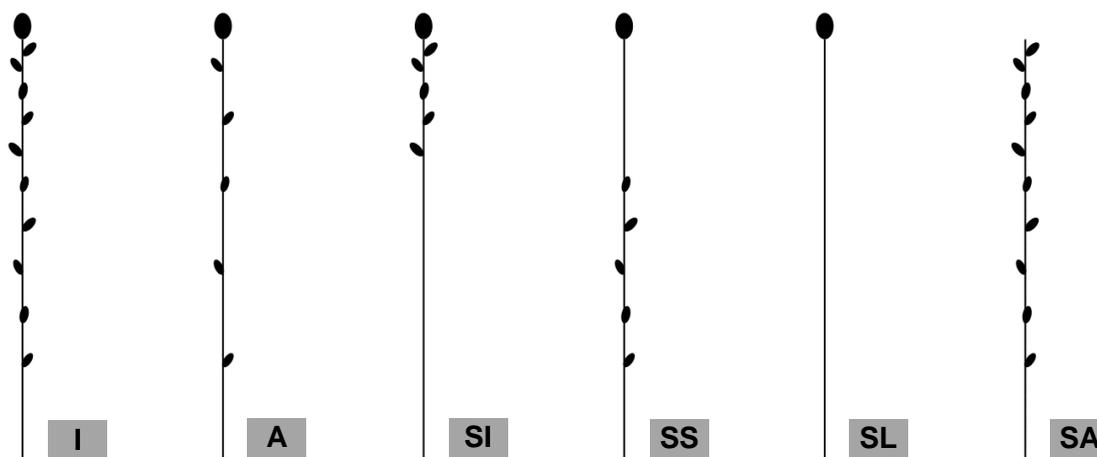


FIGURA 15. Tratamentos aplicados no experimento 11, visando avaliar a influência de gemas laterais sobre a brotação da gema apical em ramos de macieira. (I) Estaca intacta; (A) Estacas com remoção alternada das gemas laterais; (SI) Estacas com remoção das gemas laterais inferiores; (SS) Estacas com remoção das gemas laterais superiores; (SL) Estacas com remoção de todas as gemas laterais do ramo; (SA) Estacas com remoção da gema apical. Bento Gonçalves, RS, 2010.

3.4.3 Experimentos realizados no ano de 2011

Em 2011, na maioria dos ensaios, as estacas foram processadas pelo método de estacas intactas embaladas na vertical, com brotação em espuma fenólica (3.3.6). Este método foi escolhido devido à maior durabilidade das estacas, em comparação aos ensaios com brotação direta em água, descrito no método 3.3.5.

Os regimes térmicos testados buscaram simular o efeito de diferentes combinações de temperaturas constantes e alternadas (frio/calor) ao longo do período de dormência, para confirmar e ampliar as informações obtidas em 2009 e 2010. Além disso, procurou-se simular o efeito de ondas de calor, em diferentes intensidades e momentos da endodormência, testando-se a hipótese do somatório de horas de calor anular o efeito do frio acumulado na evolução da dormência das gemas. Também foram formados ensaios para avaliar o efeito de geadas primaveris/temperaturas congelantes em meio à ecodormência e sua

implicação sobre a brotação das gemas. Por fim, testou-se a importância das folhas das plantas a campo, no outono, na percepção dos sinais responsáveis pela indução da dormência e, conseqüente, evolução e superação do processo.

Todas as estratégias mencionadas acima estão detalhadas nos respectivos experimentos listados abaixo, continuando a ordem de numeração dos experimentos de 2009 e 2010.

- **Experimento 12 (realizado em abril)** – visou estudar a indução da endodormência sob frio constante ou alternado com calor. Para validar as informações obtidas em 2009 e 2010, os regimes térmicos testados foram de 3°C constante e de 3 e 15°C, por 12/12h, analisados com melhor resolução temporal (Tabela 4), em relação aos anos anteriores. Foram usadas duas repetições por tempo de exposição testado, contendo 20 estacas por parcela.

Os tratamentos foram avaliados de 0 a 408 HF para a 'Royal Gala' e 'Castel Gala', sendo transferida uma parcela das estacas para a temperatura de 25°C a cada 24 HF no período inicial e em intervalos maiores posteriormente (Tabela 4). Para avaliar a saída da endodormência, dois momentos adicionais de transferência do frio para o calor foram incluídos na cultivar Royal Gala: 600 e 816 HF.

Este experimento visou também avaliar o efeito de um período de frio intenso em meio à indução e superação da dormência sob temperaturas oscilantes. Para isso, manteve-se o regime alternado (3/15°C por 12/12h) até 72 HF, temperatura constante (3°C) de 72 HF até 264 HF e regime oscilatório (3/15°C por 12/12h) de 264 HF até o final do período de frio. Ao final de cada tempo de exposição ao frio (ver Tabela 4), uma parcela das estacas foi transferida para 25°C, para avaliação da brotação. Neste experimento, inclui-se também um

tratamento testemunha, com duas repetições, em que as gemas foram mantidas a 25°C após coletadas a campo.

- **Experimento 13 (realizado em junho)** – visou avaliar o efeito de diferentes tipos de ondas de calor durante a endodormência de gemas de macieiras contrastantes em exigência de frio hibernal. Na cultivar Royal Gala, seis tratamentos (regimes térmicos) foram aplicados, usando temperatura constante (3°C) ou alternada (3 e 15°C, por 12/12h), combinada com zero (0 h), um (24 h) ou dois dias (48 h) por semana a 25°C. Além desses, dois outros tratamentos foram baseados em temperatura constante (3°C), inserindo-se uma onda de calor de sete dias a 25°C, no início ou no meio da endodormência. Na cultivar Castel Gala não se aplicaram os tratamentos com temperaturas alternadas (3 e 15°C, por 12/12h), nem a onda de calor no meio do período (apenas a do início). Após 330, 426, 522 e 714 HF para a ‘Castel Gala’ e 330, 618, 714, 810 e 1002 HF para a ‘Royal Gala’, contabilizando o frio a campo e em condições controladas, uma parcela das estacas de cada tratamento foi transferida para 25°C, para avaliação da brotação. Foram usadas duas repetições por tempo de exposição testado, com 20 estacas por parcela. Um tratamento controle também foi incluído neste experimento, com duas repetições, de modo similar ao experimento anterior.

- **Experimento 14 (realizado em junho)** – visou avaliar o efeito de diferentes regimes térmicos durante a ecodormência. Ao contrário dos demais experimentos de 2011, neste empregou-se o método de estacas intactas embaladas na vertical, com brotação em potes (3.3.4). As gemas de ‘Castel Gala’ e ‘Royal Gala’ foram submetidas à temperatura de 3°C por 1146 HF, para superação da endodormência e, após, transferidas para o calor. Os tratamentos consistiram em levar as estacas de volta ao frio de 3°C por um dia a cada 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ou 10 dias a 25°C. As gemas foram avaliadas por 70 dias,

anotando-se a cronologia da brotação. Procurou-se assim simular frentes de frio em meio ao período de superação da endodormência. Foram usadas duas repetições de 10 estacas por parcela.

- **Experimento 15 (realizado em abril)** – visou avaliar se a presença ou ausência de folhas durante a etapa de indução da endodormência tem efeito sobre a profundidade e superação do processo. Ao contrário de todos os demais, neste experimento, o material experimental foi coletado em pomar localizado em Vacaria, RS, na EEFT (Estação Experimental de Fruticultura Temperada), da Embrapa Uva e Vinho.

Os tratamentos foram aplicados no campo, em abril de 2011, com zero horas de frio, e constituíram-se de: 1) desfolha manual, 2) desfolha química (com ureia a 5%), 3) fungicida (para retardar a queda das folhas) e 4) tratamento controle (queda natural das folhas) (Figura 16). Cada tratamento foi aplicado em 30 plantas da cultivar Royal Gala, distribuídas em 6 blocos com 5 plantas por parcela. No momento em que se acumularam 255 HF a campo, foram amostradas brindilas, sendo parte submetida diretamente à temperatura de 25°C e o restante à temperatura constante de 3°C até completar 400 HF (momento esperado de máxima profundidade da endodormência, com base nos ensaios de anos anteriores) ou 800 HF (momento esperado de superação completa da endodormência). Para cada tempo de exposição testado, usaram-se 2 repetições de 20 brindilas por parcela. Ao final das 400 HF ou 800 HF, as brindilas foram transferidas para 25°C, para a avaliação da brotação.



FIGURA 16. Instalação de experimento a campo para avaliar se a presença ou ausência de folhas, na indução da endodormência, tem efeito sobre a profundidade e superação do processo. Ensaio aplicado na 'Royal Gala', expondo uma visão geral da área experimental (A), detalhe da aplicação do tratamento químico (B) e da desfolha manual (C e D). Vacaria, RS, 2011.

- **Experimento 16 (realizado em junho)** – este ensaio objetivou complementar o experimento 11, realizado em 2010, buscando avaliar se o efeito da remoção das gemas laterais do ramo sobre a gema apical se deve a ausência ou presença das mesmas ou simplesmente pelo ferimento dos tecidos adjacentes à gema apical. Para isso, utilizou-se somente uma cultivar (Castel Gala), testando-se três tratamentos: “I” estacas intactas; “SS” estacas com remoção das gemas laterais superiores e “FAS” estacas com ferimento abaixo das gemas laterais superiores (Figura 17).

Após processadas, uma parte das estacas de todos os tratamentos foi submetida à temperatura de 25°C, sem frio (0 HF), enquanto outra parte foi submetida a 3°C por 336 HF, em duas repetições com 20 estacas por parcela. Ao final das 336 HF, as estacas foram transferidas para 25°C, para avaliação da cronologia da brotação.

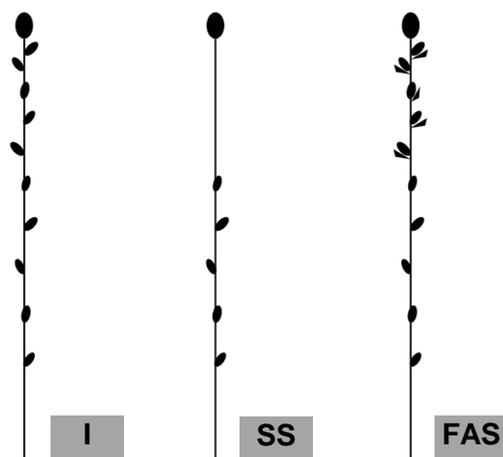


FIGURA 17. Tratamentos aplicados no experimento 16, visando avaliar a influência das gemas laterais sobre a brotação da gema apical em ramos de macieira. (I) Estaca íntacta; (SS) Estacas com remoção das gemas superiores do ramo; (FAS) Estacas com ferimento abaixo das gemas laterais superiores. Bento Gonçalves, RS, 2011.

TABELA 4. Resumos dos experimentos realizados em 2009, 2010 e 2011. Bento Gonçalves, RS.

Exp.	Data coleta (HF ⁵)	Tratamentos	Tempos de exposição ao frio, antes da transferência para o calor	Método de avaliação (item)	Total de gemas ou estacas
1	Março/2009 (0 HF)	Temperaturas constantes de frio (3, 6, 9, 12°C)	168, 336, 504, 672, 840, 1008, 1176, 1344 HF	Estacas de nós isolados (3.3.1)	2079 gemas (G ¹) 2079 gemas (K ²)
2	Maio/2009 (70 HF)	Temperaturas constantes de frio (3, 6, 9, 12°C)	168, 336, 504, 672, 840 HF	Estacas de nós isolados (3.3.1)	882 gemas (G) 882 gemas (K)
3	Junho/2009 (299 HF)	Temperaturas constantes de frio (3, 6, 9, 12°C)	168, 336, 504, 672, 840, 1008 HF	Estacas de nós isolados (3.3.1)	1200 gemas (G) 1200 gemas (K)
4	Junho/2009 (299 HF)	Temperatura constante de frio (6°C)	168, 336, 504, 672, 840, 1008 HF	Estacas de nós isolados ³ (3.3.1) X estacas intactas em potes (3.3.2) X estacas intactas embaladas na horizontal (3.3.3)	(351 estacas + 336 gemas) (G) (351 estacas+336 gemas) (K)
5	Março/2009 (0 HF)	Temperaturas constantes de frio (3, 6, 9, 12°C)	2016 HF + temperaturas de calor (13, 16, 19, 22, 25°C)	Estacas de nós isolados (3.3.1)	1260 gemas (G) 1260 gemas(K)
6	Abril/2010 (2 HF)	Temperatura constante de frio (3°C) Temperaturas alternadas 3/15°C (18/6h, 12/12h, 6/18h)	3°C: 48, 96, 168, 240, 336, 408, 504, 600 ⁴ , 672 ⁴ , 768 ⁴ , 840 ⁴ HF; 3/15°C (18/6h): 36, 72, 126, 180, 252, 306, 378, 450, 504, 576 ⁴ , 630 ⁴ , 756 ⁴ , 828 ⁴ , 1008 ⁴ , 1170 ⁴ HF; 3/15°C (12/12h): 48, 84, 168, 252, 336, 420, 504, 588 ⁴ , 672 ⁴ , 756 ⁴ , 840 ⁴ , 1008 ⁴ , 1176 ⁴ HF; 3/15°C (6/18h): 42, 84, 126, 192, 252, 318, 378, 444, 504, 570 ⁴ , 630 ⁴ , 696 ⁴ , 756 ⁴ , 822 ⁴ , 1008 ⁴ HF	Estacas intactas embaladas na vertical, com brotação em água (3.3.5)	2160 estacas (G) 1360 estacas (K)
7	Maio/2010 (15 HF)	Temperatura constante de frio (3°C) Temperaturas alternadas 3/15°C (12/12h)	3°C: 48, 96, 168, 240, 336, 408, 504, 600, 672, 768 ⁴ , 840 ⁴ , 1008 ⁴ , 1176 ⁴ , 1344 ⁴ HF 3/15°C (12/12h): 48, 84, 168, 252, 336, 420, 504, 588 ⁴ , 672, 756 ⁴ , 840 ⁴ , 1008 ⁴ , 1176 ⁴ , 1344 ⁴ HF	Estacas intactas embaladas na vertical, com brotação em água (3.3.5)	1200 estacas (G) 760 estacas (K)
8	Junho/2010 (80 HF)	Temperatura constante de frio (3°C) Temperaturas alternadas 3/15°C (18/6h, 12/12h)	3°C: 48, 96, 168, 240, 336, 408, 504, 600 ⁴ , 672, 768 ⁴ , 840 ⁴ , 1008 ⁴ , 1176 ⁴ , 1344 ⁴ HF 3/15°C (18/6h): 36, 72, 126, 180, 252, 306, 378, 450, 504, 576 ⁴ , 630 ⁴ , 702, 756 ⁴ , 828 ⁴ , 1008 ⁴ , 1206 ⁴ , 1386 ⁴ HF; 3/15°C (12/12h): 48, 84, 168, 252, 336, 420, 504, 588 ⁴ , 672, 756 ⁴ , 840 ⁴ , 1008 ⁴ , 1176 ⁴ , 1344 ⁴ HF	Estacas intactas embaladas na vertical, com brotação em água (3.3.5)	1760 estacas (G) 1120 estacas (K)
9	Julho/2010 (165 HF)	Temperatura constante de frio (3°C) Temperaturas alternadas 3/15°C (12/12h)	3°C: 48, 96, 168, 240, 336, 408, 504, 600, 672, 768, 840, 1008, 1176, 1344 HF 3/15°C (12/12h): 48, 84, 168, 252, 336, 420, 504, 588, 672, 756, 840, 1008, 1176, 1344 HF	Estacas intactas embaladas na vertical, com brotação em água (3.3.5)	1200 estacas (G) 0 estacas (K)

continuação TABELA 4. Resumos dos experimentos realizados em 2009, 2010 e 2011. Bento Gonçalves, RS.

Exp.	Data coleta (HF ⁵)	Tratamentos	Tempos de exposição ao frio, antes da transferência para o calor	Método de avaliação (item)	Total de gemas ou estacas
10	Maio/2010 (15 HF)	Temperatura constante (3°C)	1512 HF + temperaturas de "calor" (3, 5, 7, 9, 10, 11, 12°C)	Estacas intactas embaladas na vertical, com brotação em potes (3.3.4)	640 estacas (G) 640 estacas (K)
11	Maio/2010 (15 HF)	Temperatura constante (3°C), com ou sem remoção de gemas (I – estaca intacta; A – remoção alternadas das laterais; SI – remoção das laterais inferiores; SS – remoção das laterais superiores; SL – sem laterais; SA – sem apicais)	0, 168, 336, 504 HF	Estacas intactas embaladas na vertical, com brotação em água (3.3.5)	960 estacas(K)
12	Abril/2011 (0 HF)	Temperatura constante de frio (3°C) Temperaturas alternadas 3/15°C (12/12h) Temperaturas de 3/15°C (12/12h)/6d + 3°C/8d + 3/15°C(12/12h)	3°C: 0, 24, 48, 72, 96, 120, 168, 240, 336, 408, 600 ⁴ , 816 ⁴ ; 3/15°C(12/12h): 0, 24, 48, 72, 96, 120, 168, 240, 336, 408, 600 ⁴ , 816 ⁴ 3/15°C (12/12h)/8d + 3°C/6d + 3/15°C (12/12h): 0, 24, 48, 72, 96, 120, 192, 264, 336, 408, 600 ⁴ , 816 ⁴	Estacas intactas embaladas na vertical, com brotação em plataforma com espuma fenólica (3.3.6)	1400 estacas (G) 1160 estacas (K)
13	Junho/2011 (162 HF)	Temperatura constante de frio (3°C) Temperaturas alternadas 3/15°C (12/12h) Temperatura de 3°C + 25°C/1d/sem Temperatura de 3°C + 25°C/2d/sem Temperaturas alternadas 3/15°C (12/12h) + 25°C/1d/sem Temperaturas alternadas 3/15°C (12/12h) + 25°C/2d/sem Temperatura de 3°C + 25°C/7d + 3°C Temperatura de 25°C/7d + 3°C	3°C: 0, 330, 426, 522, 618 ⁴ , 714, 810 ⁴ e 1002 ⁴ HF 12/12h: 0, 330, 426, 522, 618 ⁴ , 714, 810 ⁴ e 1002 ⁴ HF 3°C + 25°C/1d/sem: 0, 330, 426, 522, 618 ⁴ , 714, 810 ⁴ e 1002 ⁴ HF 3°C + 25°C/2d/sem: 0, 330, 426, 522, 618 ⁴ , 714, 810 ⁴ e 1002 ⁴ HF 3/15°C (12/12h) + 25°C/1d/sem: 0, 330, 426, 522, 618 ⁴ , 714, 810 e 1002 HF 3/15°C (12/12h) + 25°C/2d/sem: 0, 330, 426, 522, 618 ⁴ , 714, 810 ⁴ e 1002 ⁴ HF 3°C + 25°C/7d + 3°C: 0, 330, 426, 522, 618 ⁴ , 714, 810 ⁴ e 1002 ⁴ HF 25°C/7d + 3°C: 0, 330, 426, 522, 618 ⁴ , 714, 810 ⁴ e 1002 ⁴ HF	Estacas intactas embaladas na vertical, com brotação em plataforma com espuma fenólica (3.3.6)	2000 estacas (G) 720 estacas(K)
14	Junho/2011 (162 HF)	Temperatura constante de frio (3°C)	1146 HF + 1 dia de frio a 3°C a cada 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ou 10 dias a 25°C.	Estacas intactas embaladas na vertical, com brotação em potes (3.3.4)	400 estacas (G) 400 estacas (K)
15	Abril/2011 (255 HF)	Desfolha manual, desfolha química, fungicida e controle a 0HF e após Temperatura constante de frio (3°C)	0, 400, 800 HF	Estacas intactas embaladas na vertical, com brotação em espuma plataforma com espuma fenólica (3.3.6)	2880 estacas (G)
16	Junho 2011 (15 HF)	Temperatura constante (3°C), com ou sem remoção e/ou danos nas gemas (I - estacas intactas; SS - remoção das gemas laterais superiores; FAS - ferimento abaixo das gemas laterais superiores)	0, 336	estacas intactas embaladas na vertical, com brotação em plataforma com espuma fenólica (3.3.6)	240 estacas (K)

¹Royal Gala; ²Castel Gala; ³ Mesmas gemas utilizadas para o experimento 3, na cv. Royal Gala; ⁴ Tempos de exposição de frio testados apenas na cv. Royal Gala; ⁵ Horas de frio ≤ 7,2°C a campo.

3.5 Total de gemas amostradas para os experimentos de dormência em macieiras

Ao longo de todos os ensaios realizados em 2009, 2010 e 2011 foram amostradas cerca de 41.500 brindilas de macieiras, dos genótipos Royal Gala e Castel Gala (Tabela 5). Além do material amostrado para a caracterização térmica das cultivares, visando a modelagem, amostras de gemas nos diferentes tempos de exposição e temperaturas foram congeladas em UltraFreezer a -80°C para análises de genômica, proteômica e metabolômica, realizadas em projeto coordenado pela Embrapa Uva e Vinho. Essas avaliações visam, através do contraste de 'Royal Gala' e sua mutante 'Castel Gala', a caracterização bioquímica e molecular do processo de dormência e a seleção de marcadores para o processo de seleção de novas cultivares, com a característica de baixo requerimento de frio hibernal.

TABELA 5. Número total de brindilas das cultivares 'Royal Gala' e 'Castel Gala' coletadas em 2009, 2010 e 2011. Papanduva, SC e Vacaria, RS.

Cultivar	Ano	Mês de coleta					Total
		Março	Abril	Maió	Junho	Julho	
Castel Gala	2009	2750	---	440	1250	---	4440
Royal Gala	2009	2750	---	640	1740	---	5130
Castel Gala	2010	---	3410	3650	1790	190	9040
Royal Gala	2010	---	4890	1850	2510	1800	11050
Castel Gala	2011	---	2190	---	2450	---	4640
Royal Gala	2011	---	2500	1700	2750	---	6950
Total		5500	12990	8280	12490	1990	41250

3.6 Análise dos dados e modelagem do processo de dormência

Para avaliar a brotação e a dormência das gemas, foi necessário primeiramente estabelecer uma função para caracterizar a evolução da brotação de um grupo uniforme de gemas ao longo do tempo, quando submetidas a uma temperatura adequada para a brotação. Plotando-se as curvas de brotação, imediatamente se observa, na Figura 18, um formato sigmoide. Dentre as funções matemáticas possíveis, buscou-se uma que se aproximasse o máximo possível dos valores observados, e ao mesmo tempo utilizasse parâmetros de significado biológico.

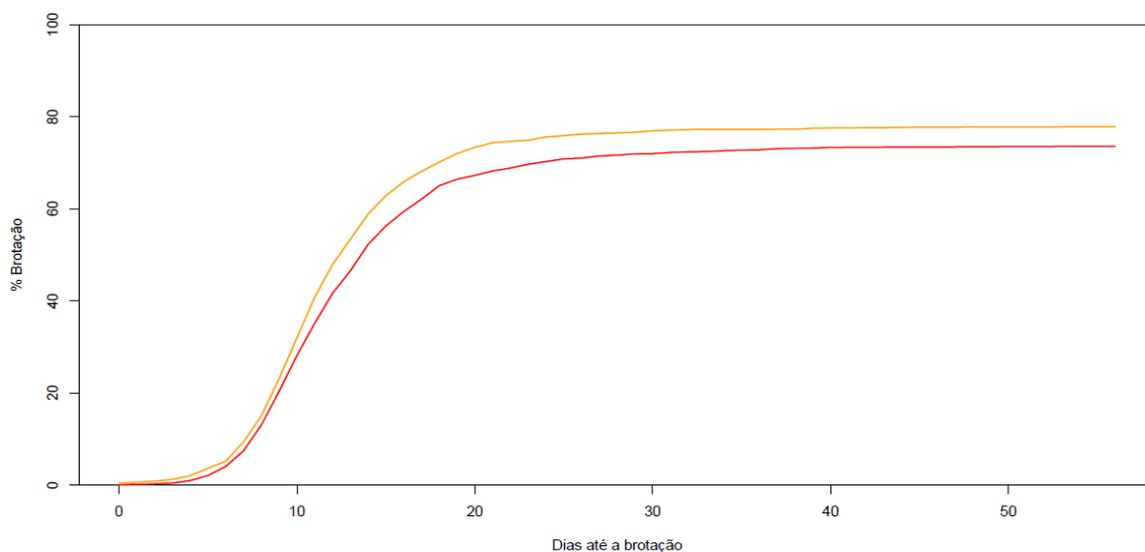


FIGURA 18. Evolução da brotação de um grupo de gemas de 'Castel Gala' (linha laranja) e 'Royal Gala' (linha vermelha) ao longo do tempo, quando submetidas a uma temperatura adequada para a brotação. Bento Gonçalves, RS.

Dois tipos de curva sigmoide foram considerados. O primeiro foi uma curva simétrica, em que a curvatura na metade inicial fosse igual à curvatura na metade final e o ponto de inflexão, em que ocorre a máxima velocidade de brotação, se situasse exatamente na metade da brotação máxima. O segundo foi uma curva assimétrica, em que a aceleração da brotação no início da curva fosse maior que a desaceleração posterior ao ponto de inflexão, o que implica este ponto situar-se abaixo da metade da brotação máxima.

Ambas funções de brotação foram representadas por um conjunto de três parâmetros, e puderam ser reparametrizadas numa forma em que elas tenham significado biológico. Os parâmetros escolhidos foram a brotação máxima (M), que representa o nível de brotação assintótico quando o tempo tende ao infinito, a precocidade (P), que é o momento no tempo em que a velocidade de brotação é máxima (ou seja, no ponto de inflexão da curva), e a uniformidade (U), que representa um período de tempo arbitrário em torno da brotação máxima, no qual a velocidade de brotação é significativa. Na definição do parâmetro U, optou-se pelo período compreendido entre o momento em que a brotação atinge 10% de M e o momento em que a brotação atinge 90% de M.

A função **sigmoide simétrica** utilizada foi definida com base na função matemática apresentada por Fialho (2002), que, quando reparametrizada, tem a seguinte fórmula:

$$Y = M. \left(1 + e^{-4,3944 \cdot \frac{x-P}{U}} \right)^{-1} \quad (1)$$

onde Y é o nível de brotação, x é o tempo após o início do período de calor, M é a brotação máxima, P (precocidade) é o tempo necessário para atingir 50% da brotação, U (uniformidade) é o período de tempo entre 10% e 90% da brotação máxima, e 4,3944 é uma constante para o ajuste de U.

A função **sigmoide assimétrica** escolhida foi de Gompertz (Gompertz, 1825), cujas características foram descritas por Fialho (1999), que, quando reparametrizada (Apêndice 2), tem a seguinte fórmula:

$$Y = M. e^{-e^{-3,0844 \cdot \frac{x-P}{U}}} \quad (2)$$

onde Y é o nível de brotação, x é o tempo após o início do período de calor, M é a brotação máxima, P é o tempo necessário para atingir 37% da brotação, U é o período de tempo entre 10% e 90% da brotação máxima, e 3,0844 é uma constante para o ajuste de U.

As duas funções são representadas graficamente na Figura 19. Elas foram comparadas usando os dados de brotação de gemas apicais sujeitas a regimes térmicos com frio de 3°C de duração suficiente para assegurar a brotação (acima de 250 HF na 'Castel Gala' e acima de 500 HF na 'Royal Gala'), excluindo-se ensaios com brotação muito baixa. Os dados foram agrupados por cultivar, experimento e regime térmico, obtendo-se 77 grupos de resultados. A partir da comparação entre as funções testadas, através do coeficiente de determinação (R^2), definiu-se qual função representou melhor a estimativa da curva de brotação de gemas em macieira (ver item 4.2).

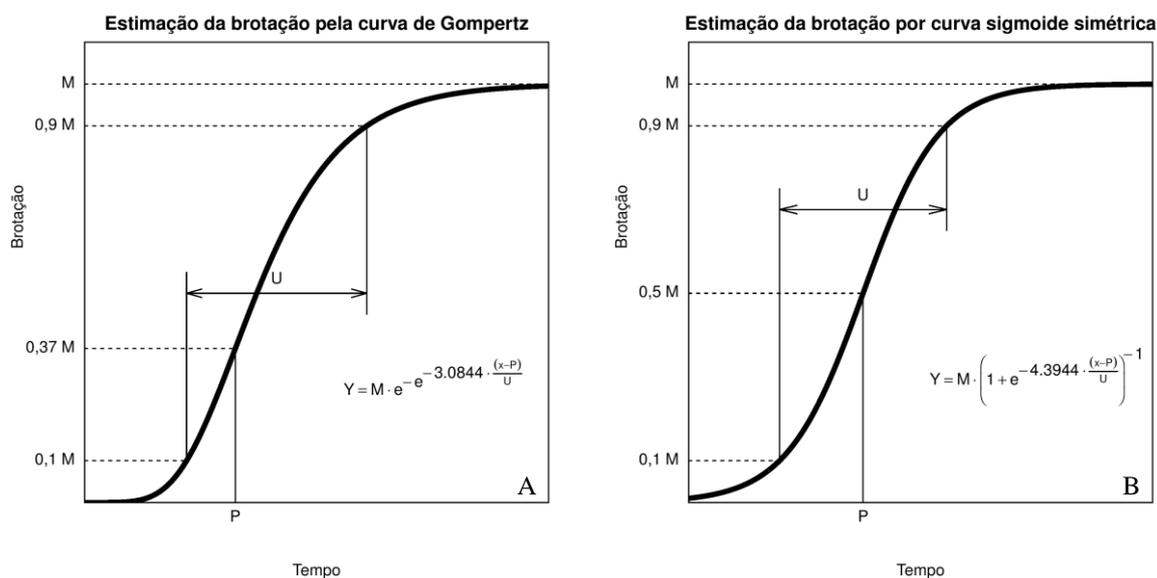


FIGURA 19. Estimção da brotação usando a curva de Gompertz (A) e a curva sigmoide simétrica (B). Parâmetros atribuídos à curva de brotação: (M) Brotção máxima - Potencial máximo de brotação, em % de gemas brotadas; (P) Precocidade - tempo necessário para o alcance de 37% da brotação máxima (função assimétrica) e 50% da brotação máxima (função simétrica); (U) Uniformidade – período de tempo entre 10 e 90% da brotação máxima (Fialho, 1999; Fialho, 2002).

Na avaliação dos resultados, ao invés de ajustar a função aos dados observados e utilizar os parâmetros estimados, optou-se por uma estimativa robusta dos parâmetros diretamente a partir dos dados experimentais. Assim, o parâmetro M foi estimado dividindo-se o número final de gemas brotadas pelo número total de gemas. O parâmetro P foi contabilizado como o dia em que a brotação de uma gema fez com que o total de gemas brotadas ultrapassasse 50% de M, na função simétrica ou 37% de M, na função assimétrica (conforme a função escolhida para representar a evolução da brotação); o valor de P é indefinido se nenhuma gema houver brotado. O parâmetro U foi obtido a partir de dois pontos, obtidos de forma semelhante a P: sendo U_1 o dia em que a brotação ultrapassou 10% de M e U_2 o dia em que a brotação ultrapassou 90% de M, o valor de U é igual à diferença entre U_2 e U_1 . O valor de U é indefinido se menos de duas gemas houverem brotado.

Nos experimentos em que foram utilizadas estacas de nós isolados, devido à mortalidade causada pela ocorrência de fungos e/ou pela maior desidratação nessas condições, optou-se por desconsiderar do total as gemas mortas das estacas. A avaliação da mortalidade das gemas foi feita no momento do descarte, conforme descrito no item 3.3.

Após obtidos os parâmetros M (brotação máxima), P (precocidade) e U (uniformidade) de forma robusta para cada unidade experimental (geralmente formado por um conjunto de cerca de 20 estacas), foi feita uma análise gráfica visando identificar a evolução da dormência em relação ao número de horas de frio recebidas, sob cada regime térmico a que as gemas foram submetidas. As análises gráficas foram feitas separadamente para cada combinação de cultivar (Royal Gala ou Castel Gala) e tipo de gema (lateral ou apical). Os gráficos apresentados nos resultados (descritos na sequência) mostram as curvas brutas

obtidas (não suavizadas por qualquer modelo), como verificado no Apêndice 3A. No Apêndice 3A, cada ponto do gráfico é resultante de uma curva de brotação, ajustada por Gompertz ou pela função simétrica, sendo os valores estimados de M, P e U usados para gerar uma curva de resposta de dormência (a partir da junção dos pontos de cada parâmetro ao longo do tratamento).

Além das análises gráficas das curvas brutas, foi ajustado um modelo estatístico para cada uma delas, possibilitando que as curvas dos diferentes regimes térmicos fossem comparadas entre si, como no Apêndice 3E. Para os dados de brotação máxima, dez diferentes modelos foram considerados, optando-se pelo mais adequado para cada curva. O modelo geral escolhido para representar a evolução da brotação máxima ao longo da dormência foi uma dupla sigmoide, em que a indução da dormência corresponde à redução da capacidade de brotação das gemas e a superação corresponde à retomada do crescimento da planta após o período hibernar. Neste modelo, a brotação inicia num nível alto, depois diminui, seguindo uma curva sigmoide, até um nível mínimo. Após um período de brotação baixa, ela aumenta, seguindo outra sigmoide, até um valor alto, mas não necessariamente igual ao valor inicial, conforme demonstrado no Apêndice 3A (dados brutos) e Apêndice 3E (curvas suavizadas). Esse modelo tem sete parâmetros, sendo representado pela seguinte fórmula:

$$Y = Y_0 - \Delta Y_1 \cdot \left(1 + e^{-8 \cdot \ln 2 \cdot \frac{x - X_1}{\Delta X_1}}\right)^{-1} + \Delta Y_2 \cdot \left(1 + e^{-8 \cdot \ln 2 \cdot \frac{x - X_2}{\Delta X_2}}\right)^{-1} \quad (3)$$

onde Y é a brotação máxima, x é o número de horas de frio e os demais são parâmetros do modelo: Y_0 é a brotação inicial, ΔY_1 é a diferença entre a brotação inicial e a brotação mínima, X_1 é o primeiro ponto de inflexão da curva (em que ela atinge a média entre a brotação inicial e a mínima), ΔX_2 é uma

medida do tempo de transição entre a brotação inicial e a mínima, ΔY_2 é a diferença entre a brotação mínima e a brotação final, X_2 é o segundo ponto de inflexão da curva (em que ela atinge a média entre a brotação mínima e a final) e ΔX_2 é uma medida do tempo de transição entre a brotação mínima e a final.

Este modelo geral teve que sofrer degenerações para alguns conjuntos de dados. Três dessas (que geram três outros modelos) ocorrem quando a resolução temporal do número de horas de frio não é suficiente para estimar adequadamente o período de transição representado por ΔX_1 , ΔX_2 ou ambos. Assim, a transição aparenta ser imediata, com um degrau no lugar de uma curva suave, como pode ser visto no Apêndice 3F. Nesses casos, atribuiu-se arbitrariamente o valor de 1 hora para ΔX_1 ou ΔX_2 ou ambos, conforme o caso. Outras duas degenerações possíveis são a ausência de um período de superação da dormência, havendo apenas a indução, e o caso inverso (ausência de indução, havendo apenas a superação). Isso pode ser verificado no exemplo do Apêndice 3G, que mostra um caso em que as gemas já iniciaram dormentes, ocorrendo apenas a superação da dormência. O modelo com apenas indução da dormência não possui o último termo, sendo representado por:

$$Y = Y_0 - \Delta Y_1 \cdot \left(1 + e^{-8 \cdot \ln 2 \cdot \frac{x - X_1}{X_1}}\right)^{-1} \quad (4)$$

O modelo com apenas superação da dormência não possui o segundo termo, sendo representado por:

$$Y = Y_0 + \Delta Y_2 \cdot \left(1 + e^{-8 \cdot \ln 2 \cdot \frac{x - X_2}{\Delta X_2}}\right)^{-1} \quad (5)$$

Uma sexta degeneração possível ocorre quando a resolução temporal não

é suficiente para que se tenha mais de um ponto da curva no estado de dormência. Assim, a entrada e/ou saída da dormência são representadas por um pulso em uma regressão linear, conforme mostrado em duas das curvas do Apêndice 3H. Esse pulso tem uma largura arbitrária, fixada em 168 horas de frio (uma semana), e o modelo é representado por:

$$Y = A + B \cdot x - 4 \cdot P \cdot \frac{e^{-8 \cdot \ln 2 \cdot \frac{x - X_t}{168}}}{\left(1 + e^{-8 \cdot \ln 2 \cdot \frac{x - X_t}{168}}\right)^2} \quad (6)$$

onde A e B são parâmetros da regressão linear, P é a intensidade do pulso (o quanto a brotação cai em relação à linha de regressão linear) e X_t é o momento do pulso, em horas de frio. Para facilitar a convergência da análise, o valor de X_t foi estimado de forma robusta, pelo número de horas de frio em que ocorreu o menor nível de brotação.

Finalmente, os três outros modelos testados ocorreram quando um modelo de indução e superação, mesmo numa forma degenerada, não teve um ajuste adequado aos dados. Nesses casos, foi testada uma regressão quadrática, uma regressão linear e, como último recurso, uma constante. Um exemplo desse comportamento é mostrado nas duas curvas quadráticas do Apêndice 3H.

Os primeiros sete modelos foram ajustados aos dados usando regressão não linear. Para acelerar o processo de análise, garantir que os resultados fossem consistentes e, em alguns casos, corrigir falsas convergências, os parâmetros resultantes da análise de cada curva foram armazenados num arquivo e lidos como valores iniciais quando o modelo era executado novamente. Para corrigir os casos de falsa convergência, esse arquivo era editado e os valores iniciais modificados para estimativas melhores. Os três últimos modelos foram ajustados

usando análise de regressão linear. Tanto as regressões lineares quanto as não lineares usaram soma de quadrados ponderada pelo número total de gemas de cada unidade experimental, para dar mais peso aos valores derivados de um número maior de observações.

A precocidade e a uniformidade foram modeladas usando um processo semelhante ao da brotação máxima, porém com modelos diferentes. Cinco modelos foram considerados nesse processo. O modelo mais complexo considerou que no início do ciclo hibernar as gemas seriam mais precoces e a brotação mais uniforme, com um valor menor para os parâmetros P e U. Quando as gemas entram em dormência os valores de P e U aumentam rapidamente (significando menor precocidade e uniformidade) até atingir um pico, e depois vão diminuindo lentamente, com a brotação ficando gradualmente mais precoce e uniforme, como mostrado nos Apêndices 4D e 5D, respectivamente. Este modelo tem quatro parâmetros, sendo representado por:

$$Y = A + B \cdot e^{-C \left(\ln \frac{x}{D} \right)^2} \quad (7)$$

onde Y é a precocidade ou a uniformidade, x é o número de horas de frio e os demais são parâmetros do modelo: A é o valor mínimo (que ocorre com zero horas de frio), B é a diferença entre o valor máximo e o valor mínimo, C é um fator de forma e D é o momento (em horas de frio) em que ocorre o valor máximo.

Uma degeneração desse modelo consiste em não haver um pico, mas sim um decréscimo constante e gradual até um valor mínimo assintótico (teoricamente, com um número infinito de horas de frio) (Apêndices 4E e 5E). Esse modelo passa a ter três parâmetros:

$$Y = A + B \cdot e^{-C \cdot x} \quad (8)$$

onde A é o valor mínimo, B é a diferença entre o valor mínimo e o valor máximo (que ocorre com zero horas de frio) e C é um fator de forma. Em geral a uniformidade segue este modelo, e não o modelo mais complexo.

Os três outros modelos testados para precocidade e uniformidade, assim como no caso da brotação máxima, foram uma regressão quadrática, uma regressão linear e uma constante, nos casos em que a evolução do tempo para brotação não seguiu um padrão definido (Apêndices 4F e 5F).

A comparação de curvas de diferentes regimes térmicos em função no número de horas de frio foi feita usando o teste F, de forma a agrupar os tratamentos por grau de semelhança. Para isso, todas as comparações possíveis duas a duas foram feitas, de modo a encontrar o par de tratamentos mais semelhantes, ou seja, aquele cujo agrupamento resulta no menor aumento possível da soma de quadrados do erro (SQE). Para fins de comparação, o conjunto de dados resultante do agrupamento de cada par de tratamentos foi ajustado usando um dos modelos possíveis para a variável sendo avaliada, da mesma forma que o ajuste das curvas individuais. Uma probabilidade de significância foi associada a cada combinação de tratamentos, a partir da diferença entre a SQE dos modelos individuais e a SQE do modelo agrupado, e dos respectivos graus de liberdade. Essa probabilidade representa o grau de significância da diferença entre os dois tratamentos. Uma vez agrupados, os tratamentos mais similares passaram a ser considerados um tratamento único para fins de análise, e o processo foi repetido para achar um novo par de tratamentos mais similar, e assim sucessivamente, até que todos os tratamentos estivessem combinados num único grupo.

Este processo foi representado graficamente na forma de um

dendrograma, como no exemplo mostrado no Apêndice 6. Nessa figura, é possível ver a decomposição da soma de quadrados total, corrigida no efeito de um modelo geral, sem considerar o efeito dos regimes térmicos (representado pela linha espessa à esquerda), o efeito dos regimes térmicos (representado pelo dendrograma) e o erro experimental (representado pelas linhas pontilhadas à direita). No dendrograma, pode-se ver a ordem de agrupamento dos regimes térmicos mais similares, bem como o grau de probabilidade, que indica se os grupos diferem ou não entre si. A escala horizontal representa o coeficiente de determinação (R^2) do modelo, que é proporcional à soma de quadrados.

Na análise estatística para comparação dos parâmetros de brotação dos tratamentos controle (aqueles que receberam frio apenas a campo), os dados foram submetidos à análise de variância. Os resultados com diferenças significativas, pelo teste “F”, tiveram suas médias avaliadas pelo teste de Tukey com nível de significância de 5 % de probabilidade, para a comparação dos fatores.

Para todas as análises estatísticas e elaboração de gráficos, foi utilizado o programa R (2012).

3.7 Bases para o desenvolvimento do modelo teórico biológico para predição da brotação em macieira

O modelo teórico biológico desenvolvido para predição da brotação considerou, em conjunto, termos de indução e superação da endodormência e de superação da ecodormência de gemas, durante o período de outono e inverno, baseado nos experimentos realizados em 2009, 2010 e 2011. Com isso, o modelo visou compreender os processos e inter-relações relacionadas ao (s) mecanismo (s) da dormência de gemas em macieira.

A variação dos parâmetros brotação máxima, precocidade e uniformidade, em experimentos distintos, consistiram na base para a construção do modelo. A análise multivariada dos efeitos de temperatura sobre a dormência foi inserida no modelo, apresentando as temperaturas/exposições ótimas de frio por genótipo, os efeitos de diferentes oscilações térmicas e ondas de calor, implicações da temperatura base para crescimento, e o tempo de resposta e sincronia à brotação de diferentes tipos de gemas e cultivares com contraste em necessidade de frio hibernal.

O modelo teórico biológico foi baseado na formação e degradação de substâncias, denominadas compostos hipotéticos inibidores e catalisadores da brotação de gemas, conforme sugerido por Erez & Fishman (1990), no modelo dinâmico (ver item 2.5). De acordo com o comportamento térmico observado nos ensaios, as substâncias hipotéticas foram ativadas, desativadas e/ou convertidas, pela ação do frio e do calor. Precusores da dormência variaram com a genética da cultivar e condições da safra (problemas nutricionais, fitossanitários e/ou hídricos). A associação entre a necessidade de frio e soma térmica para o alcance da brotação também foram esquematizadas no modelo.

Os compostos hipotéticos do modelo foram relacionados com produtos gênicos e metatólitos, obtidos pela caracterização bioquímica e molecular do processo de dormência, entre as cultivares Castel Gala e Royal Gala, em atividade paralela coordenada pela Embrapa Uva e Vinho. Além disso, foram consultados, na literatura, candidatos postulantes à tradução das substâncias inseridas no modelo.

Com um padrão de resposta da dormência identificado pelos contrastes térmicos e genéticos, simularam-se condições de invernos bons, amenos e ruins, em termos de temperatura do ar, e suas consequências sobre a brotação das

gemas. Associado a isso, a partir do modelo, atribuiu-se o resultado da superação da dormência de forma natural pelo frio e projetou-se a sua superação quando do uso de agentes químicos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando o grande número de experimentos e de resultados obtidos, para facilitar o entendimento, a apresentação será feita de modo compartimentalizado, agrupando os dados dentro das etapas de indução da endodormência, superação da endodormência e ecodormência. Inicialmente, serão apresentados a descrição das condições ambientais e os resultados que suportam a definição da função matemática usada para estimar a curva de brotação em macieira, a qual foi empregada em todas as análises para geração dos dados de brotação máxima, precocidade e uniformidade. Por fim, serão apresentados os resultados de estudos complementares (ex.: protocolo de avaliação da dormência, desfolha e interação entre gemas) que, em conjunto com todos os demais resultados, suportam o modelo teórico biológico para predição da brotação em macieira, que é discutido na última parte desse capítulo.

4.1 Condições meteorológicas do local e período experimental

As condições meteorológicas do ciclo vegetativo/produtivo da macieira (setembro a maio) de 2008/2009, 2009/2010 e 2010/2011 foram diferentes (Figura 20). A principal distinção entre os mesmos foi a elevada precipitação pluvial ocorrida no final do ciclo de 2009/2010, com totais mensais acima de 200 mm (fevereiro a abril). Isto favoreceu o aumento da incidência de doenças fúngicas nos pomares, principalmente a Mancha Foliar da Gala (*Colletotrichum* spp.). Esta

doença promoveu queda precoce de folhas das cultivares Royal Gala e, especialmente, da Castel Gala, evidenciado pelo contraste de folhagem na primeira amostragem de gemas, realizada em março de 2009 e abril de 2010 e 2011 (Figura 21). Além da possível redução no conteúdo de reservas das plantas, o desfolhamento precoce em 2010 pode ter interferido na resposta da dormência das gemas, como será abordado no item 4.4.

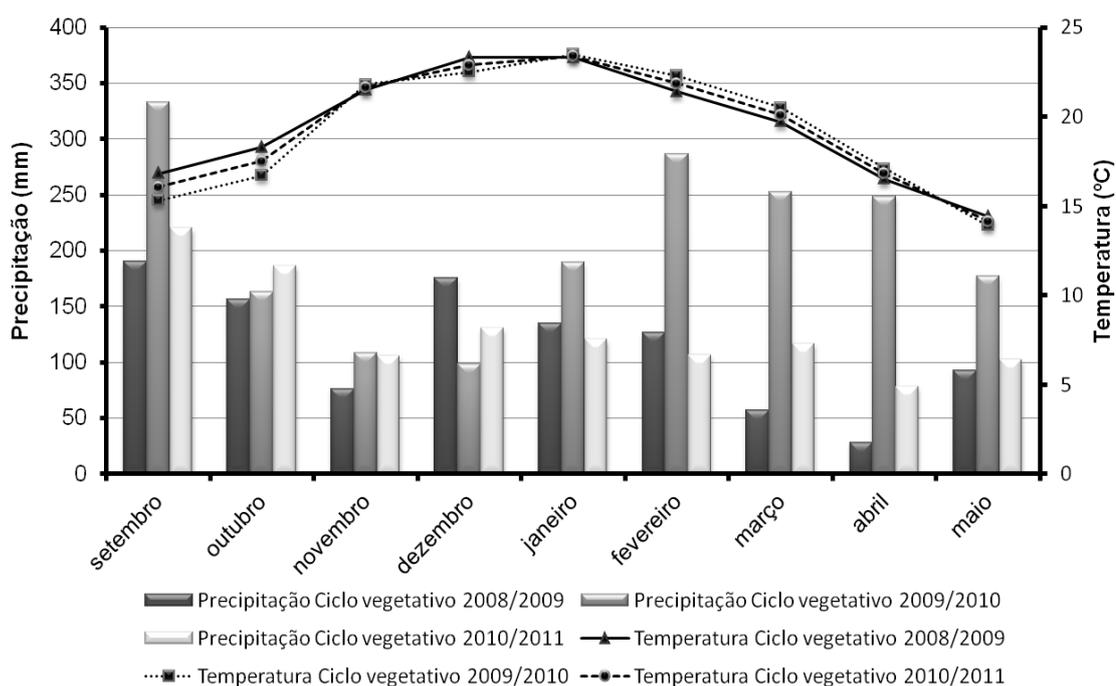


FIGURA 20. Precipitação pluvial e temperatura do ar, em base mensal, no ciclo vegetativo/produzitivo de macieiras nas safras de 2008/2009, 2009/2010 e 2010/2011. Totais de precipitação de setembro a maio: 1035,7mm em 2008/2009, 1857,1mm em 2009/2010 e 1166,7mm em 2010/2011. Papanduva, SC, 2009/2010/2011.



FIGURA 21. Nível de enfolhamento de macieiras 'Royal Gala' e 'Castel Gala' nas amostragens realizadas em 25 de março de 2009 (A), 13 de abril de 2010 (B) e 5 de abril de 2011 (C). Papanduva, SC, 2009/2010/2011.

Detalhando as condições meteorológicas ocorridas durante o período hibernar nos três ciclos, salienta-se que nos anos de 2009 e 2010 ocorreram chuvas em menor volume (790 e 849 mm), em comparação a 2011 (1245 mm) (Figura 22). Em 2009 e 2011, a ocorrência das chuvas foi mais tardia (após as amostragens de gemas), enquanto em 2010 foi mais antecipada. Estas variações na disponibilidade hídrica, ao longo do período hibernar, podem proporcionar diferentes efeitos sobre a evolução da dormência, considerando que a chuva interfere, principalmente, no resfriamento da superfície das gemas, reduzindo e mantendo a temperatura dos tecidos (Erez & Couvillon, 1983). Além disso, a chuva no período inicial (indução da dormência) pode provocar problemas fitossanitários, com desfolha precoce, antecipando a paralisação do crescimento vegetal (ver item 4.4.1). Já, no período final (ecodormência) as chuvas são importantes para a retomada do ciclo vegetativo das plantas (Petri *et al.*, 2006), além do efeito da “lavagem” de substâncias inibidoras de crescimento, como o ácido abscísico. Em estudos de fluxo de água para a gema, tem sido exposta a hipótese de bloqueio parcial dos feixes vasculares no momento de máxima dormência, o que levanta a ideia de que a condição hídrica pode não exercer efeito no período intermediário ou de máxima endodormência das gemas (Cusin *et al.*, 2011).

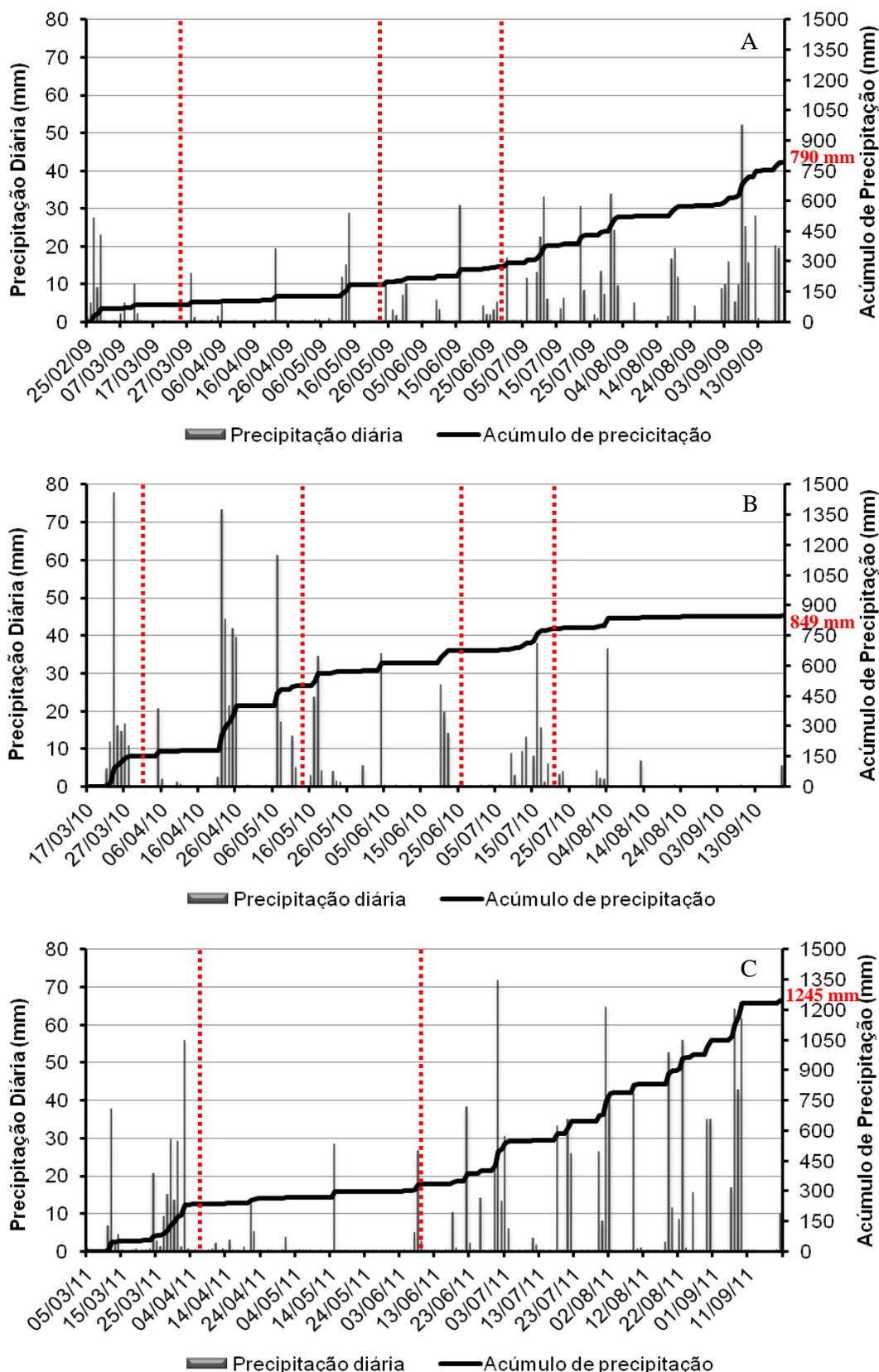


FIGURA 22. Precipitação pluvial diária e acumulada durante o período experimental de 2009 (A), 2010 (B) e 2011 (C) em Major Vieira, a 18,3 Km de Papanduva, SC. INMET, 2009/2010/2011. *Linhas vermelhas correspondem às épocas de coletas das gemas a campo.

A umidade relativa do ar (UR) foi elevada ao longo de todo o período de outono e inverno de 2009, 2010 e 2011, ficando acima dos 80% (Figura 23). Isto se deve ao alto regime pluviométrico ocorrido durante o período hibernal.

A radiação solar registrada durante o período hibernal, para os três anos de estudo, é mostrada na Figura 24. Ao longo dos anos de 2009, 2010 e 2011, a distribuição da radiação solar incidente foi semelhante, com decréscimo na entrada do inverno, estabilidade durante os meses mais frios (junho e julho) e elevação no final da estação. Segundo Petri *et al.* (2006), a redução da radiação solar efetiva no outono e inverno promove diminuição da temperatura e da amplitude das oscilações térmicas. Assim, para a quebra de dormência das fruteiras de clima temperado, invernos frios e nublados, no período diurno, são fatores favoráveis.

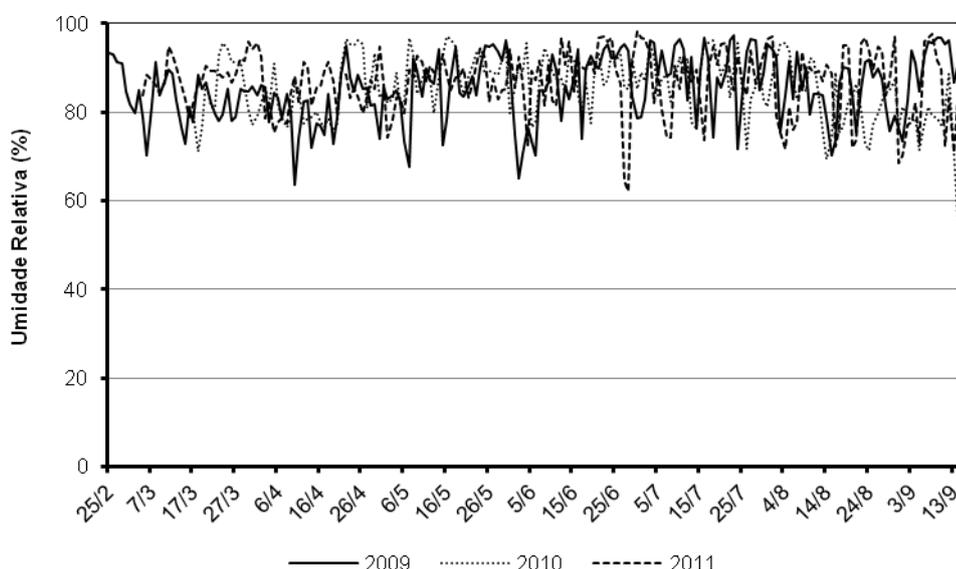


FIGURA 23. Umidade relativa do ar durante o período experimental de 2009, 2010 e 2011, em Major Vieira, a 18,3 Km de Papanduva, SC. INMET, 2009/2010/2011.

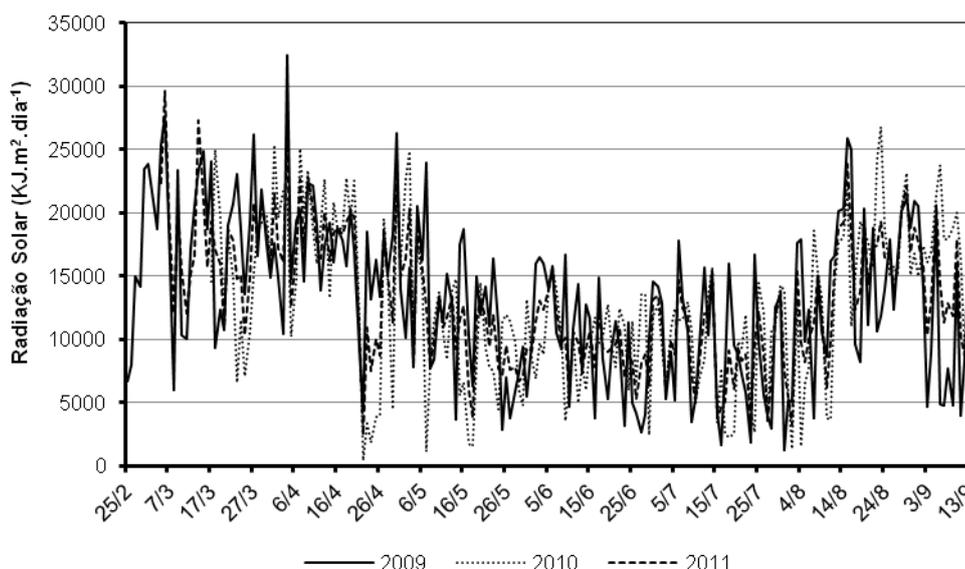


FIGURA 24. Radiação solar durante o período experimental de 2009, 2010 e 2011, em Major Vieira, a 18,3 Km de Papanduva, SC. INMET, 2009/2010/2011.

A temperatura do ar média, média das máximas e média das mínimas, em base diária, variou ao longo dos anos, seguindo uma tendência linear decrescente com a evolução do outono, atingindo as temperaturas mais baixas a partir do mês de maio (Figura 25). Durante o período de outono e inverno de 2009, 2010 e 2011 a temperatura média foi de 13,7°C, 14,2°C e 14,1°C, respectivamente, e as médias das máximas e mínimas foram de 20,5 e 9,6°C para 2009, 20,4 e 10,2°C para 2010 e 20,2 e 9,5°C para 2011.

Baixas temperaturas no outono e inverno constituem o fator ambiental mais importante para induzir a entrada e superação da dormência, permitindo uma nova brotação na primavera (Petri *et al.*, 2006). De acordo com as Normas Climatológicas do Brasil 1961-1990 (2009), a cidade de Papanduva-SC apresenta inverno mais ameno para o cultivo de macieiras que as regiões preferenciais, como São Joaquim-SC e Vacaria-RS, onde as médias das temperaturas mínimas são de 7 e 7,6°C e as médias das temperaturas máximas de 16,1 e 17,6°C, respectivamente, no período de outono e inverno.

Pelos dados médios de Papanduva-SC, os anos de 2009, 2010 e 2011 tiveram regimes térmicos similares. Entretanto, tal paridade foi suprimida na distribuição e acúmulo de frio ao longo do período hibernar. O número de horas de frio (HF), com temperaturas iguais ou inferiores a 7,2°C variou entre os três anos avaliados (Figura 26). Enquanto em 2009 e 2011 acumularam-se 549 e 608 HF, em 2010 o acúmulo foi de 365 HF, de abril a setembro. Além deste contraste no somatório de HF, é importante destacar diferenças na distribuição de HF ao longo do período hibernar, sendo que em 2010 o frio foi tardio, se concentrando, principalmente, entre o final de julho e agosto. Baseado nas épocas de coleta das gemas a campo, até março de 2009 as mesmas não haviam recebido nenhuma hora de frio. Até maio, elas receberam 70 HF e, até junho, 299 HF. Em 2010, até o final de abril foram registradas apenas 2 HF, até maio 15 HF, e até junho e julho, 80 e 165 HF, respectivamente. Em 2011, as gemas coletadas em abril não sofreram ação do frio no campo e até junho foram registradas 162 HF.

Pelo número de horas de frio ocorrido em 2009, 2010 e 2011, é provável que a região de Papanduva tenha insuficiência de frio durante o outono e inverno para promover a superação natural da dormência de gemas de espécies frutíferas temperadas, especialmente para cultivares com maior necessidade de frio. Além disso, a variabilidade interanual no acúmulo e na distribuição de horas de frio hibernar pode proporcionar períodos e intensidades diferentes da endodormência das gemas de frutíferas caducifólias, como será discutido no item 4.3.

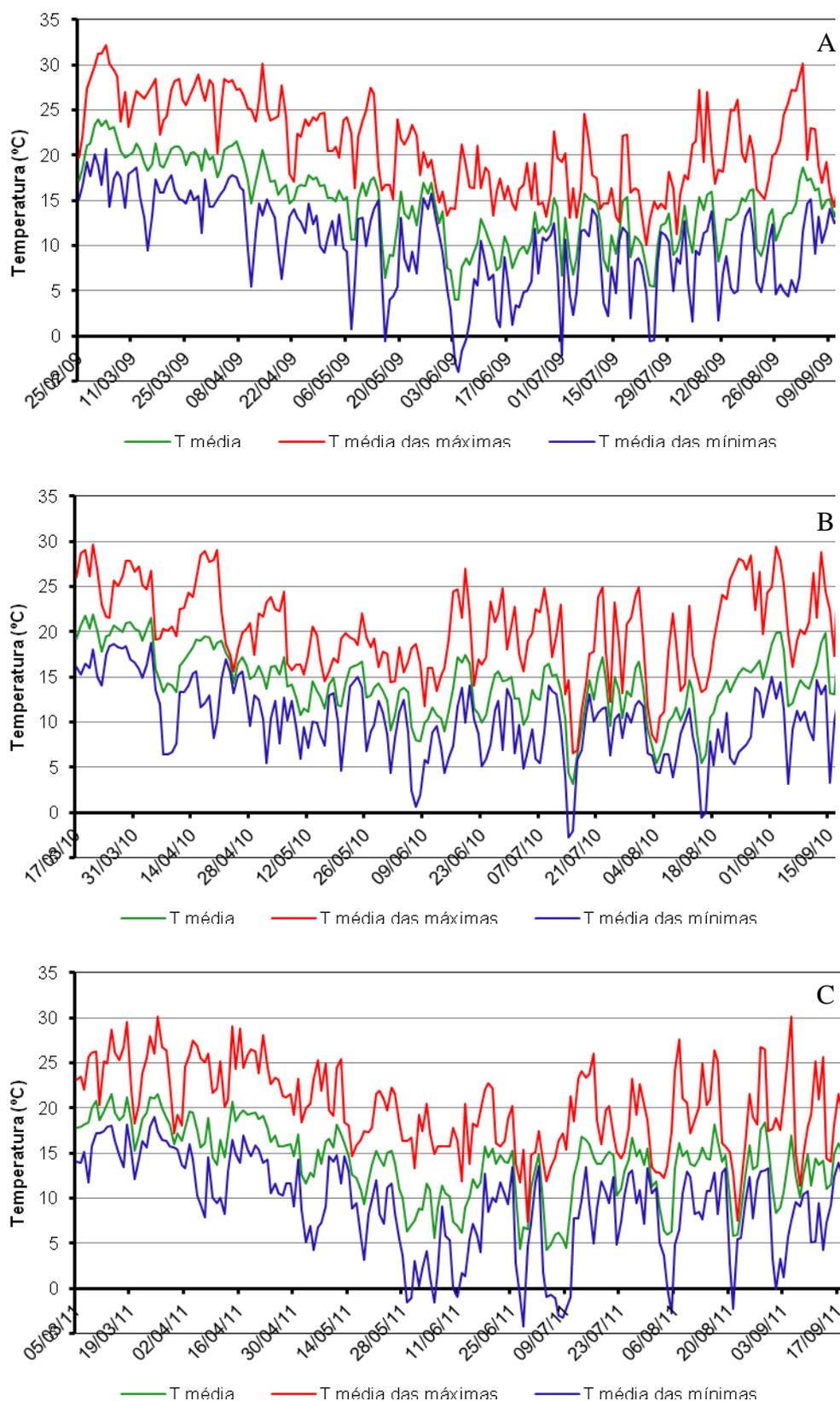


FIGURA 25. Temperatura do ar média, média das máximas e média das mínimas, em base diária, durante o período experimental de 2009 (A), 2010 (B) e 2011 (C), em Major Vieira, a 18,3 Km de Papanduva, SC. INMET, 2009/2010/2011.

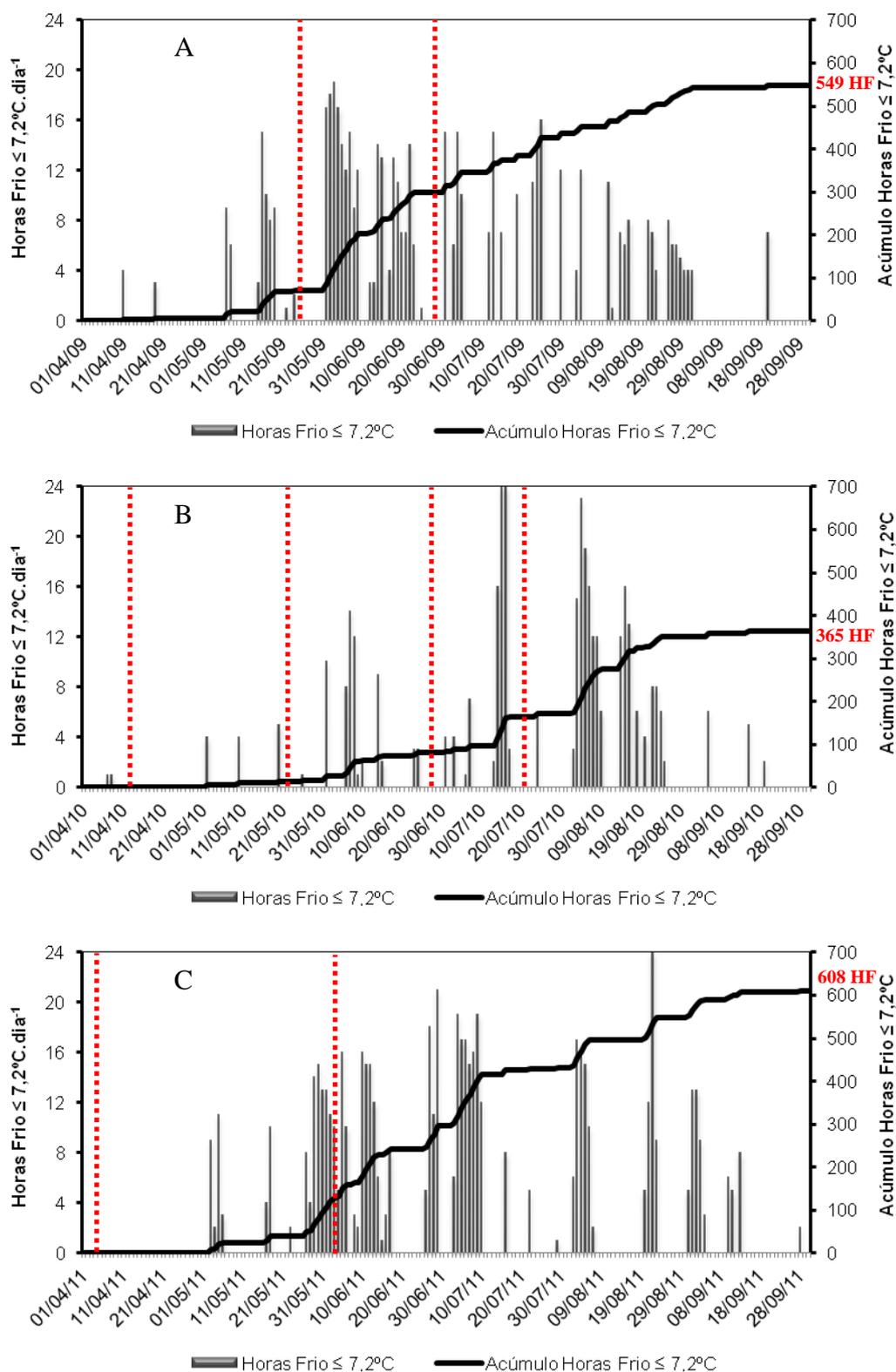


FIGURA 26. Número de horas de frio (temperatura igual ou inferior a $7,2^{\circ}\text{C}$) diário e acumulado, de abril a setembro de 2009 (A), 2010 (B) e 2011 (C) em Major Vieira, a 18,3 Km de Papanduva, SC. INMET, 2009/2010/2011. *Linhas vermelhas correspondem às épocas de coletas das gemas a campo. Além das amostragens indicadas, houve uma coleta em março de 2009, com 0 HF, não mostrada na Figura 26A.

4.2 Comparação entre as funções de Gompertz e sigmoide simétrica para estimar a curva de brotação de gemas em macieira

Na Figura 27 são apresentadas as diferenças do coeficiente de determinação (R^2) entre as funções de Gompertz e sigmoide simétrica, quando ajustadas aos dados de brotação. Valores positivos indicam que a função de Gompertz foi melhor e dados negativos indicam a superioridade da função simétrica, para representação da evolução da brotação. Verificou-se que a função de Gompertz (assimétrica) definiu melhor a progressão da dormência em função do tempo. Conforme os dados de brotação agrupados em 77 grupos, considerando cultivar, experimento e regime térmico, em 65 deles a função de Gompertz foi superior, ocorrendo o contrário em 12 grupos. A superioridade da função de Gompertz mostra que a velocidade de brotação das gemas de macieira é assimétrica, com a velocidade máxima atingida quando a brotação alcança 37% do seu nível potencial. Esta referência constituiu-se no parâmetro para determinar o grau de precocidade nos diferentes regimes térmicos testados no trabalho.

Nestes 77 grupos avaliados, o número total de gemas variou de 24 a 400, e o número de gemas brotadas de 10 a 335. A taxa de brotação máxima oscilou entre 33,3% e 97,1%. As funções de Gompertz e a sigmoide simétrica apresentaram a mesma complexidade (mesmo número de parâmetros) e ausência de graus de liberdade (“zero”). Assim, não sendo possível a comparação de médias, o teste comparativo dos coeficientes R^2 foi o método estatístico escolhido. Para Weiss (2007), a soma de quadrados do erro, pelo teste do coeficiente de determinação, é uma opção para comparações que não possuam graus de liberdade. O coeficiente R^2 médio da curva de Gompertz foi 0,9961 e da curva simétrica 0,9934. Isto mostra que a função de Gompertz proporcionou

menor soma de quadrados do erro, representando melhor a evolução da brotação ao longo do tempo.

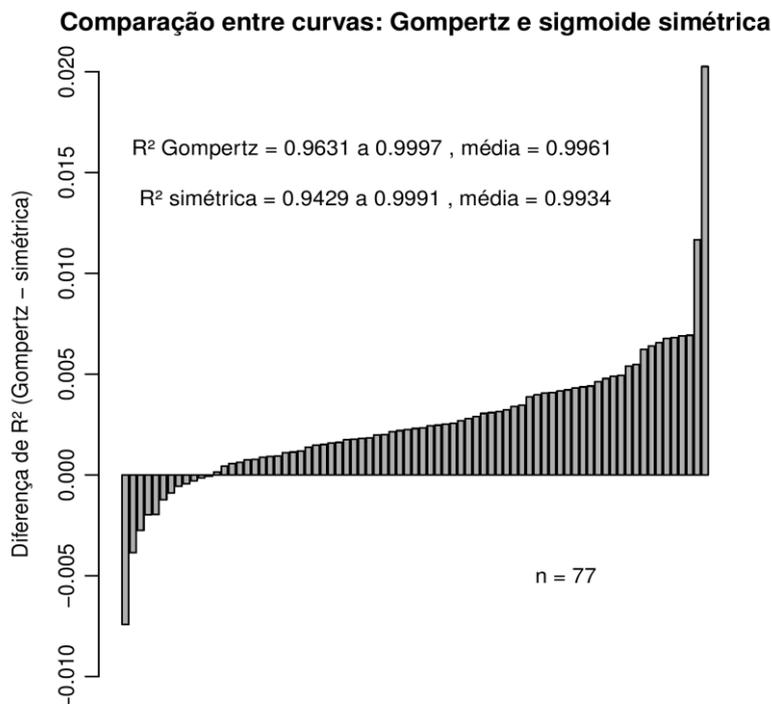


FIGURA 27. Diferenças ordenadas entre o coeficiente de determinação (R^2) das funções de Gompertz e sigmoide simétrica para estimar a curva de brotação de gemas em macieira. Valores positivos indicam que a função de Gompertz foi melhor e valores negativos apontam superioridade para a função simétrica. Bento Gonçalves, RS.

A curva de Gompertz é uma função comumente usada para descrever o crescimento de microrganismos, animais e tecidos (Gompertz, 1825). Contudo, para estimar a curva de brotação, a função original foi reparametrizada, conforme descrito na equação 2 (pág. 70), considerando os parâmetros M (brotação máxima), P (precocidade) e U (uniformidade). Esta função tem propriedades desejáveis para simulação da curva de evolução da brotação, pois as características da curva de Gompertz giram em torno do ponto de inflexão, em que a velocidade de brotação é máxima. O tempo em que ocorre o ponto de inflexão é dado pelo parâmetro P da função. Nesse ponto, a brotação é igual a M/e (37% do potencial máximo), caracterizando uma curva de velocidade de

brotação assimétrica. Isto implica, em termos absolutos, numa aceleração inicial na brotação maior do que a desaceleração, após o ponto de inflexão (Figura 19). A curva de Gompertz confere, também, maior tempo de permanência da brotação M no nível “zero”, no início da progressão (Figura 19A), sendo, portanto, mais real, já que a brotação somente ocorre após a exposição de alguns dias das gemas ao calor - GDH°C (ver item 4.4.3).

A curva de brotação de Gompertz pode variar em função de cada parâmetro. Mudanças em M causam variação proporcional tanto na brotação máxima quanto na velocidade de brotação. Mudanças em P fazem com que a curva se desloque ao longo do eixo do tempo. Já, mudanças em U alteram a evolução da curva de brotação no tempo. Valores menores de U concentram a brotação em torno do ponto de inflexão, aumentando a sua velocidade máxima, às custas de uma brotação inicial e final mais lenta. Ao contrário, valores maiores de U fazem com que a brotação seja mais distribuída ao longo do tempo, o que se traduz na prática em um amplo período de brotação ou baixa qualidade de brotação.

A curva de Gompertz, assim como a curva sigmoide, possuem três parâmetros, o que equivale em número a uma função quadrática (Fialho, 1999). No entanto, os parâmetros da função de Gompertz têm maior significado biológico (Fialho, 1999), especialmente no que se refere ao parâmetro precocidade. Dessa forma, podem-se obter informações importantes pelo uso e interpretação da curva de Gompertz aos dados de evolução da brotação de gemas em macieira.

4.3 Evolução do estado de dormência de gemas de macieira, após acúmulo de frio no campo

As curvas de resposta da brotação das gemas controle, ou seja, aquelas que foram trazidas do campo e submetidas diretamente à temperatura de 25°C, tendo recebido frio apenas em condições naturais, são mostradas nas Figuras 28, 29 e 30. Tais curvas foram geradas para cada combinação (cultivar/tipo de gema) de diferentes épocas de coleta em 2009, 2010 e 2011. As respostas de brotação seguem o modelo da curva de crescimento de Gompertz, estimando os parâmetros M , P e U .

O parâmetro brotação máxima estima a totalidade de gemas brotadas, representado pelo platô alcançado, na curva de brotação (Figuras 28, 29 e 30). A precocidade corresponde ao número de dias para o alcance de 37% da brotação máxima, dada pelo ponto de inflexão da curva. A uniformidade representa o número de dias necessários para atingir entre 10 a 90% da brotação máxima, sendo que quanto maior a inclinação da curva no ponto de inflexão, mais uniforme a brotação (Figuras 28, 29 e 30). Os dados brutos dos três parâmetros estimados pela função de Gompertz, para cada combinação (cultivar/tipo de gema), foram decompostos e apresentados nas Figuras 31, 32 e 33.

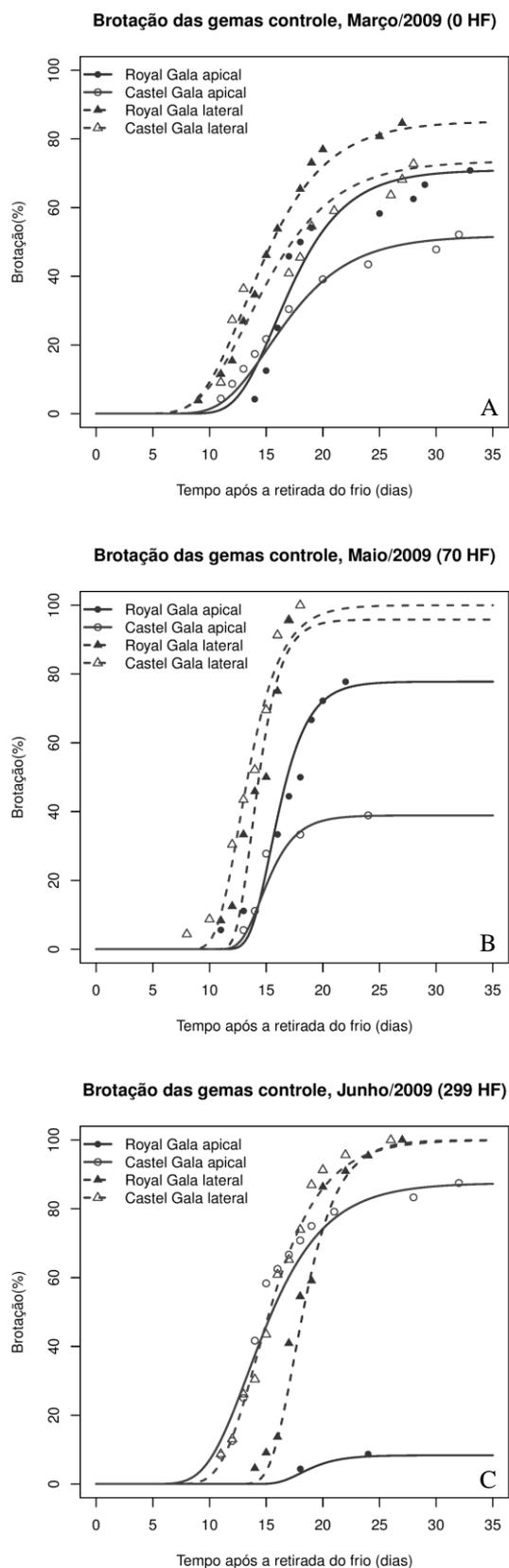


FIGURA 28. Curvas de brotação ajustadas pela função de Gompertz para cada combinação (cultivar/tipo de gema) do tratamento controle de 2009, em estacas de nós isolados (método 3.3.1). Tratamento controle: gemas submetidas diretamente à temperatura de 25°C após trazidas do campo, tendo recebido frio apenas em condições naturais. Coleta de março (A), coleta de maio (B) e coleta de junho (C). Papanduva, SC, 2009.

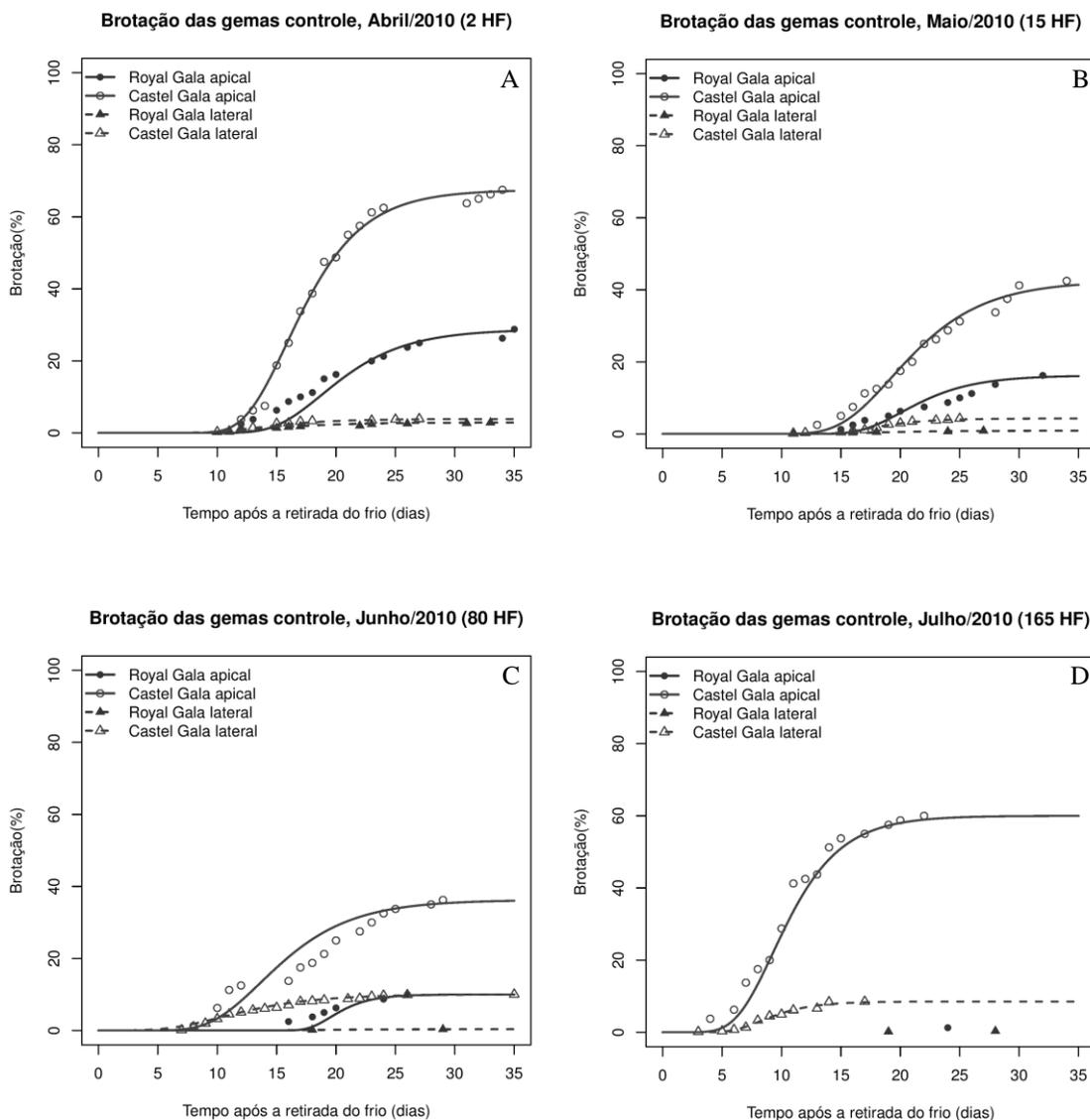


FIGURA 29. Curvas de brotação ajustadas pela função de Gompertz para cada combinação (cultivar/tipo de gema) do tratamento controle de 2010, em estacas intactas embaladas na vertical, com brotação em água (método 3.3.5). Tratamento controle: gemas submetidas diretamente à temperatura de 25°C após trazidas do campo, tendo recebido frio apenas em condições naturais. Coleta de abril (A), coleta de maio (B), coleta de junho (C) e coleta de julho (D). Papanduva, SC, 2010.

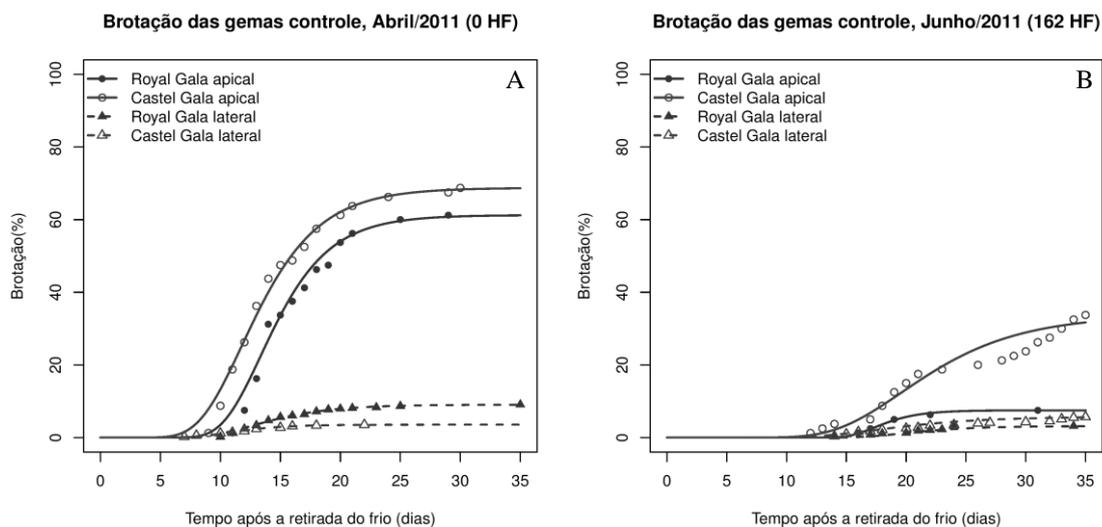


FIGURA 30. Curvas de brotação ajustadas pela função de Gompertz para cada combinação (cultivar/tipo de gema) do tratamento controle de 2011, em estacas intactas embaladas na vertical, com brotação em espuma fenólica (método 3.3.6). Tratamento controle: gemas submetidas diretamente à temperatura de 25°C após trazidas do campo, tendo recebido frio apenas em condições naturais. Coleta de abril (A) e coleta de junho (B). Papanduva, SC, 2011.

4.3.1 Respostas sobre o parâmetro brotação máxima

Para o parâmetro brotação máxima das gemas apicais controle de 2009, 2010 e 2011 foi confirmada a diferença de exigência de frio entre as macieiras 'Castel Gala' e 'Royal Gala'. Neste contraste inicial, entre os três anos, as gemas apicais da 'Castel Gala' entraram em endodormência a campo com até 70-80 HF (verificada pela redução significativa na capacidade de brotação das gemas - $P < 0,05$), observado em maio – ano 2009 e junho – ano 2010 (Figuras 31A, 31B e 31C). Já, as gemas apicais da 'Royal Gala' acionaram a endodormência com, no máximo, 165 HF, em julho de 2010 (Figuras 31A, 31B e 31C).

Para superar a endodormência, a 'Castel Gala' necessitou de apenas 299 HF em condições naturais, ocorridas até junho de 2009, confirmando a baixa exigência de frio deste genótipo (Denardi & Seccon, 2005). Isto se deve ao alto nível de brotação atingido pela cultivar neste mês, se comparado aos demais meses do período hibernar de 2009 ($P < 0,05$) (Figuras 31A). Em 2010, pela demora da chegada do frio (Figura 26B), a superação plena da endodormência

ocorreu apenas em condições controladas, dado o atraso do início da endodormência, no campo, para ambas as cultivares (Figura 31B). A cultivar Castel Gala esboçou uma retomada de crescimento com apenas 165HF, em julho de 2010 ($P < 0,05$) (Figura 31B). Em 2011, a endodormência das gemas também foi superada somente em ambiente controlado, já que a coleta mais tardia foi realizada com apenas 162 HF a campo (Figura 31C).

Em todos os anos o percentual de brotação das gemas apicais foi diferente entre as cultivares, tendo a 'Castel Gala' apresentado uma maior brotação média, se comparada à 'Royal Gala' ($P < 0,05$). A cultivar Castel Gala apresentou uma dormência superficial, com cerca de 40% de brotação no período de máxima endodormência (Figura 31A, 31B e 31C). Em contrapartida, a dormência na 'Royal Gala' foi mais profunda, atingindo na mesma fase uma brotação nula ou próxima disto. Segundo Hauagge & Cummins (1991), a dormência de cultivares de macieira pode ser dividida em três níveis: leve, intermediária e profunda. Para cultivares com "leve" dormência, como pode ser classificada a 'Castel Gala', ocorre paralisação superficial do crescimento das gemas durante o período de endodormência. Já, para cultivares com nível "intermediário a profundo" de dormência, como a 'Royal Gala', há paralisação total, ou quase total, do crescimento das gemas. Para Hauagge & Cummins (1991), a diferenciação do nível de profundidade da endodormência entre genótipos de macieiras determina o seu grau de exigência de frio durante o período hibernar. Além disso, este comportamento hibernar dá origem à classificação de cultivares como precoces, intermediárias e tardias, quanto ao ciclo vegetativo (Petri *et al.*, 2006).

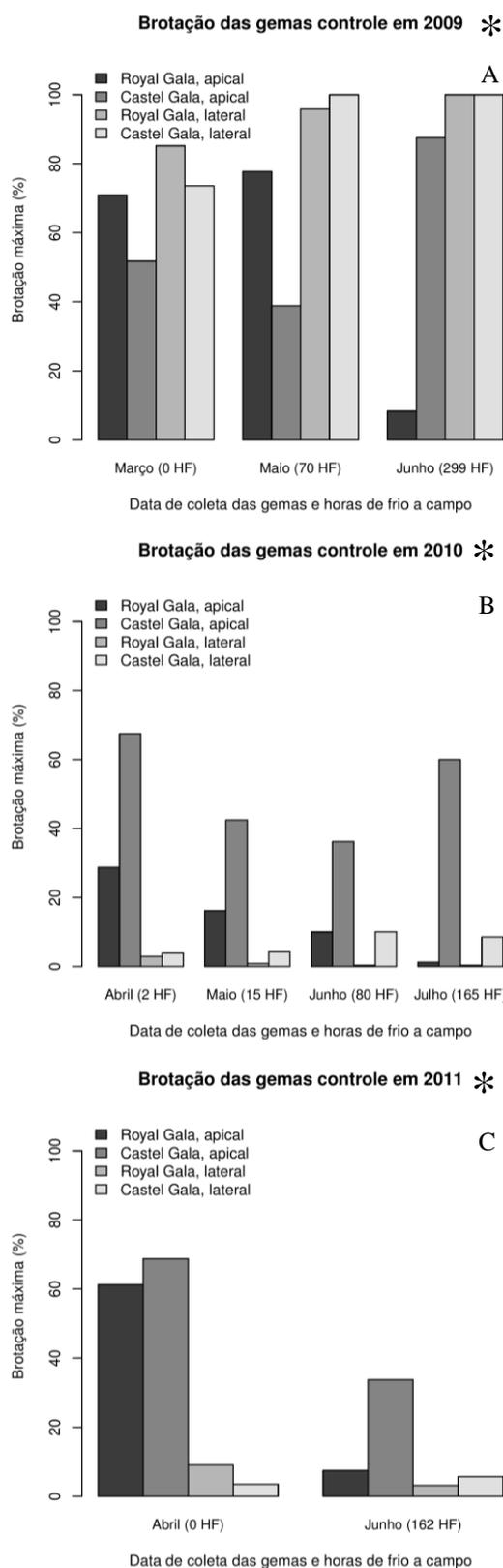


FIGURA 31. Valores de brotação máxima para cada combinação (cultivar/tipo de gema) do tratamento controle de 2009, em estacas de nós isolados, método 3.3.1 (A), 2010 em estacas intactas embaladas na vertical, com brotação em água, método 3.3.5 (B) e 2011 em estacas intactas embaladas na vertical, com brotação em espuma fenólica, método 3.3.6 (C). (*) Gráficos com ocorrência de diferenças significativas ($P < 0,05$) entre os tratamentos (ver análise estatística no apêndice 7). Papanduva, SC, 2009/2010/2011.

A resposta da brotação máxima para as gemas laterais foi diferente no ano de 2009, em comparação a 2010 e 2011, para ambos os genótipos ($P < 0,05$). Em 2009, altos níveis de brotação foram alcançados empregando-se o método de estacas de nós isolados (método nº 3.3.1), enquanto nos demais anos, baixos níveis de brotação foram observados pelo método de estacas intactas (métodos 3.3.5 e 3.3.6), independente da época de amostragem e/ou cultivar (Figuras 31A, 31B e 31C). Este contraste de brotação, entre métodos, mostra que as gemas laterais foram fortemente inibidas pela gema apical (dominância apical) durante o período dormência. Pelo somatório de frio ocorrido a campo, verificou-se que as gemas laterais não apresentaram nenhuma resposta de indução e/ou superação da endodormência.

Para Dennis Junior (2003) e Leite (2004) o método de estacas intactas é baseado no princípio da inibição correlativa, em que uma gema tem ação sobre outra, avaliando-se, em conjunto, a paradormência e a endodormência. Entretanto, quando se utilizam estacas de nós isolados, contendo uma única gema, a paradormência é eliminada, sendo avaliada apenas a endodormência (Champagnat, 1983). Diante destas colocações e dos resultados, contrastantes, obtidos de brotação máxima entre os métodos, pode-se supor que a brotação das gemas laterais nas macieiras é controlada, preponderantemente, pela paradormência (dominância apical). O comportamento da brotação das gemas laterais, com a evolução da dormência, é mais detalhado nos itens subsequentes.

A escolha pelo método de estacas de nós isolados, em 2009, se deve ao fato deste ser o teste mais usual para avaliação da profundidade de dormência de gemas, por suprimir grande parte das inibições correlativas que atuam sobre a mesma, como descrito por Rageau (1978), Mauget (1987), Herter (1992), Putti *et al.* (2003), Leite (2004) e Bonhomme *et al.* (2005). Entretanto, o contraste entre

testes utilizados em 2009 (estacas de nós isolados) e em 2010 e 2011 (estacas intactas) foi importante para demonstrar que, na planta, o fenótipo se manifesta em função da interação de vários efeitos ao invés de um efeito isolado, durante a dormência. Ou seja, a resposta de brotação é decorrente da associação dos vários tipos de dormência, e não apenas da endodormência, em gemas de frutíferas de clima temperado.

4.3.2 Respostas sobre o parâmetro precocidade

Quanto à precocidade de brotação das gemas apicais controle, um aumento significativo no tempo para brotação foi observado para as gemas em estado de endodormência ou em vias de entrada do processo a campo ($P < 0,05$). Como exemplo disso, têm-se os resultados de junho de 2009, julho de 2010 e junho de 2011 na 'Royal Gala' e os resultados de março e maio de 2009, maio de 2010 e junho de 2011 na 'Castel Gala' (Figuras 32A, 32B e 32C). Para Putti *et al.* (2003) e Jackson (2003), o início da endodormência é detectado quando se inicia um aumento do número de dias para a brotação e o fim da fase, quando se reduz e se estabiliza o número de dias para a brotação.

Para a 'Castel Gala' a indução e superação da dormência ocorrida a campo, em 2009, apresentou menor tempo para brotação das gemas laterais quando em endodormência (março a maio), e menor tempo para brotação das gemas apicais, quando superada a endodormência (junho) (Figura 32A). Esta tendência foi verificada, também, na cultivar Royal Gala em 2009, 2010 e 2011 e na 'Castel Gala' em 2010 e 2011, durante a fase de indução e plena endodormência (Figura 32A, 32B e 32C). Tais informações corroboram com as descritas por Mauget & Rageau (1997), que afirmam que na fase de máxima endodormência, a capacidade de brotação das gemas da base do ramo é maior

que as situadas no ápice dos ramos. Quando ocorre acúmulo suficiente de frio, o gradiente basítono tende a desaparecer durante a saída da endodormência e, na ecodormência, ele é substituído pela acrotonia. Isto pode estar relacionado a atividade da alfa-amilase solúvel da zona apical ser superior àquela da zona basal, com um pico de atividade precedendo o momento da brotação, caracterizando o mecanismo acropetal (brotação das gemas da porção apical) (Lefèvre, 2002). Para Citadin *et al.* (2009), a formação e exportação da sacarose para o ápice dos ramos ocorre em maior intensidade antes da brotação, havendo acúmulo deste carboidrato na base dos ramos durante a endodormência, o que pode justificar os diferentes gradientes de brotação formados ao longo do ramos, durante o período hibernal.

Além desses aspectos observou-se, genericamente, que a cultivar Castel Gala apresentou maior precocidade (menor valor de P) de brotação que a 'Royal Gala' ($P < 0,05$), independente do tipo de gema (Figura 32A, 32B e 32C). Com isso, supõe-se que a 'Castel Gala' necessite de menor exigência de frio, na endodormência, assim como menor necessidade de calor, durante a ecodormência, como será apresentado no item 4.4.3.

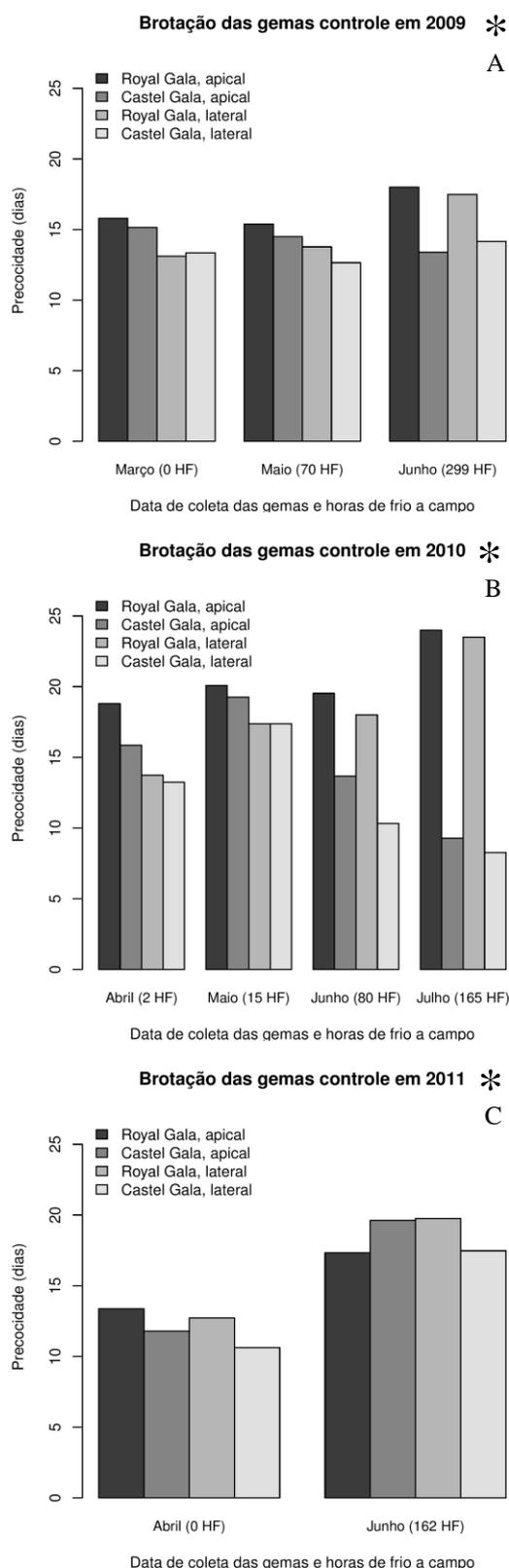


FIGURA 32. Valores de precocidade da brotação para cada combinação (cultivar/tipo de gema) do tratamento controle de 2009, em estacas de nós isolados, método 3.3.1 (A), 2010 em estacas intactas embaladas na vertical, com brotação em água, método 3.3.5 (B) e 2011 em estacas intactas embaladas na vertical, com brotação em espuma fenólica, método 3.3.6 (C). (*) Gráficos com ocorrência de diferenças significativas ($P < 0,05$) entre os tratamentos (ver análise estatística no apêndice 8). Papanduva, SC, 2009/2010/2011.

4.3.3 Respostas sobre o parâmetro uniformidade

O parâmetro uniformidade apresentou maior distorção em relação à evolução natural da dormência das gemas, demonstrando ser uma medida instável e pouco confiável, principalmente quando ocorre baixo percentual de brotação. O aumento significativo ($P < 0,05$) da uniformidade para as gemas apicais de 'Royal Gala' em maio e junho de 2009, junho de 2010 e junho 2011, durante a entrada e plena endodormência, foi decorrente da brotação de poucas gemas, com intervalos pequenos entre elas (Figura 33A, 33B e 33C). Em julho de 2010 não foi possível estimar a uniformidade para a 'Royal Gala', por considerar-se indefinido seu valor, quando menos de duas gemas houverem brotado (Figura 33B). Vale destacar que o comportamento esperado é de que, no período de máxima endodormência, a uniformidade se manifeste abaixo do desejável, sendo necessário aumento no somatório de frio para que o processo seja revertido (Petri & Leite, 2004).

A uniformidade apresentou tendência esperada, nos casos em que brotação foi expressiva (gemas apicais de 'Castel Gala'), com melhores índices no período de saída da endodormência (junho de 2009) ($P < 0,05$), se comparada à entrada e a plena endodormência (março e maio de 2009) (Figura 33A). Em maio e junho de 2010 e junho de 2011 também se verificou baixos índices de uniformidade, dado o período de indução da endodormência em 'Castel Gala' (Figuras 33B e 33C). Para Viémont & Crabbé (2000), as gemas de fruteiras temperadas apresentam maior uniformidade de brotação durante as etapas de atividade metabólica normal da planta, compreendendo o período anterior à endodormência e de pós-superação do processo.

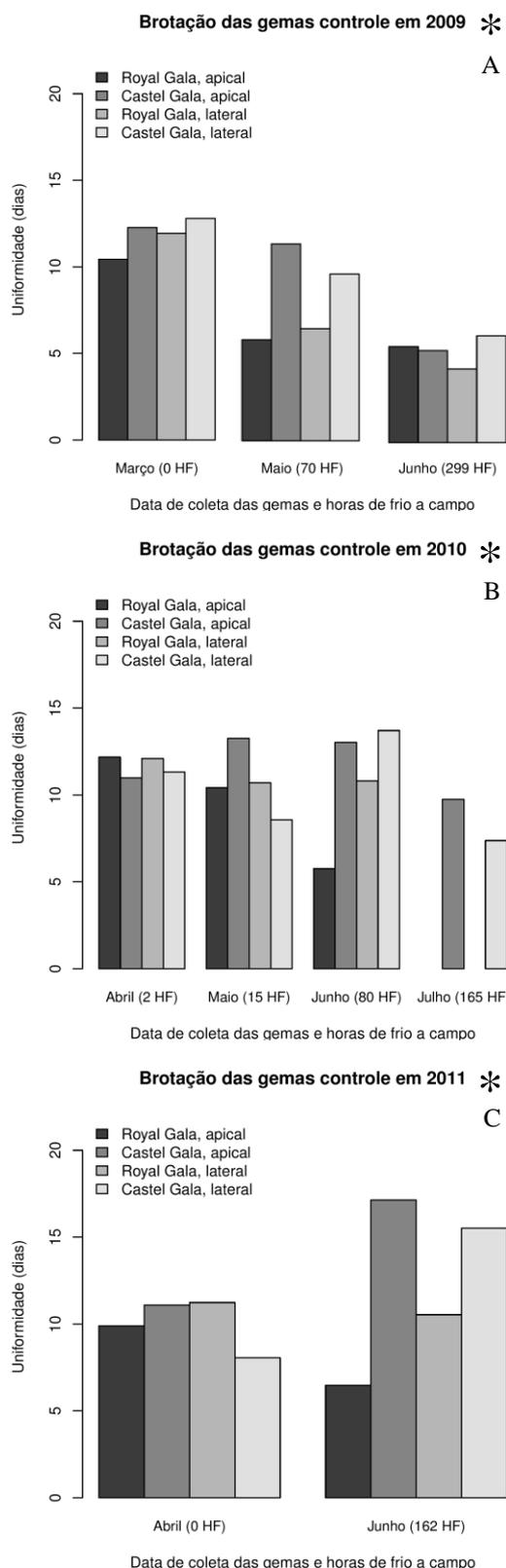


FIGURA 33. Valores de uniformidade da brotação para cada combinação (cultivar/tipo de gema) do tratamento controle de 2009, em estacas de nós isolados, método 3.3.1 (A), 2010 em estacas intactas embaladas na vertical, com brotação em água, método 3.3.5 (B) e 2011 em estacas intactas embaladas na vertical, com brotação em espuma fenólica, método 3.3.6 (C). (*) Gráficos com ocorrência de diferenças significativas ($P < 0,05$) entre os tratamentos (ver análise estatística no apêndice 9). Papanduva, SC, 2009/2010/2011.

Com base na análise da evolução da dormência a campo, os parâmetros brotação máxima, seguido pela precocidade, devem apresentar maior peso, em comparação ao parâmetro uniformidade, para a elaboração do modelo para predição do início do ciclo vegetativo anual em macieira. Além disso, as gemas apicais representam de forma mais precisa o padrão esperado da dormência, em relação às gemas laterais. Será descrito a seguir, o comportamento das gemas submetidas a diferentes regimes térmicos, em condições controladas, fornecendo outras características a serem incorporadas no método a ser ajustado e/ou elaborado, para predição da brotação em gemas de macieira.

4.4 Evolução do estado de dormência de gemas de macieira em condições controladas

Para avaliar a importância do calor e do frio na indução, evolução e superação da endodormência foram analisados os efeitos de temperaturas constantes de frio e temperaturas oscilantes (frio/calor) em condições controladas, nos anos de 2009, 2010 e 2011. Além disso, foi determinada a temperatura base para os genótipos estudados, para uso no cálculo da soma térmica durante a ecodormência. A seguir, serão descritos os resultados dos experimentos, segmentando a apresentação em três tópicos: indução da endodormência, superação da endodormência e ecodormência. Esta separação subsidiará a elaboração e ajuste do modelo para predição da brotação de macieiras.

Vale destacar que, embora tenha havido considerável progresso nas últimas décadas, o conhecimento dos aspectos relacionados à indução, manutenção e superação da dormência permanece pouco claro (Saure, 1985; Faust *et al.*, 1997; Arora *et al.*, 2003). Dentre os pontos a serem investigados tem-se: as similaridades e diferenças entre diferentes espécies e cultivares (Gilreath &

Buchanan, 1981; Crabbe & Barnola, 1996), o efeito de diferentes temperaturas ou combinação de temperaturas (Erez *et al.*, 1979; Couvillon & Erez, 1985; Rageau *et al.*, 1998; Jacobs *et al.*, 2002; Naor *et al.*, 2003) e a relação entre os diferentes resultados e o seu efeito no estado fisiológico da planta (Young, 1992; Tehranifar *et al.*, 1998).

Os 16 experimentos realizados neste estudo, em ambiente controlado, poderão contribuir para sanar algumas dúvidas, fornecer novos parâmetros e levantar hipóteses sobre o mecanismo da dormência em gemas de macieira, estabelecendo relações com o ambiente, genótipo e manejo de cultivo. Os resultados dos parâmetros brotação máxima, precocidade e uniformidade estão apresentados por curvas de brotação brutas (Figuras 34 a 51) e suavizadas e nos gráficos de análise estatística (Apêndices 10 a 45).

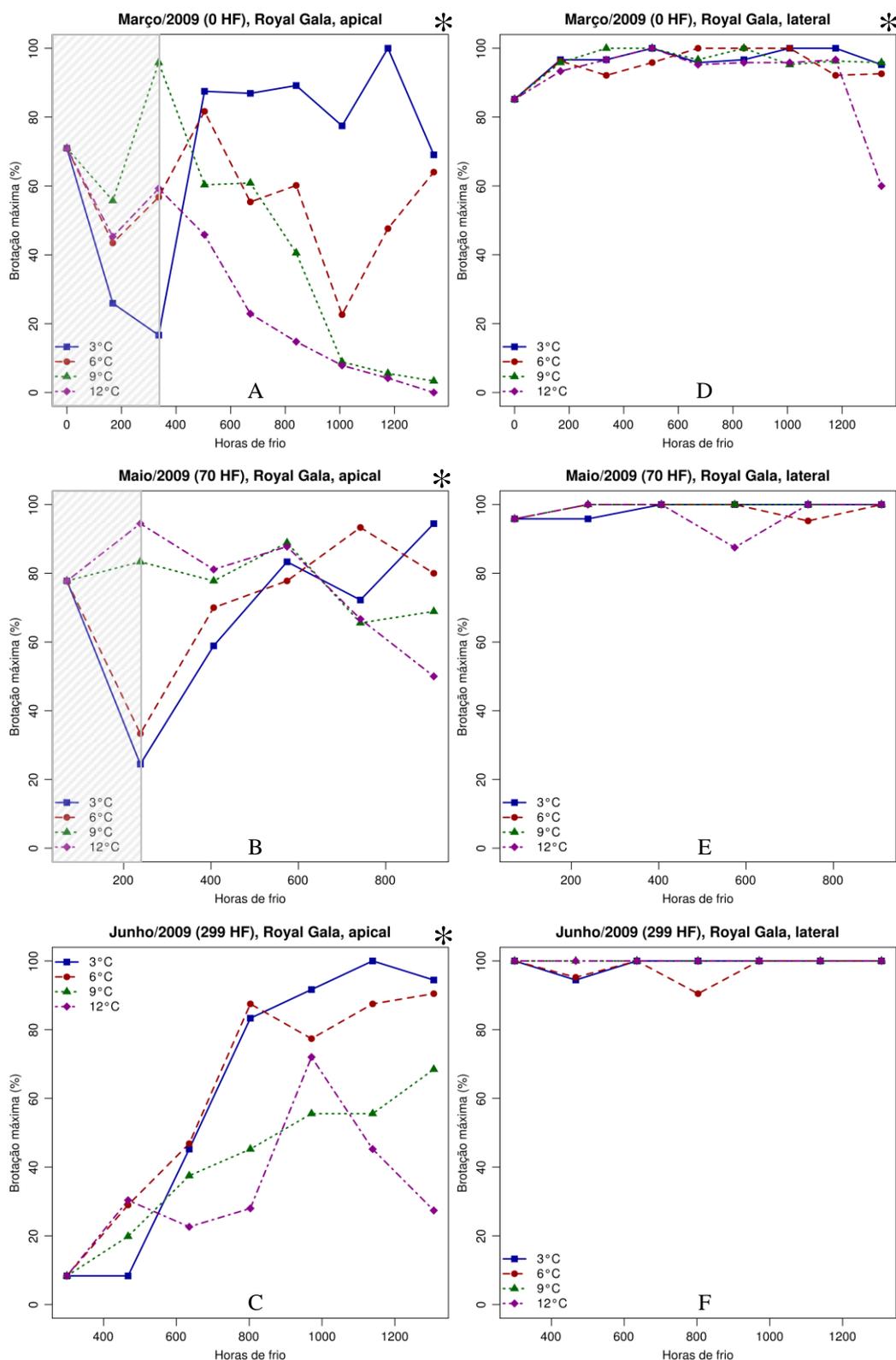


FIGURA 34. Brotação máxima de gemas apicais (A, B e C) e laterais (D, E e F) em estacas de nós isolados (método 3.3.1) de macieiras 'Royal Gala', submetidas às temperaturas constantes de 3, 6, 9 e 12°C, durante o período de dormência. Área hachurada: período de indução da endodormência. Área não hachurada: período de superação da endodormência. Somas de horas de frio (HF \leq 7,2°C) até a data de coleta estão indicadas no título dos gráficos. Os resultados referem-se às coletas de março, maio e junho de 2009. (*) Gráficos com ocorrência de diferenças significativas ($P < 0,01$) entre os tratamentos (ver análise estatística nos apêndices 10D, 10E, 10F e 11D). Bento Gonçalves, RS, 2009.

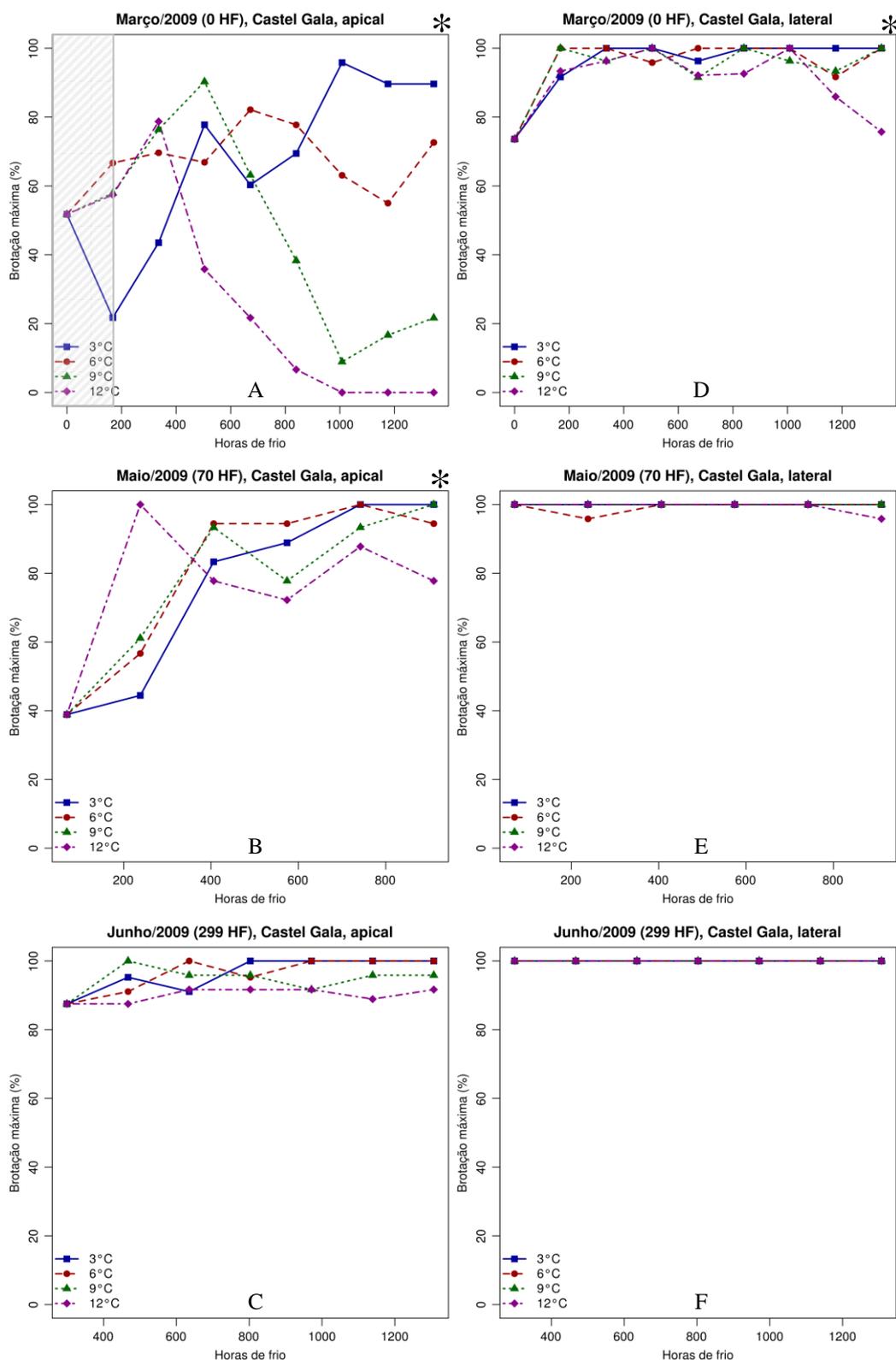


FIGURA 35. Brotação máxima de gemas apicais (A, B e C) e laterais (D, E e F) em estacas de nós isolados (método 3.3.1) de macieiras 'Castel Gala', submetidas às temperaturas constantes de 3, 6, 9 e 12°C, durante o período de dormência. Área hachureada: período de indução da endodormência. Área não hachureada: período de superação da endodormência. Somas de horas de frio ($HF \leq 7,2^\circ\text{C}$) até a data de coleta estão indicadas no título dos gráficos. Os resultados referem-se às coletas de março, maio e junho de 2009. (*) Gráficos com ocorrência de diferenças significativas ($P < 0,01$) entre os tratamentos (ver análise estatística nos apêndices 12D, 12E e 13D) Bento Gonçalves, RS, 2009.

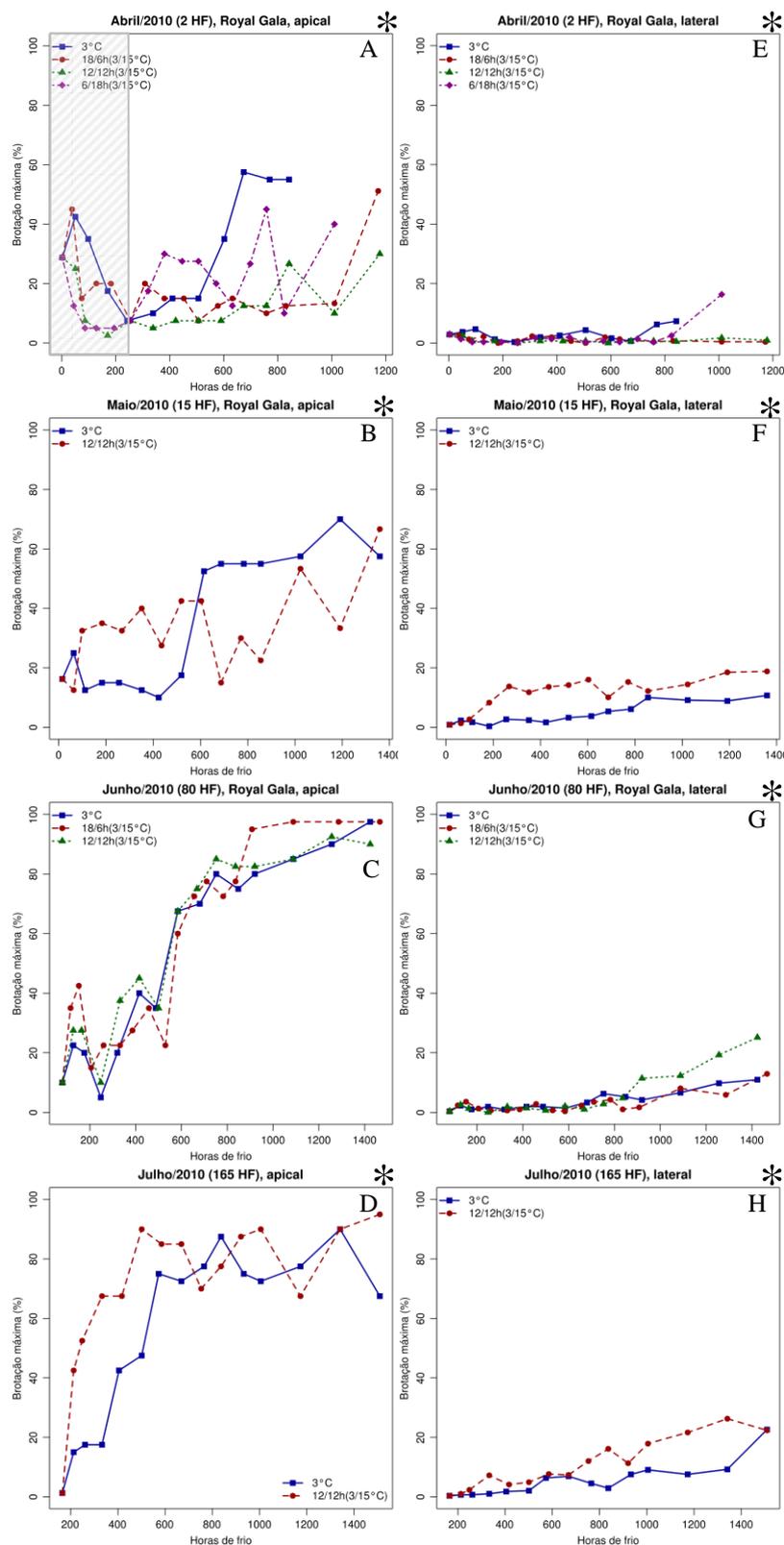


FIGURA 36. Brotação máxima de gemas apicais (A, B, C e D) e laterais (E, F, G e H) em estacas intactas (método 3.3.5) de macieiras 'Royal Gala', submetidas à temperatura constante de 3°C ou ciclos diários de 3/15°C por 18/6h, 12/12h e 6/18h, durante o período de dormência. Área hachureada: período de indução da endormência. Área não hachureada: período de superação da endormência. Somas de horas de frio (HF \leq 7,2°C) até a data de coleta estão indicadas no título dos gráficos. Os resultados referem-se às coletas de abril, maio, junho e julho de 2010. (*) Gráficos com ocorrência de diferenças significativas ($P < 0,01$) entre os tratamentos (ver análise estatística nos apêndices 14E, 14F, 14H, 15E, 15F, 15G, 15H). Bento Gonçalves, RS, 2010.

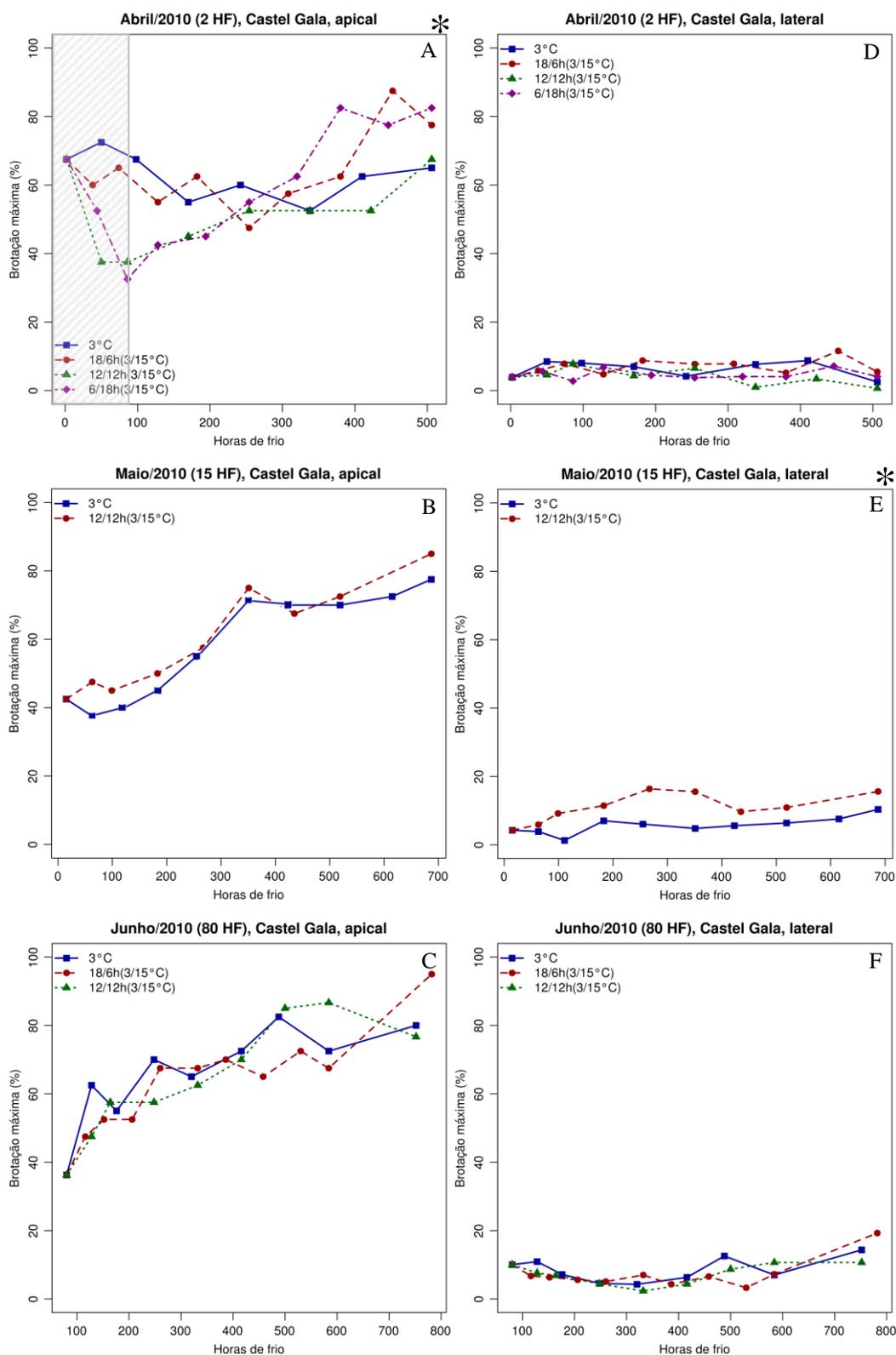


FIGURA 37. Brotção máxima de gemas apicais (A, B, e C) e laterais (D, E, e F) em estacas intactas (método 3.3.5) de macieiras 'Castel Gala', submetidas à temperatura constante de 3°C ou ciclos diários de 3/15°C por 18/6h, 12/12h e 6/18h, durante o período de dormência. Área hachurada: período de indução da endodormência. Somas de horas de frio (HF \leq 7,2°C) até a data de coleta estão indicadas no título dos gráficos. Os resultados referem-se às coletas de abril, maio e junho de 2010. (*) Gráficos com ocorrência de diferenças significativas ($P < 0,01$) entre os tratamentos (ver análise estatística nos apêndices 16D e 17E). Bento Gonçalves, RS, 2010.

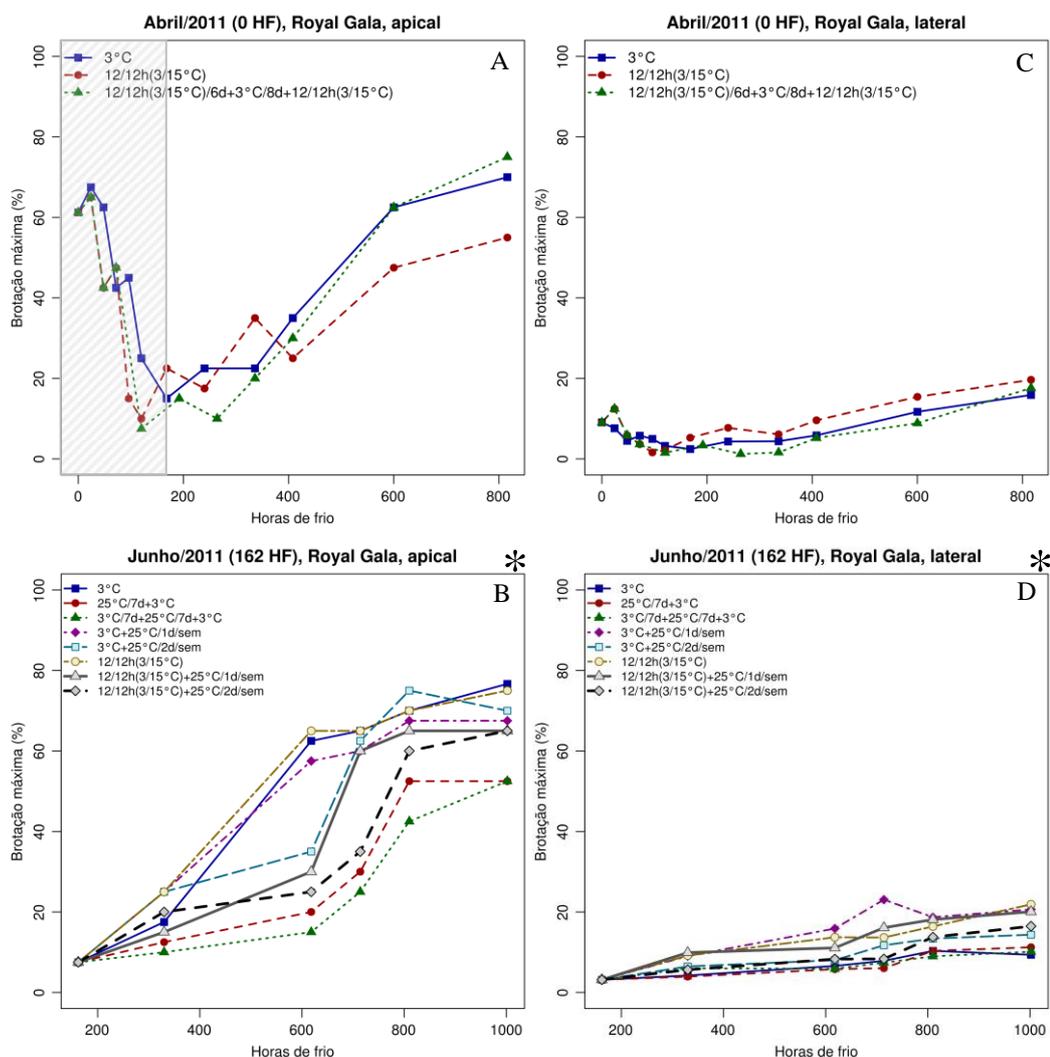


FIGURA 38. Brotação máxima de gemas apicais (A e B) e laterais (C e D) em estacas intactas (método 3.3.6) de macieiras 'Royal Gala', submetidas à temperatura constante de 3°C, ciclos diários de 3/15°C (12/12h) ou ondas de calor de 25°C em meio ao frio de 3°C ou 3/15°C (12/12h), durante o período de dormência. Área hachureada: período de indução da endodormência. Área não hachureada: período de superação da endodormência. Somas de horas de frio (HF \leq 7,2°C) até a data de coleta estão indicadas no título dos gráficos. Os resultados referem-se às coletas de abril e junho de 2011. (*) Gráficos com ocorrência de diferenças significativas (P<0,01) entre os tratamentos (ver análise estatística nos apêndices 18D e 19D). Bento Gonçalves, RS, 2011.

OBS.: Descrição dos tratamentos de abril: 3°C - 3°C constante; 12/12h(3/15°C) - ciclo diário de 12 horas a 3°C e 12 horas a 15°C; 12/12h(3/15°C)/6d+3°C/8d+12/12h(3/15°C) - 6 dias com ciclo diário de 12 horas a 3°C e 12 horas a 15°C, seguido de 8 dias a 3°C constante e, após, ciclo diário de 12 horas a 3°C e 12 horas a 15°C; Tratamentos de junho: 3°C - 3°C constante; 25°C/7d+3°C - 7 dias a 25°C, seguido de 3°C constante; 3°C/7d+25°C/7d+3°C - 7 dias a 3°C, seguido de 7 dias a 25°C e, após, 3°C constante; 3°C+25°C/1d/sem - 3°C constante com ondas de calor de 1 dia por semana a 25°C; 3°C+25°C/2d/sem - 3°C constante com ondas de calor de 2 dias por semana a 25°C; 12/12h(3/15°C)+25°C/1d/sem - ciclos diários de 12 horas a 3°C e 12 horas a 15°C, com ondas de calor de 1 dia por semana a 25°C; 12/12h(3/15°C)+25°C/2d/sem - ciclos diários de 12 horas a 3°C e 12 horas a 15°C, com ondas de calor de 2 dias por semana a 25°C.

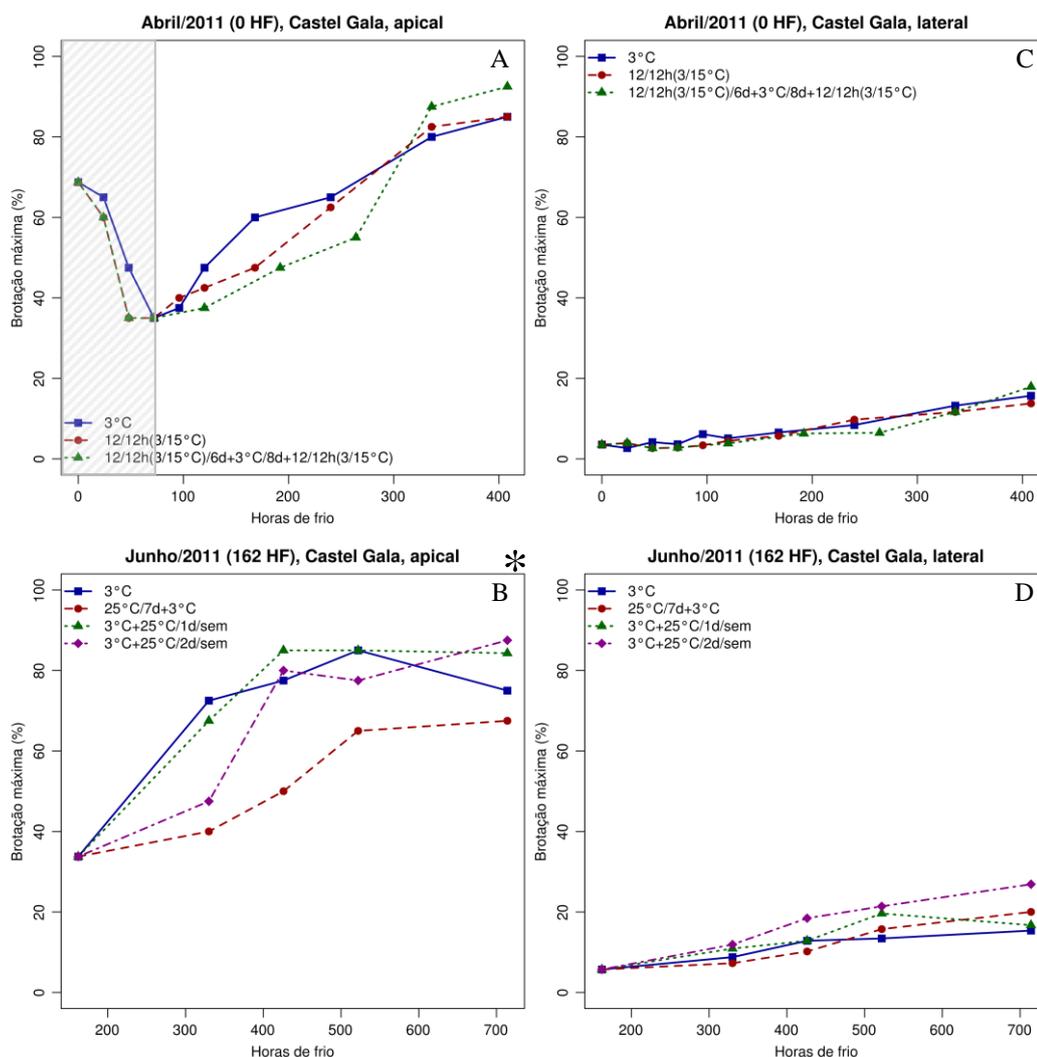


FIGURA 39. Brotação máxima de gemas apicais (A e B) e laterais (C e D) em estacas intactas (método 3.3.6) de macieiras 'Castel Gala', submetidas à temperatura constante de 3°C, ciclos diários de 3/15°C (12/12h) ou ondas de calor de 25°C em meio ao frio de 3°C, durante o período de dormência. Área hachureada: período de indução da endodormência. Área não hachureada: período de superação da endodormência. Somas de horas de frio (HF \leq 7,2°C) até a data de coleta estão indicadas no título dos gráficos. Os resultados referem-se às coletas de abril e junho de 2011. (*) Gráficos com ocorrência de diferenças significativas (P<0,01) entre os tratamentos (ver análise estatística nos apêndice 20D). Bento Gonçalves, RS, 2011.

OBS.: Descrição dos tratamentos de abril: 3°C - 3°C constante; 12/12h(3/15°C) - ciclo diário de 12 horas a 3°C e 12 horas a 15°C; 12/12h(3/15°C)/6d+3°C/8d+12/12h(3/15°C) – 6 dias com ciclo diário de 12 horas a 3°C e 12 horas a 15°C, seguido de 8 dias a 3°C constante e, após, ciclo diário de 12 horas a 3°C e 12 horas. Tratamentos de junho: 3°C - 3°C constante; 25°C/7d+3°C - 7 dias a 25°C, seguido de 3°C constante; 3°C+25°C/1d/sem – 3°C constante com ondas de calor de 1 dia por semana a 25°C; 3°C+25°C/2d/sem – 3°C constante com ondas de calor de 2 dias por semana a 25°C.

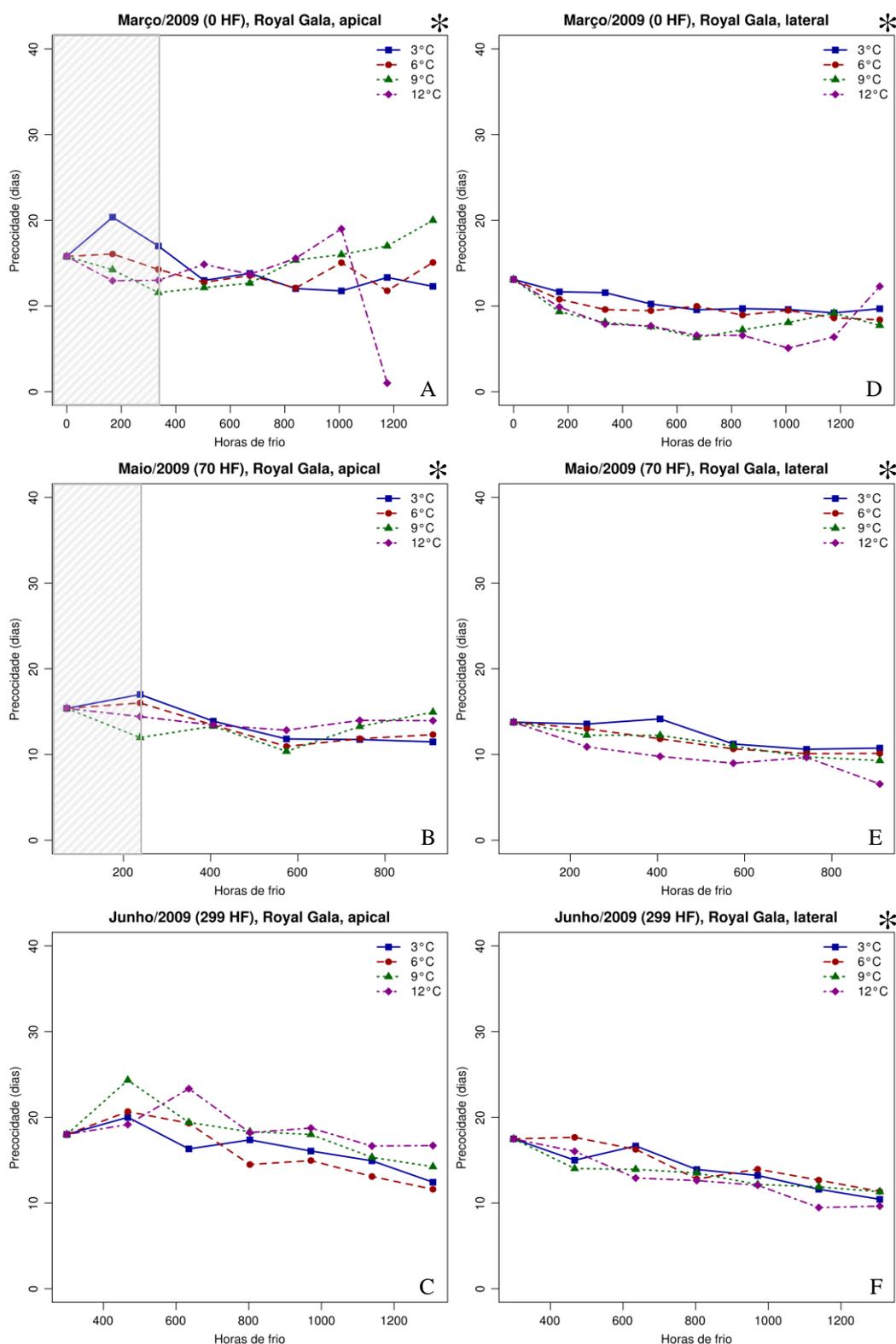


FIGURA 40. Precocidade da brotação de gemas apicais (A, B e C) e laterais (D, E e F) em estacas de nós isolados (método 3.3.1) de macieiras 'Royal Gala', submetidas às temperaturas constantes de 3, 6, 9 e 12°C, durante o período de dormência. Área hachureada: período de indução da endodormência, demarcada a partir do resultado do parâmetro brotação máxima das gemas apicais. Área não hachureada: período de superação da endodormência. Somas de horas de frio (HF \leq 7,2°C) até a data de coleta estão indicadas no título dos gráficos. Os resultados referem-se às coletas de março, maio e junho de 2009. (*) Gráficos com ocorrência de diferenças significativas (P<0,01) entre os tratamentos (ver análise estatística nos apêndices 22D, 22E, 23D, 23E e 23F). Bento Gonçalves, RS, 2009.

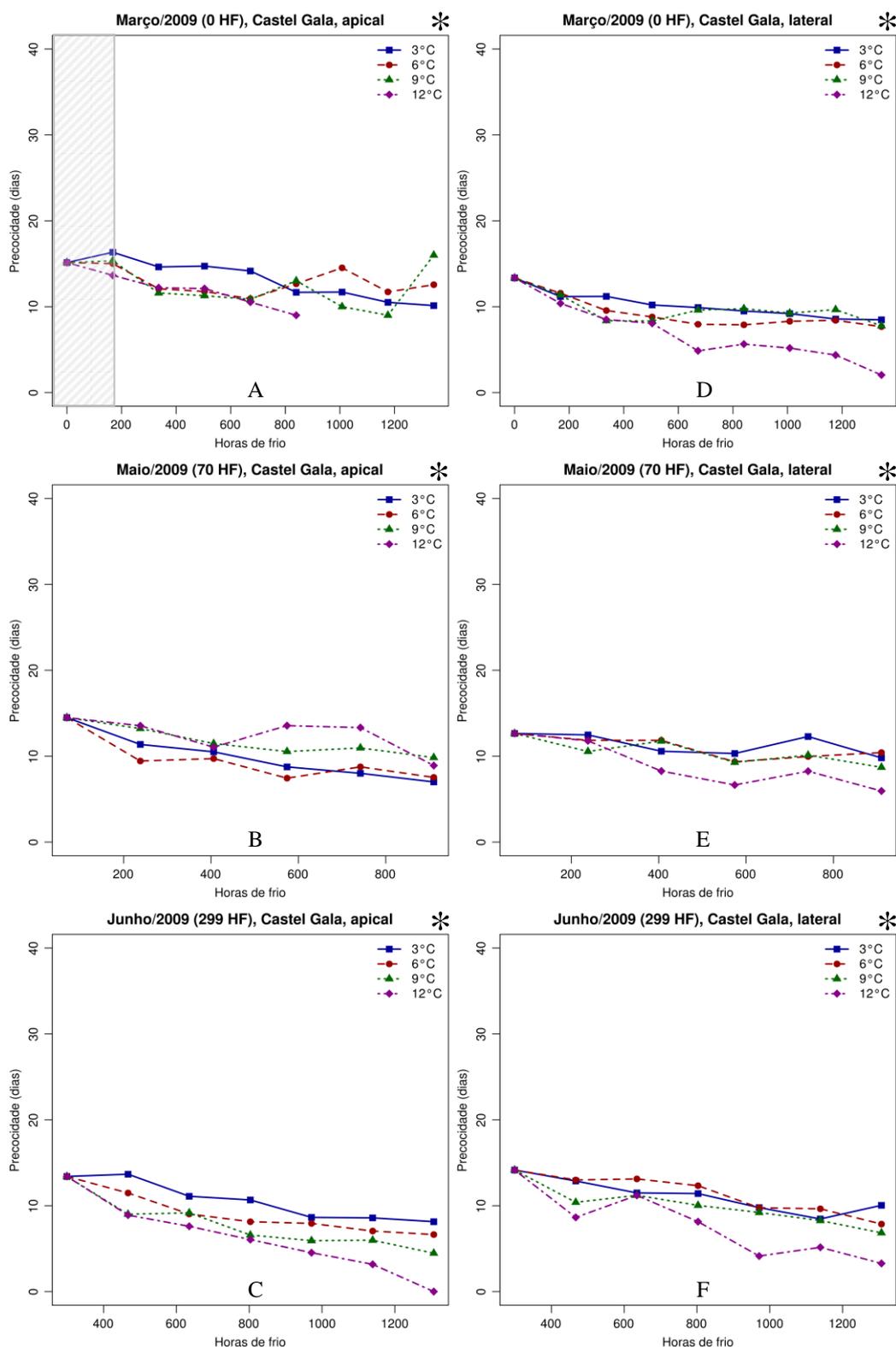


FIGURA 41. Precocidade da brotação de gemas apicais (A, B e C) e laterais (D, E e F) em estacas de nós isolados (método 3.3.1) de macieiras 'Castel Gala', submetidas às temperaturas constantes de 3, 6, 9 e 12°C, durante o período de dormência. Área hachureada: período de indução da endodormência, demarcada a partir do resultado do parâmetro brotação máxima das gemas apicais. Área não hachureada: período de superação da endodormência. Somas de horas de frio (HF \leq 7,2°C) até a data de coleta estão indicadas no título dos gráficos. Os resultados referem-se às coletas de março, maio e junho de 2009. (*) Gráficos com ocorrência de diferenças significativas ($P < 0,01$) entre os tratamentos (ver análise estatística nos apêndices 24D, 24E, 24F, 25D, 25E e 25F). Bento Gonçalves, RS, 2009.

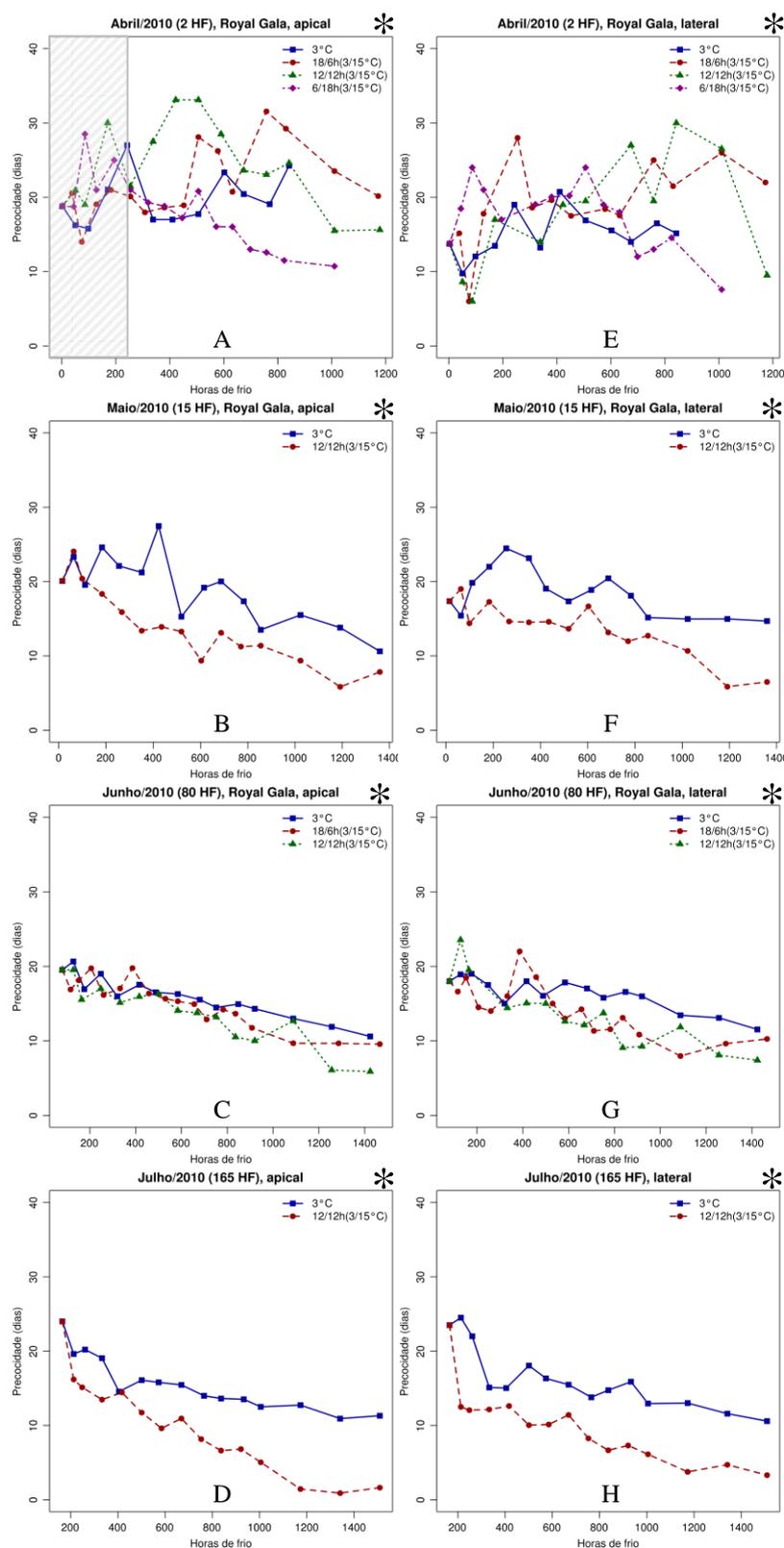


FIGURA 42. Precocidade da brotação de gemas apicais (A, B, C e D) e laterais (E, F, G e H) em estacas intactas (método 3.3.5) de macieiras 'Royal Gala', submetidas a 3°C constante ou ciclos diários de 3/15°C por 18/6h, 12/12h e 6/18h, na dormência. Área hachurada: período de indução da endodormência, demarcada a partir do resultado do parâmetro brotação máxima das gemas apicais. Área não hachurada: período de superação da endodormência. Somas de horas de frio (HF \leq 7,2°C) até a data de coleta estão indicadas no título dos gráficos. Os resultados referem-se às coletas de abril, maio, junho e julho de 2010. (*) Gráficos com ocorrência de diferenças significativas ($P < 0,01$) entre os tratamentos (ver análise estatística nos apêndices 26E, 26F, 26G, 26H, 27E, 27F, 27G e 27H). Bento Gonçalves, RS, 2010.

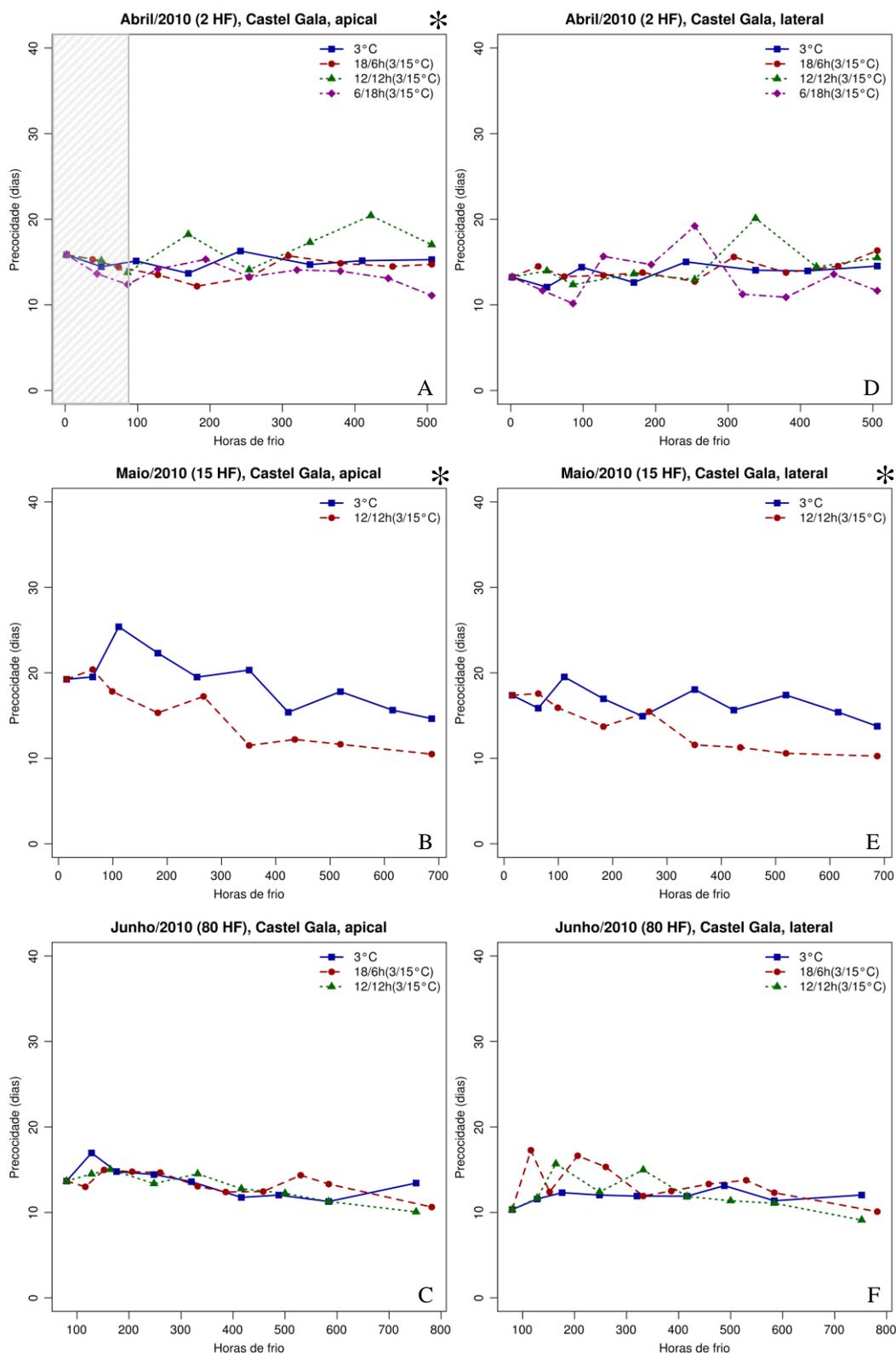


FIGURA 43. Precocidade da brotação de gemas apicais (A, B e C) e laterais (D, E e F) em estacas intactas (método 3.3.5) de macieiras 'Castel Gala', submetidas à temperatura constante de 3°C ou ciclos diários de 3/15°C por 18/6h, 12/12h e 6/18h, durante o período de dormência. Área hachureada: período de indução da endodormência, demarcada a partir do resultado do parâmetro brotação máxima das gemas apicais. Área não hachureada: período de superação da endodormência. Somas de horas de frio (HF \leq 7,2°C) até a data de coleta estão indicadas no título dos gráficos. Os resultados referem-se às coletas de abril, maio e junho de 2010. (*) Gráficos com ocorrência de diferenças significativas ($P < 0,01$) entre os tratamentos (ver análise estatística nos apêndices 28D, 28E e 29E). Bento Gonçalves, RS, 2010.

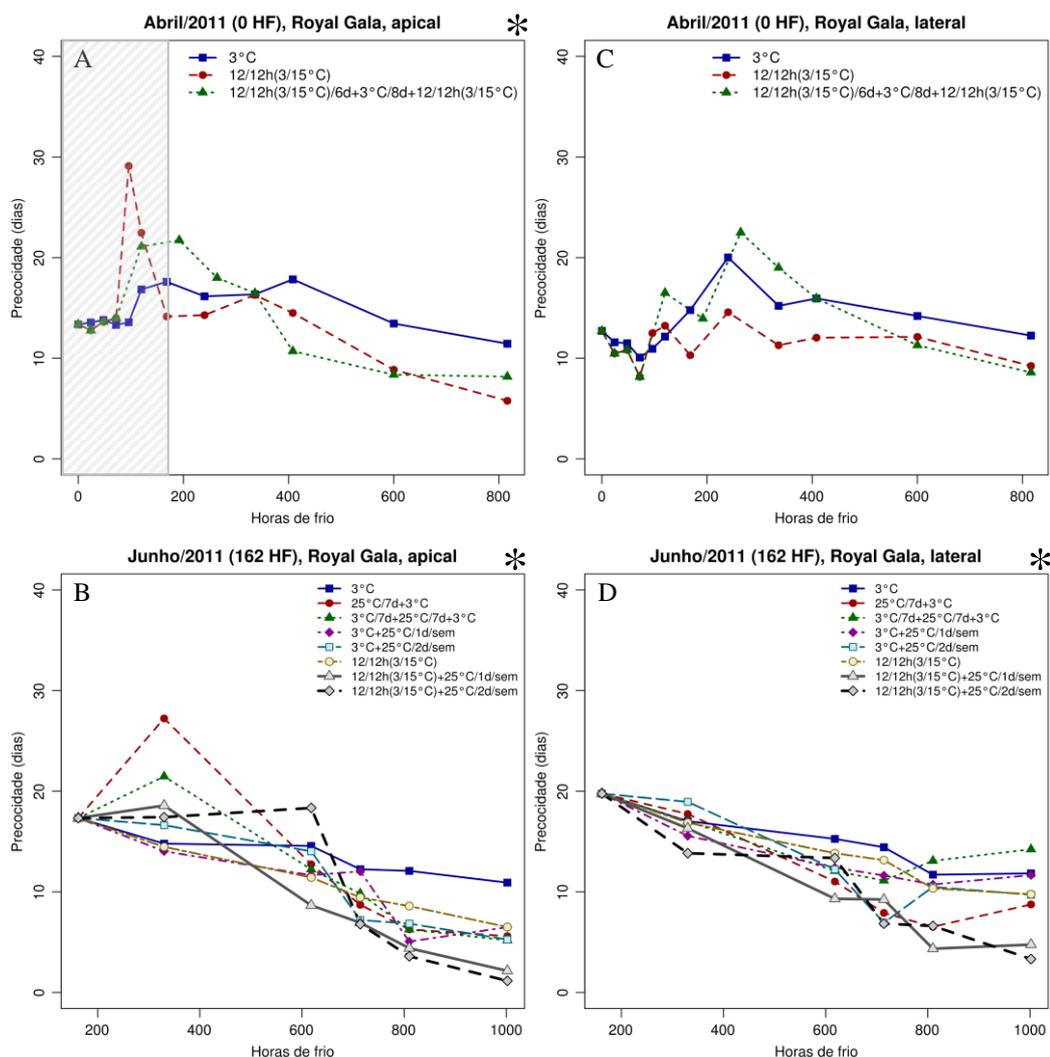


FIGURA 44. Precocidade da brotação de gemas apicais (A e B) e laterais (C e D) em estacas intactas (método 3.3.6) de macieiras 'Royal Gala', submetidas à temperatura constante de 3°C, ciclos diários de 3/15°C (12/12h) ou ondas de calor de 25°C em meio ao frio de 3°C ou 3/15°C (12/12h), durante o período de dormência. Área hachureada: período de indução da endodormência, demarcada a partir do parâmetro brotação máxima das gemas apicais. Área não hachureada: período de superação da endodormência. Somas de horas de frio (HF \leq 7,2°C) até a data de coleta estão indicadas no título dos gráficos. Os resultados referem-se às coletas de abril e junho de 2011. (*) Gráficos com ocorrência de diferenças significativas (P<0,01) entre os tratamentos (ver análise estatística nos apêndices 30C, 30D e 31D). Bento Gonçalves, RS, 2011.

OBS.: Descrição dos tratamentos de abril: 3°C - 3°C constante; 12/12h(3/15°C) - ciclo diário de 12 horas a 3°C e 12 horas a 15°C; 12/12h(3/15°C)/6d+3°C/8d+12/12h(3/15°C) - 6 dias com ciclo diário de 12 horas a 3°C e 12 horas a 15°C, seguido de 8 dias a 3°C constante e, após, ciclo diário de 12 horas a 3°C e 12 horas a 15°C; Tratamentos de junho: 3°C - 3°C constante; 25°C/7d+3°C - 7 dias a 25°C, seguido de 3°C constante; 3°C/7d+25°C/7d+3°C - 7 dias a 3°C, seguido de 7 dias a 25°C e, após, 3°C constante; 3°C+25°C/1d/sem - 3°C constante com ondas de calor de 1 dia por semana a 25°C; 3°C+25°C/2d/sem - 3°C constante com ondas de calor de 2 dias por semana a 25°C; 12/12h(3/15°C)+25°C/1d/sem - ciclos diários de 12 horas a 3°C e 12 horas a 15°C, com ondas de calor de 1 dia por semana a 25°C; 12/12h(3/15°C)+25°C/2d/sem - ciclos diários de 12 horas a 3°C e 12 horas a 15°C, com ondas de calor de 2 dias por semana a 25°C.

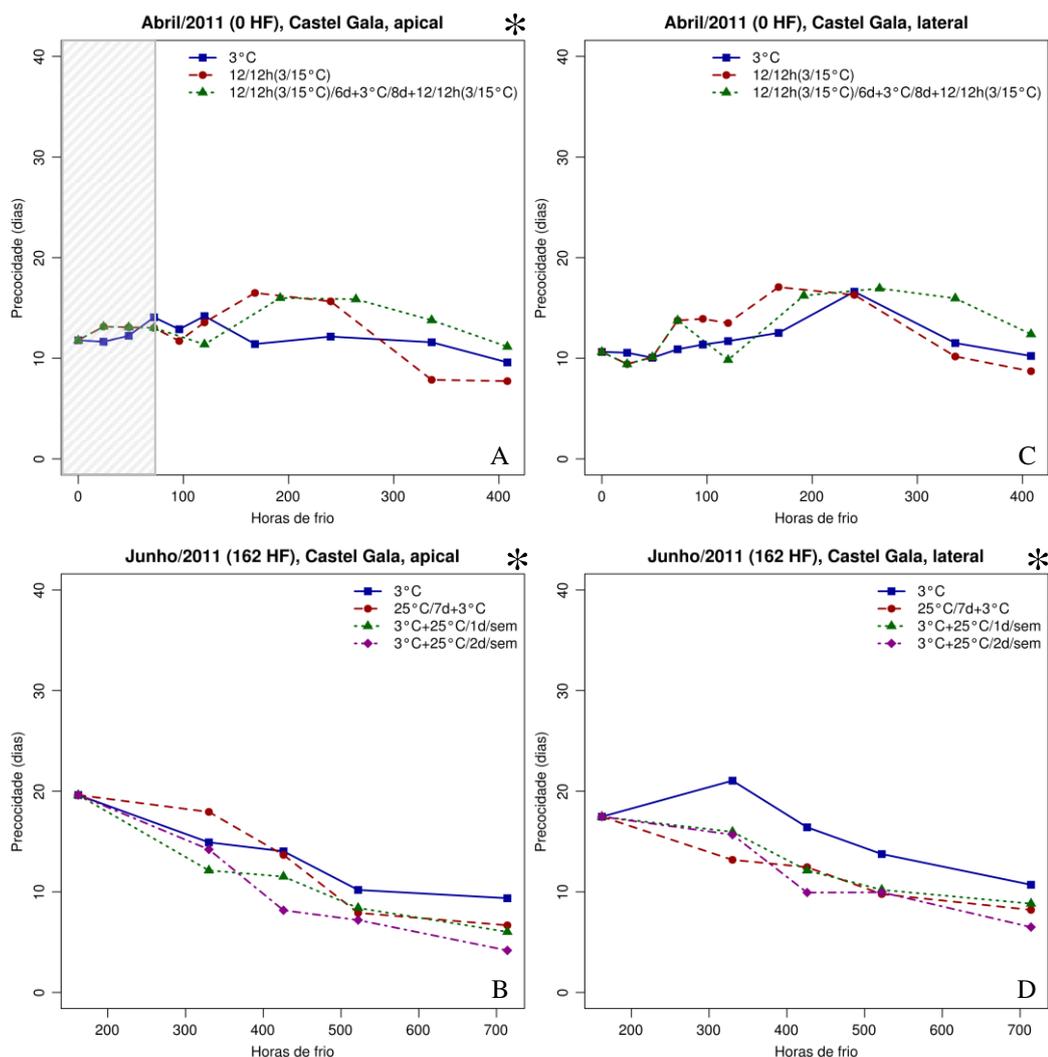


FIGURA 45. Precocidade da brotação de gemas apicais (A e B) e laterais (C e D) em estacas intactas (método 3.3.6) de macieiras 'Castel Gala', submetidas à temperatura constante de 3°C, ciclos diários de 3/15°C (12/12h) ou ondas de calor de 25°C em meio ao frio de 3°C, durante o período de dormência. Área hachureada: período de indução da endodormência. Área não hachureada: período de superação da endodormência. Somas de horas de frio (HF \leq 7,2°C) até a data de coleta estão indicadas no título dos gráficos. Os resultados referem-se às coletas de abril e junho de 2011. (*) Gráficos com ocorrência de diferenças significativas (P<0,01) entre os tratamentos (ver análise estatística nos apêndices 32C, 32D e 33D). Bento Gonçalves, RS, 2011.

OBS.: Descrição dos tratamentos de abril: 3°C - 3°C constante; 12/12h(3/15°C) - ciclo diário de 12 horas a 3°C e 12 horas a 15°C; 12/12h(3/15°C)/6d+3°C/8d+12/12h(3/15°C) – 6 dias com ciclo diário de 12 horas a 3°C e 12 horas a 15°C, seguido de 8 dias a 3°C constante e, após, ciclo diário de 12 horas a 3°C e 12 horas. Tratamentos de junho: 3°C - 3°C constante; 25°C/7d+3°C - 7 dias a 25°C, seguido de 3°C constante; 3°C+25°C/1d/sem – 3°C constante com ondas de calor de 1 dia por semana a 25°C; 3°C+25°C/2d/sem – 3°C constante com ondas de calor de 2 dias por semana a 25°C.

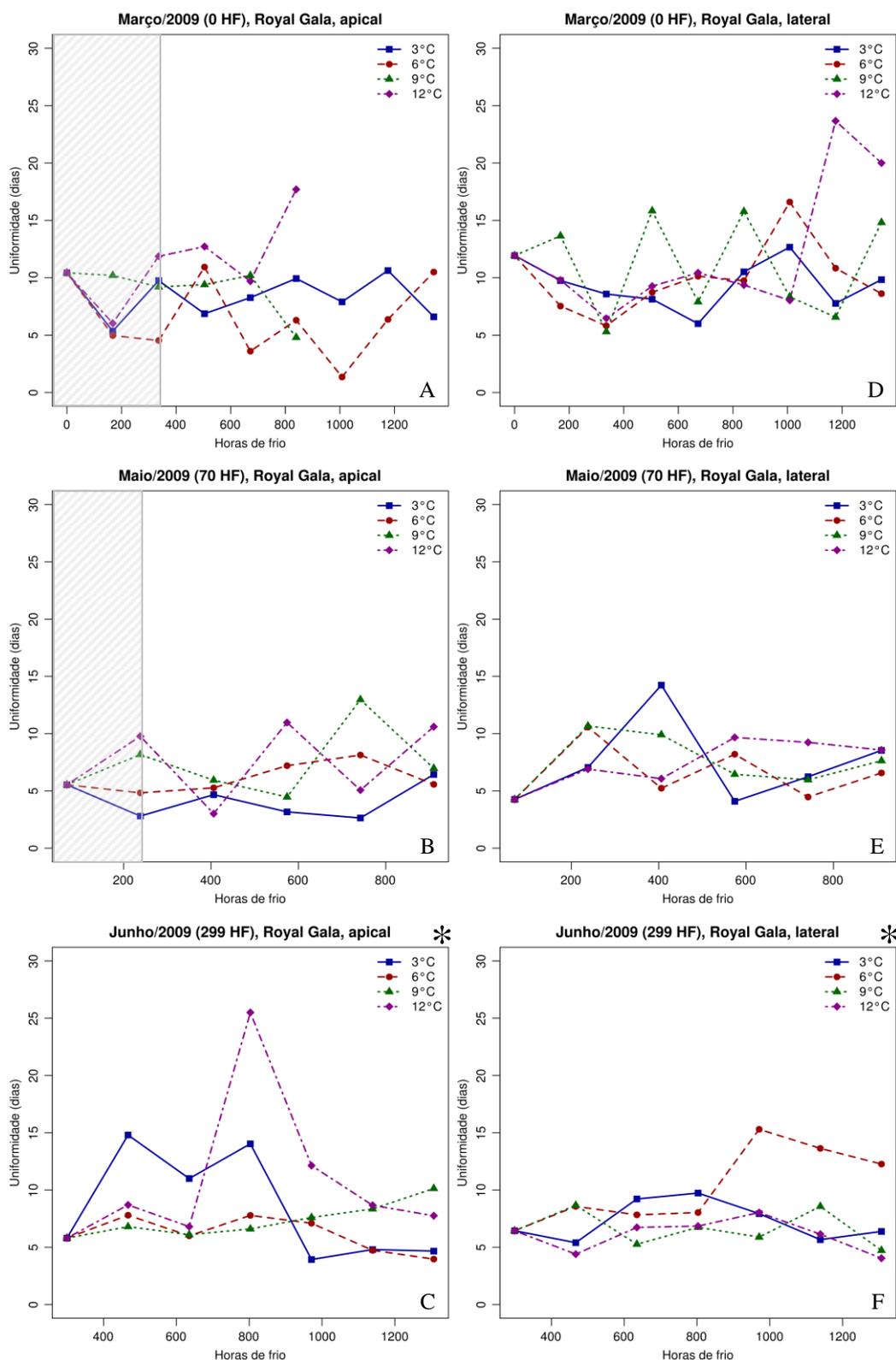


FIGURA 46. Uniformidade da brotação de gemas apicais (A, B e C) e laterais (D, E e F) em estacas de nós isolados (método 3.3.1) de macieiras 'Royal Gala', submetidas às temperaturas constantes de 3, 6, 9 e 12°C, durante o período de dormência. Área hachurada: período de indução da endodormência, demarcada a partir do resultado do parâmetro brotação máxima das gemas apicais. Área não hachurada: período de superação da endodormência. Somas de horas de frio (HF \leq 7,2°C) até a data de coleta estão indicadas no título dos gráficos. Os resultados referem-se às coletas de março, maio e junho de 2009. (*) Gráficos com ocorrência de diferenças significativas (P<0,01) entre os tratamentos (ver análise estatística nos apêndices 34F e 35F). Bento Gonçalves, RS, 2009.

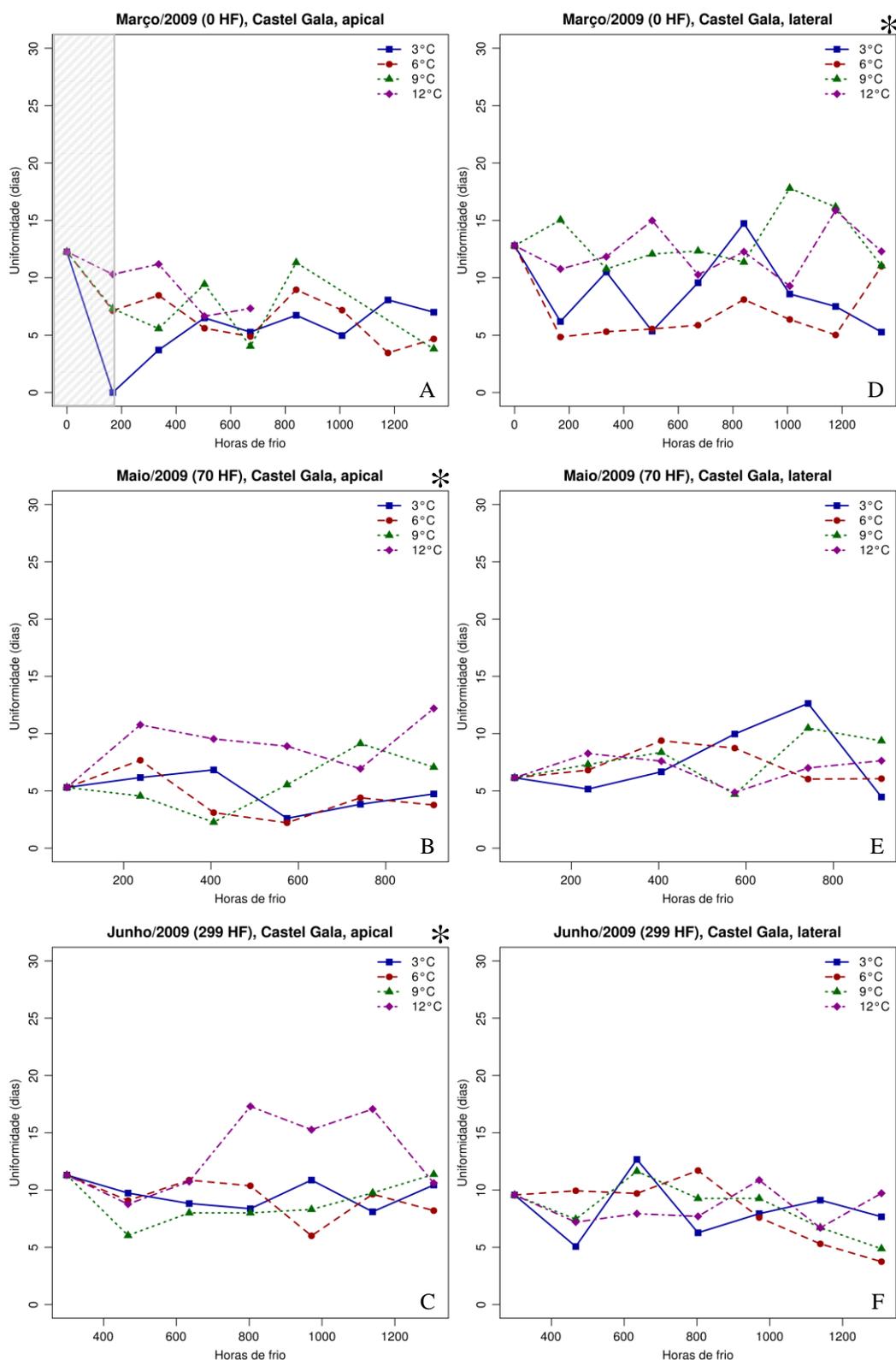


FIGURA 47. Uniformidade da brotação de gemas apicais (A, B e C) e laterais (D, E e F) em estacas de nós isolados (método 3.3.1) de macieiras 'Castel Gala', submetidas a temperaturas constantes de 3, 6, 9 e 12°C, durante o período de dormência. Área hachurada: período de indução da endodormência, demarcada a partir do resultado do parâmetro brotação máxima das gemas apicais. Área não hachurada: período de superação da endodormência. Somas de horas de frio (HF \leq 7,2°C) até a data de coleta estão indicadas no título dos gráficos. Os resultados referem-se às coletas de março, maio e junho de 2009. (*) Gráficos com ocorrência de diferenças significativas (P<0,01) entre os tratamentos (ver análise estatística nos apêndices 36E, 36F e 37D). Bento Gonçalves, RS, 2009.

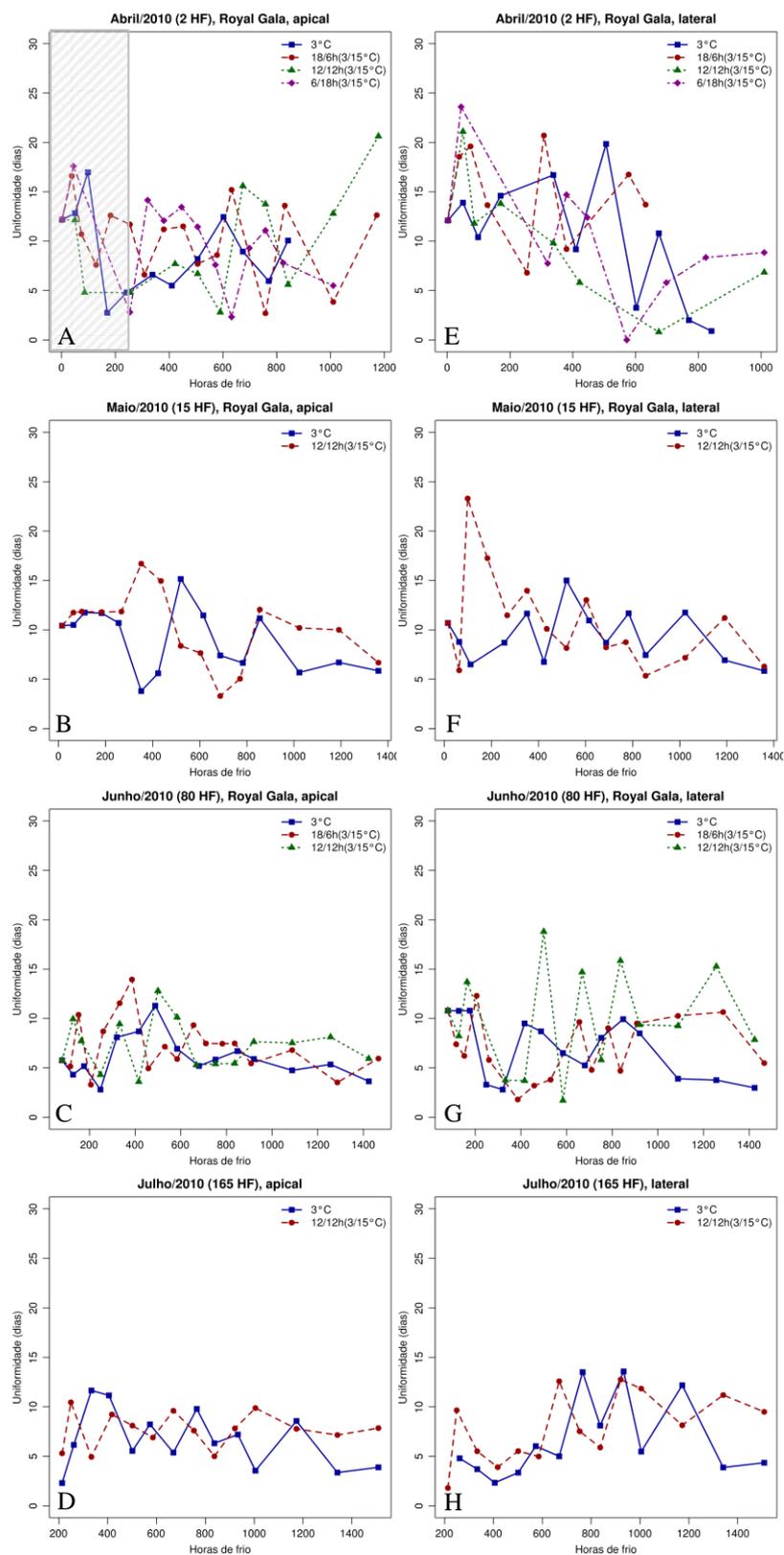


FIGURA 48. Uniformidade de brotação de gemas apicais (A, B, C e D) e laterais (E, F, G e H) em estacas intactas (método 3.3.5) de macieiras 'Royal Gala', submetidas à temperatura constante de 3°C ou ciclos diários de 3/15°C por 18/6h, 12/12h e 6/18h, durante o período de dormência. Área hachureada: período de indução da endodormência, demarcada a partir do resultado do parâmetro brotação máxima das gemas apicais. Área não hachureada: período de superação da endodormência. Somas de horas de frio (HF \leq 7,2°C) até a data de coleta estão indicadas no título dos gráficos. Os resultados referem-se às coletas de abril, maio, junho e julho de 2010. Bento Gonçalves, RS, 2010.

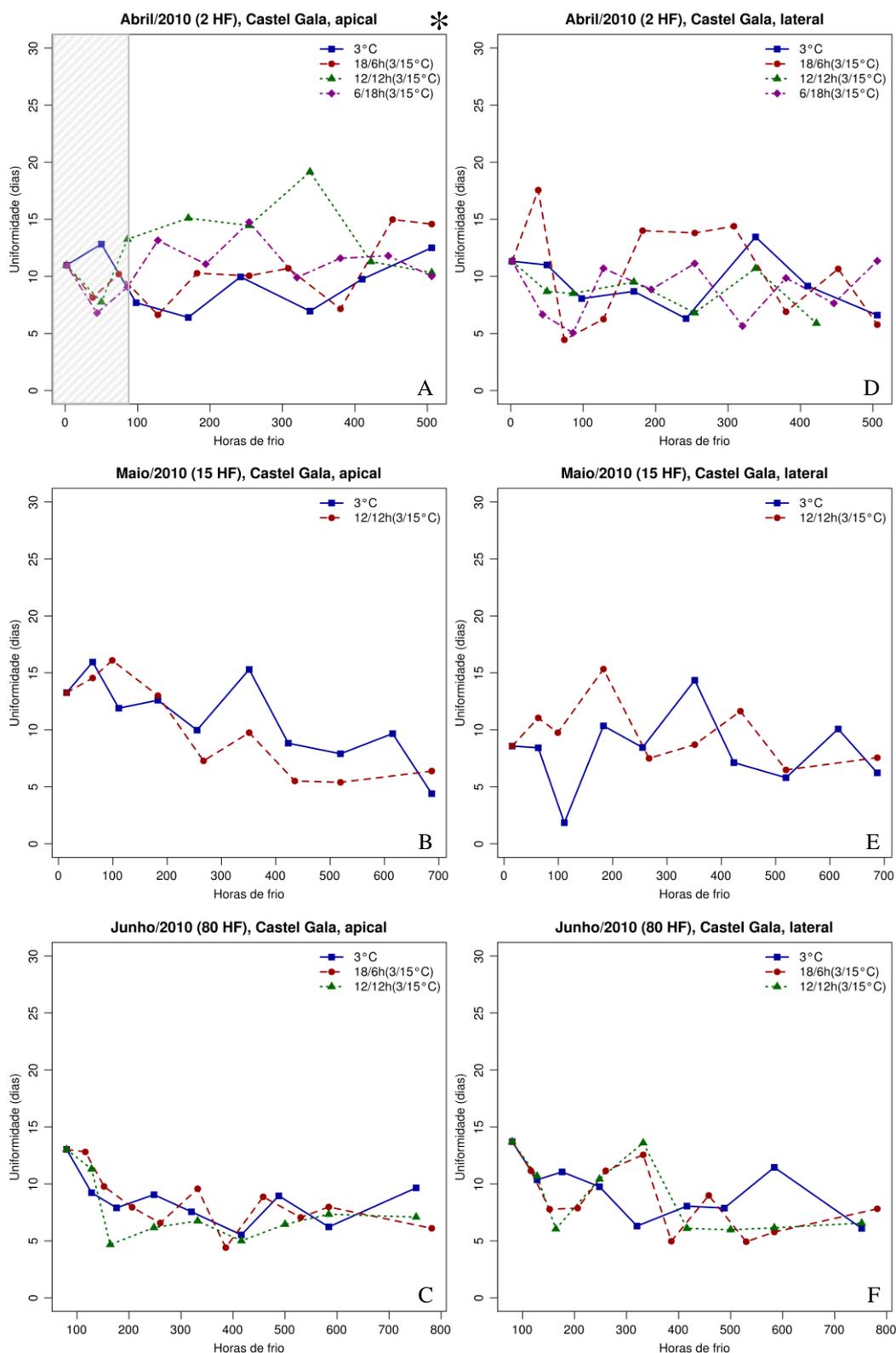


FIGURA 49. Uniformidade da brotação de gemas apicais (A, B e C) e laterais (D, E e F) em estacas intactas (método 3.3.5) de macieiras 'Castel Gala', submetidas à temperatura constante de 3°C ou ciclos diários de 3/15°C por 18/6h, 12/12h e 6/18h, durante o período de dormência. Área hachureada: período de indução da endodormência, demarcada a partir do resultado do parâmetro brotação máxima das gemas apicais. Área não hachureada: período de superação da endodormência. Somas de horas de frio (HF \leq 7,2°C) até a data de coleta estão indicadas no título dos gráficos. Os resultados referem-se às coletas de abril, maio e junho de 2010. (*) Gráficos com ocorrência de diferenças significativas ($P < 0,01$) entre os tratamentos (ver análise estatística no apêndice 40D). Bento Gonçalves, RS, 2010.

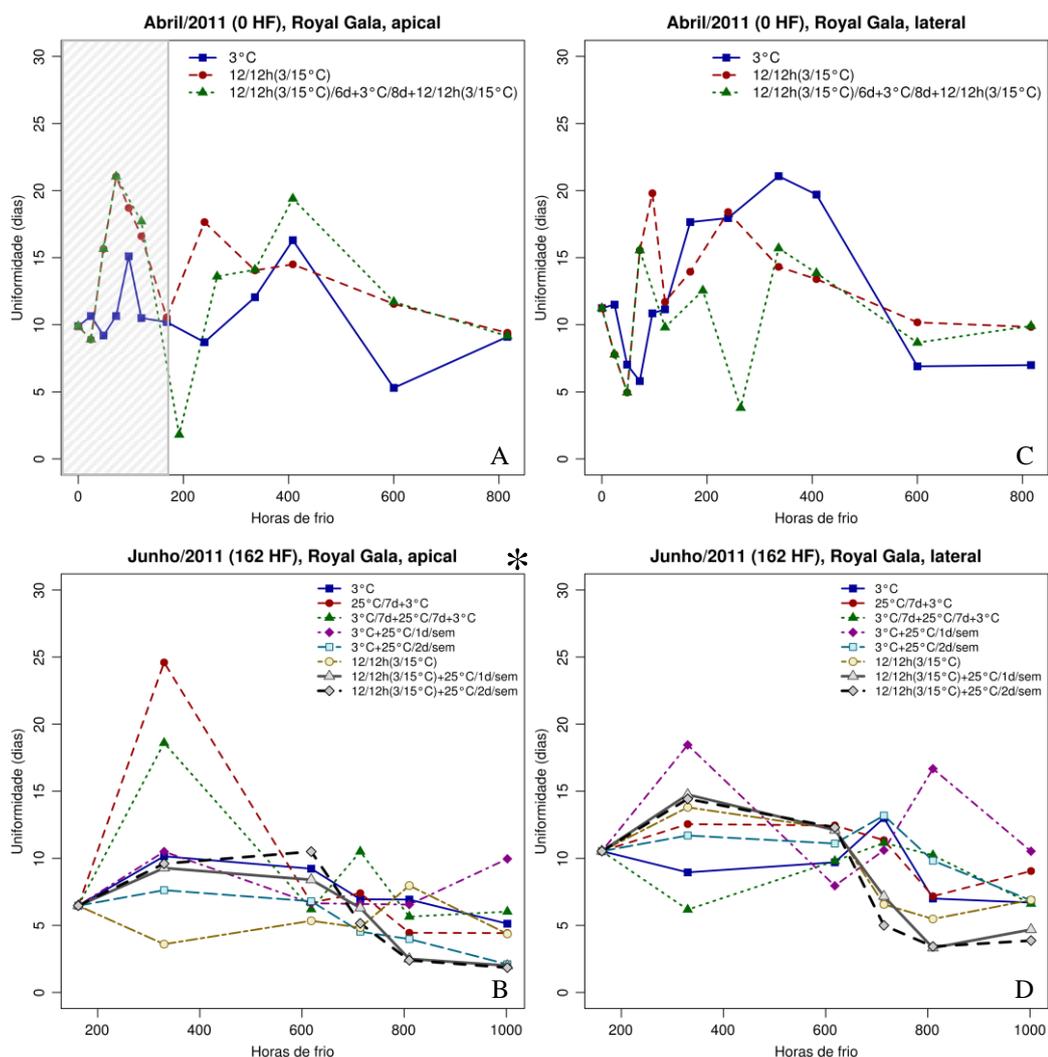


FIGURA 50. Uniformidade da brotação de gemas apicais (A e B) e laterais (C e D) em estacas intactas (método 3.3.6) de macieiras 'Royal Gala', submetidas à temperatura constante de 3°C, ciclos diários de 3/15°C (12/12h) ou ondas de calor de 25°C em meio ao frio de 3°C ou 3/15°C (12/12h), durante o período de dormência. Área hachureada: período de indução da endodormência, demarcada a partir do parâmetro brotação máxima das gemas apicais. Área não hachureada: período de superação da endodormência. Somas de horas de frio (HF \leq 7,2°C) até a data de coleta estão indicadas no título dos gráficos. Os resultados referem-se às coletas de abril e junho de 2011. (*) Gráficos com ocorrência de diferenças significativas (P<0,01) entre os tratamentos (ver análise estatística no apêndice 42D). Bento Gonçalves, RS, 2011.

OBS.: Descrição dos tratamentos de abril: 3°C - 3°C constante; 12/12h(3/15°C) - ciclo diário de 12 horas a 3°C e 12 horas a 15°C; 12/12h(3/15°C)/6d+3°C/8d+12/12h(3/15°C) – 6 dias com ciclo diário de 12 horas a 3°C e 12 horas a 15°C, seguido de 8 dias a 3°C constante e, após, ciclo diário de 12 horas a 3°C e 12 horas a 15°C; Tratamentos de junho: 3°C - 3°C constante; 25°C/7d+3°C - 7 dias a 25°C, seguido de 3°C constante; 3°C/7d+25°C/7d+3°C – 7 dias a 3°C, seguido de 7 dias a 25°C e, após, 3°C constante; 3°C+25°C/1d/sem – 3°C constante com ondas de calor de 1 dia por semana a 25°C; 3°C+25°C/2d/sem – 3°C constante com ondas de calor de 2 dias por semana a 25°C; 12/12h(3/15°C)+25°C/1d/sem – ciclos diários de 12 horas a 3°C e 12 horas a 15°C, com ondas de calor de 1 dia por semana a 25°C; 12/12h(3/15°C)+25°C/2d/sem – ciclos diários de 12 horas a 3°C e 12 horas a 15°C, com ondas de calor de 2 dias por semana a 25°C.

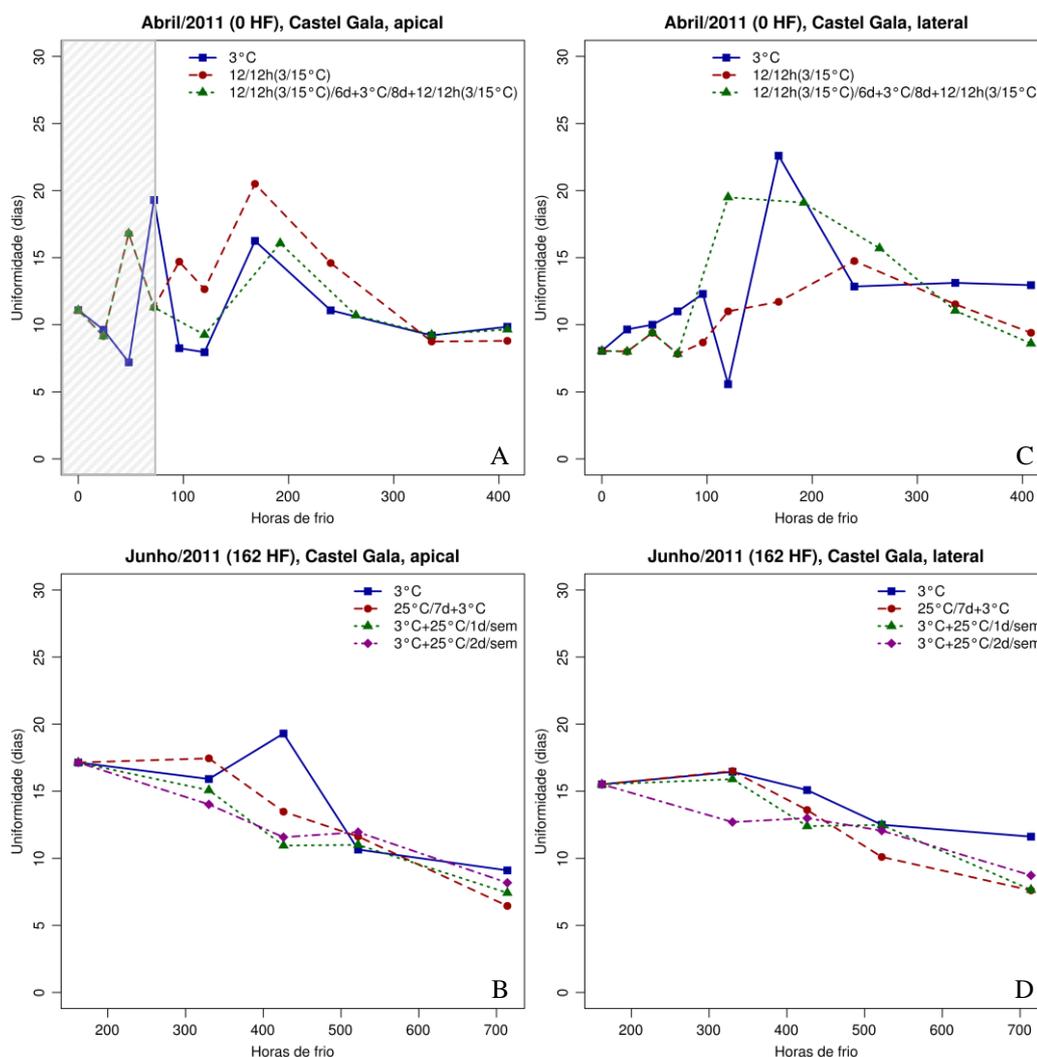


FIGURA 51. Uniformidade da brotação de gemas apicais (A e B) e laterais (C e D) em estacas intactas (método 3.3.6) de macieiras 'Castel Gala', submetidas à temperatura constante de 3°C, ciclos diários de 3/15°C (12/12h) ou ondas de calor de 25°C em meio ao frio de 3°C, durante o período de dormência. Área hachureada: período de indução da endodormência. Área não hachureada: período de superação da endodormência. Somas de horas de frio (HF \leq 7,2°C) até a data de coleta estão indicadas no título dos gráficos. Os resultados referem-se às coletas de abril e junho de 2011. Bento Gonçalves, RS, 2011.

OBS.: Descrição dos tratamentos de abril: 3°C - 3°C constante; 12/12h(3/15°C) - ciclo diário de 12 horas a 3°C e 12 horas a 15°C; 12/12h(3/15°C)/6d+3°C/8d+12/12h(3/15°C) - 6 dias com ciclo diário de 12 horas a 3°C e 12 horas a 15°C, seguido de 8 dias a 3°C constante e, após, ciclo diário de 12 horas a 3°C e 12 horas. Tratamentos de junho: 3°C - 3°C constante; 25°C/7d+3°C - 7 dias a 25°C, seguido de 3°C constante; 3°C+25°C/1d/sem - 3°C constante com ondas de calor de 1 dia por semana a 25°C; 3°C+25°C/2d/sem - 3°C constante com ondas de calor de 2 dias por semana a 25°C.

4.4.1 Indução da endodormência

Em 2009, foi determinada a temperatura efetiva para a indução do processo de endodormência, através de experimentos montados, na maioria, pelo teste de estacas de nós isolados (método nº 3.3.1). Já em 2010 e 2011, os experimentos foram realizados em estacas intactas (avaliados, principalmente, pelos métodos nºs 3.3.5 e 3.3.6), possibilitando o contraste de métodos para análise das temperaturas testadas em 2009 (apenas 3°C), além de avançar na caracterização de efeitos de temperaturas oscilantes para a entrada da endodormência de gemas de macieiras.

4.4.1.1 Respostas sobre o parâmetro brotação máxima

A indução da endodormência em condições controladas, sinalizada pela redução na capacidade de brotação das gemas nas diferentes temperaturas e tempos de exposição ocorreu, em 2009, para as coletas de março e maio na cv. Royal Gala e em março para a 'Castel Gala', nas gemas apicais (Figuras 34A, 34B e 35A). Em 2010 e 2011, a indução da endodormência foi observada em abril para ambas as cultivares (Figuras 36A, 37A, 38A e 39A).

Em 2009, as gemas laterais apresentaram-se totalmente ausentes de endodormência, sem nenhuma resposta de indução do processo, nas diferentes temperaturas de frio testadas (Figuras 34D, 34E e 35D), assim como observado para as condições térmicas de 2010 e 2011 (Figuras 36E, 37D, 38C e 39C). Este comportamento das gemas laterais em condições controladas mimetiza a resposta já observada daquelas submetidas ao frio apenas de campo (Figura 31), indicando que as gemas laterais, provavelmente, não entram em endodormência. Tal resultado contraria as informações descritas na literatura, em que as gemas laterais apresentam maior profundidade de dormência, se comparadas às gemas

apicais (Scalabrelli & Couvillon, 1986; Erez, 2000; Naor *et al.*, 2003; Petri *et al.*, 2006; Maguylo *et al.*, 2012).

Nas respostas das gemas apicais, as temperaturas de 3 e 6°C foram mais efetivas para acionarem a endodormência, principalmente 3°C, diferindo significativamente dos regimes de 9 e 12°C ($P < 0,0001$). Isto pode ser identificado no comparativo de resposta do parâmetro brotação máxima nos meses iniciais do período hibernal, para ambas as cultivares (Figuras 34A, 34B e 35A, área hachureada).

Na comparação entre os métodos de gema única (2009) e de estaca intacta (2010 e 2011), a temperatura de 3°C constante se manteve efetiva para ligar a endodormência em ambos os métodos de análise para a cv. Royal Gala (compare resultados de 3°C nas Figuras 34A, 34B, 36A e 38A, área hachureada). Entretanto, com relação à cv. Castel Gala, a avaliação em estacas intactas no início do período hibernal em 2010, a 3°C constante, não mimetizou o resultado de indução observada em março de 2009, com gema isolada, e de 2011, com estaca intacta (Figuras 35A, 37A e 39A, área hachureada). Salienta-se que, em 2010, as condições meteorológicas proporcionaram maior incidência da doença Mancha Foliar da Gala (*Colletotrichum* spp.), favorecendo a queda precoce das folhas, principalmente na 'Castel Gala'. Isto sugere que a 'Castel Gala' tenha menor sensibilidade ao frio para a entrada da endodormência, em anos com desfolha precoce induzida por fatores bióticos (doenças). No período hibernal de 2011 foi conduzido o experimento 15, o qual investigou o efeito da presença ou ausência da folha sobre a indução, profundidade e superação da endodormência. Os resultados são mostrados no item 4.6.3.

Os regimes com temperaturas alternadas (3/15°C), compostos com maior proporção de calor (12 ou 18 horas do dia a 15°C), em 2010, apresentaram maior

eficiência para acionar a endodormência na 'Castel Gala' ($P=0,0001$) e na 'Royal Gala' ($P<0,0001$), se comparados ao regime de 3°C constante (Figuras 36A e 37A, área hachureada). Em 2011, também houve uma tendência das temperaturas oscilatórias serem mais eficazes do que a temperatura constante para a indução da endodormência (Figuras 38A e 39A, área hachureada). Isto pode ser notado pela maior rapidez na entrada da endodormência proporcionada pelas temperaturas oscilatórias na 'Royal Gala' e 'Castel Gala' em relação à temperatura constante em 2010 e 2011 ou, mesmo, pela ausência de resposta à indução da endodormência na temperatura de 3°C, na cultivar Castel Gala, em abril de 2010. Tal fato indica que, para as gemas de macieiras acionarem a endodormência, bastam apenas algumas horas diárias de frio, e não, temperaturas extremamente baixas e constantes, no período de outono - inverno.

Para Cook *et al.* (2005) o efeito de temperaturas baixas em meio a temperaturas amenas outonais confere o reconhecimento do sinal que aciona o mecanismo da dormência em gemas de macieira. Este efeito provoca alterações nos tecidos meristemáticos das gemas que condicionam sua aptidão de resistir ao frio, além de contabilizar o número de horas necessárias para a saída da dormência. Segundo Cook & Jacobs (2000), eventos naturais, como geadas, podem manifestar o respectivo efeito sobre as gemas. Tais referências corroboram com os resultados da efetividade das temperaturas oscilantes para a indução da endodormência, mostrado nas cultivares Castel Gala e Royal Gala.

Em condições térmicas naturais, nas regiões sul brasileiras, a disponibilidade de frio no período de outono e inverno segue um padrão oscilatório, com temperaturas altas durante o dia e baixas à noite (Base de Dados Meteorológicos da Epagri e Embrapa, não publicados). Ao longo do outono essa variação diária favorece o aumento da proporção de temperaturas de frio em

detrimento às temperaturas elevadas. Portanto, o período de indução é coincidente com condições de maior predominância de temperaturas elevadas em relação às temperaturas de frio, o que justifica a maior eficácia dos tratamentos com maior proporção diária de temperatura a 15°C, como descrito acima.

Na análise conjunta dos três anos, considerando os regimes térmicos testados em abril de 2010 e 2011, avaliados com uma resolução temporal de 24 a 96 horas de frio (Figuras 36, 37, 38 e 39), além do cômputo do frio acumulado abaixo ou igual a 7,2°C em condições naturais (Figuras 31) notou-se que a quantidade de horas de frio necessária para a indução da endodormência se diferenciou entre as cultivares. A 'Castel Gala' necessitou de 48 a 72 horas de frio para acionar a endodormência, enquanto a Royal Gala a fez com 120 a 165 horas de frio (Figuras 31, 36A, 37A, 38A e 39A).

Apesar das exigências observadas em HF, em maio de 2010, um grande avanço na indução da endodormência foi observado para ambas as cultivares, com apenas 15HF ocorridas em condições de campo (compare a brotação no tempo zero entre os meses de abril e maio de 2010, Figuras 36B e 37B). Diante deste fato, salienta-se que a quantidade de frio não é o único fator determinante para a endodormência ser acionada. Dentre as prováveis causas, destaca-se a alta incidência de doenças no ciclo de 2009/2010, a qual pode ter motivado um estado de estresse às plantas (ex.: aumento de ácido abscísico e etileno), ocasionando uma paralisação antecipada no crescimento das gemas, e consequente, entrada precoce em dormência. Dessa forma, é importante destacar que a modelagem de indução da endodormência deve envolver uma série de fatores interligados, como frio associado a problemas fitossanitários, hídricos e/ou nutricionais da planta.

4.4.1.2 Respostas sobre os parâmetros precocidade e uniformidade

Quanto aos parâmetros precocidade e uniformidade da brotação, os regimes térmicos avaliados em 2009, 2010 e 2011 sinalizaram um aumento no tempo para brotação no período de entrada de endodormência, em alguns casos (ex.: Figuras 40A (apenas 3°C), 44A, 50A e 51A, área hachureada). Já, em outros não houve resposta evidente para indução da endodormência, independente da cultivar (ex.: Figuras 41A, 45A, 46A e 49D, área hachureada). As gemas laterais levaram menos tempo para brotar, se comparadas às gemas apicais, no período de entrada da endodormência (ex.: Figuras 40A, 40D, 44A e 44C, área hachureada). Esse contraste de precocidade entre tipos de gemas, observado tanto no método de estacas de nós isolados quanto de estacas intactas, reforça as informações antes salientadas de que as gemas laterais, possivelmente, não entram em endodormência, podendo responder em menor espaço de tempo ao estímulo de brotação, independente do regime térmico imposto.

Apesar de haver diversos métodos para prever a brotação de espécies frutíferas temperadas (Weinberger, 1950; Mota, 1957; Bidabé, 1967; Erez & Lavee 1971; Richardson *et al.*, 1974; Girealth & Buchanan, 1981; Shaltout & Unrath, 1983), a totalidade dos modelos consideram apenas a superação da endodormência para prever o início do ciclo vegetativo anual das plantas. No entanto, a superação da endodormência parece ser dependente da forma como a indução e a evolução do processo ocorrem, como será discutido no item seguinte. Assim, torna-se imprescindível modelar as respostas fisiológicas das gemas em contrastes de temperatura durante a entrada da endodormência para dar maior grau de ajuste e eficácia na estimativa da brotação de gemas em frutíferas temperadas.

4.4.2 Superação da endodormência

A superação da endodormência corresponde ao período de pós-indução do processo (brotação mínima) até o momento de retomada de níveis máximos de brotação, sinalizando a ativação metabólica para o crescimento das plantas, após o período hibernar. A saída da endodormência das gemas apicais das cultivares Royal Gala e Castel Gala, em condições controladas, ocorreu para todas as amostragens de gemas realizadas em 2009, 2010 e 2011. Exceto para junho de 2009 na 'Castel Gala', a qual apresentou a superação da endodormência ainda no campo, antes de ser submetida ao frio em ambiente controlado (Figura 31A). Os parâmetros brotação máxima, precocidade e uniformidade foram analisados ao longo do período de superação da endodormência, apresentados nas Figuras 34 a 51.

4.4.2.1 Respostas sobre o parâmetro brotação máxima

As respostas térmicas sobre o parâmetro brotação máxima, durante o período de superação, são apresentadas na forma de subitens, dada a grande quantidade de informações obtidas. Os itens compreendem as respostas da dormência às temperaturas constantes, oscilatórias e ondas de calor em meio ao frio.

a) Temperaturas de frio constantes

A seleção das temperaturas efetivas para a superação da dormência foi realizada em 2009 pelo método de gema única (método nº 3.3.1), com o intuito de isolar as condições térmicas que controlam a endodormência, sem a interferência da paradormência, conforme descrito por Leite (2004). Para o parâmetro brotação máxima, o frio efetivo para a superação da endodormência das gemas apicais

incluiu temperaturas mais altas para a cv. Castel Gala, em comparação à 'Royal Gala'. Para exemplificar, observou-se que nas coletas de maio e junho de 2009, após o estabelecimento da endodormência, a cv. Royal Gala necessitou de baixas temperaturas (3 e 6°C) para retomar níveis elevados de brotação, superando estatisticamente os regimes de 9 e 12°C ($P < 0,0001$) (Figuras 34B e 34C). Em contrapartida, a cv. Castel Gala superou a endodormência com todas as temperaturas de frio testadas (3, 6, 9 e 12°C), como mostrado pela coleta de maio de 2009 (Figura 35B). Além disso, a temperatura de 12°C conferiu maior estímulo para a superação da endodormência nesta cultivar ($P = 0,0047$), em relação aos demais tratamentos de temperatura.

Para Richardson *et al.* (1974) e Shaltout & Unrath (1983) as temperaturas de 3, 6, 9 e 12°C possuem pesos diferentes na escala de unidades de frio (UF), sendo as temperaturas mais elevadas consideradas menos impactantes (entre 3 e 6°C = 1 UF e entre 9 e 12°C = 0,5 UF). No entanto, os resultados obtidos salientam que a efetividade das temperaturas altas foi igual ou maior às mais baixas na cv. Castel Gala para a superação da endodormência, indicando a necessidade de se reavaliar os modelos para a predição da brotação em espécies e/ou cultivares frutíferas temperadas que apresentam menor necessidade de frio. Esta demanda também foi salientada por Putti *et al.* (2003), os quais afirmam a importância de se considerar intervalos maiores de temperaturas para modelagem da dormência em cultivares de macieira com menor exigência em frio. Trabalhando com pessegueiro, Chavarria *et al.* (2009) também observaram que temperaturas amenas de 10 e 15°C durante a dormência promovem adequados níveis de brotação para cultivares de baixa exigência em frio, como 'Turmalina' e 'Ágata'. Portanto, estas informações mostram que modelos de previsão do *status* da dormência e da capacidade de brotação devem ser específicos para cada

grupo de cultivar, considerando os contrastes de efeitos em cada faixa de temperatura.

Em 2010 e 2011, os experimentos foram estabelecidos com o objetivo de avaliar a dormência em condições mais próximas à realidade climática das regiões produtoras de maçã no Sul do Brasil. Para isso, foram considerados os contrastes de respostas das gemas de macieiras sob oscilações térmicas diárias e ondas de calor de diferentes intensidades, durante o período de dormência.

b) Oscilações térmicas diárias

Em relação às oscilações térmicas diárias testadas em 2010, representadas pelos experimentos n^os 6, 7, 8 e 9, houve variações das respostas das gemas apicais entre as cultivares e épocas de amostragens. Para a 'Royal Gala', nas primeiras amostragens (abril e maio) as respostas aos tratamentos oscilatórios foram desordenadas e pouco informativas, sendo a saída da endodormência promovida, eficientemente, apenas pela condição de 3°C constante ($P < 0,0001$) (Figuras 36A e 36B). Já, para a 'Castel Gala', na fase inicial (coleta de abril) a dormência foi superada pelos tratamentos de 12/12h e 6/18h nas temperaturas 3/15°C, respectivamente, com respostas superiores à temperatura de 3°C constante ($P = 0,0001$) (Figura 37A). Na fase intermediária-final do período hibernar, que correspondeu aos meses de maio/junho para 'Castel Gala' e junho/julho para 'Royal Gala', houve maior homogeneidade das respostas das cultivares aos regimes térmicos. Nesta fase, na amostragem de junho, a 'Royal Gala' não apresentou distinção marcante entre os tratamentos oscilatórios e constante (Figura 36C). Entretanto, na amostragem de julho (maior estado de dormência para 'Royal Gala'), o regime oscilatório conferiu maior estímulo para a superação da dormência ($P < 0,0001$), antecipando o alcance do

percentual máximo de brotação, se comparado à temperatura de 3°C (Figura 36D). Em contrapartida, para a 'Castel Gala', na fase intermediária-final, não se observou nenhum contraste entre os tratamentos térmicos constante e alternado (Figuras 37B e 37C). Tais características evidenciam diferenças dos genótipos à percepção do estímulo térmico para indução da brotação, de acordo com o estado de dormência das gemas amostradas a campo. No entanto, elas mostram, genericamente, que a superação da endodormência das gemas de macieiras pode ocorrer tanto com temperaturas baixas constantes, como alternadas em ciclos diários com temperaturas de calor moderadas (15°C), independente da profundidade da dormência e do grau de exigência de frio da cultivar.

Segundo Harrington *et al.* (2010) o acúmulo de frio e calor é necessário para a retomada de crescimento das gemas, no ciclo seguinte. Contudo, enquanto a função de frio durante a dormência está melhor compreendida pela literatura, o papel do calor ainda se apresenta obscuro durante o período hibernar. De acordo com Couvillon & Erez (1985), quando o calor ocorre no início do acúmulo de frio, a habilidade de superação da dormência das gemas será reduzida, atuando as temperaturas altas como fatores negativos à evolução da dormência. Contudo, estes autores também salientam que a ocorrência de calor após um significativo acúmulo de frio pode promover a liberação da dormência, o que é facilmente interpretado como efeito da temperatura em ecodormência. Mais recentemente, Jacobs *et al.* (2002); Heide & Prestrud (2005) e Campoy *et al.* (2011), salientam que a eficiência de diferentes tratamentos de temperatura está diretamente relacionada ao nível de dormência do material vegetativo coletado a campo, o que se aproxima dos resultados elucidados no presente estudo. Portanto, de acordo com Fuchigami & Nee (1987) e Falusi & Calmassi (2003), a

identificação do estágio de dormência das gemas é essencial para a correta interpretação dos resultados.

A distinção entre os genótipos na resposta ao estímulo térmico para o alcance da brotação, em algumas amostragens de 2010, pode estar relacionada ao fato da superação da endodormência depender da forma como a indução e a evolução do processo ocorrem no campo. Na 'Castel Gala', a ausência de superação da endodormência a 3°C constante na amostragem de abril de 2010 (Figura 37A) pode ter sido em decorrência da queda prematura das folhas, alterando a capacidade de percepção ao frio aplicado, tanto para a indução como para a superação do processo, em condições controladas. Para testar esta hipótese do efeito da folha sobre o estado de endodormência instalou-se o experimento 15, realizado durante o período hibernar de 2011, cujos resultados são apresentados no item 4.6.3.

Outro aspecto observado, que salienta a importância do período a campo precedente às coletas, é que a retomada da brotação, em condições controladas, foi mais efetiva nas amostragens cuja endodormência foi acionada ainda em ambiente natural, para ambas as cultivares. Nestes casos, temperaturas alternadas ou constantes se mostraram eficazes para a saída do processo da dormência, apresentadas pelas coletas de junho e julho na 'Royal Gala' e maio e junho na 'Castel Gala' (Figuras 36C, 36D, 37B e 37C). Contudo, nas amostragens em que a endodormência foi induzida em condições térmicas controladas, nem todos os regimes mostraram-se eficazes para a superação da mesma, como observado para a 'Royal Gala', em abril de 2010 (Figura 36A). Neste caso, regimes com temperaturas alternadas, embora eficientes para induzir a endodormência, não se apresentaram adequados para a etapa de superação do processo. Uma das hipóteses levantadas é de que as gemas de cultivares com

maior demanda de frio necessitem um período intenso de temperaturas baixas, entre a indução e superação da endodormência (sob temperaturas oscilantes de frio/calor). Ou seja, após o acúmulo de frio constante ou com pequenas oscilações diárias em temperaturas baixas, a etapa de superação poderá responder às temperaturas mais elevadas, em genótipos de maior necessidade de frio hibernal. Esta condição pode ser encontrada a campo nos períodos que precederam as coletas de junho e julho da cv. Royal Gala, justificando a eficiente superação da dormência em condições controladas com temperaturas alternadas. A fim de investigar a suposição levantada, em 2011 foi instalado o experimento 12, o qual se avaliou uma condição de frio intenso (3°C constante) em meio a períodos de temperaturas oscilatórias (3/15°C).

A necessidade de um período constante de frio, ao longo da endodormência, em cultivares de maior demanda de frio hibernal, e seu efeito sobre a superação do processo, é mostrada na Figura 38A. Notou-se que as gemas apicais de 'Royal Gala' submetidas a um período de 8 dias a 3°C constante, em meio as temperaturas alternadas de 3/15°C, apresentaram profundidade e superação da dormência similares ao tratamento constante (3°C), e com tendência de superioridade em relação ao regime com temperaturas oscilatórias. Portanto, este resultado reforça a ideia levantada da necessidade de um período intenso de frio na fase intermediária da endodormência para cultivares de maior requerimento de frio hibernal, para que ocorra uma brotação adequada. Para a 'Castel Gala', o frio constante intercalado também favoreceu a profundidade e estendeu a fase de máxima dormência, em relação aos demais tratamentos (Figura 39A). Além disso, este tratamento favoreceu a evolução final da superação da endodormência, promovendo um leve acréscimo no percentual máximo de brotação, em comparação aos outros regimes térmicos testados

(Figura 39A). Apesar destas tendências, as condições experimentais não conferiram variações significativas entre os tratamentos nas macieiras 'Royal Gala' e 'Castel Gala' ($P=0,42$ a $0,97$), o que sugere a necessidade de novos estudos nesta linha para caracterizar melhor os efeitos destas combinações térmicas.

No conjunto das relações entre indução e evolução da endodormência, com a etapa de superação do processo, observou-se que as exigências térmicas totais de frio das cultivares de macieira se apresentaram dependentes da intensidade de entrada da endodormência. Ou seja, se o percentual de brotação for próximo de zero, caracterizando uma dormência profunda (ex.: Royal Gala), as gemas, neste estado, exigirão uma maior quantidade de HF para superar a fase de endodormência e retomar a condição máxima de brotação. Para fins de modelagem, esta abordagem representa um grande avanço para ajustar, com maior eficácia, a predição da evolução da brotação, considerando as fases de resposta das plantas a distintos regimes térmicos ao longo do período hibernar.

Nos experimentos de 2009, 2010 e 2011, a saída da endodormência das cultivares em estudo foi determinada, exclusivamente, pela quantidade de frio imposta às gemas. Computando o frio ocorrido em condições naturais e em ambiente controlado foram necessárias cerca de 600 HF para a 'Royal Gala' (Figuras 34A, 34B, 34C, 36A, 36B, 36C, 36D, 38A e 38B) e em torno de 300 HF para a 'Castel Gala', para a superação da endodormência das gemas apicais (Figuras 35C, 37C, 39A e 39B), nos regimes de temperaturas constantes (principalmente a 3°C) e oscilatórias de $3/15^{\circ}\text{C}$. Estas necessidades de frio obtidas para as cultivares de macieiras em estudo são semelhantes às aquelas mostradas por Denardi & Seccon (2005) para a 'Castel Gala' e por Petri *et al.* (2006) para a cultivar Royal Gala.

Para Richardson *et al.* (1974) e Shaltout & Unrath *et al.* (1983) a temperatura de 3°C contribui com peso “1” na escala de unidades de frio e a temperatura de 15°C com peso “zero”, indicando que temperaturas moderadas, como 15°C (por 6, 12 ou 18 horas em meio ao frio), é calor para estimular crescimento, a partir da temperatura base, porém não é calor suficiente para anular o frio acumulado. Para Erez & Fishman (1990), temperaturas moderadas (15°C) em meio ao frio de 6°C não se mostraram prejudiciais, sendo inclusive benéficas para a superação da dormência em gemas de pessegueiro.

Vários estudos relacionam a importância de ciclos diários, em que temperaturas de calor (15 a 20°C), quando combinadas com temperaturas de frio (3 a 6°C), resultam em adequada superação da dormência de gemas (Overcash & Campbell, 1955; Guerriero *et al.*, 1985; Naor *et al.*, 2003). Couvillon & Erez (1985) verificaram que ciclos de 16 h a 18°C e 8 h a 6°C foram mais eficientes para a superação da endodormência, se comparadas às temperaturas de frio constantes. Young (1992) constatou que ciclos diários com as temperaturas de 20°C e 4°C nos regimes de 2/22h ou 4/20h, respectivamente, são mais efetivos para a superação da dormência do que em condições de temperatura constante a 4°C, especialmente quando aplicados em estágio mais avançado do período hibernar. No presente trabalho, ciclos diários de temperaturas de frio/calor foram mais eficazes para a indução do endodormência (ver item 4.4.1), porém mostraram efeito similar às baixas temperaturas contínuas para a saída do processo. Contudo, a intercalação de uma fase de temperatura constante entre as fases de indução e superação, sob temperaturas oscilantes (frio/calor), pode favorecer a resposta de temperaturas alternadas durante a saída da dormência, como descrito anteriormente.

c) Ondas de calor em meio ao frio

Os resultados da aplicação de “ondas de calor” e/ou efeitos de temperaturas elevadas em diferentes momentos da endodormência, testados em 2011, são mostrados nas Figuras 38B e 39B para as cultivares Royal Gala e Castel Gala. Em termos gerais, ondas de calor de 25°C durante a endodormência resultaram em aumento da necessidade do número de HF para a retomada da brotação das gemas. Além disso, verificou-se que o efeito negativo das altas temperaturas dependeu do tempo em que elas permaneceram e do regime térmico em que as gemas foram submetidas. No tratamento a 3°C constante, exposições de 24 horas a 25°C por semana não resultaram em aumento no número de horas de frio para a superação da dormência. Contudo, exposições de 48 horas a 25°C por semana elevaram em até 100 horas o requerimento de frio das cultivares durante a endodormência. Já, em meio a temperaturas alternadas de 3/15°C, exposições de 24 horas a 25°C por semana acarretaram em aumento de aproximadamente 100 horas de frio para a superação da dormência e exposições de 48 horas a 25°C por semana acresceram em cerca de 200 horas a necessidade de frio das cultivares durante a endodormência. Períodos prolongados de calor em meio à dormência (uma semana a temperatura de 25°C), também resultaram em maior necessidade de frio (≥ 200 HF) para as cultivares superarem a endodormência, se comparada a sua exigência normal durante o período hibernal.

Para a ‘Royal Gala’, três grupos formaram-se entre os tratamentos, pelo dendrograma da análise estatística (Apêndice 18D). Os regimes térmicos a 3°C constante, alternado 3/15°C (12/12h) e 3°C com um dia por semana a 25°C não diferiram entre si e exigiram, em média, 600HF para a superação da dormência. Estes três tratamentos diferiram significativamente dos tratamentos de 3°C com

dois dias por semana a 25°C e do regime alternado 3/15°C (12/12h) com um dia por semana a 25°C, os quais elevaram para 700HF a saída da dormência ($P=0,0068$). Estes dois grupos, por sua vez, se distinguiram do tratamento alternado 3/15°C (12/12h) com dois dias por semana a 25°C, que demandaram aproximadamente 800HF, e dos regimes com ondas de calor de sete dias a 25°C, que exigiram de 800 a 1000 HF ($P<0,0001$), durante a dormência.

Na mesma análise para a 'Castel Gala' formaram-se, igualmente, três grupos (Apêndice 20D), o que salienta um efeito geral e independente das exigências térmicas do genótipo, com relação às ondas de calor em meio ao frio. Os tratamentos de 3°C constante e 3°C com um dia por semana a 25°C foram similares, atingindo 300HF para a superação da dormência. Estes diferiram do tratamento de 3°C com dois dias por semana a 25°C, o qual elevou para 400 HF o somatório de frio para saída da dormência ($P=0,040$). Por sua vez, os dois grupos anteriores diferenciaram-se do tratamento de 3°C com sete dias de calor a 25°C em meio à endodormência, que elevou para 500 HF a demanda de frio para o alcance de níveis máximos de brotação ($P=0,0001$).

Nas Figuras 38B e 39B verificou-se também uma relação direta entre a duração do calor e a capacidade de retomada da brotação. Efeitos menores de calor (1 ou 2 dias a 25°C/semana) fazem com que as plantas recuperem seu potencial máximo de brotação. Já, efeitos maiores (7 dias a 25°C em meio ao frio), prejudicam a capacidade de brotação, fazendo com que as plantas não consigam restabelecer altos níveis de brotação, mesmo com o aumento de HF.

Na Tabela 6 é mostrada uma comparação entre as quantidades de frio estimadas para a superação da endodormência, pelos modelos de $HF \leq 7,2^\circ\text{C}$, Utah, Carolina do Norte, Utah Modificado e Carolina do Norte Modificado, para as cultivares Royal Gala e Castel Gala, nos ensaios realizados sobre a coleta de

junho de 2011 (experimento nº13). Considerando a reversão horária imediata da temperatura de 25°C para peso “-1” na escala de unidades de frio de Utah (Richardson *et al.*,1974) e “-2” na escala de Carolina do Norte (Shaltout & Unrath *et al.*, 1983), e a anulação do frio por altas temperaturas somente por 96 h contínuas, no Utah Modificado e Carolina do Norte Modificado (Ebert *et al.*, 1986), uma defasagem grande na quantidade de frio necessária para a superação da dormência foi verificada entre os métodos/modelos analisados. A formulação dos modelos de unidades de frio propõe ser similar a quantidade de frio para a superação da dormência (ex.: 300 UF para ‘Castel Gala’ e 600 UF para ‘Royal Gala’), independente do regime térmico hibernal (Richardson *et al.*,1974; Shaltout & Unrath *et al.*; 1983; Ebert *et al.*, 1986). No entanto, na maioria dos casos isto não ocorreu, principalmente, nos regimes com elevada quantidade de calor em meio ao frio, durante o período de dormência. Isto demonstra que os modelos de UF, preconizados como eficientes por alguns autores (Ebert *et al.*, 1986; Erez, 2000), mostram-se pouco confiáveis e, em sua maioria, imprecisos, em condições com presença de ondas de calor em meio ao inverno, podendo estarem passíveis de sofrerem alterações à realidade climática do Sul do Brasil.

TABELA 6. Quantidade de frio para a superação da endodormência, estimada pelos modelos de Horas de Frio ($HF \leq 7,2^{\circ}\text{C}$), Utah, Carolina do Norte, Utah Modificado e Carolina do Norte Modificado, para as cultivares Royal Gala (G) e Castel Gala (K), nos tratamentos do experimento 13 - junho de 2011. Bento Gonçalves, RS, 2011.

Tratamento	Cultivar	Modelos				
		HF \leq 7,2°C	Utah	Carolina do Norte	Utah Modificado	Carolina do Norte Modificado
3°C	K	330	330	330	330	330
3°C	G	618	618	618	618	618
3°C/15°C (12/12h)	G	618	618	618	618	618
3°C + 25°C/1d/sem	K	330	306	283	306	283
3°C + 25°C/2d/sem	K	426	330	234	330	234
25°C/7d + 3°C	K	522	354	186	450	378
3°C + 25°C/1d/sem	G	618	546	474	546	474
3°C + 25°C/2d/sem	G	714	474	234	474	234
3°C/15°C (12/12h) + 25°C/1d/sem	G	714	522	330	522	330
3°C/15°C (12/12h) + 25°C/2d/sem	G	810	282	-246	282	-246
25°C/7d + 3°C	G	810	642	474	738	666
3°C + 25°C/7d + 3°C	G	1002	834	666	930	858

Para Petri *et al.* (2006) flutuações de temperatura fazem com que seja necessário aumento na quantidade de frio durante a dormência das frutíferas de clima temperado. Erez & Lavee (1971) verificaram que o efeito negativo de temperaturas elevadas depende da sua duração e intensidade. Exposições de 2 a 4 h a 21°C não acarretaram prejuízo. Porém, quando superiores a 8 h tiveram efeito anulador das horas de frio. Em temperatura mais alta (24°C), 2 h de exposição já podem mostrar efeito anulador. Pelos resultados obtidos no presente estudo, o calor anulou parte do efeito do frio acumulado após a exposição de 36 h ou mais de calor consecutivas, durante a endodormência. No regime de temperaturas cíclicas, as 24 ou 48 horas a 25°C eram sempre acompanhadas de 12 horas a 15°C, totalizando 36 ou 60h de ausência de frio. Essas condições revertem o processo de dormência e aumentaram o requerimento de frio das cultivares (Figuras 38B e 39B), o que remete à necessidade de ajustes nos modelos usuais para predição da brotação, como os de Utah (Richardson *et al.*,

1974) e Carolina do Norte (Shaltout & Unrath, 1983), que consistem na reversão imediata de temperaturas altas em UF negativas. Assim, deve-se propor um modelo que anule parcialmente o efeito do frio somente após 36 ou mais horas de calor, estando o processo de dormência isento da influência de altas temperaturas antes deste período. Tal resultado conflita, também, com os modelos de Carolina do Norte Modificado e de Utah Modificado, proposto por Ebert *et al.* (1986), segundo os quais altas temperaturas resultam em acumulação negativa de frio somente por poucos dias (4 dias), após a última unidade de frio positiva ser registrada.

Dentre os modelos existentes para superação da dormência, aqueles que apresentaram maior discrepância quanto à estimativa de acúmulo de frio hibernal, foram os modelos de Carolina do Norte e Carolina do Norte Modificado, em ambos os genótipos (Figuras 52 e 53). Ou seja, para estes modelos houve uma maior diferença de UF entre os regimes com ondas de calor e aqueles a 3°C ou 3/15°C, por 12/12h, cuja superação da dormência ocorreu com 330 UF em 'Castel Gala' e 618 UF em 'Royal Gala'. Tais informações contrapõem àqueles sugeridos por Ebert *et al.* (1986) e Petri *et al.* (2006), os quais aconselham o Modelo de Carolina do Norte e Carolina do Norte Modificado para predição da superação da dormência, nas condições climáticas sul brasileiras.

Para a base de dados dos experimentos realizados, o modelo de Utah representou melhor a evolução progressiva da dormência, principalmente para a cv. Castel Gala. Isto mostra que a resposta à dormência varia para cada modelo, e que estes devem ser melhor investigados e aprimorados, considerando o efeito de genótipos e os diferentes regimes térmicos no período hibernal. Além disso, deve-se testar a validade dos modelos com dados obtidos em condições naturais, para verificar a aplicabilidade dos métodos para predição da brotação a campo.

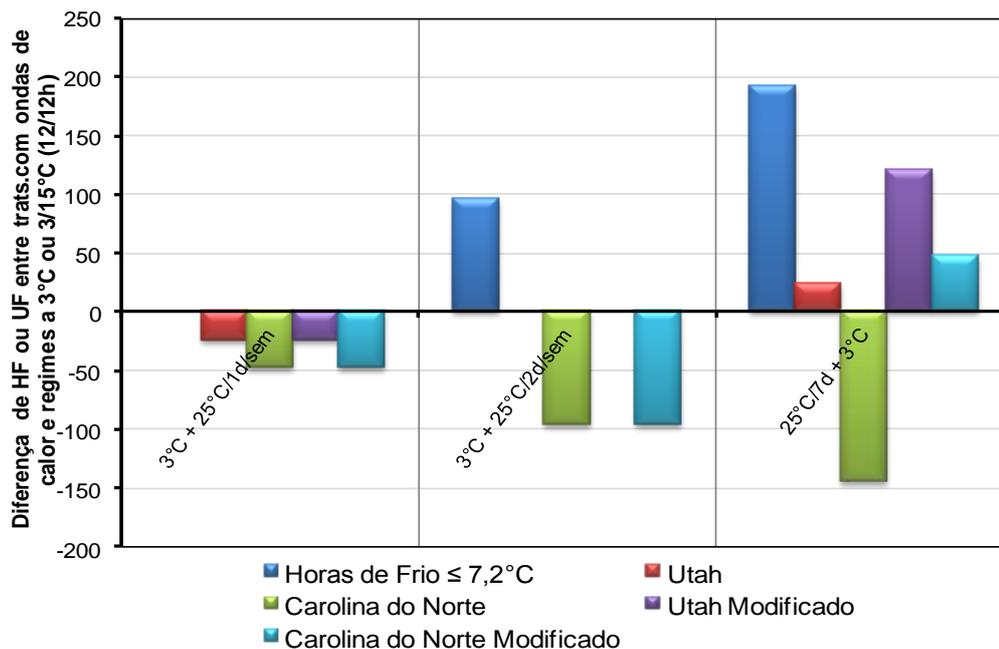


FIGURA 52. Diferença de HF (ou UF) dos tratamentos com ondas de calor em relação àqueles que superaram a dormência com 330 HF ou 330 UF (3°C constante ou 3/15°C, 12/12h), na cultivar Castel Gala. Bento Gonçalves, RS.

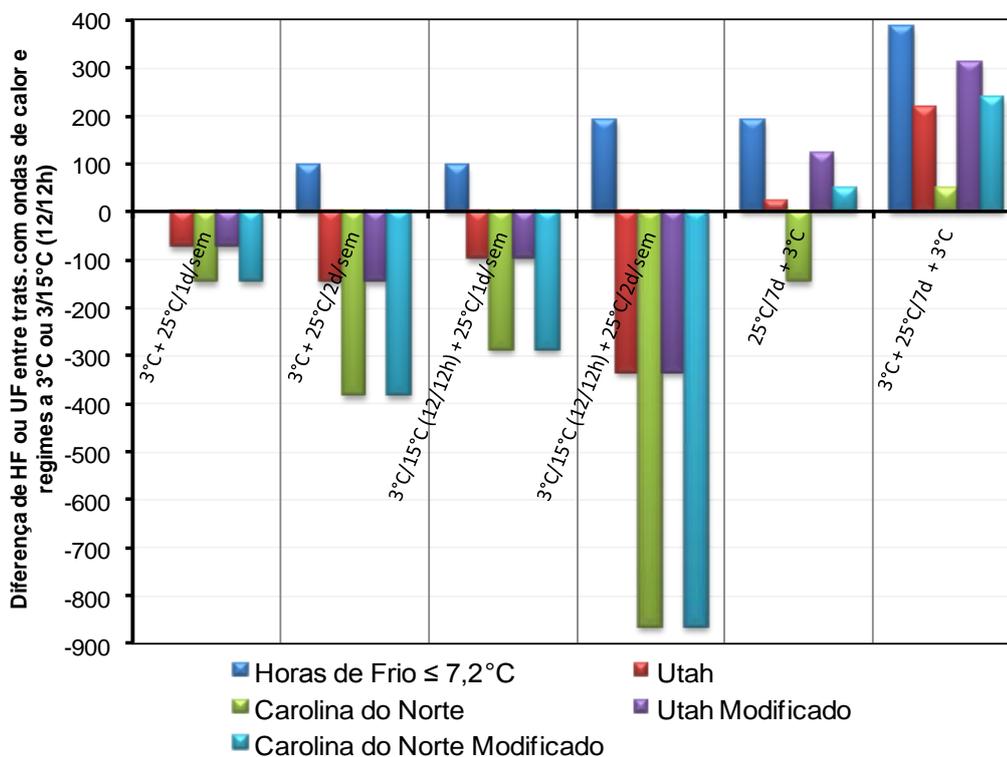


FIGURA 53. Diferença de HF (ou UF) dos tratamentos com ondas de calor em relação àqueles que superaram a dormência com 618 HF ou 618 UF (3°C constante ou 3/15°C, 12/12h), na cultivar Royal Gala. Bento Gonçalves, RS.

d) Evolução do frio nas gemas laterais

Em relação às gemas laterais, a percentagem de brotação máxima, durante o período de superação da endodormência, foi alta em estacas de nós isolados (Figuras 34 e 35) e baixa em estacas intactas (Figuras 36, 37, 38 e 39) para todas as épocas de coleta e genótipos, em função do efeito da dominância apical, como já discutido nos itens 4.3.1. Esta inibição, promovida pela gema apical sobre as laterais, em estacas intactas, foi constante ao longo do período de avaliação, o que enfatiza, novamente, a influência da paradormência no controle das gemas axilares. A paradormência mostrou-se presente durante toda a dormência, contrastando com a inferência de Faust *et al.* (1997), os quais salientam que a paradormência estaria presente apenas na etapa inicial do período hibernar (ver item 4.5). Com o aumento de exposição ao frio, verificou-se que a brotação das gemas laterais em estacas inteiras apresentou tendência a um pequeno aumento (Figuras 36F, 36G, 36H, 37F, 38C, 38D, 39C e 39D), indicando que, com a superação da dormência da gema apical, há uma redução na intensidade da paradormência. Essa redução pode estar relacionada ao fato das gemas apicais avaliadas serem, na maioria, floríferas (ou seja, gemas mistas), apresentando um crescimento determinado das células do ápice (Taiz & Zeiger, 2004). Assim, após a brotação e finalização do crescimento floral da gema terminal, a produção de auxina diminui e, conseqüentemente, ocorre uma liberação “parcial” da paradormência nas gemas laterais (Shimizu & Mori, 2001). Diante deste fato, a quantidade de horas de frio necessárias para elevar a brotação das gemas laterais, de modo indireto, tendeu a ser superior ao requerimento das gemas apicais. Enquanto cerca de 300 HF foram exigidas pelas gemas apicais da cv. Castel Gala, a necessidade para as gemas laterais foi superior a 400 HF, verificada pela coleta de junho de 2010 e abril e junho de

2011, considerando o frio imposto em condições controladas e o ocorrido no campo (Figuras 37F, 39C e 39D). Já, para a cultivar Royal Gala as gemas laterais foram induzidas a elevarem a brotação após 800 HF, nas coletas de maio (apenas a 3°C), junho e julho de 2010 e abril e junho de 2011 (Figuras 36F, 36G, 36H, 38C e 38D).

Para Petri *et al.* (2006) a dormência se localiza nas gemas, fazendo com que as exigências em frio variem dentro de uma mesma planta, em função da localização das gemas e do estado nutricional da planta. Para Scalabrelli & Couvilon (1986), Erez (2000), Naor *et al.* (2003) e Campoy (2011) as gemas vegetativas laterais requerem maior quantidade de frio do que as gemas floríferas e/ou terminais. Já, Herter (1992) afirma que, em pomáceas, as gemas terminais exercem importante papel no controle da dormência das gemas laterais, as quais apresentam maior profundidade de dormência e necessitam, portanto, de maior período de exposição ao frio. Contudo, os resultados apresentados no presente estudo não comprovam tais informações da literatura, mostrando que a brotação das gemas laterais dependente mais da finalização da brotação das gemas apicais e redução da dominância apical, que do estado intrínseco de endodormência. Isto porque em condições isoladas as gemas laterais não manifestaram a dormência que se observa em gemas apicais (compare Figuras 34B e 34E, gemas isoladas, e Figuras 38A e 38C, estacas intactas).

Outro fato que remete à suposição das gemas laterais serem controladas, principalmente, pela paradormência é que, nas amostragens de maio e julho de 2010, o regime térmico 3/15°C antecipou a indução da brotação das gemas laterais da cultivar Royal Gala, se comparado ao tratamento de 3°C ($P < 0,0001$) (Figuras 36F e 36H). Esse adiantamento da brotação pode ser explicado pelo tratamento 3/15°C também ter antecipado a brotação das gemas apicais,

liberando, parcialmente, as gemas laterais após o desenvolvimento das estruturas florais ($P < 0,0001$) (Figuras 36B e 36D). No entanto, é importante destacar que, se a gema apical for vegetativa, a influência da paradormência poderá ser ampliada sobre as gemas laterais, gerando consequências negativas sobre o potencial de brotação destas gemas, alterando a configuração de crescimento da planta.

4.4.2.2 Respostas sobre o parâmetro precocidade

Quanto ao parâmetro precocidade, quanto maior o número de horas de frio menor foi o tempo, em dias, para a brotação das gemas. Esta constatação foi verificada independente da cultivar trabalhada, tipo de gema ou regime de frio (constante ou oscilatório) (ex.: Figuras 40F, 41C, 42D, 42H, 44D, 45B). Putti *et al.* (2003) e Petri *et al.* (2006) relatam que a necessidade de unidades de calor para o início do ciclo vegetativo em macieiras é tanto menor quanto maior for o número de horas de frio acumuladas, corroborando com os resultados obtidos no presente trabalho. Trabalhando com a cultivar de pêra Carrick, em condições controladas, Herter *et al.* (2001) também observaram redução no tempo médio para brotação, em gemas apicais, com o aumento de tempo de exposição ao frio. Outros trabalhos também notaram que a quantidade de frio afeta, de modo inverso, o requerimento de calor (Swartz & Powell, 1981; Couvillon & Erez, 1985; Felker & Robitaille, 1985; Citadin *et al.*, 2001; Campoy *et al.*, 2011).

Para Hauagge & Cummins (1991) e Jackson (2003) o tempo de brotação se correlaciona com a profundidade do estado de endodormência das gemas. Esta tendência pôde ser observada para diferentes regimes térmicos testados, nas cultivares Castel Gala e Royal Gala, de modo direto nas gemas apicais (ex.: Figuras 40A, 40C, 42B, 42C, 43B, 44A e 44B) e indireto nas gemas laterais, devido à correlação inibitória promovida pela dominância apical (ex.: Figuras 42F,

42G, 43F, 44C e 45D). Até o período de máxima endodormência e/ou manutenção deste estágio, o número de dias para a brotação aumentou ou tornou-se irregular, decrescendo linearmente ou exponencialmente à medida que a endodormência era superada.

O uso do método de estacas de nós isolados, em 2009, conferiu às gemas laterais uma maior precocidade em temperaturas mais altas (9 e/ou 12°C), se comparadas aos regimes de 3 e 6°C, ao longo do período de exposição ao frio. Isto pode ser verificado na 'Castel Gala' ($P < 0,0001$) (Figuras 41D, 41E e 41F) e na 'Royal Gala' ($P = 0,0053$ a $< 0,0001$) (Figuras 40D, 40E e 40F), em março, maio e junho. As temperaturas de 9 e 12°C proporcionaram maior soma térmica para o alcance da brotação que as de 3 e 6°C. Tal resultado reforça a suposição que as gemas laterais não entram, provavelmente, em dormência profunda, respondendo principalmente ao calor, quando isoladas em gema única.

Para os regimes oscilatórios (3/15°C, por 6/18h, 12/12h ou 18/6h), testados em 2010 e 2011, a precocidade de brotação foi maior, se comparada ao tratamento de 3°C constante, independente do tempo de exposição de frio. Tal fato pôde ser verificado pelas coletas de maio e julho de 2010 e junho de 2011 em gemas apicais e laterais da 'Royal Gala' ($P = 0,0002$ a $< 0,0001$) (Figuras 42B, 42D, 42F, 42H, 44B e 44D) e pela coleta de maio de 2010, em gemas apicais e laterais da cv. Castel Gala ($P = 0,0001$ a $< 0,0001$) (Figuras 43B e 43E). Este comportamento sugere que temperaturas alternadas (frio/calor) contribuem, concomitantemente, para o acúmulo de frio para superar a endodormência, bem como fornecem soma térmica para o alcance da brotação. As unidades de calor necessárias para as gemas brotarem, possivelmente, foram fornecidas durante todo ou, quase todo, o processo de endodormência (D e S-endodormência), e não apenas na fase S-endodormência e ecodormência, como descrito por Faust *et al.*

(1997), sendo um fator importante a ser considerado no ajuste de modelos de previsão (ver item 4.5).

Campoy *et al.* (2011) também observaram que os requerimentos de frio e calor não são processos subsequentes, mas que, ocorrem ao mesmo tempo durante a dormência. Portanto, pode-se hipotetizar um dinamismo para as temperaturas de frio e calor, associando-as durante a fase hibernar para estímulo da superação da endodormência e para indução da brotação. Esta ideia transparece em alguns estudos relacionados à modelagem, como àqueles publicados por Harrington *et al.* (2010). Esta inovação é de extrema importância, pois os modelos usuais para predição da brotação não consideram o efeito do calor durante a endodormência para acúmulo de soma térmica, mas, apenas como efeito propulsor negativo ao frio hibernar acumulado (Weinberger, 1950; Richardson *et al.*, 1974; Shaltout & Unrath, 1983; Ebert *et al.*, 1986, Erez & Fishman, 1990).

Os tratamentos com ondas de calor, testados em 2011, também proporcionaram maior precocidade de brotação, se comparados ao tratamento de 3°C constante. Em junho de 2011, regimes cíclicos com 24 ou 48 h a 25°C semanais, 48 h semanais a 25°C em meio a temperatura constante ou ondas de calor longas (sete dias), na endodormência, proporcionaram menor tempo para brotação, em relação ao regime de 3°C, nas gemas apicais e laterais de 'Royal Gala' (P=0,0002 a <0,0001) (Figuras 44B e 44D). A mesma tendência foi observada para as gemas apicais e laterais de 'Castel Gala', nos regimes de 24 ou 48 h semanais a 25°C, em relação ao tratamento de 3°C (P=0,0087 a 0,0007) (Figuras 45B e 45D). No tratamento de 3°C constante, o aumento da precocidade observado com a evolução do tempo, em 2009, 2010 e 2011 (Figuras 40, 41, 42, 43, 44 e 45) pode estar relacionado à elevação da quantidade de frio aumentar a

inibição de repressores que regulam a endodormência, estimulado a brotação, conforme sugerido por Horvath *et al.* (2003).

4.4.2.3 Respostas sobre o parâmetro uniformidade

O parâmetro uniformidade de brotação respondeu diferentemente com a evolução do frio durante a endodormência. Ao longo da superação do processo, até em torno de 300 HF para a 'Castel Gala' e cerca de 600 HF para a 'Royal Gala', os valores de uniformidade mostraram alta variabilidade, independente do tipo de gema. Depois de concluído este período, a brotação se apresentou mais uniforme e regular, principalmente para as temperaturas mais baixas (3 e 6°C), mantidas constantes ou alternadas com temperaturas de calor moderadas (15°C) ou altas (25°C), para ambos os genótipos. Na 'Royal Gala' a resposta é demonstrada pelas amostragens de junho de 2009 (apenas 3°C), maio e junho de 2010 e abril e junho de 2011 nas gemas apicais (Figuras 46C, 48B, 48C, 50A e 50B) e pelas coletas de maio de 2010 e abril e junho de 2011 para as gemas laterais (Figuras 48F, 50C e 50D), as quais regulam-se pela evolução da paradormência (item 4.4.2.1.d). Na cv. Castel Gala, tal resposta é observada pelas amostragens de maio de 2009 (apenas 3 e 6°C), maio e junho de 2010 e abril e junho de 2011 para as gemas apicais (Figuras 47B, 49B, 49C, 51A e 51B) e pelas coletas de junho de 2010 e abril e junho de 2011 para as gemas laterais (Figuras 49F, 51C e 51D).

De acordo com a análise estatística, a maior uniformidade promovida pelas temperaturas de 3 e 6°C foi diferente, significativamente, das temperaturas de 9 e/ou 12°C ($P=0,0014$ a $0,0035$) (Figuras 46C e 47B), para as gemas apicais de 'Castel Gala' e 'Royal Gala'. Ondas de calor de 7 dias, em meio ao frio, aplicadas às gemas apicais de 'Royal Gala', promoveram maior desuniformidade no início da

evolução da dormência, diferindo dos demais regimes térmicos ($P < 0,0001$) (Figura 50B). No contraste entre temperaturas de frio constante (3°C) e alternadas com calor (15°C ou 25°C , até 48 h contínuas), em 2010 e 2011, os tratamentos não diferiram entre si, em gemas apicais ou laterais, tanto de 'Castel Gala', como para 'Royal Gala' (Figuras 48, 49, 50 e 51).

De modo geral, o comportamento entre as cultivares demonstra a importância da ocorrência de baixas temperaturas (constantes ou oscilatórias com calor) durante o período de dormência, para assegurar uma adequada uniformidade de brotação das gemas na primavera, independentemente da classe ou grupo de exigência de frio do genótipo. Segundo Petri *et al.* (1996) e Leite *et al.* (2004), o suprimento da necessidade de frio durante a endodormência é essencial para evitar desordens fenológicas, como brotação e floração insuficientes e/ou desuniformes. Para Herter *et al.* (2001) e Carvalho & Zanette (2004) com o aumento da duração de frio, as gemas apresentam um índice de velocidade de brotação (gemas brotadas/dia) mais restrito (uniforme), o que está de acordo com os resultados alcançados neste estudo.

Os resultados obtidos de maior uniformidade ou menor tempo médio para a brotação com o aumento do acúmulo de frio também foram alcançados por outros autores (Or *et al.*, 2002; Carvajal-Millán *et al.*, 2007), trabalhando com diferentes espécies frutíferas temperadas. Porém, essas informações nunca foram consideradas em modelos para predição da brotação, devendo ser exploradas a fim de aumentar a eficácia e aplicabilidade dos métodos a campo.

Para fins de modelagem, a previsão do potencial máximo de brotação deve ser baseada nas respostas das gemas apicais, as quais apresentam um período de endodormência bem definido (indução e superação). As gemas laterais, por serem fortemente afetadas pela paradormência e atuarem, predominantemente,

no desenvolvimento vegetativo das plantas, devem ter importância secundária no desenvolvimento do modelo proposto. Em relação aos parâmetros precocidade e uniformidade, estes devem considerar características gerais dos dados apresentados e deverão se constituir em parâmetros complementares para predição da brotação em macieiras.

4.4.3 Ecodormência

Para a avaliação da ecodormência das gemas em condições controladas foram realizados três ensaios: o experimento 5, em 2009, o experimento 10, em 2010 e o experimento 14, em 2011. Em relação ao experimento 5, são mostrados na Figura 54 os resultados de brotação das gemas apicais e laterais das cultivares Castel Gala e Royal Gala, em estacas de nós isolados, quando submetidas ao frio de 3, 6, 9 e 12°C por 12 semanas (2016 HF) e depois transferidas para diferentes temperaturas de calor, representadas pelo marco zero dos gráficos. No período de exposição às temperaturas de calor, os dados de brotação (%) compilam os resultados médios das temperaturas de 13, 16, 19, 22 e 25°C, para as cultivares Royal Gala e Castel Gala (Figura 54). De modo geral, observou-se que a brotação diminuiu, gradativamente, com a elevação das temperaturas de frio (Figura 54). Isto ocorreu, possivelmente, em função das temperaturas mais altas (9 e 12°C) terem promovido aumento da atividade respiratória de manutenção e, com isso, consumido as reservas de carbono das gemas, que seriam alocadas para brotação. Para Taiz & Zeiger (2004) a resposta respiratória dos tecidos vegetais se relaciona diretamente com condições ambientais, apresentando aumento à medida que a temperatura se eleva. A taxa de brotação das gemas laterais foi maior pelo seu estado de maturação encontrar-se mais avançado, se comparado ao das gemas apicais, na coleta de

março de 2009, conferindo maior aptidão à brotação (Figura 54). Para Hawerth *et al.* (2010) as gemas são formadas sucessivamente ao crescimento do ramo, ou seja, as primeiras gemas a se formar são as gemas basais, e as últimas, as apicais, durante o final do ciclo vegetativo.

No experimento 5 verificou-se, também, que o início da brotação das gemas submetidas às temperaturas de 3, 6 e 9°C, por 2016 HF, ocorreu somente após a transferência do frio para o calor (Figura 54). Em contrapartida, no tratamento de 12°C as gemas iniciaram a brotação antes da sua passagem para o calor. Esta resposta foi similar na 'Royal Gala' e na 'Castel Gala', o que mostra que a temperatura base inferior, ou mínima para o crescimento das cultivares em estudo, está situada abaixo dos 12°C.

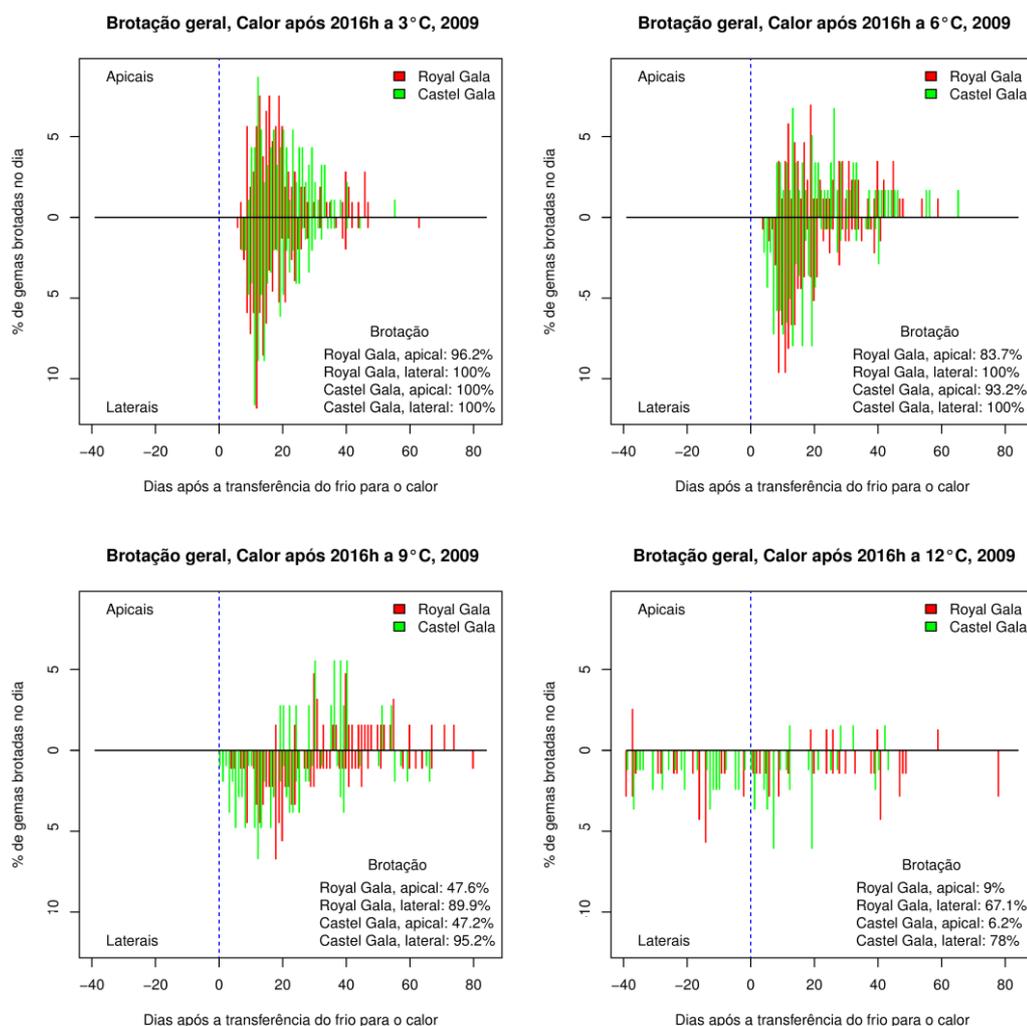


FIGURA 54. Distribuição temporal da brotação das gemas apicais e laterais de macieiras 'Royal Gala' e 'Castel Gala' após a transferência do frio para o calor. As gemas em estacas de nós isolados (método 3.3.1) foram submetidas a quatro níveis de frio (3, 6, 9 e 12°C), por 2016HF, e após transferidas para cinco níveis de calor, sendo o resultado representado pela média da brotação obtida nos tratamentos de 13, 16, 19, 22 e 25°C. As barras dos gráficos representam a percentagem de gemas brotadas por dia, para as cultivares Royal Gala (vermelho) e Castel Gala (verde). Os resultados são referentes à coleta de março de 2009. Bento Gonçalves, RS, 2009.

Para identificar a temperatura base para o estímulo do crescimento meristemático (brotação) de cada tipo de gema (apical e lateral), das cultivares Castel Gala e Royal Gala, foi conduzido em 2010 o experimento 10, em que foram testadas as temperaturas de 3, 5, 7, 9, 10, 11 e 12°C, após um período prolongado de frio (3°C). Neste ensaio verificou-se que as temperaturas até 5°C mostraram-se eficazes para induzir a brotação das gemas apicais e laterais de ambos os genótipos, após a superação da endodormência em 1512 HF a 3°C

(Figura 55). Contudo, na temperatura de 3°C, mesmo após 5016 HF (dados não apresentados), não houve indução da brotação das gemas. Isso indica que a temperatura de 3°C é assimilada ou “percebida” pelas gemas de ‘Castel Gala’ e ‘Royal Gala’ apenas como frio. De certo modo, esse resultado pode ser distinto para outros genótipos, pois Putti *et al.* (2000) determinaram 3°C como a temperatura base para a cultivar Fuji, a partir de extrapolação matemática de dados experimentais conduzidos até 5°C de temperatura mínima.

Com base nestes resultados, conclui-se que a temperatura mínima basal (ou base inferior), acima da qual é contabilizada soma térmica, se situa entre 3 e 5°C, tanto para ‘Castel Gala’ como para ‘Royal Gala’. Essa faixa de temperatura base também foi considerada nos modelos de Utah (Richardson *et al.*, 1974) e Carolina do Norte (Shaltout & Unrath, 1983), que consideram como base inferior a temperatura de 4,5°C para cômputo de soma térmica. Entretanto, salienta-se que este limite ainda deve ser melhor estudado, através de experimentos com maior resolução de temperaturas, na faixa de 3 a 5°C, considerando as respostas possivelmente distintas entre os genótipos (Figura 55).

A quantidade de horas de calor para superação da ecodormência e consequente indução da brotação, mostrou-se diferente entre as cultivares de macieira. As gemas apicais e laterais de ‘Castel Gala’ necessitaram menos tempo de calor para brotarem, em comparação à cultivar Royal Gala (Figura 55). Isso sugere que cultivares de ciclo precoce, como a ‘Castel Gala’, além de necessitarem menos horas de frio para a superação da endodormência, demandam menor quantidade de horas de calor para iniciarem o ciclo vegetativo.

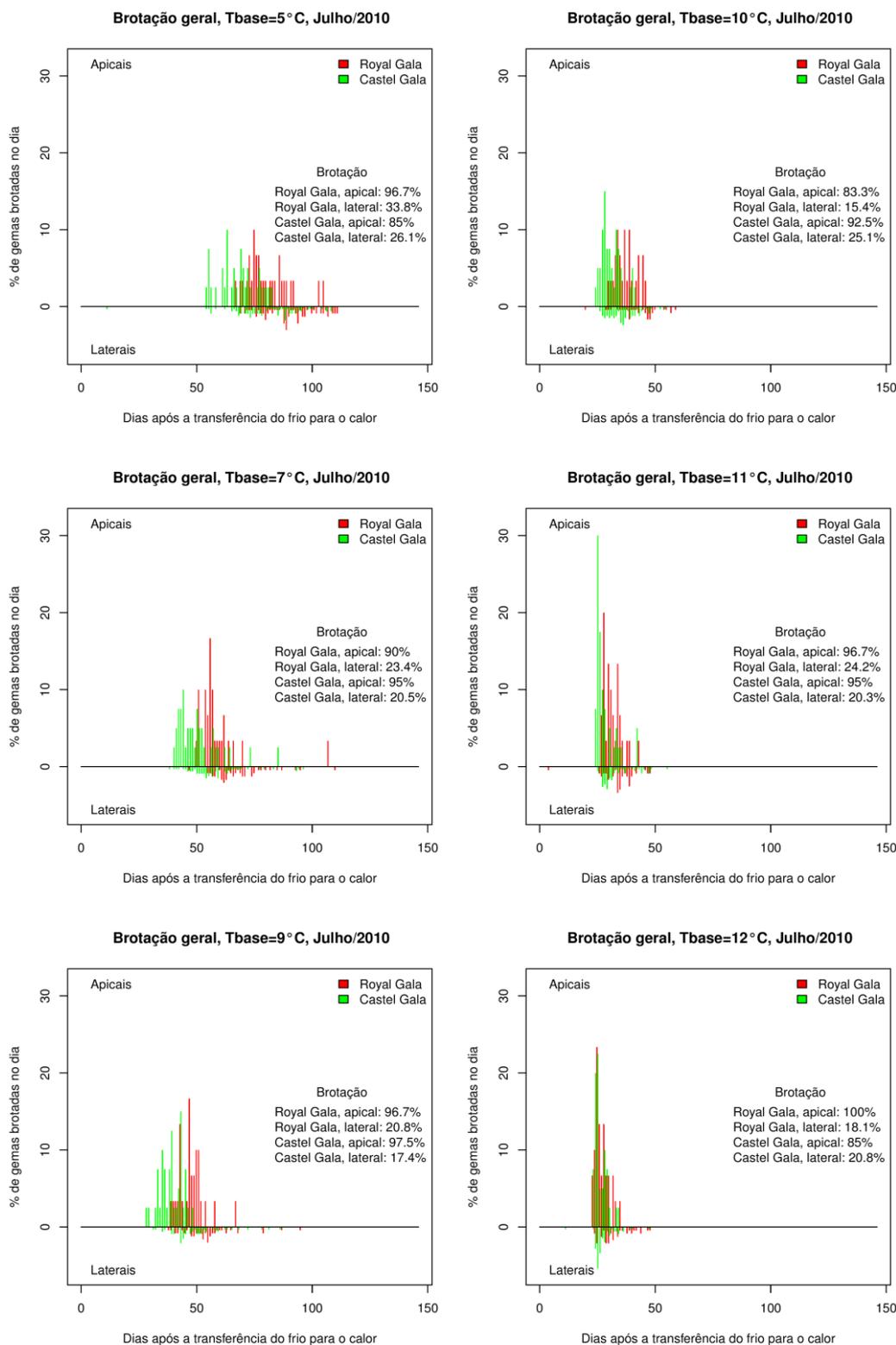


FIGURA 55. Distribuição temporal da brotação das gemas apicais e laterais de macieiras 'Royal Gala' e 'Castel Gala' após a transferência do frio para o calor. As gemas em estacas intactas (método 3.3.4) foram submetidas ao tratamento de frio em 3°C por 1512 HF e após transferidas para tratamentos de 3, 5, 7, 9, 10, 11 e 12°C para avaliação da brotação. Em 3°C não houve estímulo à brotação. Os resultados se referem à coleta de maio de 2010. Bento Gonçalves, RS, 2010.

A brotação em menor tempo de exposição na cultivar Castel Gala em relação à 'Royal Gala', principalmente nas temperaturas mais baixas, sugere um contraste de respostas/assimilação de cada temperatura entre os genótipos (Figura 55). Mesmo que a temperatura base possa ser a mesma entre cultivares, a intensidade de resposta foi dependente do genótipo e, possivelmente, relacionada com o seu grau de exigência ou demanda de frio hibernal. Este resultado sugere que a 'Castel Gala' tenha maior atividade metabólica para crescimento em temperaturas ligeiramente acima do seu limite térmico basal. Isto pode implicar na distinção de pesos para cada faixa de temperatura de calor para o alcance da brotação entre os genótipos.

Na Figura 56 é observada a evolução meristemática de gemas apicais de 'Castel Gala' e 'Royal Gala', no período de ecodormência. Gemas apicais da cultivar Castel Gala foram mantidas no frio por 504 HF a 3°C e por 1344 HF para a 'Royal Gala'. Após, foram avaliadas, a cada dois dias, à temperatura de 25°C, até alcançarem a brotação. Os resultados mostraram que as gemas apicais da 'Castel Gala' apresentaram crescimento meristemático do ápice mais acelerado, resultando em menor tempo para atingir a fase visível de brotação. Portanto, a 'Castel Gala' exige menor somatório de calor nesta fase final, se comparado à cultivar Royal Gala. Além disso, notou-se que a evolução meristemática ocorreu, de forma mais pronunciada, na metade final da avaliação, em ambos os genótipos. Putti (2001) afirma que o estímulo à brotação ocorre, somente, após transcorrido um período de calor durante a ecodormência, como é observado na Figura 56. O tempo médio de 12 dias ('Castel Gala') e 14 dias ('Royal Gala'), observado entre o início da temperatura alta e a brotação visível está, provavelmente, relacionado à taxa de crescimento meristemático de cada genótipo, e não, ao tempo que cada genótipo leva para responder ao estímulo.

Isso porque aos 4 dias já se pôde identificar diferença, embora mínima, de crescimento em ambos os genótipos, comparado à foto de 2 dias (Figura 56).

O acúmulo necessário de calor para o alcance da brotação também se diferenciou entre os tipos de gema (Figura 55). As gemas apicais mostraram-se mais precoces que as laterais, em ambas as cultivares, quando mantidas em estacas intactas. Citadin *et al.* (2001) também observaram diferenças entre gemas vegetativas e florais de pessegueiro, quanto à necessidade de calor. Além disso, no presente estudo verificou-se que o tempo para brotação variou com a intensidade de calor testada, diminuindo à medida que a temperatura se elevou. Isto se deve às temperaturas mais altas alcançarem antes a soma térmica para a indução da brotação, se comparadas às temperaturas inferiores (Figura 55). Tal resultado é corroborado com dados obtidos por Putti *et al.* (2000), também trabalhando com macieiras.

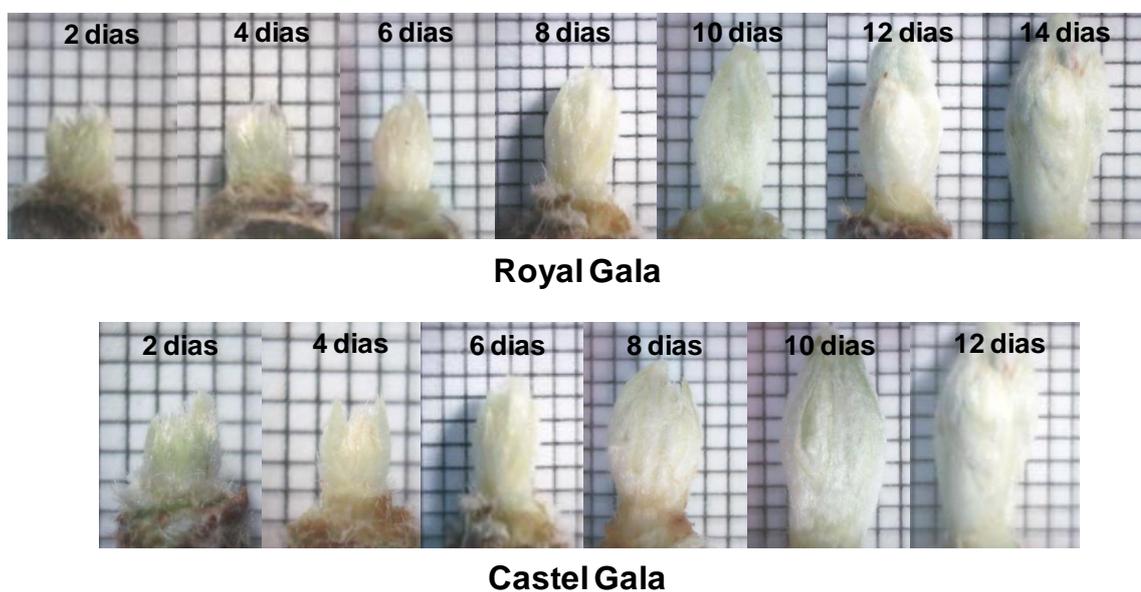


FIGURA 56. Evolução meristemática das gemas apicais de macieiras 'Castel Gala' e 'Royal Gala'. Gemas apicais da cv. Castel Gala foram mantidas no frio por 504 HF a 3°C e por 1344 HF para a cultivar Royal Gala. Após, foram avaliadas, a cada dois dias, a temperatura de 25°C, até alcançarem brotação. Experimento realizado com estacas intactas (método 3.3.5), após a coleta de abril de 2010, com auxílio de lupa com aumento de 20 vezes, com papel quadriculado de 1,5 mm. Bento Gonçalves, RS, 2010.

Através da determinação da temperatura base (entre 3 e 5°C) é possível quantificar a faixa de exigência de calor (soma térmica ou graus-dia) para o início do ciclo vegetativo, para cada cultivar e tipo de gema. No entanto, a necessidade de calor para brotação está atrelada à quantidade de frio ocorrido durante a endodormência, como mostrado na análise do parâmetro precocidade, no item 4.4.2.2. Ou seja, quanto maior for o acúmulo de frio durante o período de endodormência, menor será a necessidade de exposição a uma condição térmica de calor (acima da temperatura base), para que as gemas iniciem um novo ciclo vegetativo, independente do genótipo. Além disso, a precocidade de brotação se relaciona com o regime térmico estabelecido, acima da temperatura basal, tendo cultivares de menor exigência em frio uma atividade metabólica maior em temperaturas baixas, interferindo diretamente na taxa de acúmulo de graus-dia e/ou na velocidade de retomada do crescimento das gemas.

No período que antecede a brotação que, normalmente, coincide com a saída do inverno e início da primavera, a temperatura do ar tende a se elevar, estimulando a brotação das gemas de espécies frutíferas temperadas (Monteiro, 2009). Ondas de frio, neste período, podem paralisar o crescimento das gemas (Jackson, 2003). Com isso, no ano de 2011 foi realizado o experimento 14, visando avaliar o efeito de diferentes regimes térmicos ao longo da ecodormência, alternando dias de calor e dias de frio. As gemas de 'Castel Gala' e 'Royal Gala' foram submetidas à temperatura de 3°C por 1146 HF, para a superação da endodormência e, após, transferidas para tratamentos compostos de 1 dia a 3°C a cada 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ou 10 dias a 25°C, em condições controladas. Com essa estratégia, o experimento avaliou qual a duração de dias de calor que faria com que o processo de brotação tornar-se-ia irreversível, podendo a emissão dos

brotos ocorrer em dias frios, e até coincidir com a ocorrência de geadas primaveris, evento climático provável na região Sul no Brasil (Maluf *et al.*, 2012).

Os resultados mostraram que a brotação máxima não foi afetada pela inserção de frio em meio ao calor, durante a ecodormência (Figuras 57A). Além disso, verificou-se que o processo de brotação ocorreu, inclusive, na presença de baixas temperaturas (3°C), uma vez suprida a necessidade de calor dos genótipos, sendo o percentual máximo de brotação levemente inferior nas gemas apicais da 'Royal Gala', se comparada à 'Castel Gala' (Figura 57A).

A brotação em meio ao frio (3°C), após um período de temperaturas altas, salienta que o processo de brotação das gemas torna-se irreversível em crescimento, quando o meristema (floral ou vegetativo) for ativado. Esse tipo de resposta explica a brotação de espécies de clima temperado durante o período hibernal, após a ocorrência de alguns dias de calor, como é caso de cultivares precoces de videira (Miele & Dallagnol, 1994) e de pessegueiro (Lazzari, 2011). Para Miele & Dallagnol (1994), a brotação de frutíferas durante o período hibernal pode acarretar em "queima de brotos" por geadas subsequentes, comprometendo o seu desempenho vegetativo e produtivo.

Quanto à precocidade de brotação, as gemas submetidas aos tratamentos com maior duração de calor durante a ecodormência, tenderam a acumular maior soma térmica e, conseqüentemente, atingirem uma brotação mais precoce (Figuras 57B). No comparativo entre regimes térmicos, verificou-se um atraso médio de 8 dias na data de brotação entre os regimes mais frios (1 dia 3°C/1 dia 25°C) e os regimes mais quentes (1 dia 3°C/10 dias 25°C), caracterizado pelo contraste de soma térmica disponível, na média entre as cultivares. Para o parâmetro uniformidade, os resultados se mostraram irregulares, durante todo período de avaliação (Figuras 57C).

Para o ajuste do modelo teórico biológico para predição da brotação de macieiras deve-se considerar que, durante a ecodormência, a temperatura para acúmulo de calor está situada entre 3 e 5°C, a cultivar 'Royal Gala' requer maior necessidade de calor que a 'Castel Gala', assim como as gemas laterais em relação às apicais. Associado a isso, deve-se considerar que a presença de frio intercalado a dias quentes durante a ecodormência não interfere na brotação máxima, mas pode atrasar a evolução do processo.

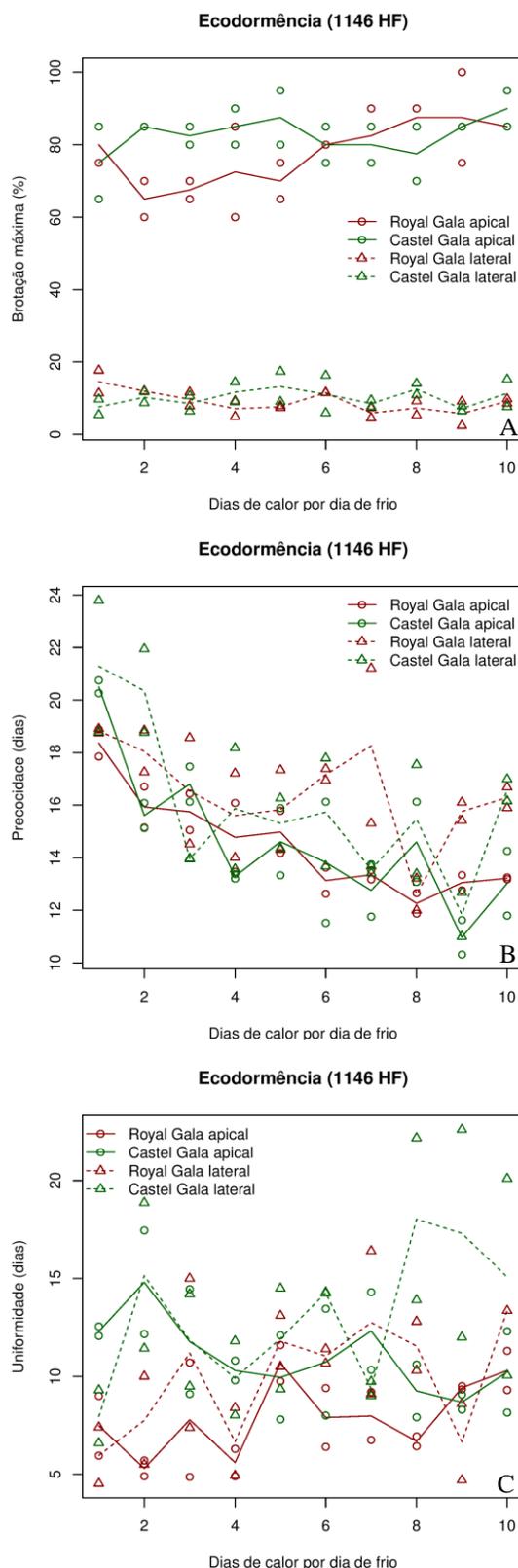


FIGURA 57. Brotação máxima (A), precocidade (B) e uniformidade (C) de gemas apicais e laterais, em estacas intactas das macieiras ‘Castel Gala’ e ‘Royal Gala’ ao longo do período de ecodormência. Estacas intactas (método 3.3.4) de ‘Castel Gala’ e ‘Royal Gala’ foram submetidas à temperatura de 3°C por 1146 HF, para a superação da endodormência e, após, transferidas para tratamentos compostos de 1 dia a 3°C a cada 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ou 10 dias a 25°C, em condições controladas. Os resultados são referentes à coleta junho de 2011. Bento Gonçalves, RS, 2011.

4.5 Progressão das fases da dormência em gemas de macieira durante o período hibernar

De acordo com o esquema de evolução das fases e inter-relações dos tipos de dormência em macieira proposto por Faust *et al.* (1997), uma planta encontra-se em paradormência, no início, em endodormência, no período intermediário, e em ecodormência, na etapa final da dormência (Figura 58A). Além disso, afirmam que em alguns curtos momentos de transição entre cada tipo de dormência, pode haver ocorrência simultânea de dois estádios de dormência (ex.: paradormência-endodormência, no início, e endodormência-ecodormência, no final).

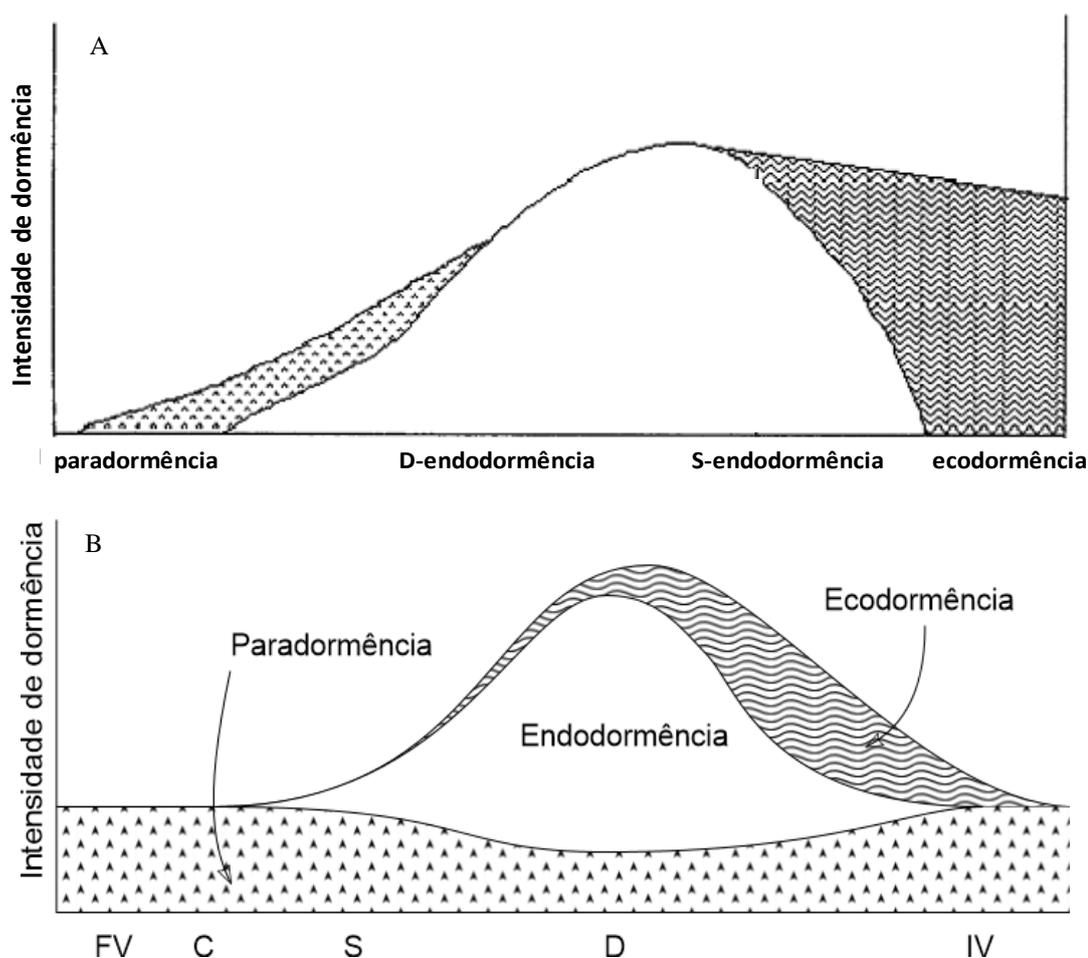


FIGURA 58. Progressão das fases da dormência de gemas em macieira durante o período hibernar. (A) Representação adaptada de Faust *et al.* (1997); (B) Nova representação esquemática dos tipos de dormência em gemas. FV – final do ciclo vegetativo; C – colheita; S – senescência; D – pico da dormência; IV – início do ciclo vegetativo. Bento Gonçalves, RS.

Contudo, pelos resultados alcançados em 2009, 2010 e 2011, pode-se afirmar que, na etapa inicial da dormência, a paradormência é o único estágio presente nas gemas, mantendo-se em percentuais menores durante a evolução do período hibernar e retomando sua ação na fase que antecede a brotação (Figura 58B). Para exemplificar, tem-se o contraste de resposta das gemas laterais, quando avaliadas em estacas de nós isolados e estacas intactas, nas Figuras 34 a 39, cuja brotação manteve-se presente em níveis baixos, em estacas intactas, devido ao efeito da dominância apical, e elevado em estacas de gema única, ao longo de todo período de avaliação. A endodormência se estabelece após os primeiros frios de outono, eleva seu nível durante o período hibernar e decresce à medida que a exigência de frio é suprida pelos genótipos (Figura 58B), conforme sugerido em literatura (Figura 58A). Por fim, a ecodormência, que inicia logo após a entrada da endodormência, mantendo-se em níveis baixos durante a progressão do período, elevando sua atividade na fase final da estação hibernar (Figura 58B). Isto mostra que as unidades de calor para acúmulo de soma térmica, possivelmente, sejam fornecidas em quase todo o processo de dormência, e não apenas no período final (Figura 58A). Tal constatação foi verificada pelos regimes oscilatórios (frio/calor), que promoveram maior precocidade se comparado ao tratamento constante de frio, ao longo do período experimental (Figuras 42B, 42D e 43B).

4.6 Aspectos metodológicos e fisiológicos para avanço da caracterização da dormência

Durante os experimentos realizados em 2009, 2010 e 2011, algumas evidências observadas dão conta que, conforme o manejo de condução estabelecido, as respostas de brotação das gemas podem variar. Dessa forma, serão mostrados a seguir os resultados de três estudos conduzidos em condições controladas, os quais objetivaram: i) avaliar a influência de diferentes métodos biológicos na caracterização do estado de dormência de gemas de macieira; ii) avaliar a influência das gemas laterais sobre a brotação da gema apical em estacas intactas de macieira; iii) avaliar se a presença ou ausência das folhas na indução da endodormência a campo tem efeito sobre a profundidade e superação do processo.

4.6.1 Análise da influência de diferentes métodos biológicos para caracterização do estado de dormência de gemas de macieira

Na Figura 59 é mostrada a distribuição geral da brotação de gemas, observada, em conjunto, nos experimentos dos três anos de ensaios, subdividindo-a em percentual de gemas apicais e laterais brotadas. Em 2009, uma maior intensidade de brotação das gemas laterais foi verificada (Figura 59A). Isto ocorre pelo método de avaliação utilizado em 2009 (estacas de nós isolados) não expor o efeito da dominância apical. Em 2010 e 2011 a percentagem de gemas laterais brotadas foi baixa, decorrente da inibição correlativa entre gemas, presente nas estacas intactas (Figuras 59B e 59C).

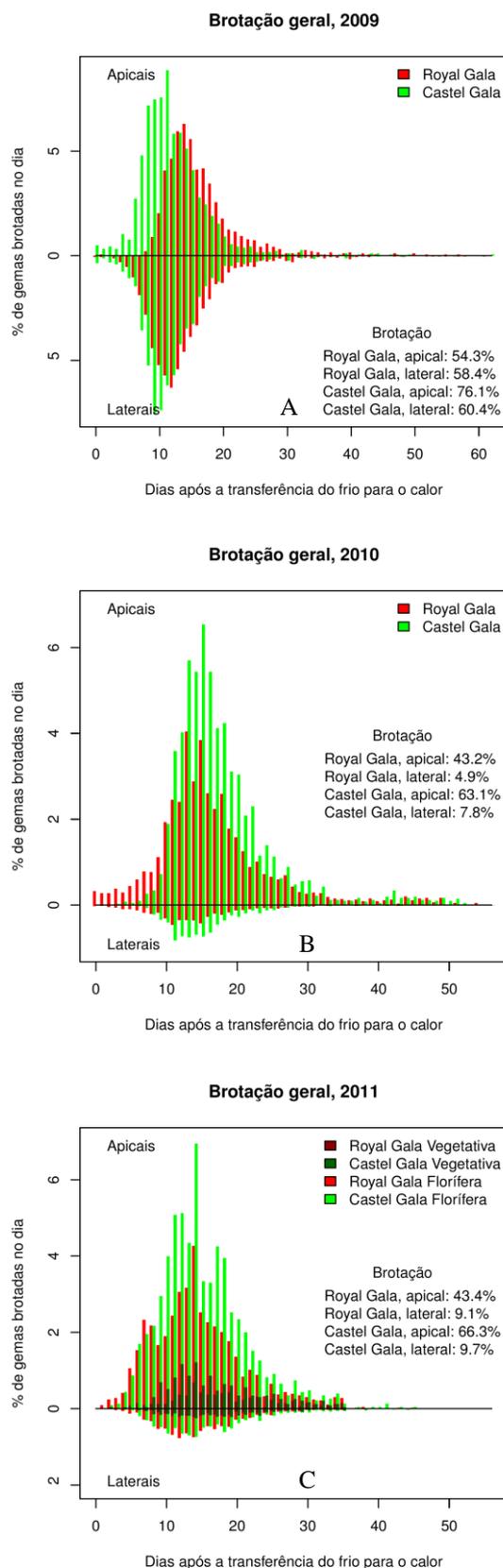


FIGURA 59. Distribuição da brotação geral de gemas apicais e laterais em macieiras 'Castel Gala' e 'Royal Gala', nos anos de 2009 (A), 2010 (B) e 2011 (C). Bento Gonçalves, RS, 2009/2010/2011.

Em 2011, no método de estacas intactas, a brotação das gemas apicais e laterais foi caracterizada em gemas floríferas e vegetativas. Na análise morfológica das gemas brotadas, pôde-se perceber uma predominância de gemas floríferas, tanto para as gemas apicais como para gemas laterais (Figura 59C). Além disso, verificou-se que a brotação das gemas floríferas foi mais precoce se comparada às gemas vegetativas, conferindo às primeiras (floríferas) menor necessidade de frio hibernal para a superação da dormência, conforme descrito por Petri *et al.* (2006). Faust *et al.* (1995) e Naor *et al.* (2003) também obtiveram, em macieiras, maior requerimento de frio em gemas vegetativas, quando comparadas às floríferas. No entanto, é imprescindível considerar a posição da gema na planta para inferir sobre o comportamento de dormência e não simplesmente à morfologia da gema (vegetativa/florífera), já que as gemas apicais são controladas, preponderantemente, pela endodormência e, as laterais, pela paradormência.

Ao longo dos ensaios (2009, 2010 e 2011), a duração do frio nos diferentes regimes térmicos testados foi diferente, em condições de ambiente controlado. Ou seja, em 2009 os tratamentos foram conduzidos até atingirem 1344 HF, para a 'Castel Gala' e 'Royal Gala'. Já, em 2010 e 2011, os tratamentos atingiram 504 HF para 'Castel Gala' e 1344 HF para 'Royal Gala'. Como a precocidade de brotação é tanto maior quanto maior for o número de horas de frio (Petri *et al.*, 2006), notou-se uma tendência da cultivar 'Royal Gala' superar a 'Castel Gala' na antecipação da brotação das gemas, nos anos de 2010 e 2011 (Figuras 59B e 59C). Já, em 2009, em que as duas cultivares receberam a mesma quantidade de frio, a 'Castel Gala' mostrou-se mais precoce, especialmente nas gemas apicais (Figura 59A), confirmando a menor necessidade de calor desta cultivar para o alcance da brotação.

A influência do método de avaliação é importante para caracterizar a dormência e analisar a dinâmica da interação entre as gemas apicais e laterais. Assim, o teste de avaliação da dormência, considerando tipo de gema, morfologia e diferenças entre genótipos, confere um detalhamento adequado das variações existentes e inerentes à arquitetura/estruturas das plantas.

Em 2009, considerando o contraste de preparação e avaliação das estacas submetidas ao frio: estacas de nós isolados (método 3.3.1); estacas intactas em potes, mantidas verticalmente (método 3.3.2) e estacas intactas embaladas, mantidas horizontalmente (método 3.3.3), salienta-se que o comportamento da brotação das gemas foi distinto e influenciado pelo tipo de procedimento adotado. As estacas fragmentadas em gema apical e lateral apresentaram brotação mais concentrada e em maior intensidade, se comparadas às estacas intactas, ao longo do período de avaliação (Figura 60A). Conforme discutido anteriormente, este resultado se deve às estacas de nós isolados não apresentarem inibições correlativas (interação entre gemas), oferecendo condições adequadas ao crescimento. Já, nas estacas intactas esta interação se manifestou, sobretudo por dominância apical (Figuras 60B e 60C). Nestas condições, as gemas apicais inibiram a brotação das gemas laterais pela produção e transporte polar descendente de auxinas (Taiz & Zeiger, 2004), ocasionando menor brotação total e uma brotação mais estendida (desuniforme).

Dentro do grupo das estacas intactas, confrontando as que foram plantadas em potes com as mantidas embaladas horizontalmente durante o tratamento de frio, verificou-se que o efeito da dominância apical foi maior nas estacas intactas plantadas, reduzindo o potencial de brotação (Figura 60C). Em contrapartida, nas estacas intactas embaladas a dominância foi atenuada, devido às mesmas terem sido mantidas deitadas, quando acondicionadas ao frio, o que

pode ter reduzido o fluxo hormonal de auxinas da gema apical sobre as laterais, proporcionando um maior potencial de brotação total (Figura 60B). Tais resultados comprovam a forte influência que as gemas laterais sofrem pela presença da gema apical, em estacas intactas dispostas em posição ereta. Este resultado também caracteriza a amplitude de variação da brotação que uma árvore pode apresentar, pois os ramos estão dispostos nas mais variadas posições, ao longo do período hibernar. Tal fato sugere relacionar, em estudos futuros, parâmetros de resposta da brotação de acordo com a disposição dos ramos na planta, ou até mesmo, realizar bloqueamento conforme a orientação das estacas na árvore.

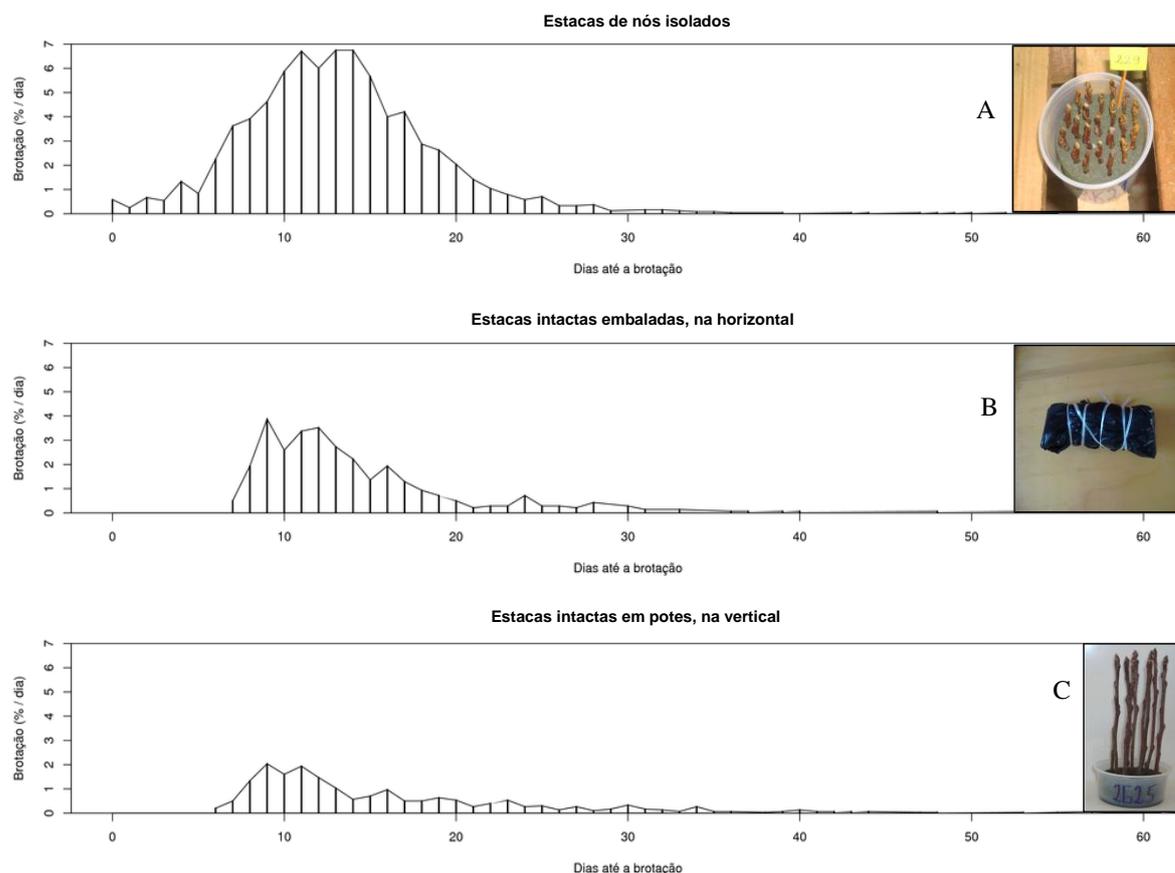


FIGURA 60. Distribuição da brotação, considerando de modo conjunto as gemas apicais e laterais das macieiras ‘Castel Gala’ e ‘Royal Gala’, para estacas de nós isolados (método 3.3.1) (A), estacas intactas embaladas na horizontal (método 3.3.3) (B) e estacas intactas em potes (método 3.3.2) (C), quando acondicionadas ao frio. Experimento realizado após a coleta de junho de 2009. Bento Gonçalves, RS, 2009.

A dominância apical é coordenada pela maior proporção de auxina, que é transportada na direção basípeta e exerce inibição direta sobre o crescimento das gemas axilares. Este efeito hormonal pode ser comprovado em alguns estudos envolvendo inibidores do transporte polar de auxinas, dentre eles o NPA (ácido 1-N-naftiltalâmico) e TIBA (ácido 2,3,5-triiodo-benzóico) (Santos *et al.*, 2004; Taiz & Zeiger, 2004). Tais inibidores bloqueiam o transporte polar, por impedir o efluxo de auxina (saída da auxina da célula pela membrana plasmática, no tecido do parênquima). O modo de ação de tais compostos é competir com a auxina pelo seu sítio de ligação no transportador de efluxo. Normalmente, utiliza-se uma mistura de produtos inibidores do transporte de auxina com a pasta lanolina (utilizada como suporte), colocada abaixo do ápice caulinar, para suspender e/ou minimizar a inibição das gemas axilares (Saroj *et al.*, 1995; Singh *et al.*, 2002; Giampan *et al.*, 2005).

O processo pelo qual a auxina inibe o crescimento das gemas laterais é pouco conhecido, porém algumas hipóteses são estabelecidas. Uma delas é dada pelo modelo de inibição direta (Taiz & Zeiger, 2004). De acordo com esse modelo, a concentração ótima de auxina para o crescimento das gemas é baixa, muito mais baixa do que a concentração normalmente encontrada no caule. Além dessa hipótese, estudos afirmam que quando o ápice caulinar é removido, os níveis de ácido abscísico (ABA) nas gemas laterais diminuem (Taiz & Zeiger, 2004). Altos níveis de auxinas na parte aérea podem auxiliar a manter os níveis de ABA altos nas gemas laterais, o que inibe o crescimento das mesmas. A remoção dos ápices elimina a fonte principal de auxinas, o que pode permitir que os níveis do inibidor de crescimento das gemas diminuam. Fisiologicamente, a aplicação direta de citocininas às gemas axilares estimula o seu crescimento, em muitas espécies, suprimindo o efeito inibitório do ápice caulinar (Bouquet & Torregrosa, 2003; Diniz

et al., 2004). Este hormônio exerce uma inibição da ação de auxina, sobre o metabolismo de ABA (Taiz & Zeiger, 2004).

Para Erez (2000), o nível de dominância apical é variável entre espécies, com maior polaridade (ou acrotonia) em pomáceas e cerejeiras do que em pessegueiros e ameixeiras. Tipicamente, sobre condições de clima ameno, na ausência de condições limitantes de crescimento, ocorre acentuado desenvolvimento das gemas terminais, o qual pode acentuar a inibição correlativa sobre as gemas axilares. Em estudos apresentados na literatura, o desponse na cultura do pessegueiro incrementou a brotação de gemas laterais vegetativas nas cultivares Coral, Rubidoux e Eragil, devido à eliminação do efeito da dominância apical (Hawerth *et al.*, 2009).

Além do efeito da dominância apical, verificou-se pelos métodos avaliados no presente estudo que as gemas laterais também podem interferir sobre a dormência da gema apical. Ao considerar os resultados à temperatura de 3°C, verificou-se que a intensidade de brotação da gema apical em estacas intactas foi inferior, numericamente, à observada em estacas de nós isolados, para ambas as cultivares. Tal constatação foi verificada, especialmente, nas primeiras amostragens de gemas, ocorridas nos meses de março de 2009, abril e maio de 2010 e abril de 2011. Enquanto para a 'Royal Gala' a brotação máxima das gemas apicais foi de 60% em estacas intactas, a brotação em estacas com gema única atingiu até 90%, após 600HF (compare Figuras 61A e 61B). Já, para a 'Castel Gala' a brotação máxima foi de 70 a 80% em estacas intactas, contra 80 a 90% em estacas de nós isolados, após 300HF (compare Figuras 61C e 61D). Com isso, tal comportamento sugere que as gemas laterais possam exercer influência sobre a brotação da gema apical em ramos de macieira. Esta evidência foi estudada nos experimentos 11 e 16, em que se avaliou a interferência das

gemas laterais sobre a brotação da gema apical, cujos resultados são apresentados no item 4.6.2.

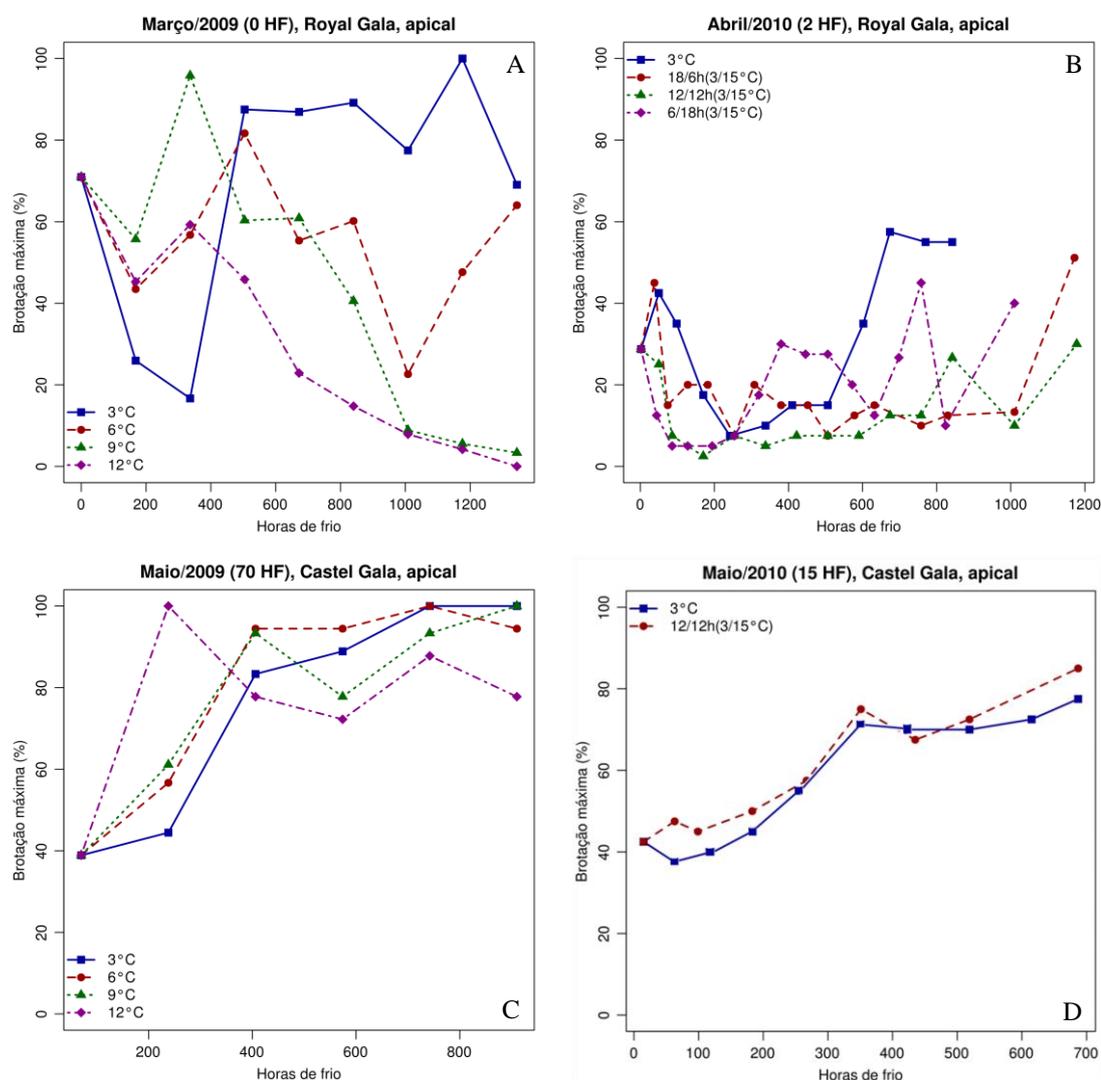


FIGURA 61. Brotação das gemas apicais da macieira 'Royal Gala' em estacas de nós isolados (A) e estacas intactas (B) e da macieira 'Castel Gala', em estacas de nós isolados (C) e estacas intactas (D). Bento Gonçalves, RS, 2009/2010.

Pelo contraste obtido entre estacas de nós isolados e estacas intactas, salienta-se a importância do método de estaca intacta para estudos de modelagem de predição da brotação, por manter parcialmente as inter-relações dos tecidos que a planta apresenta e, conseqüentemente, aproximar as respostas das plantas às condições reais. De acordo com Dennis Junior (2003), estacas intactas representam melhor a relação clima-planta, o que é de maior validade em

estudos de caracterização analítica do estado de dormência, em relação às condições ambientais.

Para Citadin *et al.* (2002), um dos principais problemas relacionados ao uso de ramos destacados (estacas intactas) refere-se à limitação do tempo de avaliação decorrente da curta longevidade dos ramos. Utilizando ramos destacados de cultivares de pessegueiro, Citadin *et al.* (1998) observaram problemas de conservação dos ramos, mesmo quando submetidos a diferentes substratos, mascarando o verdadeiro potencial de brotação e floração. No presente estudo, esse problema de conservação foi controlado, pois as estacas inteiras acondicionadas em espuma fenólica (método 3.3.6) tiveram melhor conservação, se comparadas àquelas que ficaram com suas bases permanentemente imersas em água (método 3.3.5). Essa conservação foi comprovada pela análise dos tecidos meristemáticos das gemas, cuja maioria permaneceu viva (Figura 62) após 56 dias a temperatura de 25°C. Talvez os compostos fenólicos presentes na espuma tenham auxiliado na conservação das estacas.

Devido a seu baixo aporte de reservas, maior exposição dos tecidos internos ou, ainda, desequilíbrio hormonal das estacas em favor do etileno e ácido abscísico, pela realização dos cortes nos tecidos (Dennis Junior, 2003), as estacas de nós isolados apresentaram pouca durabilidade, mesmo quando plantadas em espuma fenólica. O período de avaliação das estacas ao calor foi de 56 dias, geralmente. Porém, com 35 dias as gemas já demonstravam todo seu potencial de brotação.

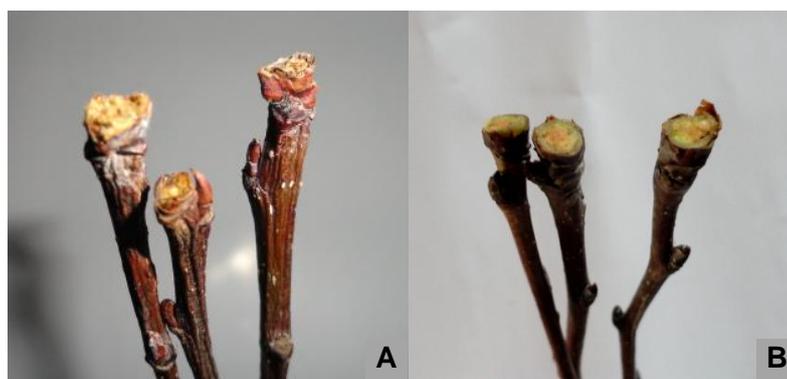


FIGURA 62. Análise dos tecidos das gemas apicais, após 56 dias a temperatura de 25°C, quando as estacas foram mantidas com a base imersa em água (A) ou em espuma fenólica umedecida (B). Bento Gonçalves, RS, 2010/2011.

Além dos métodos de estacas de nós isolados e estacas intactas, outros métodos têm sido apresentados na literatura para avaliar a dormência de gemas, tais como a utilização de plantas conduzidas em vasos para estudos de dormência, como realizado por Camelatto *et al.* (2000) e Silveira (2003). Contudo, esse método apresenta-se limitado em aplicabilidade de tratamentos, pois demanda grande espaço para sua realização e, conseqüentemente, pode elevar os custos devido à necessidade de grandes câmaras de crescimento climatizadas. Aliado a isso, as plantas em início de desenvolvimento, quando ainda no período de juvenilidade, não exibem a formação de gemas florais como observado em plantas adultas, demandando muito tempo para superarem este período.

Trabalhos relacionados à dormência na cultura do pessegueiro também enfatizam a metodologia de “ramos enxertados” (Silveira, 2003; Chavarria *et al.*, 2009), sendo indicado como método promissor para caracterização da dormência. Dentre as vantagens desse método destacam-se a capacidade de manter o material vegetativo em períodos mais longos de avaliação, devido à menor desidratação dos ramos, quando comparada aos ramos destacados, e à menor necessidade de espaço em relação às plantas conduzidas em vaso, que permite,

em ambientes controlados, maximizar o número de tratamentos com a mesma área utilizada. Porém, para aperfeiçoar essa metodologia, como sugerido por Wagner Júnior *et al.* (2006), há necessidade da realização de estudos específicos para cada espécie frutífera, levando em consideração a uniformidade e o tipo de material vegetativo a ser utilizado, de forma a considerar o hábito de desenvolvimento vegetativo e de frutificação, representativo de cada espécie ou cultivar. Além disso, assim como salientado no método de plantas em vasos, o método de enxerto também demanda espaço para sua realização, o que pode limitar o número de tratamentos testados simultaneamente. Portanto, no presente estudo, ambos os métodos, de ramos enxertados e de plantas em vaso seriam inviáveis, pois demandariam muito espaço para efetuar os contrastes de tratamentos de temperatura que foram propostos. Para exemplificar, foram coletadas e avaliadas 41.250 brindilas (Tabela 5), sendo que a área física útil exigida foi de apenas 17,4 m³ de *fitotron* e 2,8 m³ de BODs, mediante o uso de estacas intactas e de nós isolados.

Quanto às características relacionadas ao processamento das estacas nos diferentes métodos, o acondicionamento das mesmas ao frio, na forma de feixes embalados, permitiu uma condição hídrica superior àquelas expostas e plantadas em potes (observação visual). Além disso, as estacas embaladas maximizaram o espaço interno das BODs, permitindo um maior número de tratamentos térmicos em avaliação. Para Putti (2001) câmaras BODs restringem a umidade do ar em regimes de baixas temperaturas, podendo acarretar dessecação do material, o que pode limitar a viabilidade das gemas em períodos prolongados de exposição ao frio. A partir dos experimentos pôde-se selecionar o método de estacas intactas, mantidas na vertical durante o período de frio (para não mascarar o efeito da dominância apical) e com brotação em espuma fenólica (para promover

maior longevidade dos ramos), como o mais adequado para estudos de avaliação da evolução do estado de dormência de gemas em macieira (métodos 3.3.4 e 3.3.6).

Para avaliar a brotação, apesar da fotografia ser uma forma eficaz em estacas de nós isolados, permitindo o registro do tratamento e a demarcação da data de brotação (para conferências futuras na análise de dados), nas estacas intactas este método não apresentou fácil aplicabilidade, sendo de difícil visualização das gemas do ramo (principalmente as laterais). Desta forma, o melhor procedimento para avaliar a brotação das gemas nas estacas intactas é por inspeção visual, identificando em planilha a data da gema em estágio de ponta verde (Estádio C - C₃ da escala fenológica de Iuchi, 2006) (Apêndice 1).

No apêndice 51 é apresentado um protocolo para avaliação da dormência de gemas de macieira, da coleta à avaliação da brotação.

4.6.2 Influência das gemas laterais sobre a brotação da gema apical em estacas intactas de macieira

Diferenças na evolução da brotação das gemas apicais em estacas intactas e em estacas de nós isolados foram observadas entre os três anos de estudo. Em 2009, gemas da cultivar Castel Gala, coletadas em junho e submetidas à temperatura de 6°C por diferentes tempos de exposição, apresentaram taxa de brotação das gemas apicais menor em estacas intactas que em estacas de nós isolados, sobretudo quando as mesmas não receberam tratamento de frio ou, no máximo, uma a duas semanas (Figura 63). Da mesma forma, gemas apicais das cultivares Royal Gala e Castel Gala apresentaram brotação inferior em estacas intactas (2010 e 2011), se comparadas às estacas de nós isolados (2009), nas primeiras amostragens de gemas (Figura 61). Isto sugere que, nas estacas inteiras, as gemas laterais possam estar exercendo

alguma repressão (energética ou hormonal) sobre a brotação das gemas apicais. Existe também a possibilidade da própria hidratação da estaca estar influenciando a resposta das gemas à brotação, por meio da capilaridade no ramo, interindo no fluxo de seiva.

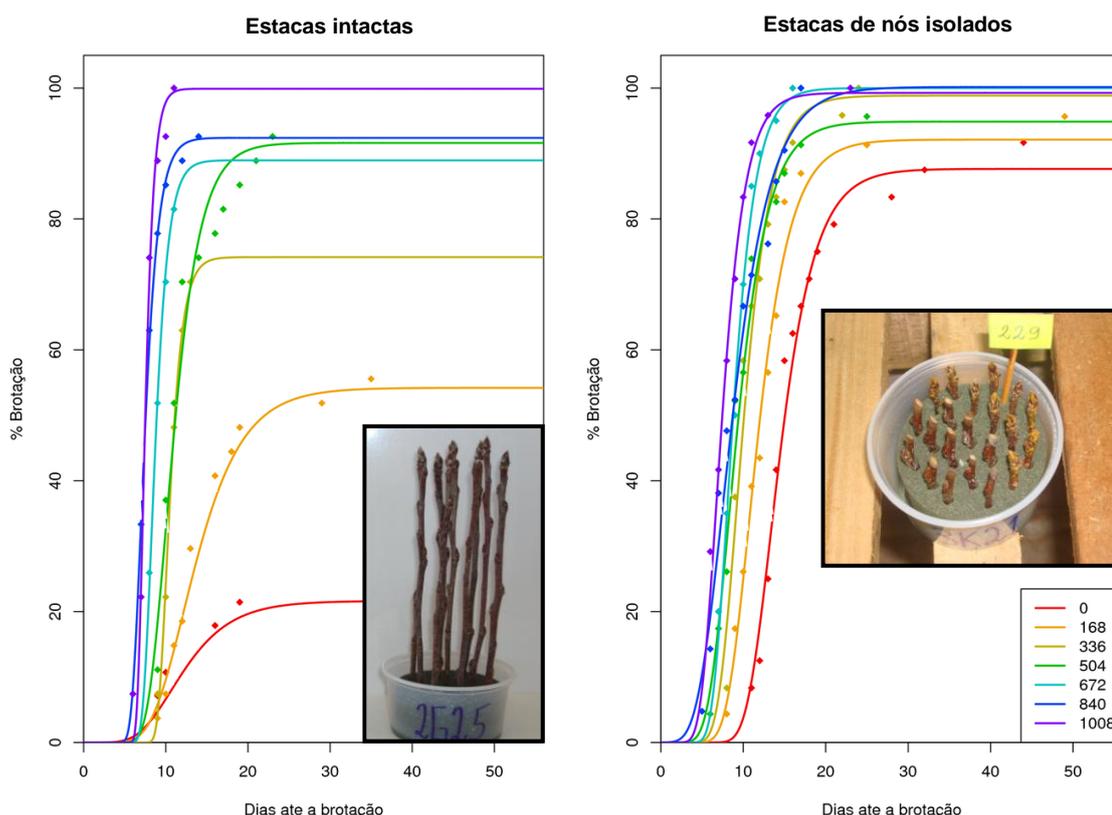


FIGURA 63. Evolução da brotação da gema apical em estacas intactas (método 3.3.2) (A) e estacas de nós isolados (método 3.3.1) (B) de macieiras 'Castel Cala', coletadas em junho de 2009 e submetidas a 6°C por diferentes tempos de exposição (HF). Bento Gonçalves, RS, 2009.

Na literatura, inúmeros trabalhos mostram a influência da gema apical sobre as gemas laterais, desencadeada pela produção e transporte polar descendente de auxinas (Phillips, 1969; Wilson, 2000; Taiz & Zeiger, 2004). No entanto, trabalhos que evidenciam um possível efeito das gemas laterais sobre a gema apical do ramo são desconhecidos, demonstrando a necessidade e a importância de estudos neste plano de ação. Esta é uma abordagem importante em trabalhos de modelagem de predição do estado de dormência das gemas,

pois muitas metodologias preconizam testes de gema única (gema apical isolada). Assim, se a influência das laterais sobre a apical for expressiva, pode haver problemas na interpretação dos resultados de dormência e na extrapolação dos mesmos para avaliar as condições fisiológicas das gemas nas plantas.

A hipótese da possível influência das gemas laterais sobre a apical foi investigada em 2010 e 2011, através dos experimentos 11 e 16, respectivamente, descritos no item 3.4.

Os resultados mostraram que o aumento da duração do frio elevou a quantidade total de gemas apicais brotadas, em todos os tratamentos avaliados (Figuras 64A e 65A), indicando que o frio durante a dormência atua de maneira positiva sobre a intensidade de brotação. Para Petri & Leite (2004) a ocorrência de frio, inicialmente, determina a endodormência e, após atingir este estado, contribui para a saída da fase, tornando as gemas fisiologicamente aptas a brotarem, explicando o aumento significativo da brotação pela exposição dos ramos ao frio. Além disso, observou-se que as gemas apicais seguiram um padrão de evolução do estado de dormência esperado para a 'Castel Gala', sendo a endodormência superada após 336 HF (Figura 64A). As gemas laterais, por sua vez, não se mostraram responsivas ao aumento do frio imposto em condições controladas (Figura 64D e 65D), comportamento esperado, conforme salientado nos itens anteriores.

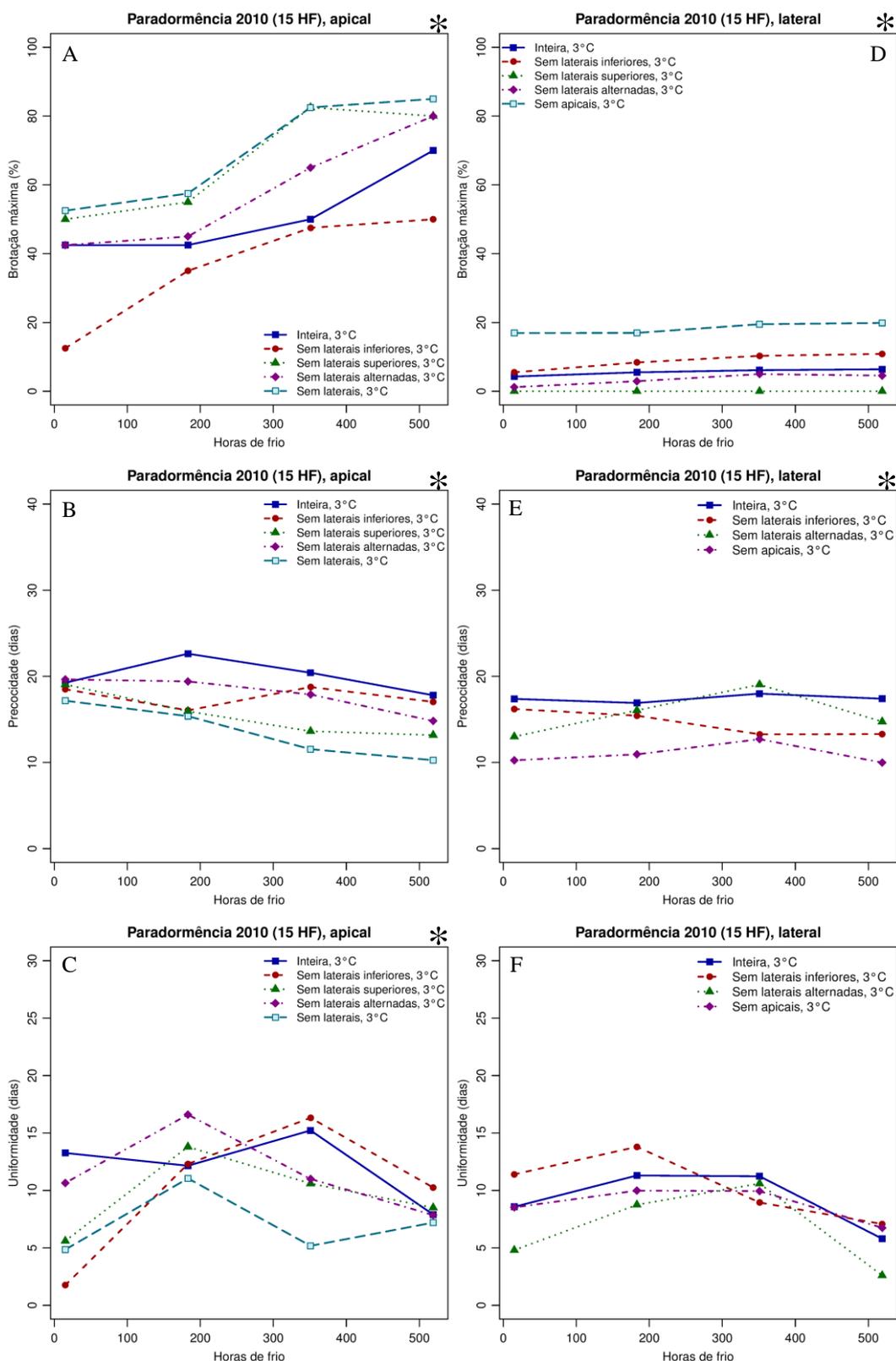


FIGURA 64. Evolução da brotação máxima (A, D), precocidade (B, E) e uniformidade (C, F) das gemas apicais (esquerda) e laterais (direita) de macieiras 'Castel Gala' submetidas a diferentes tratamentos, quanto à disposição das gemas axilares no ramo, e após expostas à temperatura de 3°C constante durante o período de dormência. Experimento realizado em estacas intactas (método 3.3.5), após a coleta de maio de 2010. A quantidade de HF \leq 7,2°C ocorridas no campo até a data de coleta estão indicadas no título dos gráficos. (*) Gráficos com ocorrência de diferenças significativas ($P < 0,01$) entre os tratamentos (ver análise estatística nos apêndices 46D, 46E, 46F, 47D e 47E). Bento Gonçalves, RS, 2010.

No experimento 11, realizado em 2010, o grupo formado pelos tratamentos SL (todas as gemas laterais removidas) e SS (gemas laterais superiores removidas) apresentou maior percentual de brotação máxima ($P=0,0004$), se comparado ao grupo formado por I (estacas intactas) e A (remoção alternada das gemas laterais) (Figura 64A). Isto indica que a remoção de todas as gemas laterais superiores estimulou a brotação das gemas apicais, mostrando que as gemas laterais superiores podem inibir, em parte, a brotação das gemas apicais, reduzindo a brotação ou aumentando a necessidade de frio para superação da dormência. Verificou-se também que o tratamento SI (gemas laterais inferiores removidas) apresentou brotação inferior ($P<0,0001$) a todos os tratamentos, confirmando o poder inibitório das gemas laterais superiores sobre a brotação da gema apical. Os tratamentos I e A não diferiram entre si em termos de brotação máxima ($P=0,18$), indicando que as gemas restantes da remoção alternada foram suficientes para manter o efeito inibitório sobre a gema apical. Também não houve diferença ($P=0,97$) entre os tratamentos SL e SS, sugerindo que a gema terminal não é afetada pelas gemas laterais inferiores.

A influência das gemas laterais superiores sobre a brotação da gema apical, observada em 2010 (Figura 64), foi reavaliada no experimento 16 em 2011 (Figura 65). Nesta segunda análise, o foco das ações foi definir se o potencial de brotação das gemas apicais foi influenciado, essencialmente, pela remoção das gemas laterais do ramo ou se foi reflexo do dano causado quando da eliminação das gemas axilares da estaca. Não houve diferença significativa entre as curvas de brotação máxima nesse experimento (Figura 65A). Entretanto, observou-se uma tendência do ferimento abaixo das gemas laterais resultar em maior brotação das gemas apicais em relação às estacas inteiras, porém menor se comparada ao tratamento sem laterais superiores (Figura 65A). Tal fato indica que o ferimento

pode ter influência sobre a brotação da gema apical, porém, a maior interferência se deve à presença das gemas axilares superiores. A avaliação em apenas dois pontos extremos de número de horas de frio, em 2011, impediu que se verificasse um possível efeito na exigência em frio causado pelos tratamentos, pois em 2010 as principais diferenças entre os tratamentos se manifestaram em torno de 350 HF (Figura 64A). Assim, são necessários estudos mais detalhados, com uma melhor resolução temporal.

Quanto à precocidade de brotação, em 2010, observou-se que as gemas apicais dos tratamentos que continham gemas laterais superiores (I, A e SI) levaram mais tempo para brotar, diferindo significativamente dos tratamentos SS e SL ($P=0,0002$) (Figura 64B). Em 2011, a mesma resposta foi obtida, com maior precocidade das gemas apicais em estacas sem a presença das gemas axilares superiores, se comparadas às estacas intactas ($P=0,019$) (Figura 65B). Isso mostra que as gemas axilares superiores afetam tanto a ocorrência da brotação das gemas apicais quanto a sua velocidade. O tratamento SL (sem laterais) apresentou, numericamente, maior velocidade de brotação das gemas apicais, sobretudo, após a superação da endodormência (336 HF), atribuindo alto potencial para brotarem, quando mantidas solitárias nos ramos (Figura 64B).

Para a uniformidade de brotação das gemas apicais, em 2010, o grupo formado pelos tratamentos SL, SS e SI diferiu significativamente do grupo composto por I e A ($P=0,0052$) (Figura 64C). Isto indica que a presença de gemas laterais ao longo do ramo provoca menor sincronia da brotação das gemas apicais. Verificou-se, também, que os tratamentos SL e SS não diferiram entre si ($P=0,46$), apresentando maior uniformidade de brotação, devido a ausência da interferência das gemas laterais superiores sobre a gema terminal. Em 2011, não houve diferenças significativas entre os tratamentos (Figura 65C).

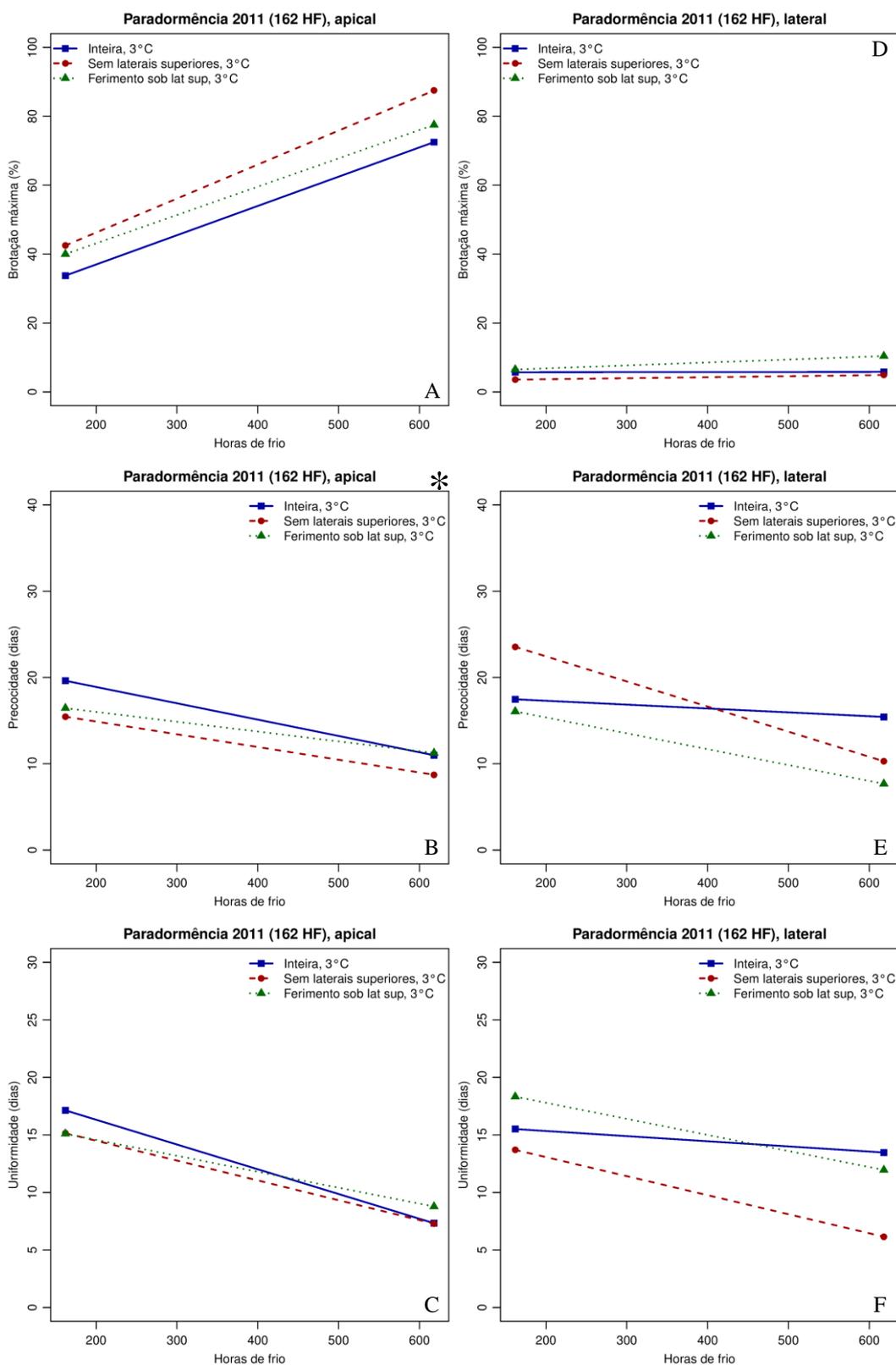


FIGURA 65. Evolução da brotação máxima (A, D), precocidade (B, E) e uniformidade (C, F) das gemas apicais (esquerda) e laterais (direita) de macieiras 'Castel Gala' submetidas a diferentes tratamentos, quanto à disposição das gemas axilares no ramo, e após expostas à temperatura de 3°C constante durante o período de dormência. Experimento realizado em estacas intactas (método 3.3.6), após a coleta de junho de 2011. A quantidade de HF \leq 7,2°C ocorridas no campo até a data de coleta estão indicadas no título dos gráficos. (*) Gráficos com ocorrência de diferenças significativas ($P < 0,05$) entre os tratamentos (ver análise estatística no apêndice 48E). Bento Gonçalves, RS, 2011.

Quanto à resposta de brotação das gemas laterais, em ramos com gemas terminais (2010), os tratamentos A e I não diferiram entre si ($P=0,33$), enquanto os mesmos se distinguiram do tratamento SI ($P=0,023$) (Figura 64D). Isto indica que a remoção das gemas laterais inferiores estimula a brotação das superiores, sugerindo que gemas axilares basais em estacas de macieira possam exercer alguma influência sobre as laterais superiores. O tratamento SS diferiu dos demais tratamentos ($P<0,0001$) por não ter proporcionado brotação das gemas basais. Isto mostra que as gemas laterais inferiores têm brotação pequena ou nula em estacas de macieira. Em relação à análise do parâmetro precocidade (2010 e 2011), uniformidade (2010 e 2011) e brotação máxima (2011), não se observaram diferenças significativas entre os tratamentos (Figuras 64E, 64F, 65D, 65E e 65F). Em termos gerais, verificou-se que as gemas laterais foram fortemente influenciadas pela paradormência (Figura 64D e 65D).

A remoção do efeito da dominância apical no tratamento SA (estacas sem gema apical) promoveu maior quantidade de gemas axilares brotadas, se comparadas aos tratamentos que dispunham de gemas terminais (I, A, SI e SS) ($P<0,0001$) (Figura 64D). Com a retirada da gema apical, a dominância por ela exercida sobre as gemas laterais é eliminada, ocorrendo, segundo Barrit (1998), melhor distribuição da seiva, favorecendo a brotação de gemas laterais. Além disso, o tratamento SA promoveu maior precocidade das gemas axilares ($P<0,0001$) (Figura 64E), não havendo distinção entre tratamentos para uniformidade de brotação (Figuras 64F).

Os resultados dos experimentos 11 e 16 mostram que as gemas apicais podem ser afetadas pela presença das gemas laterais superiores, como observado pelos ensaios de 2009, 2010 e 2011, quando analisados, especialmente, em relação aos parâmetros brotação máxima e precocidade. A

interferência das gemas laterais na brotação da gema apical deve ser aprofundada em trabalhos futuros, devendo-se realizar estudos em nível hormonal e genético, para melhor explicar o efeito dessa interação, assim como avaliada em ramos da própria planta. Estes resultados, em conjunto, corroboram com a afirmação de que uma gema está em constante correlação com o restante da planta (ou demais gemas), sofrendo maior ou menor influência, principalmente, dos tecidos mais próximos a ela, conforme descrito por Leite (2004).

4.6.3 Evolução da endodormência em gemas de macieira em função da presença ou ausência de folhas no outono

As condições meteorológicas do ciclo vegetativo de 2010 aumentaram a incidência da doença Mancha Foliar da Gala (*Colletotrichum* spp.), favorecendo a queda precoce das folhas em macieiras. Isto pode ter influenciado a profundidade e superação da endodormência das gemas, como discutido no item 4.4.1. Com isso, em 2011 procurou-se avaliar se a presença ou ausência das folhas, na indução da endodormência, tinha efeito sobre a intensidade e saída do processo. O estudo consistiu em quatro modalidades de desfolha aplicadas à cv. Royal Gala: manual, ureia, fungicida (para retardar a queda das folhas) e controle (queda natural das folhas).

Na análise de contraste entre tratamentos, os regimes com desfolha química (ureia), desfolha natural (controle) e desfolha manual não diferiram entre si ($P=0,079$), formando um grupo similar de evolução da endodormência, com dormência mais superficial e menor potencial de brotação ao seu final (Figura 66A). Os resultados concordam com aqueles obtidos por Lloyd & Firth (1990), cujo desfolhamento precoce reduziu a profundidade de dormência de gemas em pessegueiro das cultivares 'Flordaprince' e 'Flordagold'.

A semelhança observada entre os três tratamentos (manual, ureia e controle) pode estar associada ao fato do controle e tratamento com ureia terem perdido prematuramente as folhas, devido à infecção de Mancha Foliar da Gala (*Colletotrichum* spp.), resultando num comportamento similar à ausência total de folhas (desfolha manual). Este efeito da doença é reforçado pelo impacto do tratamento com fungicida, o qual diferiu significativamente ($P=0,0006$) dos demais tratamentos (Figura 66A), indicando que a manutenção das folhas na planta induz uma dormência ligeiramente mais profunda e um maior nível de brotação máxima na saída do período.

Os resultados sugerem que a permanência das folhas na planta no período pós-colheita é importante e que, como afirma Jackson (2003), as folhas são um tecido relevante para a percepção dos estímulos para indução da dormência. Entretanto, apesar desta evidência, esses resultados são contrários aos obtidos por Cook *et al.* (2005), os quais afirmam que, a partir de testes com desfolha manual e química (ureia e sulfato de zinco), as gemas são autônomas e as folhas não estão envolvidas na percepção do estímulo que aciona a dormência. Isto reforça a importância de estudos mais aprofundados sobre o papel das folhas na percepção dos estímulos que desencadeiam a dormência.

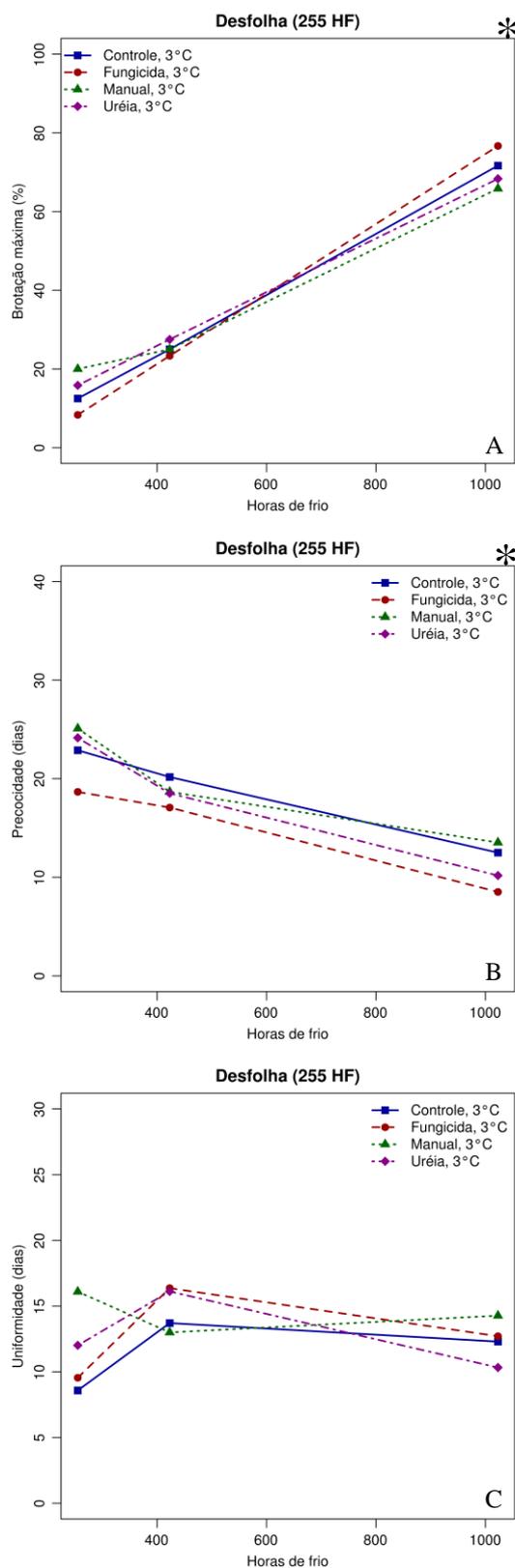


FIGURA 66. Evolução da brotação máxima (A), precocidade (B) e uniformidade (C) das gemas apicais de macieiras 'Royal Gala' submetidas a diferentes modalidades de desfolha no campo, com 0 HF, coletadas no campo com 225 HF e expostas a temperatura de 3°C para a superação da dormência, em condições controladas. Experimento realizado em estacas intactas (método 3.3.6), após a coleta de junho de 2011. (*) Gráficos com ocorrência de diferenças significativas entre os tratamentos (ver análise estatística nos apêndices 50D e 50E). Bento Gonçalves, RS, 2011.

Para Hidalgo (1993) a manutenção das folhas em espécies frutíferas temperadas é essencial para o processo de acúmulo de reservas, que serão utilizadas como fonte de energia no início da safra seguinte, bem como para a brotação das gemas. Trabalhos realizados com pessegueiros mostram também que a presença das folhas é necessária para que a diferenciação floral se desenvolva adequadamente (Lloyd & Couvillon, 1974). A diferenciação floral ocorre durante o verão e o outono, deduzindo-se que a queda precoce das folhas, neste período, pode diminuir o número de gemas floríferas. Alves & Mio (2008) observaram que plantas de pessegueiro que mantiveram o enfolhamento por mais tempo, apresentaram maior número de flores por ramo no ciclo seguinte. Segundo Raseira *et al.* (1998), a queda prematura das folhas acarreta menor capacidade de produção e longevidade de pomares, podendo estar associada a problemas endógenos relacionados ao período de dormência das gemas.

Com base nos dados obtidos de brotação máxima, o desfolhamento precoce pode conduzir à necessidade de superação artificial da dormência, para prevenir problemas fenológicos no início do ciclo vegetativo seguinte, como brotação e floração deficientes e/ou desuniformes. Tal fato poderá auxiliar produtores e técnicos nas tomadas de decisão, quanto à adoção de técnicas para manutenção das folhas no período pós-colheita, como sugerido para pessegueiro (Raseira *et al.*, 1998), macieira (Petri *et al.*, 2006) e videira (Giovaninni, 2008).

Dentre as cultivares de macieira, a cultivar Castel Gala demonstrou ser menos sensível ao frio para a entrada da endodormência, em anos com desfolha precoce, como indicado no item 4.4.1.1. Dessa forma, os resultados relacionados ao efeito da desfolha sobre a dormência (Figura 66) poderiam ser mais contundentes se avaliados em cultivares com menor necessidade de frio, sendo um aspecto a ser trabalhado em estudos futuros.

Quanto às variáveis de tempo de resposta à brotação, não se verificou diferenças significativas entre os tratamentos, tanto para precocidade (Figura 66 B) como para uniformidade (Figura 66C). Entretanto, houve uma tendência do tratamento com fungicida (desfolha mais tardia) resultar uma brotação mais precoce das gemas ($P=0,066$) (Figuras 66B), se comparado aos demais tratamentos. Isto sugere que a desfolha tardia em pomares de macieira pode tornar as gemas aptas a brotarem mais cedo, no início do ciclo seguinte.

Para o ajuste e/ou desenvolvimento do modelo teórico biológico para predição da brotação em macieira, deve-se considerar que a desfolha precoce induz à entrada da endodormência, como indicado no item 4.4.1.1, assim como pode prejudicar e comprometer a qualidade da brotação no início do ciclo vegetativo seguinte. Entretanto, a validade de tais informações deve ser melhor estudada para verificar a potencial interferência das folhas na percepção do estímulo à dormência, e seus efeitos passíveis de serem desencadeados no nível endógeno dos fitormônios e/ou processos metabólicos da planta durante o período hibernar.

4.7 Modelo teórico biológico para predição da brotação em macieira

A partir dos resultados obtidos nos experimentos de 2009, 2010 e 2011, foi elaborado um modelo teórico biológico para previsão do início do ciclo vegetativo da macieira. O modelo contemplou aspectos relacionados ao mecanismo da dormência de gemas, compreendendo as etapas de indução e superação da endodormência, bem como a etapa de ecodormência (Figura 67).

Na estruturação do modelo, considerou-se a formação e degradação de uma substância “D”, que representa um composto hipotético inibidor da brotação das gemas, potencialmente caracterizado por um dos genes *MADS-BOX* associados à dormência (*DAM*) (Horvath, 2009) (item 4.7.1). Quando essa substância se encontra ativa (D_a), a endodormência estará induzida, e quando inativa, a endodormência estará superada (D_i). Para a formação da substância D_a , há necessidade da formação de um precursor C, que ocorre no verão com a planta ainda não dormente.

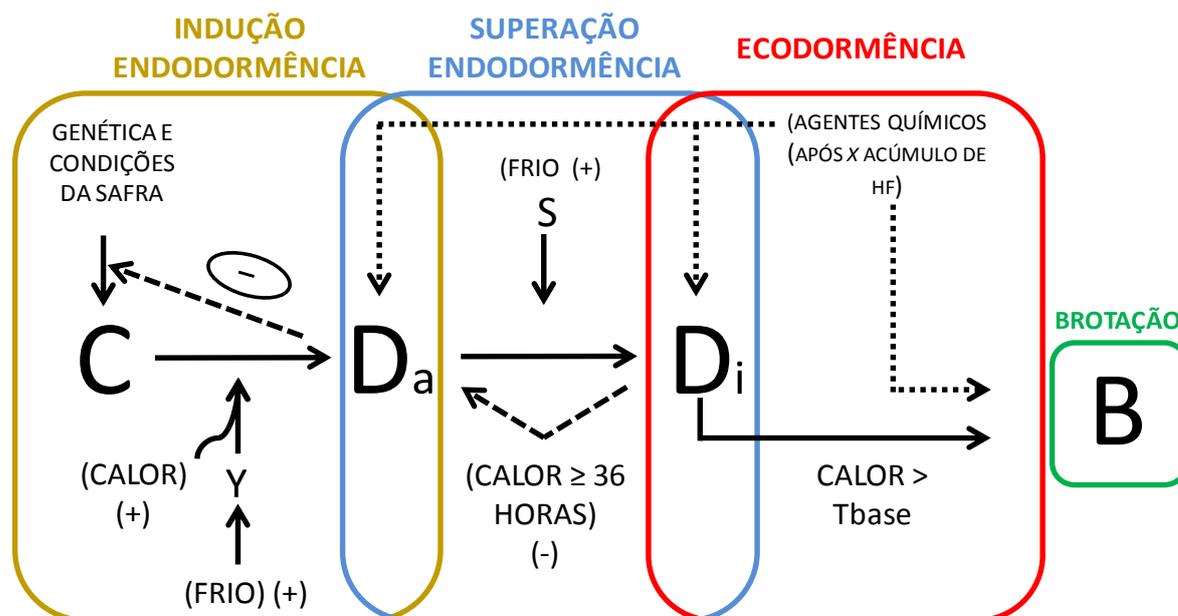


FIGURA 67. Esquematização do modelo teórico biológico para predição da brotação em macieira. C = precursor indutor da endodormência; D_a = endodormência induzida; Y = enzima responsável pela indução da endodormência; D_i = endodormência superada; S = substância responsável pela superação da endodormência e B = brotação. Bento Gonçalves, RS.

Para a endodormência ser induzida, o precursor C tem que ser totalmente convertido na substância D_a (Figura 68), sendo essa transformação realizada por uma enzima “Y”, no modelo proposto (Figura 67). Esta enzima “Y” é formada pelo frio e sua atividade acelerada pela presença de calor em meio ao frio (Figura 67). Isto mimetiza a maior eficiência dos regimes térmicos oscilatórios (frio/calor) para a indução da endodormência, como mostrado no presente estudo (item 4.4.1). Para Taiz & Zeiger (2004) a temperatura é um fator importante na atividade de enzimas, sendo que, dentro de certos limites, a velocidade de uma reação enzimática aumenta com a elevação da temperatura (reação dobra para cada aumento de 10°C – Lei de Vant’ Hoff). Para os mesmos autores, ocorre uma ativação do metabolismo vegetal em temperaturas mais altas, resultando em maior transcrição e tradução de enzimas.

Com base nos experimentos, a conversão de C em D_a ocorreu de modo gradual com o acúmulo dos primeiros frios no outono, sendo no momento da total conversão de C em D_a , atribuído o máximo nível de dormência ou mínima capacidade de brotação, salientado pelo indicador “indução da endodormência” na Figura 68. Se durante este período ocorrer uma condição térmica oscilatória (ex.: $3/15^{\circ}\text{C}$), a conversão de C em D_a será de modo mais rápido do que em regimes de frio intenso e constante (ex.: 3°C), como observado pelas Figuras 38A e 39A, págs. 116 e 117. Após o início da conversão, a presença de D_a impede que haja formação de mais C, representado pelo sinal negativo na equação esquematizada do modelo teórico (Figura 67).

O nível do precursor C é variável com a genética da cultivar. A ‘Castel Gala’, por exemplo, tende a apresentar menor nível de C, que levará a menor formação de D_a , caracterizando uma dormência mais superficial se comparada à ‘Royal Gala’ (Figura 68A e 68B – ver altura dos compostos C e D_a). Além disso,

supõe-se que o nível de C varia com as condições da safra, sendo um menor grau de C formado na presença de problemas hídricos, nutricionais e/ou fitossanitários, o que acaba resultando igualmente em menor formação de D_a , resultando numa dormência menos profunda ou “mais leve” (item 4.6.3). Problemas de Mancha Foliar da Gala (*Colletotrichum* spp.), com desfolha precoce, também podem antecipar a entrada da endodormência, como observado nas cultivares estudadas Royal Gala e Castel Gala (item 4.4.1).

A diferença da necessidade de frio para a indução da endodormência entre as cultivares é conferida pela distância entre C e D_a (Figuras 68A e 68B). A dormência da ‘Castel Gala’ é induzida antes que a ‘Royal Gala’. Verificou-se que a necessidade de frio para acionar a endodormência é de 48-72 para a ‘Castel Gala’ e 120-165 HF para a ‘Royal Gala’ (item 4.4.1.1).

Após ocorrer a conversão total de C em D_a , a continuidade de exposição ao frio irá resultar em mudança de estado da substância D, passando da forma ativa (D_a) para inativa (D_i). Esta etapa de mudança de estado é representada pela superação da endodormência (discutida em detalhes no item 4.4.2). Nesta conversão, o frio age formando uma substância “S”, que conduz a passagem de D_a em D_i (Figura 67). O modo operacional desta substância “S” pode ser hipotetizado de várias formas (explorado no subitem 4.7.1, abaixo), mas atua necessariamente sobre a redução do efeito inibidor da substância D_a .

A taxa de conversão de D_a em D_i varia com a temperatura efetiva de frio para a saída da endodormência, sendo dependente do genótipo. Pelos resultados obtidos no estudo, enquanto 3 e 6°C representam a faixa ótima de temperatura para cultivares com maior exigência em frio (‘Royal Gala’), a mesma pode chegar até o intervalo de 9 e 12°C para cultivares de menor necessidade de frio (‘Castel Gala’) (item 4.4.2.1a). Assim, quando cada genótipo for exposto ao regime

térmico ideal, a conversão de D_a em D_i ocorrerá mais rapidamente. Esta taxa de conversão é representada esquematicamente pela inclinação da diagonal (linha tracejada preta), na Figura 68, concluindo-a com aproximadamente 300 HF para a 'Castel Gala' e 600 HF para a 'Royal Gala' (item 4.4.2), verificada pela progressão diferenciada das substâncias hipotéticas (D_a para D_i - Figuras 68A e 68B).

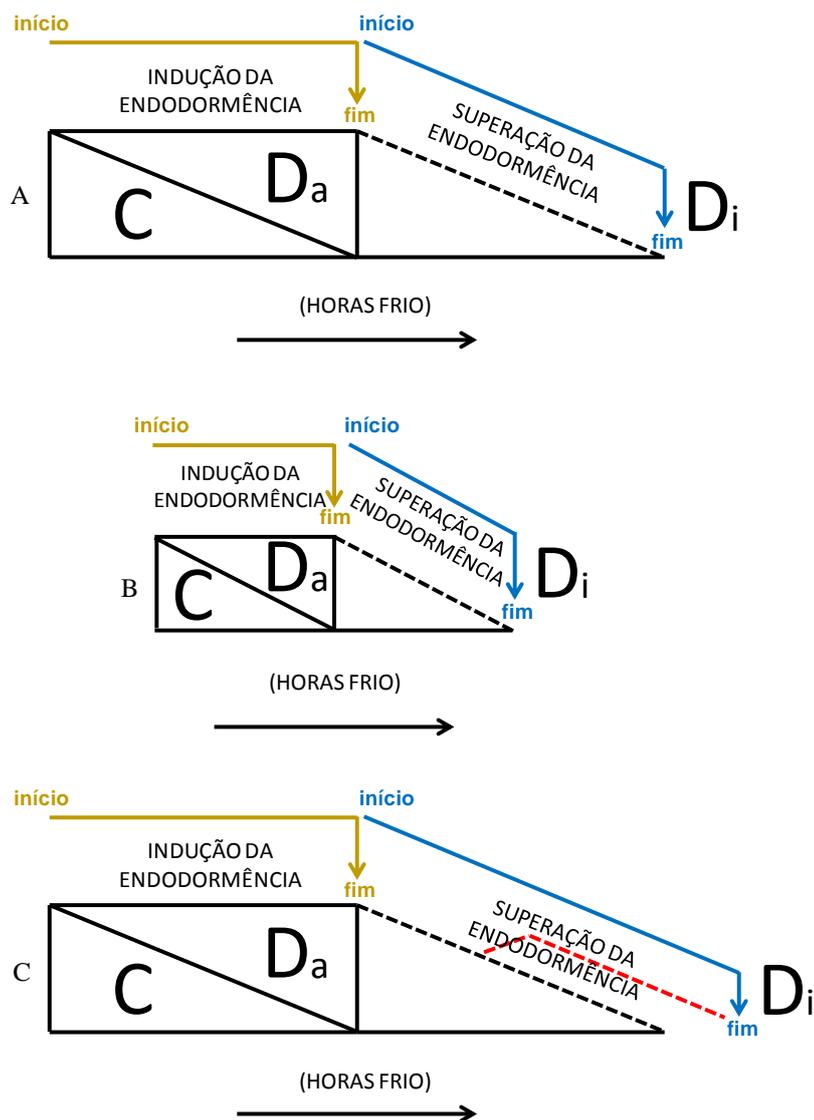


FIGURA 68. Representação da indução e superação da endodormência. Início da conversão de C em D_a indica início da indução da endodormência. Ao finalizar esta conversão termina a fase de indução, pois o nível de endodormência é máximo. Com o início da conversão de D_a em D_i ocorre o início da superação da endodormência. Ao finalizar esta conversão termina a fase de superação, ocorrendo liberação das gemas da endodormência. (A) Indução e superação da endodormência em genótipo com média-alta necessidade de frio (Royal Gala); (B) Indução e superação da endodormência em genótipo com baixa necessidade de frio (Castel Gala); (C) Indução e prolongada superação (linha tracejada vermelha) da endodormência, em presença de ondas de calor em meio ao frio, durante a saída do processo em genótipo com média-alta necessidade de frio (Royal Gala). Bento Gonçalves, RS.

O calor, no período de superação da endodormência, atua de duas formas:

i) quando em exposições acima de 36 h contínuas com temperaturas $\geq 15^{\circ}\text{C}$ haverá reversão parcial do processo de mudança de estado (D_i em D_a , Figura 67), o que fará com que o nível de D_a se eleva. Como consequência, haverá uma condição de manutenção da inibição de brotação (linha tracejada vermelha - Figura 68C), resultando em maior quantidade de frio para que a endodormência seja superada, como descrito no item 4.4.2.1.c; *ii)* quando acima da temperatura base, ou seja, em temperaturas acima do intervalo entre 3 e 5°C , o calor atuará na degradação do D_i já formado. Esse efeito poderá ocorrer a partir do início da transição da endodormência e ecodormência das gemas, computando soma térmica para estímulo da brotação (ver item 4.5). Quando o D_i for totalmente degradado, as gemas iniciarão a brotar, representado pela letra “B”, no modelo proposto (Figura 67).

Se houver calor em excesso durante a endodormência (exposição maior que 36 h contínuas), o D_a se manterá presente em níveis altos e o D_i será completamente degradado. Nesta condição, ocorrerá uma brotação máxima deficiente e desuniforme, pois a endodormência não será plenamente superada (presença alta ainda de D_a). Nestes casos, pode-se lançar mão da aplicação de produtos químicos para impedir ou evitar a ocorrência de má brotação (Figura 67). Agentes químicos (ex.: cianamida hidrogenada) reduzirão o nível de sensibilidade crítico de D_a e D_i para brotação.

Para ficar mais claro este efeito sobre o nível crítico para brotação, considera-se, na Figura 69, a linha verde (dormência com superação natural pelo frio) e linha vermelha (dormência com superação artificial por agentes químicos). Em anos com invernos bons (Figura 69A), o volume de precursores (C), representado como um líquido em um reservatório (gema) é convertido em um

volume de dormência (D_a). Quando a gema está em seu estado máximo de dormência (máxima quantidade de D_a), o reservatório estará cheio. À medida que a gema é exposta continuamente ao frio, haverá a conversão de D_a em D_i , reduzindo o volume de dormência até o limite (ou nível) em que D_a não exerça tanta restrição (abaixo da linha verde). Assim que o D_i for degradado pelo calor, também, até o nível crítico, as gemas são consideradas aptas a brotar, em índices adequados. Já, em anos com invernos amenos (Figura 69B), em que o D_a é parcialmente convertido em D_i , supõe-se que, com a aplicação de indutores químicos para superação da dormência, o limite mínimo seja elevado (da linha verde para a linha vermelha), forçando a brotação, em níveis altos e com aumento de precocidade e uniformidade, mesmo na presença de níveis mais altos de D_a . Contudo, de acordo com a literatura, a eficiência de agentes químicos somente ocorre quando as plantas receberam, no mínimo, 50% ou 2/3 da necessidade de frio a campo para superação da endodormência (Erez, 2000; Petri *et al.*, 2006). Isto é mostrado na Figura 69C, em invernos ruins, em que pouco frio ocorre para converter D_a em D_i , fazendo com que, nem mesmo agentes químicos consigam elevar o nível crítico, a ponto do D_a não restringir a brotação. Neste caso a brotação será ruim.

Em relação ao precursor C, sua ação deve ser melhor investigada para entender sua interdependência com os demais compostos do modelo, a fim de poder simular variações, como ilustrado na Figura 69.

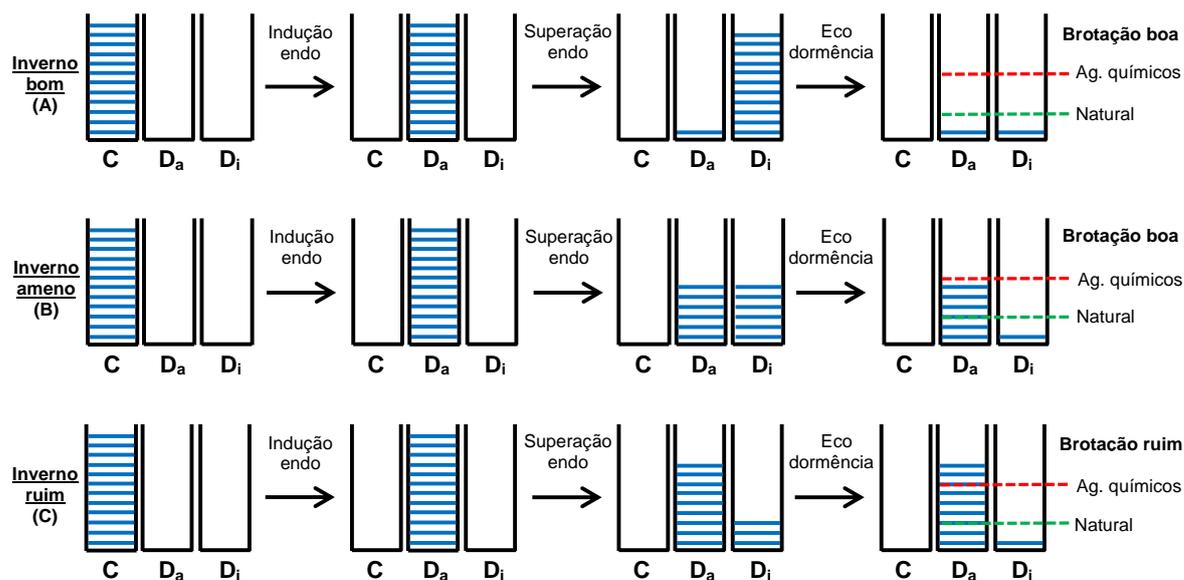


FIGURA 69. Evolução da dormência durante o período hibernacional. (A) Invernos bons, com acúmulo de frio suficiente para superar a dormência; (B) Invernos amenos, com necessidade de superação da dormência por agentes químicos; (C) Invernos ruins, com frio insuficiente para a quebra natural ou com agentes químicos. Linha verde indica o nível crítico de D_a e D_i para a superação natural da dormência. Linha vermelha indica o nível crítico de D_a e D_i para a superação da dormência por agentes químicos. Bento Gonçalves, RS.

Quanto ao parâmetro precocidade da brotação, o modelo revela que a presença de calor abaixo de 36 h contínuas ou alternadas com frio durante a endodormência, não provocará a conversão de D_i para D_a, porém degradará lentamente o D_i, impulsionando uma brotação mais precoce, se comparada aos regimes térmicos frios e constantes. Em relação à uniformidade da brotação, a degradação completa de D_a para D_i, a partir do frio, resultará em uma maior sincronia da brotação. Tais considerações fazem jus aos resultados experimentais obtidos no estudo, mostrados nos itens 4.4.2.2 e 4.4.2.3, em que o aumento do período de duração de frio, durante a dormência, mesmo que além das necessidades das cultivares, favorece a uniformidade e precocidade da brotação.

Associado às diferenças de frio entre as cultivares, verificou-se uma distinção na necessidade de calor entre a 'Castel Gala' e 'Royal Gala', para o alcance da brotação. Em termos gerais, as diferenças de requerimento de frio e

calor entre as cultivares são expressas pela taxa de rapidez na formação e degradação das substâncias hipotéticas. Materiais com menor exigência térmica alcançam níveis desejados das substâncias D_a e D_i em menor espaço de tempo, por apresentarem níveis inferiores de D_a e D_i , associado a uma maior atividade metabólica, conferindo acúmulo de frio em temperaturas mais altas durante a endodormência, e pesos maiores a temperaturas ligeiramente acima do seu limite térmico basal, para acúmulo de soma térmica na ecodormência, como verificado pelos itens 4.4.2 e 4.4.3.

O modelo teórico biológico para previsão da brotação em macieira corresponde, principalmente, às respostas observadas para as gemas apicais. Para as gemas laterais, pela brotação ser dependente, sobretudo, da resposta da gema terminal (dominância apical), o mecanismo da dormência deve se restringir, especialmente, à etapa de paradormência, sem incluir termos de indução e/ou superação da endodormência (ver itens 4.3.1, 4.4.1 e 4.4.2).

A partir da esquematização desenvolvida para o entendimento do mecanismo da dormência em frutíferas temperadas, funções matemáticas poderão ser estabelecidas para ajustar um novo modelo para previsão do início do ciclo vegetativo das plantas, o qual possa ser aplicado anualmente aos dados meteorológicos do período de outono e inverno. Os parâmetros levantados neste estudo subsidiarão a construção do modelo e poderão dar uma maior precisão e aplicabilidade à predição da brotação, em função do caráter inovador de aspectos como: fatores relacionados à indução da endodormência, efeito do calor na superação da endodormência, temperatura base para a saída da ecodormência, precocidade, uniformidade, potencial máximo de brotação e resposta de diferentes genótipos/tipos de gema às necessidades térmicas hibernais. Portanto, com essa abordagem, pretende-se evitar problemas relacionados à inconsistência

dos modelos de predição da brotação, como o seu caráter não realista (Fuchigami & Wisniewski, 1997). Este problema ocorre, principalmente, pelo fato de muitos modelos não considerarem as inter-relações entre parâmetros ambientais e os processos fisiológicos das plantas na dormência, limitando a precisão dos métodos somente às condições climáticas similares àquelas que foram desenvolvidos (Cesaraccio *et al.*, 2004).

Com o crescente interesse nos mecanismos de controle da dormência, principalmente em relação aos cenários de mudanças climáticas, o conhecimento dos padrões de resposta das plantas às temperaturas pode contribuir para o esclarecimento da dinâmica da dormência frente às diferentes condições ambientais (Erez, 2000), como observado no presente estudo. Isto possibilitará a elaboração de modelos fidedignos à previsão do início do ciclo vegetativo em frutíferas temperadas. Com base em modelos mais precisos, podem-se prospectar comportamentos futuros de brotação das plantas em relação aos cenários previstos de incrementos de temperatura e de restrição de frio hibernal, conforme salientado por alguns trabalhos, descritos por Campos (2010) e Cardoso (2011).

4.7.1 Candidatos gênicos e metabólitos associados ao modelo teórico biológico para predição da brotação em macieira

Sinais internos e externos agem em rotas de transdução de sinais específicas e sobrepostas para a regulação da dormência em gemas (Horvath *et al.*, 2003). Além disso, há uma regulação comum entre o florescimento e o cessar do crescimento que precede a indução da endodormência (Horvath, 2009). A Figura 70 sintetiza os mecanismos moleculares que regulam esses processos, conforme o modelo proposto por Horvath (2009).

Para Or *et al.* (2000), a endodormência é controlada geneticamente, induzida naturalmente pela redução do fotoperíodo (no caso da maçã, insensível a este fator, Heide & Prestrud, 2005) e/ou pelas baixas temperaturas, sendo liberada após as plantas serem expostas a temperaturas de frio qualitativa e quantitativamente adequadas. No modelo proposto por Horvath (2009), em plantas que percebem o frio como o principal indutor da endodormência, genes *MADS-BOX ASSOCIADOS À DORMÊNCIA (DAM)* são induzidos pelas baixas temperaturas. A indução seria mediada pela ação de fatores do tipo CBF (“*C-repeat binding factors*”), também conhecidos por DREB (proteínas que se ligam aos elementos responsivos à desidratação, “*dehydration-responsive element-binding proteins*”), e que, conhecidamente, induzem a expressão de outros genes responsivos ao frio (Gilmour *et al.*, 2004). Possivelmente, processos de remodelagem de cromatina também ocorram (Law & Suttle, 2004; Ausín *et al.*, 2005). Por outro lado, em plantas que desencadeiam a sinalização pelo fotoperíodo, a regulação para os dias curtos é desempenhada pela ação de cascatas de sinalização mediadas pelo relógio circadiano ou diretamente por FITOCROMO A (PHYA) (Ausín *et al.*, 2005). Sob esta mesma condição, há a expressão do repressor CONSTANS (CO) (Yanovsky & Kay, 2002; Rohde & Bhalerao, 2007) e de genes *DAM*. Proteínas *DAM* poderiam se ligar e reprimir genes *FT* (*flowering locus T*), um dos principais integradores das rotas de florescimento, que promove a ativação de genes de identidade meristemática (Böhlenius *et al.*, 2006; Rohde & Bhalerao, 2007). A repressão de *FT* é, provavelmente, aumentada também pela perda de proteínas CO (Böhlenius *et al.*, 2006). A redução da expressão de *FT* é requerida para cessar o crescimento do vegetal. Assim, a repressão desses genes provavelmente leva à endodormência em gemas de plantas perenes. Temperaturas de frio prolongadas, por sua vez,

reprimiriam a expressão de *DAM*, possivelmente via modificação da cromatina em regiões próximas ou correspondentes aos genes *DAM* (Horvath, 2009).

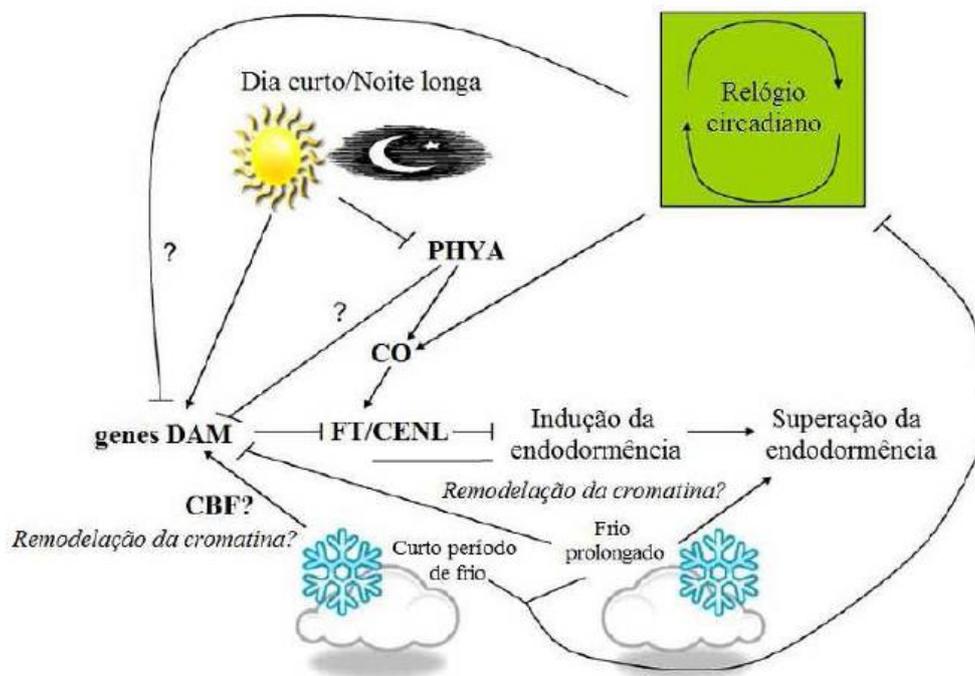


FIGURA 70. Modelo de indução e superação da endodormência de gemas de plantas perenes por baixas temperaturas e dias curtos. Adaptado de Horvath (2009).

A partir do descrito acima, os genes *DAM* podem estar associados e serem candidatos à caracterização da substância hipotetizada no modelo teórico biológico, representado pela letra D (Figura 67). Para exemplificar a ação destes genes *DAM*, destaca-se um grupo de genes com domínio *MADS-box* que foi descrito em pessegueiro (Bielenberg *et al.*, 2008). Enquanto dormente, tais genes encontram-se ativos nas gemas e após a superação do processo, os mesmos estão reprimidos, seguindo o comportamento citado para D na Figura 67. A identificação de sequências no genoma da macieira de potenciais genes *DAM* e seus perfis de expressão em gemas ao longo de um ciclo anual tem sido avaliados pelo grupo de pesquisa de fisiologia e biologia molecular da Embrapa Uva e Vinho, de Bento Gonçalves.

Recentemente, foi possível encontrar seis candidatos aos genes *DAM* (nomeados *MdDAM1* a *MdDAM6*), por comparação de sequências de aminoácidos, para caracterizar a entrada e saída da endodormência de gemas de macieira. Resultados parciais mostram que os genes *MdDAM1*, *MdDAM2* e *MdDAM6* apresentam maior expressão nos meses de inverno, sugerindo um papel na regulação da endodormência ou de repressão da capacidade de brotação das gemas (Gasperin *et al.*, 2011). Tais genes apresentam picos de expressão no ciclo hibernar um mês antes na cultivar Castel Gala quando comparados à cv. Royal Gala. Além disso, a redução da expressão dos genes *DAM* ocorre antes na 'Castel Gala' do que na 'Royal Gala', como exemplificado na Figura 71. Esse perfil transcricional coincide com a fenologia e o estágio de dormência apresentados em cada cultivar. Dos seis candidatos aos genes *DAM*, os genes *MdDAM1*, *MdDAM2* e *MdDAM6* apresentaram domínios protéicos e perfil transcricional semelhantes aos genes *DAM* já descritos na literatura (Bielenberg *et al.*, 2008). Perini (2011) afirma que genes *DAM* apresentam padrão de níveis de mRNA relacionados ao estabelecimento, manutenção e/ou superação do estado endodormente de gemas.

Em termos gerais, os genes MADS-box apresentaram-se aspirantes a reguladores do processo de dormência em macieira. Porém, novos estudos devem ser realizados com esse enfoque, para validar as informações acima e identificar outros produtos e/ou substâncias genéticas e fisiológicas que sejam relacionadas com a dormência, e que possam ajudar a caracterizar os compostos hipotetizados no modelo teórico biológico do estudo.

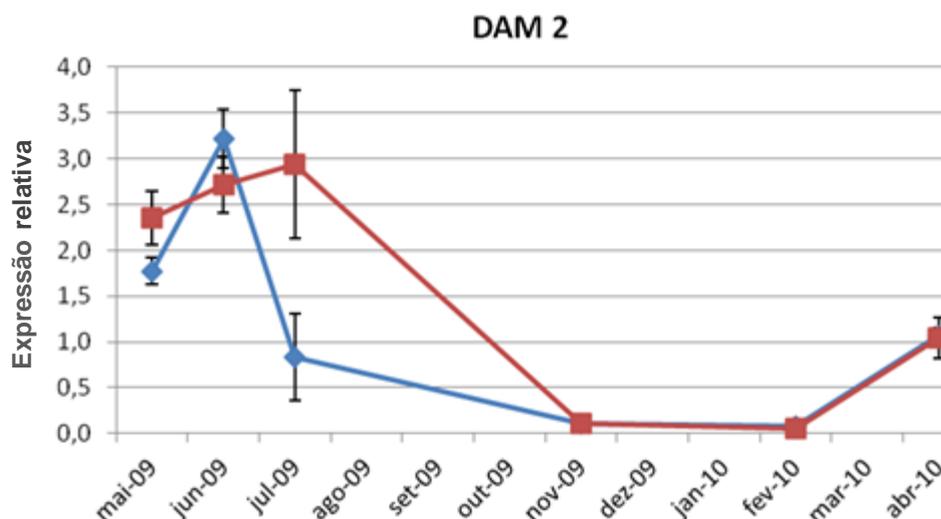


FIGURA 71. Perfil transcricional do gene DAM 2 durante o ciclo anual das macieiras 'Castel Gala' (linha azul) e 'Royal Gala' (linha vermelha), safra 2009/2010 (Falavigna *et al.*, 2012). Bento Gonçalves, RS.

Além dos genes *DAM*, já expressos durante a dormência em frutíferas como o pessegueiro, outros genes estão sendo identificados com base na sua relação com os mais diversos processos metabólitos celulares em *Arabidopsis*, sendo seu papel destacado em rotas de percepção de frio, como MdDHN5, MdDHN8, MdDHN9 (síntese de desidrinas), GoIS (galactinol sintase - síntese de rafinose), GAST-like (transcrito e estimulado por giberelinas) e NAC (transcrito e envolvido com desenvolvimento de sementes) (Taji *et al.*, 2002; Storey, 2004; Velasco *et al.*, 2010; Falavigna, 2010). Para macieiras, os genes candidatos ao processo de dormência foram identificados por bibliotecas supressivas subtrativas de cDNA de 'Castel Gala' e 'Royal Gala'. Nestas bibliotecas, o conteúdo expresso dos genes MdDHN5, MdDHN8, MdDHN9, GoIS, GAST-like e NAC variou de forma análoga ao *DAM* (Figura 72, em relação à Figura 71) (Falavigna *et al.*, 2012), sendo passíveis de serem investigados para o controle e regulação da dormência de gemas em frutíferas temperadas.

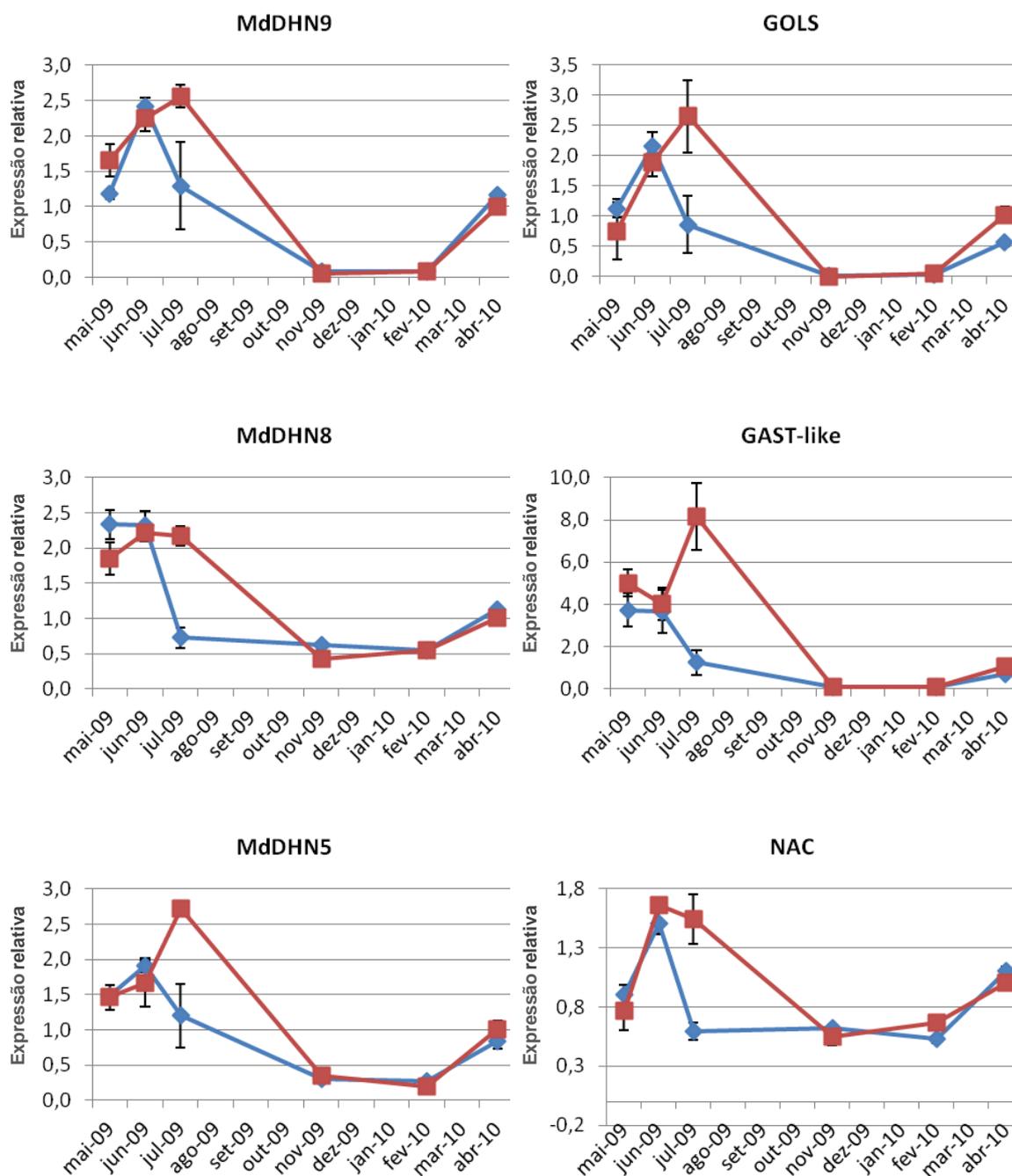


FIGURA 72. Perfil transcricional dos genes MdDHN9, MdDHN8, MdDHN5, Gols, GAST-like e NAC durante o ciclo anual das macieiras 'Castel Gala' (linha azul) e 'Royal Gala' (linha vermelha), safra 2009/2010 (Falavigna *et al.*, 2012). Bento Gonçalves, RS.

Associado aos candidatos gênicos que controlam e regulam a dormência, gemas de 'Castel Gala' e 'Royal Gala' também foram processadas visando a seleção de metabólitos e/ou conjunto de metabólitos relacionados com o processo bioquímico de indução e superação da dormência. Em análise exploratória de extração e detecção por GC/MS de metabólitos de gemas de 'Royal Gala' e

'Castel Gala' foram identificados 29 compostos em ambas as cultivares, classificados nos grupos de ácidos orgânicos, açúcares álcoois, ácidos graxos, galactolipídeos, monossacarídeos, dissacarídeos, trissacarídeos e flavonóides (Falavigna *et al.*, 2012) (Figura 73). Nos contrastes entre amostras de gemas dormentes e não dormentes da cultivar Royal Gala, pôde-se perceber que com o aumento da dormência houve um acúmulo expressivo de rafinose, sacarose e mio-inositol. Em contrapartida, com o aumento da dormência houve redução drástica de D-pinitol, ácido cítrico, ácido chiquímico, arabinol, ácido málico, ácido glicérico, frutose, galactinol e ácido quínico. Na observação dos mesmos contrastes em gemas de 'Castel Gala', observou-se que as gemas dormentes e não dormentes apresentaram menores contrastes de metabólitos, em relação ao observado para 'Royal Gala'. Além disso, as gemas dormentes de 'Castel Gala' acumularam mais D-pinitol e ácido quínico, ao mesmo tempo que reduziram os níveis de galactinol, rafinose e sacarose. A resposta contrastante de alguns metabólitos, como rafinose, ácido quínico e D-pinitol entre as cultivares deve-se a análise de gemas quando "não dormentes" terem sido amostradas em diferentes épocas. Enquanto o estado não dormente da 'Royal Gala' correspondeu às gemas amostradas no outono, a mesma etapa na 'Castel Gala' correspondeu às gemas coletadas na primavera, havendo, portanto, um aparato metabólico diferenciado na planta, conferindo diferentes respostas do perfil de assimilados nas gemas.

Na análise multivariada, considerando em conjunto todos os metabólitos, pôde-se perceber que as maiores diferenças se manifestaram entre as gemas dormentes e não dormentes da cultivar Royal Gala, enquanto que na 'Castel Gala' não houve grandes diferenças entre os grupos de gemas (Figura 74). Portanto, a partir destes dados, confirma-se que a cultivar Castel Gala não atinge a mesma

profundidade de dormência que a 'Royal Gala', como verificado pelos dados fenológicos, apresentados no item 4.3.

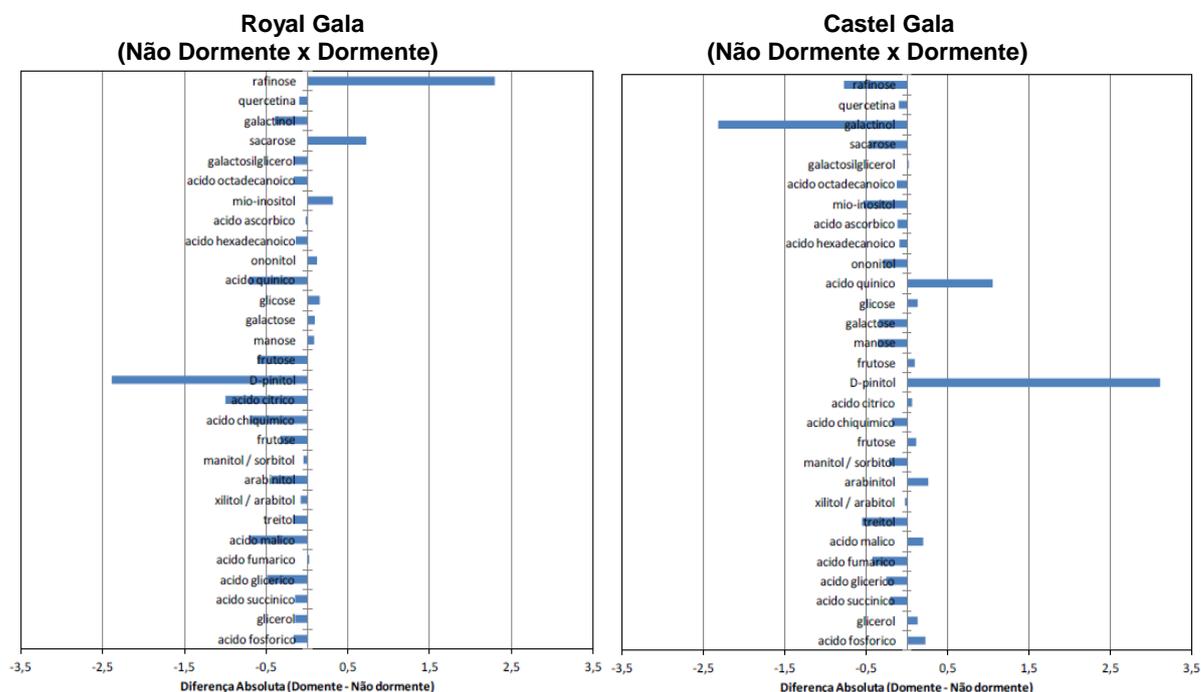


FIGURA 73. Perfil qualitativo de metabólitos em gemas de macieiras 'Royal Gala' e 'Castel Gala', obtidos por extração em metanol/clorofórmio e analisados em GC/MS (Falavigna *et al.*, 2012). Bento Gonçalves, RS, 2012.

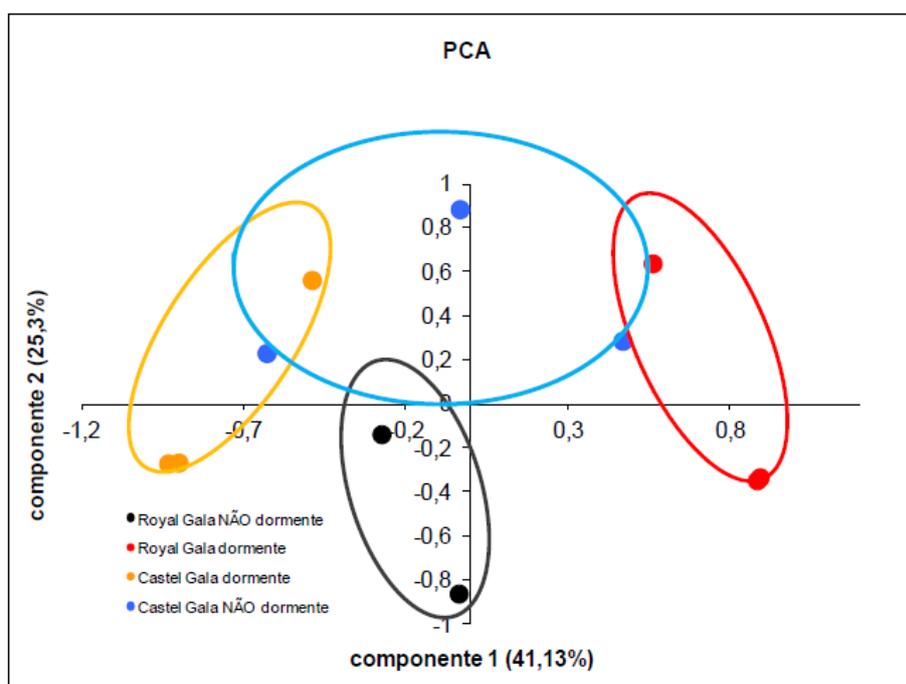


FIGURA 74. Análise de componentes principais (PCA) considerando o conjunto de metabólitos e dois grupos de gemas (dormentes e não dormentes) das macieiras 'Royal Gala' e 'Castel Gala'. Dados obtidos por GC/MS (Falavigna *et al.*, 2012). Bento Gonçalves, 2012.

5 CONCLUSÕES

Considerando os resultados obtidos e as condições em que foi conduzido o trabalho, pode-se concluir que:

1. Gemas laterais de macieira não entram em endodormência, sendo controladas, principalmente, pelo mecanismo da paradormência (dominância apical).

Indução da endodormência:

2. A indução da endodormência é mais superficial e ocorre antes em cultivares com menor demanda de frio hibernal, sendo mais rápida em condições térmicas oscilatórias (alternância de frio e calor).
3. A modelagem da indução da endodormência envolve diversos fatores interligados, como frio associado a processos bióticos e/ou abióticos.

Superação da endodormência:

4. O intervalo de temperaturas efetivas de frio para superação da endodormência é maior (3 a 12°C) para cultivares com baixa demanda de frio hibernal e menor (3 a 6°C) para genótipos com média ou alta necessidade de frio.
5. Ciclos diários alternando temperaturas baixas (3°C) e amenas (15°C) não interferem no processo de superação da endodormência em macieiras.

6. Ondas de calor com duração maior que 36 h durante a endodormência resultam em aumento no número de horas de frio para a superação da mesma.
7. Um período longo de exposição ao frio e a ocorrência de temperaturas alternadas (frio e calor), durante a dormência, favorecem a precocidade da brotação das gemas.
8. A brotação das gemas de macieiras é mais uniforme após suprido o frio necessário, para cada genótipo.

Ecodormência:

9. A temperatura base para cultivares de macieira, mesmo com diferentes demandas de frio hibernal, está situada entre 3 e 5°C.
10. Cultivares com menor necessidade de frio hibernal requerem menos calor para superação da ecodormência que as com maior necessidade de frio.

Aspectos metodológicos e fisiológicos relacionados à dormência:

11. No período de outono-inverno, as gemas de macieiras se mantêm, simultaneamente, sob diferentes condições de dormência, com ocorrência de paradormência ao longo de todo o período e de ecodormência desde o início da endodormência.
12. A função sigmoide assimétrica (Gompertz) é eficaz para representar a evolução da brotação de gemas de macieira em função do tempo.
13. O método biológico de estacas intactas embaladas na posição vertical, com brotação em espuma fenólica, é adequado para avaliar o estado de dormência de gemas em macieiras, podendo ser usado em frutíferas de clima temperado com hábito de frutificação semelhante.

14. A brotação das gemas apicais de macieiras é influenciada pelas gemas laterais situadas próximas à extremidade dos ramos.
15. Durante o outono as folhas de macieira exercem influência sobre o metabolismo de dormência das gemas, sendo que a desfolha precoce das plantas, no campo, afeta a profundidade e reduz o potencial máximo de brotação no ciclo vegetativo seguinte.

Modelo teórico biológico para predição da brotação:

16. O modelo teórico biológico possibilita descrever o mecanismo da dormência e predizer a brotação de gemas de macieira, considerando, em conjunto, as respostas de indução e superação da endodormência e da ecodormência, em relação aos contrastes térmicos e genéticos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diversas informações foram obtidas neste trabalho, no campo da dormência de gemas em macieiras. A seguir são relatadas as principais contribuições dos resultados obtidos. Além disso, são feitos comentários sobre aquilo que poderá ou deverá ser feito, na forma de recomendações para futuros trabalhos, abrindo novos caminhos e ampliando horizontes na área de dormência de frutíferas de clima temperado.

O trabalho procurou fazer uma interligação entre diferentes enfoques e diferentes níveis de escalas (macro, meso e micro). Ou seja, nas relações genótipo-ambiente, o trabalho contempla desde o ambiente externo (climático) até o nível molecular e de genoma. Uma série de hipóteses foi considerada, caracterizando "ganchos" para estudos futuros. Foi demonstrado que o tema dormência é complexo e sistêmico, em que diferentes áreas podem se entender e se somar.

Dentre os avanços obtidos neste trabalho salienta-se o ajuste de um método biológico para caracterizar o estado de dormência de gemas de macieira em condições controladas (estacas intactas embaladas, com brotação em espuma fenólica), frente à falta de padronização de metodologias para esse propósito. Além disso, destaca-se a seleção de um método matemático usado para estimar a curva de brotação de macieira, baseado na função sigmoide assimétrica (curva de Gompertz), reparametrizada para estimar diferentes

variáveis: brotação máxima, precocidade e uniformidade de brotação. Esta função confere importante progressão na análise de dados, subsidiando, a partir de seus resultados, o desenvolvimento de modelos teóricos/matemáticos futuros para predição da fenologia. Associado a isso, neste estudo tem-se um importante avanço na caracterização fisiológica dos mecanismos da dormência, como resultados relacionados à interação entre gemas, principalmente das gemas laterais sobre a apical em ramos de macieira, o mecanismo regulador preponderante da brotação das gemas laterais (paradormência), o efeito da desfolha das plantas no campo sobre a entrada, evolução e saída da dormência, e a apresentação de dados bioquímicos (genes e metabólitos), postulantes ao controle e regulação do período de dormência.

As características levantadas sobre a indução e superação da endodormência de gemas de macieira esclarecem as similaridades e diferenças entre cultivares, o efeito de níveis variáveis de temperaturas ou combinação de temperaturas e a relação entre os diferentes resultados e o seu efeito no estado fisiológico da planta. Para a indução da endodormência destacam-se, como principais contribuições, a resposta contrastante entre temperaturas constantes de frio *versus* oscilatórias (frio/calor), a diferença entre genótipos quanto à profundidade de dormência e exigência de frio para acionar o processo, e o efeito de estresses bióticos e abióticos no final do ciclo anterior para paralisação do crescimento vegetal. Para a superação da endodormência, os principais avanços são o contraste das cultivares às temperaturas ótimas hibernais, a dependência do somatório total de frio à intensidade de entrada da endodormência e o efeito de ondas de calor em meio ao frio no período de outono-inverno. Quanto à ecodormência, os avanços incluem a definição do intervalo de temperatura base inferior para cômputo de soma térmica, podendo os genótipos serem responsivos

de maneira diferente ao “calor mínimo basal”. Além disso, destaca-se que a ecodormência se encontra sobreposta à endodormência, o que demonstra que a planta está, simultaneamente, sob diferentes tipos de dormência durante o outono e inverno, assim como observado para a etapa de paradormência, cuja atividade é mantida ao longo do período hibernal, sob diferentes intensidades. O mecanismo descrito das três etapas da dormência (paradormência, endodormência e ecodormência) resultou no desenvolvimento de um novo modelo teórico biológico de predição da brotação.

Portanto, o modelo teórico biológico esquematiza a dinâmica da dormência de gemas em macieira, configurando grande avanço no entendimento e compreensão desta fase. Com ele, modelos matemáticos podem ser elaborados para prever a quantidade e qualidade da brotação de gemas de macieiras, conforme o regime térmico hibernal. Várias características levantadas no estudo não têm sido consideradas em modelos disponíveis e/ou aplicados às regiões produtoras de maçã no Sul do Brasil. Assim, a partir da teoria levantada, pode-se construir um modelo matemático que poderá simular o efeito do clima nos três parâmetros estudados (brotação máxima, precocidade e uniformidade), considerando as particularidades entre os grupos de genótipos e tipos de gema. Para isso, podem ser estabelecidas funções específicas para estimar tais parâmetros nas cultivares com necessidade baixa (ex.: Castel Gala) e média a alta de frio (ex.: Royal Gala) e para gemas apicais e laterais, considerando amplitudes e médias diferenciadas de temperatura durante o período de outono e inverno.

O modelo teórico biológico e matemático poderá também contemplar informações a serem consideradas em experimentos futuros, como entendimento da eficiência das intervenções fitotécnicas sobre o processo de dormência (ex.:

percentual de frio mínimo ocorrido no campo, para que produtos químicos estimulem a saída da dormência numa determinada cultivar). Além disso, deve-se aprofundar a compreensão da exigência de calor na etapa de ecodormência e a temperatura base entre os genótipos trabalhados (entre 3 e 5°C), inter-relações entre gemas de uma mesma estaca/planta e efeito de problemas fitossanitários, hídricos e/ou nutricionais sobre o processo da dormência.

A validação do modelo matemático a ser elaborado poderá se dar a partir do uso de uma série histórica da EPAGRI – São Joaquim. A mesma é composta por registros fenológicos de diferentes cultivares de macieiras dos últimos 30 a 40 anos (sem tratamento químico para superação da endodormência) e por dados meteorológicos (temperaturas horárias diárias) a partir de 1972. As fases fenológicas avaliadas, na série histórica, correspondem a: i) brotação (50% de gemas brotadas), a qual corresponderá ao parâmetro precocidade do modelo a ser construído e à data de brotação estimada pelos demais modelos usados para prever o início do ciclo vegetativo em espécies frutíferas temperadas (Weinberger, 1950; Richardson *et al.*, 1974; Shaltout & Unrath, 1983); ii) início da floração (10% de flores abertas); plena floração (70% das flores abertas) e fim da floração (pétalas caídas), os quais poderão dar um indicativo da uniformidade da brotação do modelo matemático a ser elaborado. Para validação do parâmetro brotação máxima, uma relação poderá se estabelecida entre o regime térmico outonal e hibernal anual e o percentual de brotação de diferentes cultivares de macieiras cultivadas na região Sul do Brasil.

Vale destacar que o modelo teórico biológico desenvolvido (item 4.7) pode ser aprimorado a partir da caracterização dos compostos que traduzem as substâncias hipotéticas inseridas na equação (C , D_a e D_i) (Ex.: genes *DAM* como candidatos à substância D - item 4.7.1). Para isso, processos metabólicos e

genéticos ligados à dormência, que controlam o início e o final da endodormência, devem ser melhor estudados e explorados em ações multidisciplinares.

A falta de conhecimento das relações fisiológicas e genéticas relacionadas à dormência se deve, possivelmente, aos estudos realizados utilizarem materiais contrastantes em necessidade de frio e genótipos muito distintos, dificultando isolar os efeitos da temperatura sobre os mecanismos que regulam a dormência. No presente estudo, a avaliação de genótipos mutantes de macieira com baixo requerimento de frio hibernal ('Castel Gala'), em comparação às cultivares com média-alta necessidade de frio ('Royal Gala'), possibilita grandes avanços na caracterização dos mecanismos genéticos e fisiológicos do controle da dormência de gemas. A partir desta estratégia, podem-se prospectar substâncias que sejam indicadoras de cultivares de baixa necessidade em frio, servindo como marcadoras para o processo de seleção de cultivares com esta característica, podendo auxiliar a obtenção de novas variedades de frutíferas temperadas, melhor adaptadas a regiões com invernos amenos. Além disso, com o detalhamento metabólico de gemas durante o período hibernal poder-se-á prover informações detalhadas para a prospecção de insumos alternativos para a superação da dormência, em regiões com baixo acúmulo de frio hibernal e/ou oscilação de temperaturas no inverno, em substituição à cianamida hidrogenada. Buscam-se produtos com alta eficiência, baixo custo e toxicidade.

A modelagem da predição do início do ciclo vegetativo anual em frutíferas caducifólias, além de beneficiar os produtores, para identificar a necessidade de aplicação de produtos químicos para a superação da endodormência, pode, ainda, auxiliar na avaliação de locais mais adequados para cultivo de frutíferas de clima temperado. Modelos ajustados às condições de outonos e invernos, com temperaturas variáveis e com parâmetros que os tornam mais fidedignos das

respostas dos genótipos cultivados podem ser importantes para estudos de previsão de cenários, em relação às mudanças climáticas, a fim de minimizar os prejuízos e impactos diante da projeção de aumento da temperatura mínima prevista para o Sul do Brasil. Com isso, a elaboração de um modelo matemático, a partir dos dados experimentais obtidos neste trabalho, poderá ser útil para predição anual da brotação, bem como para elucidar efeitos do aquecimento global sobre a fenologia de espécies frutíferas temperadas, apoiando futuros programas de zoneamento agroclimático para a cultura da macieira.

Vale salientar que os resultados obtidos no presente estudo podem também apresentar aplicabilidade para outras frutíferas que apresentam, em seu ciclo, a etapa de endodormência, como videira, pessegueiro, pereira, ameixeira, dentre outras. Ou seja, é provável que o mecanismo da dormência, em termos de indução, manutenção e superação, possa ser generalizado para as demais frutíferas temperadas. Porém, sugere-se investigar e conduzir estudos, em outras culturas, para comprovar tal suposição.

7 BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, G.; MAY DE MIO, L. L. Efeito da desfolha causada pela ferrugem na floração e produtividade do pessegueiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 4, p. 907-912, 2008.

ALTHOFF, D. A; BRAGA, H. J; VIEIRA H. J. **Determinação das melhores épocas de plantio do milho precoce e tardio para a região oeste de Santa Catarina**. Florianópolis: EMPASC, 1987. 37 p. (Documentos, 88).

ANGELOCCI, L. R. et al. Estimativa do total de horas abaixo de determinada temperatura-base através das medidas diárias da temperatura do ar. **Bragantia**, Campinas, v. 38, n. 4, p. 27-36, 1979.

ARORA, R.; ROWLAND, L. J. Induction and release of bud dormancy in woody perennials: a science comes of age. **HortScience**, Alexandria, v. 38, p. 911-921, 2003.

AUSÍN, I.; ALONSO-BLANCO, C.; MARTÍNEZ-ZAPATER, J.M. Environmental regulation of flowering. **The International Journal of Developmental Biology**, Bilbao, v. 49, p. 689-705, 2005.

AUSTIN, P. T. et al. Modelling kiwifruit budbreak as a function of temperature and bud interactions. **Annals of Botany**, Oxford, v. 89, p. 695-706, 2002.

BALANDIER, P. **Étude dynamique de la croissance et du développement des bourgeons de quelques cultivars de pêcher cultivés à diverses altitudes sous le climat tropical de île de la Reunion**. 1992. 82 f. Thèse (Doctorat Physiologie Végétale) – Université Blaise Pascal, Clermont Ferrand, 1992.

BARRIT, B. H. Sistemas de conducción y poda em manzano. Posicionamiento de las ramas principales. In: CURSO INTERNACIONAL DE FRUTICULTURA DE CLIMA TEMPERADO, 1998, Mendoza. **Anais...** Mendoza: INTA. Centro Regional Cuyo, 1998. p. 10.

BERLATO, M. A; SUTILI, V. R. Determinação das temperaturas-base dos subperíodos emergência-pendoamento e emergência-espigamento de três cultivares de milho (*Zea mays* L.). In: REUNIÃO TÉCNICA DO MILHO E SORGO, 21., 1976, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, 1976. p. 523-527.

BIASI, L. A.; CARVALHO, R. I. N.; ZANETTE, F. Dinâmica da dormência de gemas de videira e quiveiro em região de baixa ocorrência de frio. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 32, n. 4, p. 1244-1249, 2010.

BIELENBERG, D. G. et al. Sequencing and annotation of the evergrowing locus in peach [*Prunus persica* (L.) Batsch] reveals a cluster of six MADS-box transcription factors as candidate genes for regulation of terminal bud formation. **Tree Genetics & Genomes**, New York, v. 4, p. 495-507, 2008.

BIDABÉ, B. Action de la température sur l'évolution des bourgeons de pommier et comparasion de méthodes de controle de l'époque de florasion. **Annales de Physiologie Végétale**, Paris, v. 9, p. 65-86, 1967.

BÖHLENIUS, H. et al. CO/FT regulatory module controls timing of flowering and seasonal growth cessation in trees. **Science**, Champaign, v. 312, p.1040-1043, 2006.

BONHOMME, M.; RAGEAU, R.; GENDRAUD, M. ATP, ADP and NTP contents in vegetative and floral peach buds during winter: are they useful for characterizing the type of dormancy? In: VIÉMONT, J.-D.; CRABBÉ, J. (Ed.). **Dormancy in plants: from whole plant behavior to cellular control**. Cambridge: University Press, 2000. p. 245-257.

BONHOMME, M. et al. Influences of cold deprivation during dormancy on carbohydrate contents of vegetative and floral primordia and nearby structures of peach buds (*Prunus persica* L. Batch) **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 105, p. 223-240, 2005.

BOTELHO, R. V.; MÜLLER, M. M. L. Extrato de alho como alternativa na quebra de dormencia de gemas em macieiras cv. Fuji Kiku. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 29, n. 1, p. 37-41, 2007.

BOUQUET, A.; TORREGROSA, L. Micropropagation of the grapevine (*Vitis spp.*). In: JAIN, S. M. (Ed.). **Micropropagation of woody trees and fruits**. Dordrecht: Kluwer Academic, 2003. p. 319-352.

BRAGA, H. J; STECKERT, R. **Estimativa de horas de frio abaixo de 7,2 °C e 13°C para 10 localidades do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: EMPASC, 1987. 42 p. (Documentos, 90).

BRAGA, H. J. **Previsão agrícola: uma nova abordagem - uso de scanner aerotransportável e redes neurais**. Florianópolis: UFSC, 1995. 150 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

BRUCKNER, C. H. et al. Chilling requirement evaluation of peach hybrids obtained among cultivars with high and low chilling requirements. **Acta Horticulturae**, Hague, v. 872, p. 177-180, 2010.

BRUNINI, O. **Relações solo-água-plantas em cultura de arroz em condições de sequeiro**. 1975. 126 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1975.

BRUNINI, O. et al. Determinação dos índices biometeorológicos para variedades de arroz IAC- 1246 e Pratão precoce. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 28, n. 8, p. 928-931, 1976.

BURIOL, G. A. et al. Disponibilidade de horas de frio na região central do Rio Grande do Sul: 2 - Distribuição geográfica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 5, p. 755-759, 2000.

CAMELATTO, D. et al. Efeito de flutuações de temperatura, horas de frio hibernal e reguladores de crescimento no abortamento floral de gemas de pereira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 22, p. 111-117, 2000.

CAMPOS, C. G. C. **Padrões climáticos atuais e futuros de temperatura do ar na região Sul do Brasil e seus impactos nos cultivos de pêssigo e de nectarina em Santa Catarina**. 2010. 191 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010.

CAMPOY, J. A. et al. High temperatures and time to budbreak in low chill apricot 'Palsteyn'. Towards a better understanding of chill and heat requirements fulfillment. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 129, p. 649-655, 2011.

CARDOSO, L. S. **Modelagem aplicada à fenologia de 'Royal Gala' e 'Fuji Suprema' em função do clima, na região de Vacaria-RS**. 2011. 182 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

CARVAJAL-MILLÁN, E. et al. Respiratory response of apple buds treated with budbreaking agents. **Thermochimica Acta**, Amsterdam, v. 457, p. 109-112, 2007.

CARVALHO, R. I. N.; ZANETTE, F. Dinâmica da dormência de gemas de macieira 'Imperial Gala' durante o outono e inverno em região de baixa ocorrência de frio. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 65-68, 2004.

CARVALHO, R. I. N.; ZANETTE, F. Dinâmica do conteúdo de monossacarídeos em gemas e ramos de dois anos de macieira durante a endodormência. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 4, p. 1132-1137, 2006.

CESARACCIO, C. et al. Chilling and forcing model to predict bud-burst of crop and forest species. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 126, p. 1-13, 2004.

CHAMPAGNAT, P. Bud dormancy, correlation between organs, and morphogenesis in woody plants. **Fiziologiya Rastenii**, Moscow, v. 30, n. 30, p. 458-471, 1983.

CHAVARRIA, G. et al. Mild temperatures on bud breaking dormancy in peaches. **Ciencia Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 7, p. 2016-2021, 2009.

CHMIELEWSKI, F. M.; RÖTZER, T. Response of tree phenology to climate change across Europe. **Agricultural Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 108, n. 2, p. 101-112, 2001.

CITADIN, I.; RASEIRA, M. C. B.; QUEZADA, A. C. Substrato para conservação de ramos destacados de pessegueiro, (*Prunus persica* L. Batsch.). **Agropecuária Clima Temperado**, Pelotas, v. 1, n. 1, p. 61-66, 1998.

CITADIN, I. et al. Heat requirement for blooming and leafing in peach. **Hortscience**, Alexandria, v. 36, n. 2, p. 305-307, 2001.

CITADIN, I. et al. Avaliação da necessidade de frio em pessegueiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 703-706, 2002.

CITADIN, I. et al. Atividade de enzimas relacionadas com a mobilização de carboidratos durante a dormência da noqueira (*Juglans Regia*). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 31, p. 305-313, 2009.

CORDEIRO, A. P. A. **Tendências climáticas das variáveis meteorológicas originais, estimadas e das derivadas do balanço hídrico seriado do Rio Grande do Sul**. 2010. 274 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

COOK, N. C.; JACOBS, G. Progression of apple (*Malus domestica* Borkh.) bud dormancy in two mild winter climates. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, Warwick, v. 75, p. 233-236. 2000.

COOK, N. C. et al. Freezing temperature treatment induces bud dormancy in 'Granny Smith' apple shoots. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 106, p. 170-176, 2005.

COUVILLON, G. A.; EREZ, A. Effect of level and duration of high-temperatures on rest in the peach. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Mount Vermon, v. 110, p. 579-581, 1985.

CRABBE, J.; BARNOLA, P. A new conceptual approach to bud dormancy in Woody plants. In: LAND, G. A. (Ed.). **Plant dormancy: physiology, biochemistry and molecular biology**. Wallingford: CAB International, 1996. p. 8-114.

CUSIN, R.; PORTO, D. D.; REVERS, L. F. Captação de fucsina ácida em gemas de macieira em diferentes estádios de dormência In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 9.; ENCONTRO DE PÓS-GRADUANDOS DA EMBRAPA UVA E VINHO, 5., 2011, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2011. p. 23-23.

DAMARIO, E. A; PASCALE, A. I. Estimation de sumas de temperaturas efectivas normales para estudios agroclimáticos. **Revista de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad de Buenos Aires**, Buenos Aires, v. 19, n. 3, p. 109-124, 1971.

DAVEY, M. W., KENIS, K.; KEULEMANS, J. Genetic control of fruit vitamin C contents. **Plant Physiology**, New York, v. 142, p. 343-351, 2006.

DENARDI, F.; SECCON, J. J. 'Castel Gala' – mutação da macieira 'Gala' com baixa necessidade de frio e maturação precoce. **Revista Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 18, n. 2, p. 78-82, 2005.

DENNIS JUNIOR, F. G. Problems in standardizing methods for evaluating the chilling requirements for the breaking of dormancy in buds of woody plants. **HortScience**, Alexandria, v. 38, n. 3, p. 347-350, 2003.

DIAS, D. H. M. **Requerimento de frio en frutales caducifolios**. Ciudad de México: SARH, 1987. 58 p. (Tema didáctico, 2).

DÍAZ, D. H.; ALVAREZ, A.; SANDOVAL, J. Cultural and chemical practices to induce uniform bud break of peach and apple under warm climates in Mexico. **Acta Horticulturae**, Hague, v. 299, p. 129-136, 1987.

DINIZ, J. D. N. et al. Avaliação dos efeitos da quebra da dominância apical e do BAP na multiplicação *in vitro* de *Heliconia stricta* Huber. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 35, p. 232-237, 2004.

DOLE, J. Standardizing methods for evaluating the chilling requirements for the breaking of dormancy in buds, bulbs, corms, and tubers. **HortScience**, Alexandria, v. 38, p. 341-346, 2001.

EBERT, A. et al. First experiences with chill-unit models in Southern Brazil: Modelling in Fruit Research. **Acta Horticulturae**, Hague, n. 184, p. 74-86, 1986.

EGEA, J. et al. Chilling and heat requirements of almond cultivars for flowering. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v. 50, n. 3, p. 79-85, 2003.

EMBRAPA UVA E VINHO. **Produção integrada de maçãs no Brasil**. Bento Gonçalves, 2003. (Sistemas de produção, 1). Disponível em: <<http://www.cnpuv.embrapa.br/publica/sprod/ProducaoIntegradaMaca/>>. Acesso em: 15 jul. 2010.

EPAGRI - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. **Monitoramento do frio 2011**. Florianópolis: EPAGRI, 2011. 2 p. (Informe técnico, 006/11).

EREZ, A.; LAVEE, S. The effect of climatic conditions on dormancy development of peach buds. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Mount Vermon, v. 96, n. 6, p. 711-714, 1971.

EREZ, A.; COUVILLON, G. A.; HENDERSHOTT, C. H. Quantitative chilling enhancement and negation in peach buds by high temperatures in a daily cycle. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Mount Vermon, v. 104, n. 4, p. 536-540, 1979.

EREZ, A.; COUVILLON, G. A. Evaporative cooling to improve rest breaking of nectarine buds by counteracting high daytime temperatures. **HortScience**, Alexandria, v. 18, p. 480-481, 1983.

EREZ, A.; COUVILLON, G. A. Characterization of the influence of moderate temperatures on rest completion in peach. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Mount Vermon, v. 112, n. 4, p. 677-680, 1987.

EREZ, A.; FISHMAN, S. The dynamic model for rest completion in peach buds. **Acta Horticulturae**, Hague, n. 276, p. 165-174, 1990.

EREZ, A. Means to compensate for insufficient chilling to improve bloom and leafing. **Acta Horticulturae**, Hague, n. 395, p. 81-95, 1995.

EREZ, A. Bud dormancy: phenomenon, problems and solutions in the tropics and subtropics. In: TEMPERATE fruit crops in warm climates. London: Kluwer Academic, 2000. p. 17-48.

FALAVIGNA, V. F. **Expressão gênica diferencial entre duas cultivares de macieira com requerimento de frio hibernal contrastante**. 2010. 99 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Faculdade de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Bento Gonçalves, 2010.

FALAVIGNA, V. S. et al. Transcriptional and metabolic profiling of two apple tree cultivars contrasting in chilling requirement. In: INTERNATIONAL CROP SCIENCE CONGRESS, 6., 2012, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: 2012. p. 23-23.

FALUSI, M.; CALAMASSI, R. **Dormancy of *Fagus sylvatica* L. buds III. Temperature and hormones in the evolution of dormancy in one node cuttings**, Plant Biosystems, v. 137, n. 2, p. 185-191, 2003.

FAQUIM, R.; SILVA, I. D. da; CARVALHO, R. I. N. de. Necessidade de frio para quebra de dormência de gemas de caquizeiro 'Fuyu'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 438-444, 2007.

FAUST, M. et al. Bud dormancy in perennial fruit trees: physiology basis for dormancy induction, maintenance, and release. **HortScience**, Alexandria, v. 32, n. 4, p. 623-629, 1987.

FAUST, M. et al. Involvement of apical dominance in winter dormancy of apple buds. **Acta Horticulturae**, Hague, n. 395, p. 47-56, 1995.

FAUST, M. et al. Bud dormancy in perennial fruit trees: physiology basis for dormancy induction, maintenance, and release. **HortScience**, Alexandria, v. 32, n. 4, p. 623-629, 1997.

FELKER, F. C.; ROBITAILLE, H. A. Chilling accumulation and rest of sour cherry flower buds. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Mount Vernon, v. 110, p. 227-232, 1985.

FELIPPETO, J. **Modelos de previsão da brotação para videira na Serra Gaúcha**. 2008. 126 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

FERREIRA, P. Yes, nós temos maçãs. **Inovação em Pauta**, Rio de Janeiro, v. 5, p. 43-47, 2009.

FIALHO, F. B. **Interpretação da curva de crescimento de Gompertz**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 1999. 4 p. (Comunicado técnico, 237).

FIALHO, F. B. **Funções de transição para uso em modelagem**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2002. 5 p. (Comunicado técnico, 310).

- FIORAVANÇO, C. et al. **Cultura da macieira no Rio Grande do Sul: análise situacional e descrição varietal**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2010. 88 p. (Documentos, 71).
- FOLTA, K. M.; GARDINER, S. E. **Genetics and genomics of rosaceae**. New York: Springer, 2009. 600 p.
- FUCHIGAMI, L. H.; NEE, C. C. Degree growth stage model and rest-breaking mechanisms in temperature Woody perennials. **HortScience**, Alexandria, v. 22, p. 836-845, 1987.
- FUCHIGAMI, L. H.; WISNIEWSKI, M. Quantifying bud dormancy: physiological approaches. **HortScience**, Alexandria, v. 32, n. 4, p. 618- 623, 1997.
- GAMALIER LEMUS, S. Floración y brotación con cianamida hidrogenada. **IPA La Platina**, Santiago, v. 52, p. 19-30, 1989.
- GAPLAN. **Atlas de Santa Catarina**. Rio de Janeiro: Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral, 1986. 173 p.
- GASPERIN, A. C. et al. Caracterização da expressão de genes MADS-box associados à dormência em gemas de macieira contrastantes em requerimento de frio. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 9.; ENCONTRO DE PÓS-GRADUANDOS DA EMBRAPA UVA E VINHO, 5., 2011, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: EMBRAPA, 2011. p. 42-42.
- GIAMPAN, J. S. et al. Indução de brotos laterais de mamoeiro (*Carica papaya* L.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 185-187, 2005.
- GIL, G. **El potencial productivo, crecimiento vegetativo y diseño de huertos y viñedos**. Santiago: Universidad Católica de Chile, 1999. 1032 p.
- GILREATH, P. R.; BUCHANAN, D. W. Rest prediction model for low chilling 'Sungold' nectarine. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Mount Vermon, v. 106, n. 4, p. 426-429, 1981.
- GIOVANINNI, E. **Produção de uvas para vinhos, suco e mesa**. 3. ed. Porto Alegre: Renascença, 2008. 362 p.
- GILMOUR, S. J.; FOWLER, S. G.; THOMASHOW, M. F. Arabidopsis transcriptional activators CBF1, CBF2, and CBF3 have matching functional activities. **Plant Molecular Biology**, Dordrecht, v. 54, p. 767-781, 2004.
- GOMPERTZ, B. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. **Philosophical Transaction of the Royal Society of London**, London, v. 115, p. 513-585, 1825.
- GUERRIERO, R.; INDIOGINE, S. E. P., SCALABRELLI, G. The effect of cyclic and constant temperatures in fulfilling the chilling requirements of two apricot cultivars. **Acta Horticulturae**, Hague, n. 192, p. 41-48, 1985.

HARDING, P. H.; COCHRANE, J.; SMITH L. P. Forecasting the flowering stages of apple varieties in Kent, England, by the use of meteorological data. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 17, p. 49-54, 1976.

HARRINGTON, C. A.; GOULD, P. J.; ST CLAIR, J. B. Modeling the effects of winter environment on dormancy release of Douglas-fir. **Forest Ecology Management**, Amsterdam, v. 259, p. 798-808, 2010.

HAUAGGE, R.; CUMMINS, J. N. Season variation in intensity of bud dormancy in apple cultivars and related *Malus* species. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Mount Vermon, v. 116, n. 1, p. 107-115, 1991.

HAUAGGE, R.; TSUNETTA, M. "IAPAR 75 – Eva", "IAPAR 76 – Anabela" e "IAPAR 77 – Carícia" – novas cultivares de macieira com baixa necessidade em frio. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 21, n. 3, p. 239-242, 1999.

HAWERROTH, F. J. et al. Efeito do frio e do desponte na brotação de gemas em pessegueiro. **Revista Brasileira Fruticultura**, Jaboticabal, v. 31, n. 2, p. 440-446, 2009.

HAWERROTH, F. J. et al. **Dormência em frutíferas de clima temperado**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2010. 56 p. (Documentos, 310).

HEIDE O. M.; PRESTRUD A. K. Low temperature, but not photoperiod, controls growth cessation and dormancy induction and release in apple and pear. **Tree Physiology**, Victoria, v. 25, p. 109-114, 2005.

HEIDE, O. M. Interaction of photoperiod and temperature in the control of growth and dormancy of *Prunus* species. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 115, p. 309-314, 2008.

HERTER, F. G. **Dormance des bourgeons et phenologie des quelques cultivars de pommier**: effet de la température em interaction avec le génotype. 1992. 82 f. Tese (Doutorado), Université Blaise Pascal, Clermont Ferrand, 1992.

HERTER, F. G.; CITADIN, I.; SIIVEIRA, C. A. P. Necessidade de calor para a antese em pessegueiro avaliada pelo método de ramos destacados. **Agropecuária Clima Temperado**, Pelotas, v. 3, n. 2, p. 253-259, 2000.

HERTER, F. G. et al. Efeito do frio na brotação de gemas de pereira (*Pyrus communis* L.) cv. Carrick, em Pelotas, RS. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 23, n. 2, p. 261-264, 2001.

HIDALGO, L. **Tratado de viticultura general**. Madrid: Mundi-Prensa, 1993. 983 p.

HORVATH, D. et al. Knowing when to grow: signals regulating bud dormancy. **Trends in Plant Science**, London, v. 8, p. 534-540, 2003.

HORVATH, D. Common mechanisms regulate flowering and dormancy. **Plant Science**, Limerick, v. 177, p. 523-531, 2009.

IBRAF – Instituto Brasileiro de Fruticultura. **Comparativo das exportações brasileiras de frutas frescas - 2010/2009**. Disponível em: <http://www.ibraf.org.br/estatisticas/Exportação/Comparativo_das_Exportações_Brasileiras_de_Frutas_frescas_2010-2009.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2011.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Dados de produção de lavoura permanente nos estados no Brasil**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/temas.php?sigla=rs&tema=lavourapermanente2005&titulo=Lavoura%20permanente%202010%20>>. Acesso em: 22 fev. 2011.

IGLESIAS, I. C. et al. Innovación varietal em manzano. **Revista de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 1, p. 13-30, 2009.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Climate change 2007: the physical science**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. 996 p. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

IUCHI, V. L. Botânica e fisiologia. In: EPAGRI. **A cultura da macieira**. Florianópolis: Epagri, 2006. p. 59-104.

JACOBS, J. N.; JACOBS, G.; COOK, N. C. Chilling period influences the progression of bud dormancy more than does chilling temperature in apple and pear shoots. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, Warwick, v. 77, p. 333-339, 2002.

JACKSON, J. E. **Biology of apples and pears**. Cambridge: Cambridge University Press, 2003. 488 p.

JUNG, S. et al. GDR (Genome Database for Rosaceae): integrated web-database for Rosaceae genomics and genetics data. **Nucleic Acids Research**, Oxford, v. 36, p. 1034-1040, 2008.

KELLERHALS, M. Introduction to Apple (*Malus x domestica*). In: PLANT Genetics and Genomics. New York: Springer, 2009. p. 73-84,

KOUASSI, A. B. et al. Estimation of genetic parameters and prediction of breeding values for apple fruit-quality traits using pedigreed plant material in Europe. **Tree Genetics and Genomes**, Berlin, v. 5, p. 659-672, 2009.

KUMAR, S. et al. Development of a recurrent apple breeding programme in New Zealand: a synthesis of results, and a proposed revised breeding strategy. **Euphytica**, Wageningen, v. 173, p. 207-222, 2010.

LABUSCHAGNE, I. F. et al. Genetic variation in chilling requirement in apple progeny. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Mount Vernon, v. 127, p. 663-672, 2002.

LANG, G. A. et al. Endo-, para- and ecodormancy: physiological terminology and classification for dormancy research. **Hortscience**, Alexandria, v. 22, n. 3, p. 371-378, 1987.

LARCHER, W. **Physiological plant ecology: ecophysiology and stress physiology of functional groups**. 4th ed. Berlin: Springer-Verlag, 2003. 513 p.

LATA, B. Relationship between apple peel and the whole fruit antioxidant content: Year and cultivar variation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 55, p. 663-671, 2007.

LAVEE, S. Dormancy and bud break in warm climates: considerations of growth regulator involvement. **Acta Horticulturae**, Hague, n. 4, p. 225-234, 1973.

LAVEE, S; MAY, P. Dormancy of grapevine buds: facts and speculation. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, Adelaide, v. 3, p. 31-46, 1997.

LAZZARI, M. **Cima e fenologia de cultivares de pessegueiro (*Prunus persica*) na região do Alto e Médio Vale do Uruguai, RS**. 2011. 169 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

LAW, R. D.; SUTTLE, J. C. Changes in histone H3 and H4 multi-acetylation during natural and forced dormancy break in potato tubers. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 120, p. 642-649, 2004.

LEFÈVRE, S. **Caractérisations biochimique et moléculaire de la mobilisation des réserves amylacées du xylème du noyer (*Juglans regia*) pendant la période non feuillée**. 2002. 25 f. Tese (Doutorado), Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, 2002.

LEGAVE, J. M. et al. Selecting models of apple flowering time and understanding how global warming has had an impact on this trait. **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, Ashford, v. 83, n. 1, p. 76-84, 2008.

LEITE, G. B. **Evolution des états des bourgeons et de leur hétérogénéité le long du rameau d'un an de pêcher sous différents régimes de températures après l'installation de l'endodormance**. 2004. 159 f. These (Doctorat) - Ecole Doctorale des Sciences de la Vie et de la Santé, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, 2004.

LEITE, G. B. et al. Influence of lack of chilling on bud-break patterns and evolution of sugar contents in buds and stem tissues along the one-year-old shoot of the peach trees. **Acta Horticulturae**, Hague, n. 662, p. 61-71, 2004.

LLOYD, D. A.; COUVILLON, G. A. Effects of date of defoliation on flower and leaf bud development in the peach (*Prunus persica* (L) Batsch). **Journal of American Society for Horticultural Science**, Mount Vermon, v. 99, n. 6, p. 514-517, 1974.

LLOYD, J. Y.; FIRTH, D. J. Effect of defoliation time on depth of dormancy and bloom time for low-chill peaches. **HortScience**, Alexandria, v. 25, n. 12, p. 1575-1578, 1990.

LUCHESI, A. A.; MONTENEGRO, H. W. S.; VILLA NOVA, N. A. Estimativa de graus-dia acumuladas no ciclo de frutificação de cultivares de abacateiros (*Persea*

americana, MILLER). **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, Piracicaba, v. 34, p. 317-325. 1977.

MAGUYLO, K.; COOK, N. C.; THERON, K. I. Environment and position of first bud to break on apple shoots affects lateral outgrowth. **Trees**, Heidelberg, v. 26, p. 663–675, 2012.

MALUF, J. R. T. et al. **Zoneamento agroclimático da macieira no Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: FEPAGRO, 2012. 75 p. (Boletim técnico, 19).

MARENGO J. A.; CAMARGO C. G. Surface air temperature trends in southern Brazil for 1960-2002. **International Journal of Climatology**, Chichester, v. 28, n. 7, p. 893-904, 2008.

MANDELLI, F.; TONIETTO, J. **Uvas viníferas para processamento em regiões de clima temperado**. Bento Gonçalves: Emprapa Uva e Vinho, 2003. Disponível em: <<http://www.cnpuv.embrapa.br/publica/sprod/UvasViniferasRegioesClimaTemperado/BentoGoncalves>>. Acesso em: 12 jan. 2010.

MARQUAT, C. et al. Dormancy in vegetative buds of peach: relation between carbohydrate absorption potentials and carbohydrate concentration in the bud during dormancy and its release. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 79, p. 151-162, 1999.

MARTÍNEZ DE TODA, F. **Biología de la vid**: fundamentos biológicos de La viticultura. Madrid: Mundi-Prensa, 1991. 346 p.

MATZENAUER, R. Horas de frio no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 11, n. 1-2, p.63-68, 2005.

MAUGET, J. C. Dormance des bourgeons chez les arbres fruitiers de climat tempèrè. In: GUAYADER H. **Le développement des végétaux**: aspects théoriques et synthétiques. Paris: Masson, 1987. p. 133-150.

MAUGET, J. C.; RAGEAU, R. Coup d’oeil sur les connaissances en physiologie de la ramification chez les ligneux. In: ANDRIEU, B. (Ed.). **Séminaire de modélisation architecturale**. Paris: INRA. Département de Bioclimatologie, 1997. p. 137-145.

MAUREL, K. et al. Trophic control of bud break in peach (*Prunus persica*) trees: a possible role of hexoses. **Tree Physiology**, Victoria, v. 24, p. 579-588, 2004.

McPHERSON, H. G.; SNELGAR, W. P.; MANSON, P. J. Bud respiration and dormancy of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*). **Annals of Botany**, Oxford, v. 80, n. 4, p. 411-418, 1997.

MELLO, L. M. R. de.; GARAGORRY, F. L.; CHAIB-FILHO, H. **Evolução e dinâmica da produção de maçã no Brasil no período de 1975 a 2003**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2007. 38 p. (Boletim técnico, 66).

MIELE, A.; DALLAGNOL, I. Efeito da cianamida hidrogenada na quebra de dormência da videira cv. Trebiano submetida a dois tipos de poda. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 16, n. 1, p. 156-165, 1994.

MONTEIRO, J. E. B. A. **Agrometeorologia dos cultivos**: o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília, DF: Instituto Nacional de Meteorologia, 2009. 530 p.

MOTA, F. S. **Os invernos de Pelotas-RS, em relação às exigências das árvores frutíferas de folhas caducas**. Pelotas: Instituto Agrônômico do Sul, 1957. 39 p. (Boletim técnico, 18).

NIGHTINGALE, G. T; BLAKE, M. A. **Effects of temperature on the growth and composition of Stayman and Baldwin apple trees**. New Jersey: New Jersey Agricultural Experiment Station, 1934. (Bulletin, 566).

NAOR, A. et al. Temperature effects on dormancy completion of vegetative buds in apple. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Mount Vermon, v. 128, p. 636-641, 2003.

NORTH, M. Effect of application date on the rest-breaking action of cyanamide on Gold delicious apples. **Deciduous Fruit Grower**, Bellville, v. 43, p. 470-472, 1983.

OMRAN, R. G. Peroxide levels and activities of catalase, peroxidase, and indolacetic acid oxidase during and after chilling of cucumber seedlings. **Plant Physiology**, New York, v. 65, p. 407-408, 1980.

OR, E. et al. The transduction of the signal for grape bud dormancy breaking induced by hydrogen cyanamide may involve the SNF-like protein kinase GDBRPK. **Plant Molecular Biology**, Dordrecht, v. 43, p. 483-494, 2000.

OR, E. et al. Dormancy in grape buds: isolation and characterization of catalase cDNA and analysis of its expression following chemical induction of bud dormancy release. **Plant Science**, Limerick, v. 162, p. 121-130, 2002.

OVERCASH, J. P.; CAMPBELL, J. A. The effects of intermittent warm and cold periods on breaking the rest period of peach leaf buds. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, Geneva, v. 66, p. 87-92, 1955.

PACEY-MILLER, T. et al. Genes associated with the end of dormancy in grapes. **Function Integrative Genomics**, Berlin, v. 3, p. 144-152, 2003.

PEREIRA, T. P.; FONTANA, D. C.; BERGAMASCHI, H. O clima da Região dos Campos de Cima da Serra, Rio Grande do Sul: condições térmicas e hídricas. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 15, n. 2, p. 145-157, 2009.

PERINI, P. **Seleção de genes-referência para estudos de expressão gênica em macieiras**. 2011. 89 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Celular e Molecular) – Faculdade de Biologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

PETRI, J. L.; PASQUAL, M. **Quebra da dormência em macieira**. Florianópolis: EMPASC, 1982. 54 p. (Boletim técnico, 18).

PETRI, J. L. et al. **Dormência e indução da brotação de fruteiras de clima temperado**. Florianópolis: Epagri, 1996. 110 p. (Boletim técnico, 75).

PETRI, J. L. Induction of apple tree budding by hydrogenated cyanamide and mineral oil under influence of temperature. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, p. 71-75, 1997.

PETRI, J. L.; LEITE, G. B. Consequences of Insufficient Winter Chilling on Apple Tree Budbreak. **Acta Horticulturae**, Hague, n. 662, p. 53-60, 2004.

PETRI, J. L.; PALLADINI, L. A.; POLA, A. C. Dormência e indução da brotação da macieira. In: A CULTURA da macieira. Florianópolis: EPAGRI, 2006. 743 p.

PIRES, E. J. P.; BOTELHO, R. V. Uso de reguladores vegetais na cultura da videira. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE UVAS DE MESA, 1., 2000, Ilha Solteira. **Anais...** Ilha Solteira, 2001. p. 129-147.

PHILLIPS, I. D. J. Apical dominance. In: WILKINS, M. D. (Ed.). **The physiology of growth and development**. London: Mc Graw-Hill, 1969. p. 341-367.

PUTTI, G. L.; MENDEZ, M. E. G.; PETRI, J. L. Unidades de frio e de calor para a brotação de macieira (*Malus domestica*, Borck), "GALA" E "FUJI". **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 6, n. 3, p. 194-196, 2000.

PUTTI, L. G. **Estudo das necessidades de frio e calor para a brotação de cultivares de macieira (*Malus domestica*, Borck.)**. 2001. 61 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2001.

PUTTI, G. L.; PETRI, J. L.; MENDEZ, M. E. Temperaturas efetivas para a dormência da macieira (*Malus domestica* Borkh.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 210-212. 2003.

PUTTI, G. L. et al. Necessidades térmicas para indução da brotação de diferentes cultivares de macieira. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 19, n. 2, p. 71-74, 2006.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. 2012. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 31 jan. 2012.

RAGEAU, R. Croissance et débourrement des bourgeons végétatifs de Pêcher au cours d'un test classique de dormance. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences**, Paris, v. 287, p. 1119-1122, 1978.

RAGEAU, R. et al. The climatic determinism of vegetative bud break on peach trees with no exposure to chilling: some experimental results. **Acta Horticulturae**, Hague, n. 456, p. 511-520, 1998.

RAMOS, A. M.; SANTOS, L. A. R.; FORTES, L. T. G. **Normais climatológicas do Brasil 1961-1990**. Brasília, DF: INMET, 2009. 465 p.

RASEIRA, M. C. B.; MEDEIROS, C. A. B. **A cultura do pessegueiro**. Brasília: Embrapa - SPI; Pelotas: Embrapa/CPACT, 1998. 350 p.

RICHARDSON, E. A.; SEELEY, S. D.; WALKER, D. R. A model for estimating the completion of rest for 'Redhaven' and 'Elberta' peach trees. **HortScience**, Alexandria, v. 1, p. 331-332, 1974.

RASEIRA, A. et al. Instalação e manejo do pomar. In: MEDEIROS, C.A.B.; RASEIRA, M.C.B. **A cultura do pessegueiro**. Brasília: EMBRAPA Serviço de Produção e Informação, 1998. p. 130-160.

ROBERTSON, G. W. A biometeorological time scale for a cereal crop involving day and night temperatures and photoperiod. **International Journal of Biometeorology**, Berlin, v. 12, n. 3, p. 191-223, 1968.

ROHDE, A.; BHALERAO, R. P. Plant dormancy in the perennial context. **Trends in Plant Science**, London, v. 12, p. 217-23, 2007.

SANTOS, H. P. et al. The control of storage xyloglucan mobilization in cotyledons of *Hymenaea courbaril*. **Plant Physiology**, New York, v. 135, p. 287-299, 2004

SAROJ, P. L.; PATHAK, R. K. Role of nurse shoot in propagation of guava through stool layering. **Indian Forester**, Dehradun, v. 121, n. 12, p. 1172-1173, 1995.

SAURE, M.C. Dormancy release in deciduous fruit trees. **Horticulture Technology Review**, Charlotte, v. 7, p. 239-300, 1985.

SCALABRELLI, G.; COUVILLON, G. A. The effect of temperature and bud type on rest completion and the GDH requirements for bud break in "Red Haven" peach. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Mount Vernon, v. 111, p. 537-540, 1986.

SETTIMI, L. et al. Update: hydrogen cyanamide-related illnesses-Italy, 2002-2004. **Morbidity and Mortality Weekly Report**, Atlanta, v. 54, n. 16, p. 405-408, 2005.

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

SHIMIZU-SATO, S.; MORI, H. Control of outgrowth and dormancy in axillary buds. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 127, n. 4, p. 1405-1413, 2001.

SHULMAN, Y.; NIR, G.; LAVEE, S. Oxidative processes in bud dormancy and the use of hydrogen cyanamide in breaking dormancy. **Acta Horticulturae**, Hague, n. 179, p. 141- 48, 1986.

SINGH, S. K. et al. Direct shoot organogenesis on hypocotyl explant from *in vitro* germinated seedlings of *Psidium guajava* L. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 95, p. 213-221, 2002.

STAFSTROM, J. P. Regulation of growth and dormancy in pea axillary buds. In: VIÉMONT, J.-D.; CRABBÉ, J. (Ed.). **Dormancy in plants: from whole plant behaviour to cellular control**. Cambridge: University Press, 2000. p. 331-346

STOREY, K.B. **Functional metabolism**: regulation and adaptation. New Jersey: Wiley-Liss, 2004. 616 p.

SWARTZ, H. J.; POWELL, L. E. The effect of long chilling requirement on time of bud break in apple, **Acta Horticulturae**, Hague, n. 120, p. 173-178, 1981.

SILVA, J. B; HERTER, F. G; PAZ, S. R. Disponibilidade das horas de frio ($HF \leq 7,2^{\circ}\text{C}$) na Encosta da Serra do Sudeste, em Pelotas, RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 113-122, 2002.

SILVEIRA, C. A. P. **Avaliação do efeito das horas de frio, épocas de aplicação e concentrações de cianamida hidrogenada e óleo mineral na brotação, floração e frutificação efetiva de pessegueiro em condições de inverno subtropical**. 2003. 89 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2003.

SUGIURA T.; HONJO, H. A dynamic model for predicting the flowering date developed using an endodormancy break model and a flower bud development model in Japanese pear. **Journal Agricultural Meteorological**, Amsterdam, v.54, n.5, p.897-900, 1997.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TAJI, T. et al. Important roles of drought- and cold-inducible genes for galactinol synthase in stress tolerance in *Arabidopsis thaliana*. **The Plant Journal**, Oxford, v. 29, n. 4, p. 417-426, 2002.

TAMURA, F. et al. Protein changes in the flower buds of Japanese pear during breaking of dormancy by chilling or high-temperature treatment. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Mount Vernon, v. 123, p. 532-536, 1998.

TEHRANIFAR, A.; LE MIERE, P.; BATTERY, N. H. The effect of lifting date, chilling duration and forcing temperature on vegetative growth and fruit production in the Junebearing strawberry cultivar Elsanta. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, Warwick, v. 73, p. 453-460, 1998.

USDA - United States Department of Agriculture. **National nutrient database for standard reference - release 23**. Disponível em: <<http://www.nal.usda.gov/>>. Acesso em: 23 set. 2010.

VELASCO, R. et al. The genome of the domesticated apple (*Malus x domestica* Borkh.). **Nature Genetics**, New York, v. 42, p. 833-839, 2010.

VIÉMONT J. D.; CRABBÉ J. **Dormancy in plants**: from whole plant behaviour to cellular control. New York: CABI Publishing, 2000. 385 p.

WAGNER JÚNIOR, A. et al. Evaluation of chilling requirement in peach through grafted twigs. **Acta Horticulturae**, Hague, n. 713, p. 243-246, 2006.

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

WEISS, N. A. **Introductory statistics**. 8th ed. [S. l.]: Addison Wesley, 2007. 984 p.

WILSON, B. Apical control of branch growth and angle in woody plants. **American Journal of Botany**, Baltimore, v. 87, p. 601-607, 2000.

WREGGE, M. S. et al. Influência do aquecimento global sobre a fruticultura de clima temperado na região sul do Brasil diante de alguns cenários de mudanças climáticas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2007, Aracajú. **Anais...** Aracajú: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2007.

YANOVSKY, M. J.; KAY, S. A. Molecular basis of seasonal time measurement in *Arabidopsis*. **Nature**, London, v. 419, p. 308-312, 2002.

YOUNG, E. Timing of high temperature influences chilling negation in dormant apple trees. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Mount Vermon, v. 117, p. 271-273, 1992.

8 APÊNDICES

APÊNDICE 1. Escala fenológica da macieira (Iuchi, 2006).

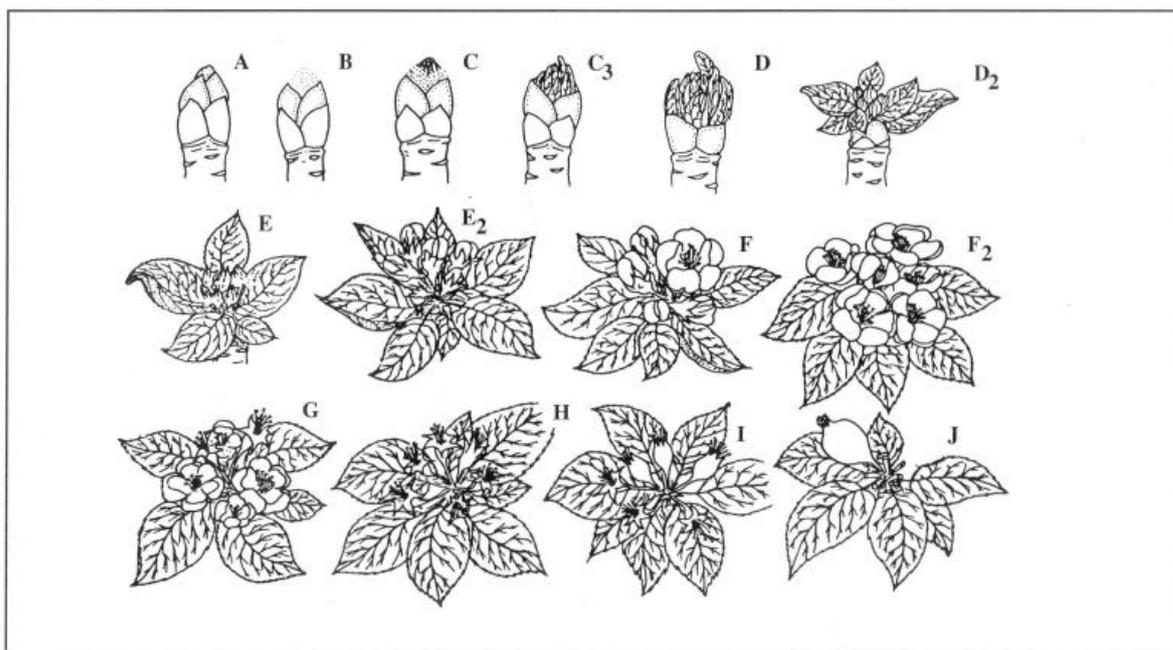


Figura 3 – Estádios fenológicos da macieira: (A) gema dormente; (B) gema inchada, ponta de prata; (C) pontas verdes; (C₃) meia polegada verde; (D) meia polegada verde sem folhas; (D₂) meia polegada verde com folhas; (E) botão verde; (E₂) botão rosado; (F) início da floração; (F₂) plena floração; (G) final de floração; (H) queda das pétalas; (I) frutificação efetiva; (J) frutos verdes

APÊNDICE 2. Reparametrização da curva de Gompertz.

O formato original da curva de Gompertz é:

$$Y = A \cdot e^{-e^{-B(x-C)}} \quad (9)$$

A brotação máxima M ocorre quando x tende ao infinito:

$$M = A \cdot e^{-e^{-B(x-C)}} = A \cdot e^{-e^{-\infty}} = A \cdot e^{-0} = A \cdot 1 = A \quad (10)$$

donde se conclui que $A = M$.

A velocidade de brotação é máxima no ponto $x=P$ de inflexão da curva, que ocorre quando a derivada segunda da função é igual a zero:

$$\frac{d^2Y}{dx^2} = A \cdot B^2 \cdot e^{-B(x-C)-e^{-B(x-C)}} \cdot (e^{-B(x-C)} - 1) \quad (11)$$

$$A \cdot B^2 \cdot e^{-B(P-C)-e^{-B(P-C)}} \cdot (e^{-B(P-C)} - 1) = 0 \quad (12)$$

$$e^{-B(P-C)-e^{-B(P-C)}} \cdot (e^{-B(P-C)} - 1) = 0 \quad (13)$$

Isso ocorre quando

$$e^{-B(P-C)-e^{-B(P-C)}} = 0 \quad (\text{ou seja, se } P \text{ fosse infinito, o que não serve)} \quad (14)$$

ou quando

$$e^{-B(P-C)} = 1 \quad (\text{ou seja, quando } P = C) \quad (15)$$

donde se conclui que $C = P$.

O parâmetro U (uniformidade) é definido como o intervalo de tempo entre 10% e 90% da brotação máxima. Resolvendo a equação de Gompertz para x, tem-se:

$$x = C - \frac{\ln(-\ln(Y/A))}{B} \quad (16)$$

O intervalo U é delimitado pelos pontos x_{10} (em que $Y = 0,1 A$) e x_{90} (em que $Y = 0,9 A$):

$$U = x_{90} - x_{10}$$

$$U = \left(C - \frac{\ln(-\ln(0,9A/A))}{B} \right) - \left(C - \frac{\ln(-\ln(0,1A/A))}{B} \right) \quad (17)$$

$$U = \frac{1}{B} \cdot (-\ln(-\ln(0,9)) + \ln(-\ln(0,1))) \quad (18)$$

$$U = \frac{3,084399773}{B} \quad (19)$$

Donde se conclui que $B = 3,0844 / U$

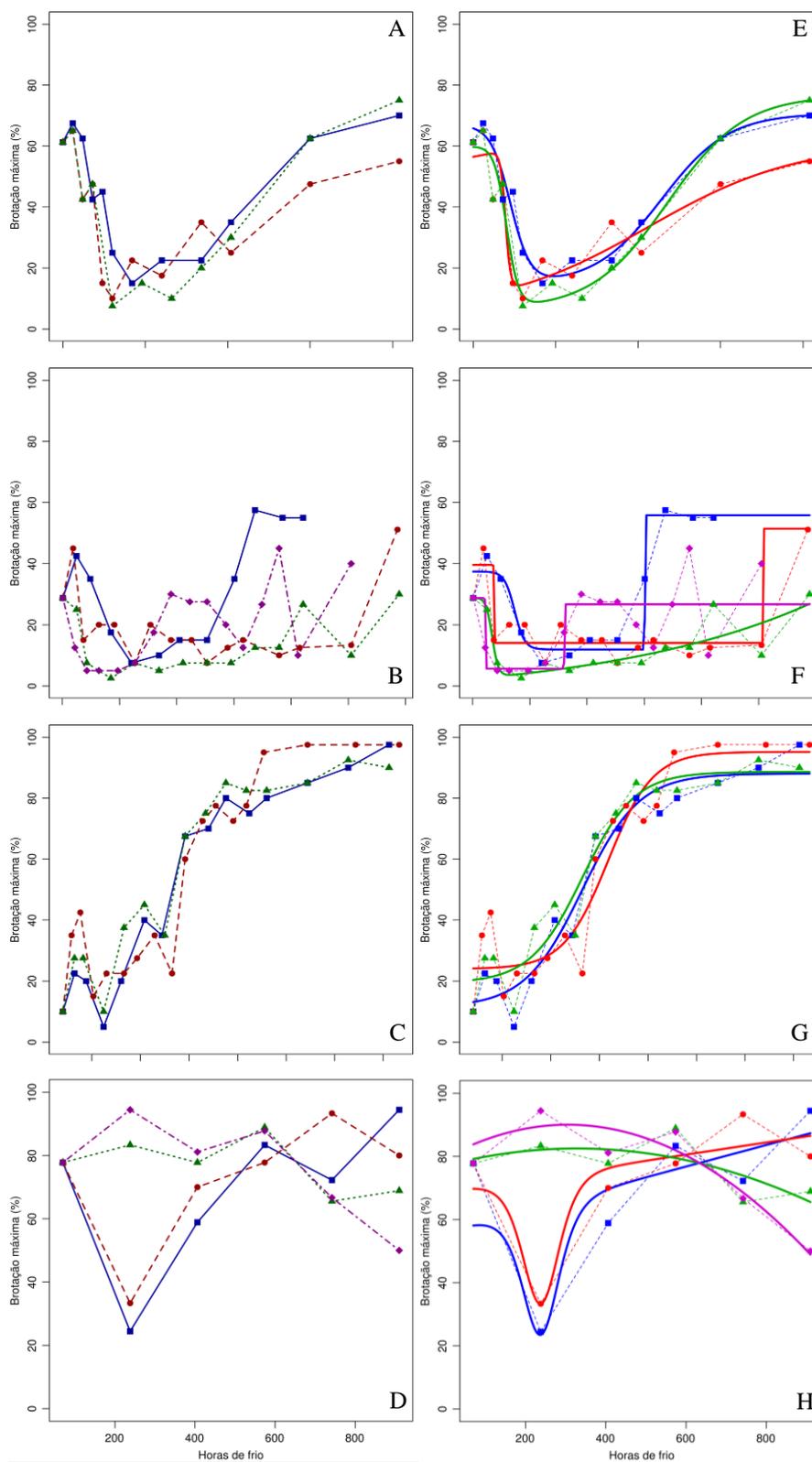
Assim, a equação reparametrizada, substituindo-se A, B e C pelos seus equivalentes em termos de M, P e U é:

$$Y = M \cdot e^{-e^{-3,0844 \frac{(x-P)}{U}}} \quad (20)$$

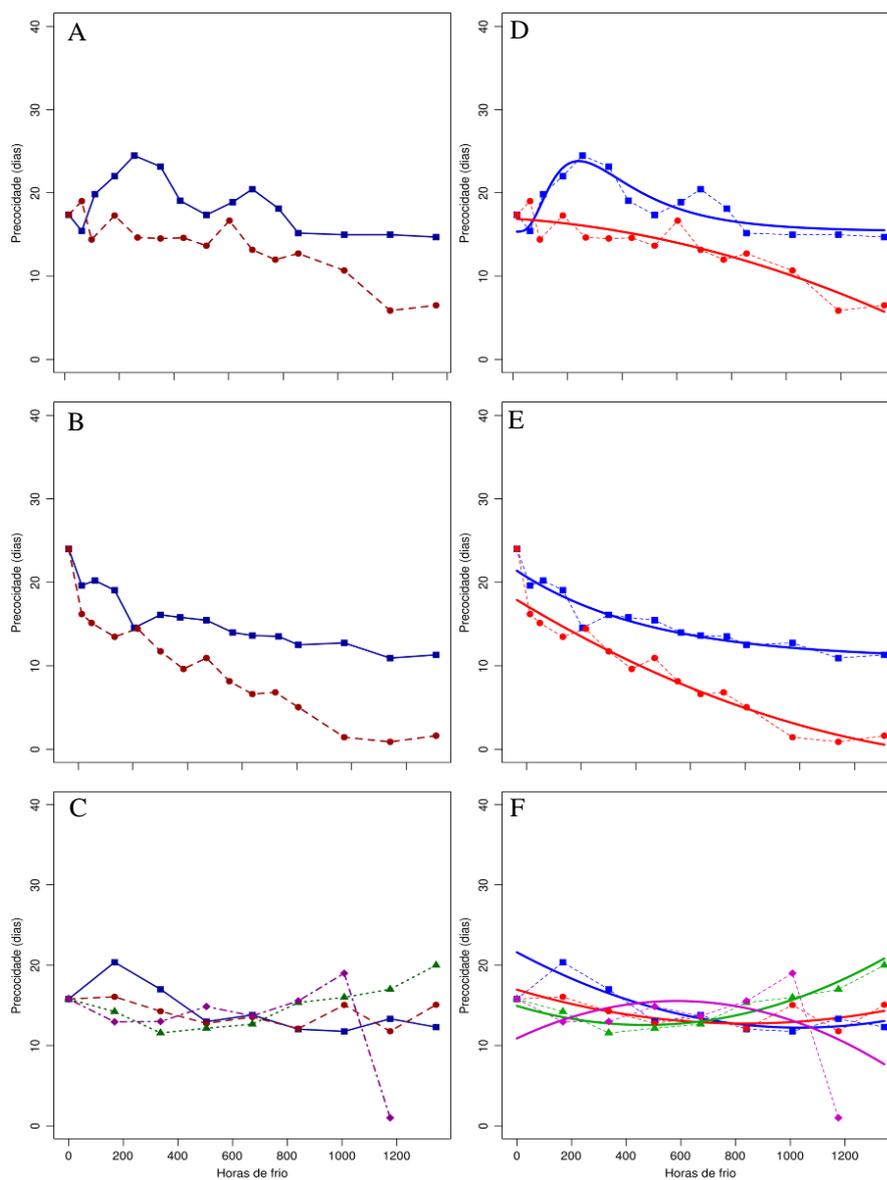
No ponto de inflexão $x = P$, a taxa de brotação é:

$$Y = M \cdot e^{-e^{-3,0844 \frac{(P-P)}{U}}} = M \cdot e^{-e^0} = M \cdot e^{-1} = 0,367879441 \cdot M \quad (21)$$

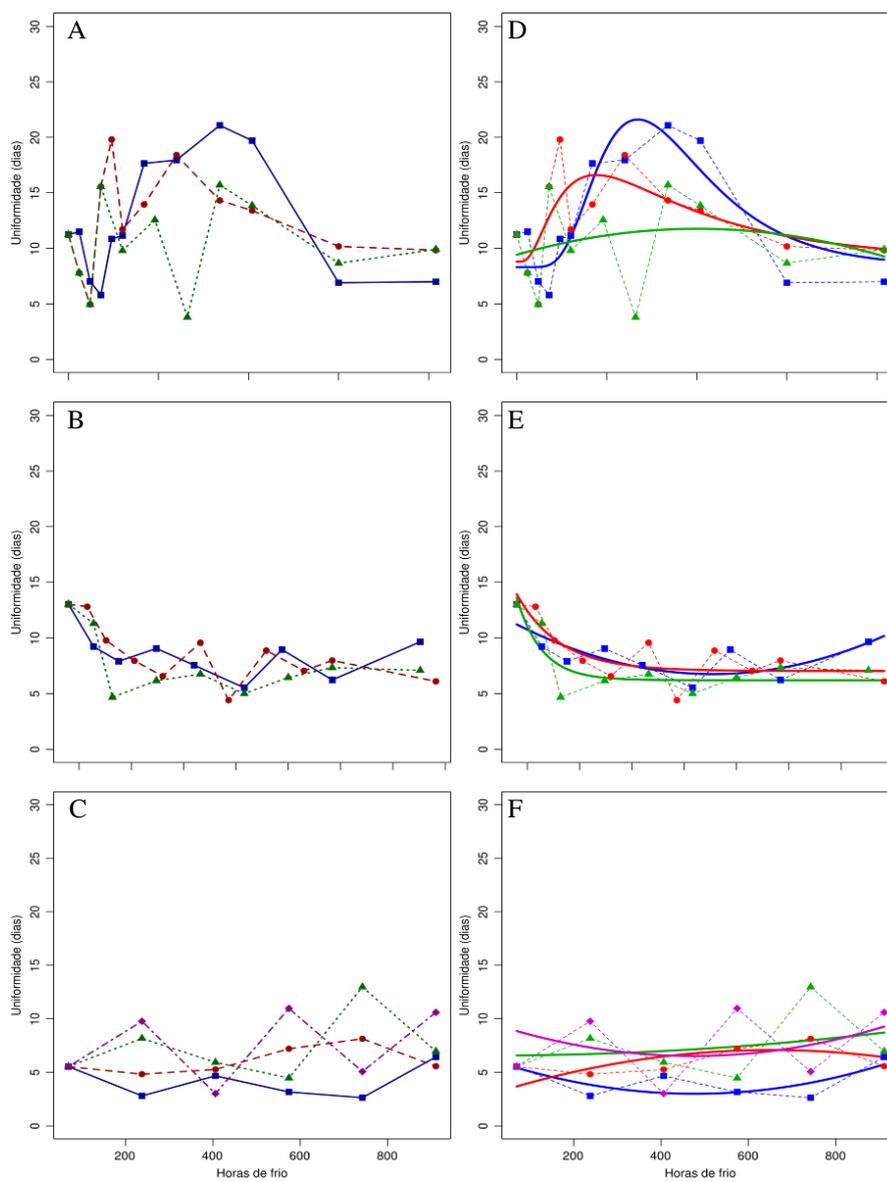
ou seja, cerca de 37% da brotação máxima.



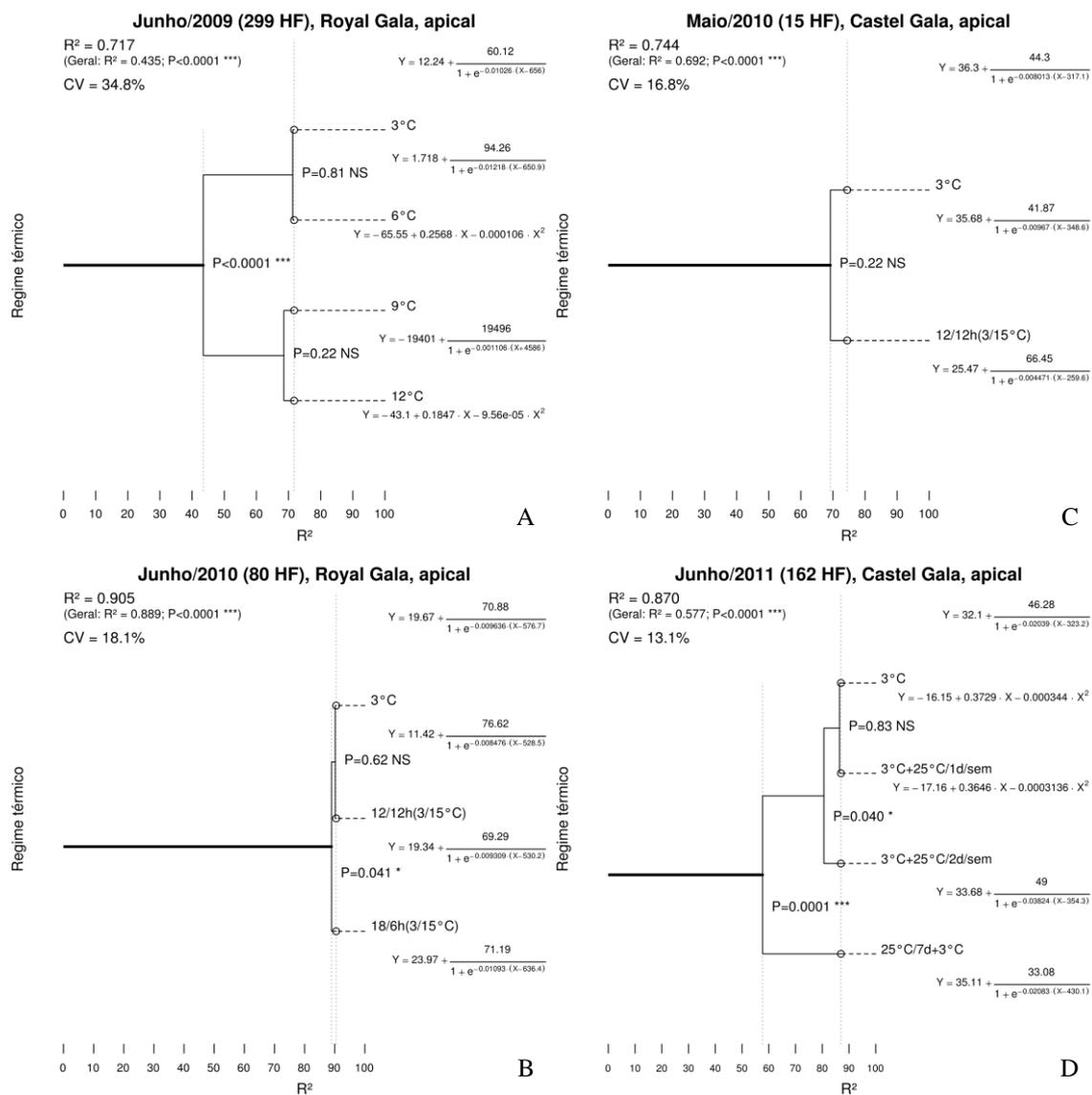
APÊNDICE 3. Curvas brutas (A, B, C e D) e curvas suavizadas (E, F, G e H) obtidas para o parâmetro brotação máxima. Bento Gonçalves, RS, 2012.



APÊNDICE 4. Curvas brutas (A, B e C) e curvas suavizadas (D, E e F) obtidas para o parâmetro precocidade. Bento Gonçalves, RS, 2012.



APÊNDICE 5. Curvas brutas (A, B e C) e curvas suavizadas (D, E e F) obtidas para o parâmetro uniformidade. Bento Gonçalves, RS, 2012.



APÊNDICE 6. Representação gráfica da análise da variância comparativa entre as curvas referentes à coleta de junho de 2009 para as gemas apicais de 'Royal Gala' (A), coleta de maio de 2010 para as gemas apicais de 'Castel Gala' (B), coleta de junho de 2010 para as gemas apicais de 'Royal Gala' (C) e coleta de junho para as gemas apicais de 'Castel Gala' (D). Bento Gonçalves, RS, 2012.

APÊNDICE 7. Valores de brotação máxima das gemas apicais controle de 2009 (A), 2010 (B), 2011 (C) e entre anos (D) e das gemas laterais controle de 2009 (E), 2010 (F), 2011 (G) e entre anos (H) para as macieiras 'Royal Gala' e 'Castel Gala'. Papanduva, SC, 2009/2010/2011.

Época de coleta 2009 (A)	Gema apical		Época de coleta 2009 (E)	Gema lateral	
	Royal Gala	Castel Gala		Royal Gala	Castel Gala
Março (0 HF)	70,95 bA	51,78 bA	Março (0 HF)	85,18 aA	73,61 aA
Maio (70 HF)	77,77 bB	38,88 aA	Maio (70 HF)	95,83 aA	100,00 bA
Junho (299 HF)	8,33 aA	87,50 cB	Junho (299 HF)	100,00 aA	100,00 bA

Época de coleta 2010 (B)	Gema apical		Época de coleta 2010 (F)	Gema lateral	
	Royal Gala	Castel Gala		Royal Gala	Castel Gala
Abril (2 HF)	28,75 cA	67,50 cB	Abril (2 HF)	2,87 bA	3,87 aA
Maio (15 HF)	16,25 bcA	42,50 abB	Maio (15 HF)	0,87 aA	4,26 abB
Junho (80 HF)	10,00 bA	36,25 aB	Junho (80 HF)	0,34 aA	8,51 bcB
Julho (165 HF)	1,25 aA	60,00 bcB	Julho (165 HF)	0,32 aA	10,03 cB

Época de coleta 2011 (C)	Gema apical		Época de coleta 2011 (G)	Gema lateral	
	Royal Gala	Castel Gala		Royal Gala	Castel Gala
Abril (0 HF)	61,25 bA	68,75 bA	Abril (0 HF)	9,06 bB	3,54 aA
Junho (162 HF)	7,50 aA	33,75 aB	Junho (162 HF)	3,15 aA	5,70 aA

Ano (D)	Gema apical		Ano (H)	Gema lateral	
	Royal Gala	Castel Gala		Royal Gala	Castel Gala
2009	52,35 cA	59,25 aB	2009	93,67 bA	91,20 bA
2010	14,06 aA	53,25 aB	2010	1,10 aA	6,67aB
2011	34,37 bA	53,56 aB	2011	6,10 aA	4,62aA

Médias seguidas pela mesma letra, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

APÊNDICE 8. Valores de precocidade de brotação das gemas apicais controle de 2009 (A), 2010 (B), 2011 (C) e entre anos (D) e das gemas laterais controle de 2009 (E), 2010 (F), 2011 (G) e entre anos (H) para as macieiras 'Royal Gala' e 'Castel Gala'. Papanduva, SC, 2009/2010/2011.

Época de coleta 2009 (A)	Gema apical		Época de coleta 2009 (E)	Gema lateral	
	Royal Gala	Castel Gala		Royal Gala	Castel Gala
Março (0 HF)	15,78 aA	15,13 bA	Março (0 HF)	13,10 aA	13,34 aA
Maio (70 HF)	15,38 aA	14,49 bA	Maio (70 HF)	13,77 aA	12,64 aA
Junho (299 HF)	18,00 bB	13,40 aA	Junho (299 HF)	17,48 bB	14,15 aA

Época de coleta 2010 (B)	Gema apical		Época de coleta 2010 (F)	Gema lateral	
	Royal Gala	Castel Gala		Royal Gala	Castel Gala
Abril (2 HF)	18,79 aA	15,85 bA	Abril (2 HF)	13,74 aA	13,23 bA
Maio (15 HF)	20,07 aA	19,25 cA	Maio (15 HF)	17,36 aA	17,37 cA
Junho (80 HF)	19,52 aB	13,66 bA	Junho (80 HF)	18,00 aB	10,32 aA
Julho (165 HF)	24,00 bB	9,29 aA	Julho (165 HF)	23,5 bB	8,26 aA

Época de coleta 2011 (C)	Gema apical		Época de coleta 2011 (G)	Gema lateral	
	Royal Gala	Castel Gala		Royal Gala	Castel Gala
Abril (0 HF)	13,36 aB	11,78 aA	Abril (0 HF)	12,71 aB	10,62 aA
Junho (162 HF)	17,33 bA	19,62 bA	Junho (162 HF)	19,71 bA	17,47 bA

Ano (D)	Gema apical		Ano (H)	Gema lateral	
	Royal Gala	Castel Gala		Royal Gala	Castel Gala
2009	19,81 bB	14,34 aA	2009	14,78 aB	13,38 abA
2010	15,93 aB	14,51 aA	2010	17,20 aB	12,30 aA
2011	15,06 aA	15,70 aA	2011	16,24 aB	14,04 bA

Médias seguidas pela mesma letra, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

APÊNDICE 9. Valores de uniformidade de brotação das gemas apicais controle de 2009 (A), 2010 (B), 2011 (C) e entre anos (D) e das gemas laterais controle de 2009 (E), 2010 (F), 2011 (G) e entre anos (H) para as macieiras 'Royal Gala' e 'Castel Gala'. Papanduva, SC, 2009/2010/2011.

Época de coleta 2009 (A)	Gema apical		Época de coleta 2009 (E)	Gema lateral	
	Royal Gala	Castel Gala		Royal Gala	Castel Gala
Março (0 HF)	10,43 bA	12,26 bA	Março (0 HF)	11,93 bA	12,80 cA
Maió (70 HF)	5,53 aA	11,30 bB	Maió (70 HF)	4,25 aA	9,56 bB
Junho (299 HF)	5,80 aA	5,30 aA	Junho (299 HF)	6,44 aA	6,15 aA

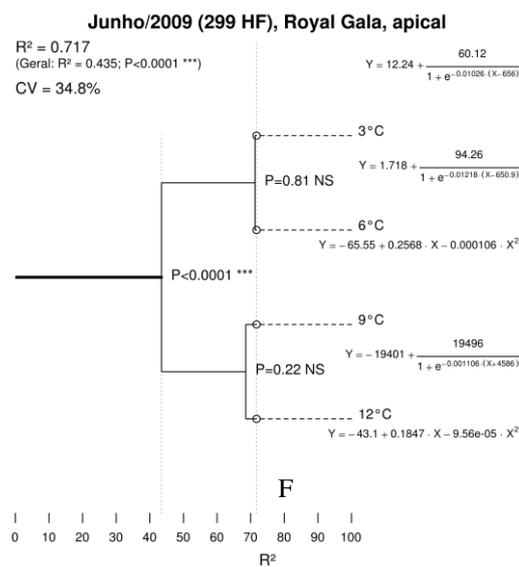
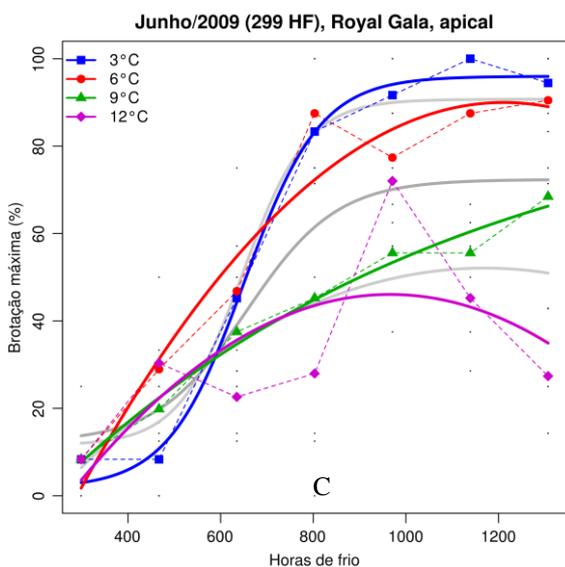
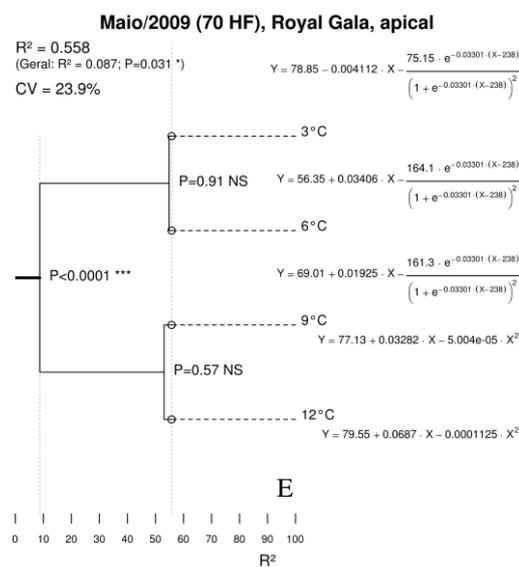
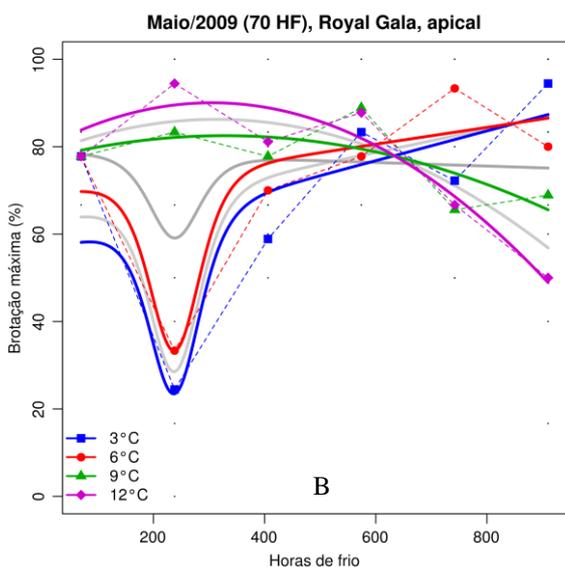
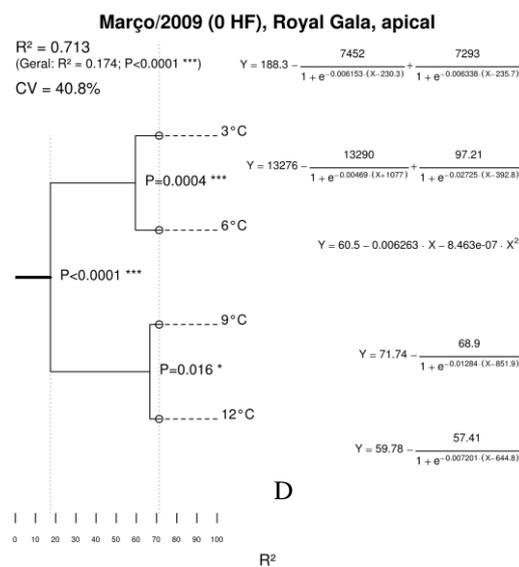
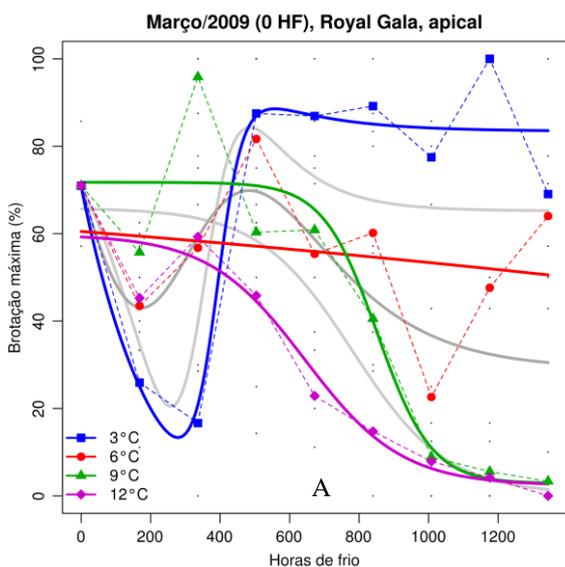
Época de coleta 2010 (B)	Gema apical		Época de coleta 2010 (F)	Gema lateral	
	Royal Gala	Castel Gala		Royal Gala	Castel Gala
Abril (2 HF)	12,17 bA	10,97 abA	Abril (2 HF)	12,10 bA	11,31 bA
Maió (15 HF)	10,42 bA	13,26 bA	Maió (15 HF)	10,70 aA	8,57 aA
Junho (80 HF)	5,76 aA	13,02 bB	Junho (80 HF)	10,80 aA	13,70 bA
Julho (165 HF)	---	9,74 a	Julho (165 HF)	---	7,37 a

Época de coleta 2011 (C)	Gema apical		Época de coleta 2011 (G)	Gema lateral	
	Royal Gala	Castel Gala		Royal Gala	Castel Gala
Abril (0 HF)	9,88 bA	11,08 aA	Abril (0 HF)	11,23 aA	8,05 aA
Junho (162 HF)	6,46 aA	17,13 bB	Junho (162 HF)	10,53 aA	15,51 bB

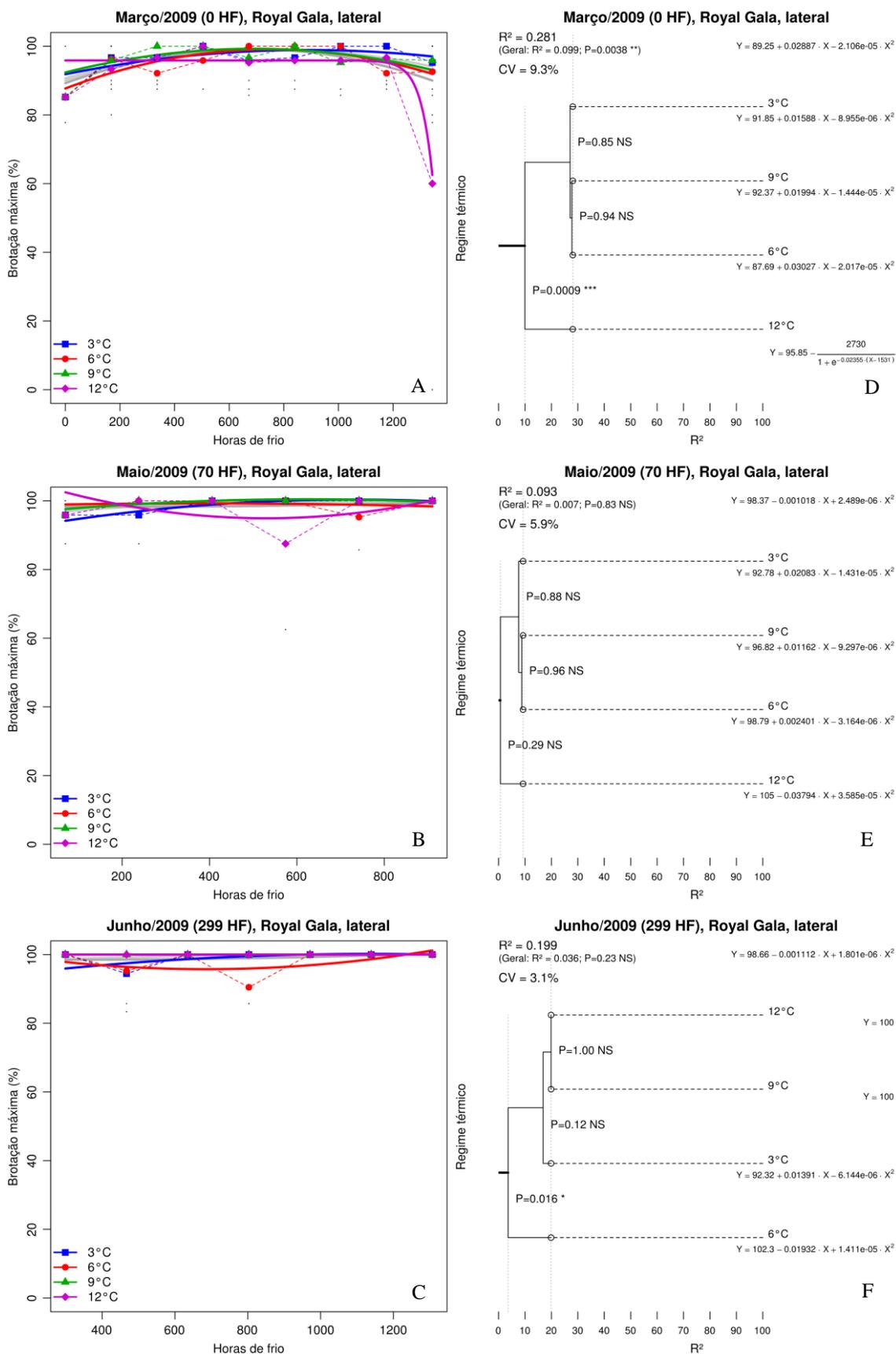
Ano (D)	Gema apical		Ano (H)	Gema lateral	
	Royal Gala	Castel Gala		Royal Gala	Castel Gala
2009	7,67 aA	10,16 aA	2009	7,54 aA	9,50 aA
2010	9,79 aA	11,75 aA	2010	11,65 aA	10,24 aA
2011	8,42 aA	14,11 aB	2011	10,93 aA	11,78 aA

Médias seguidas pela mesma letra, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

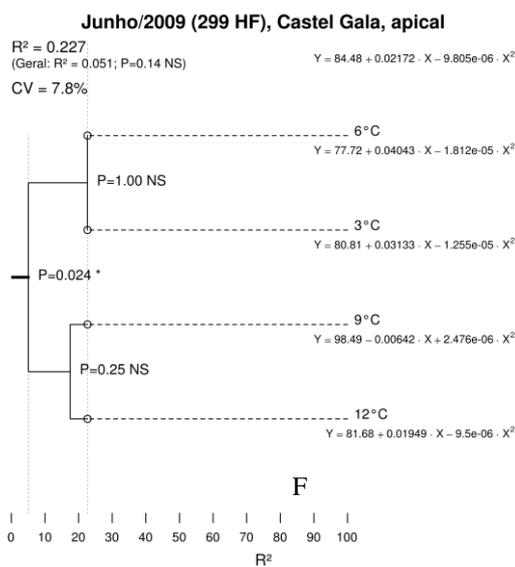
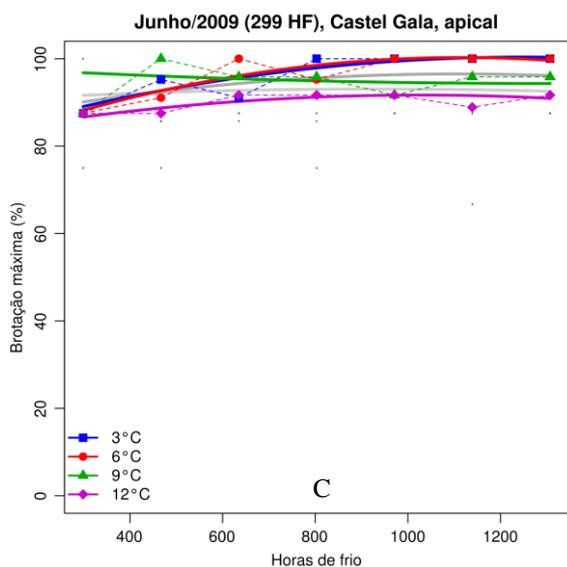
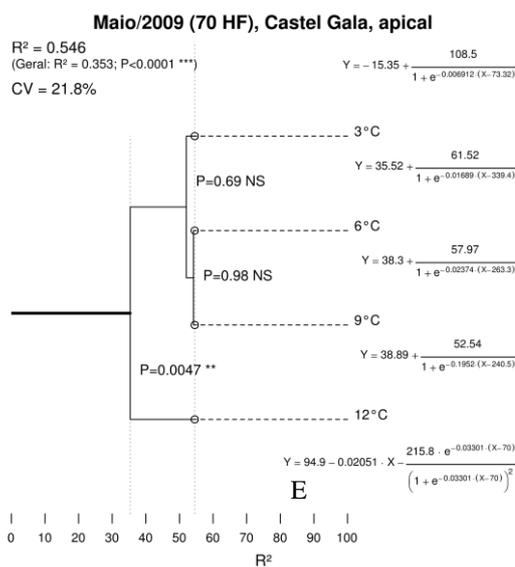
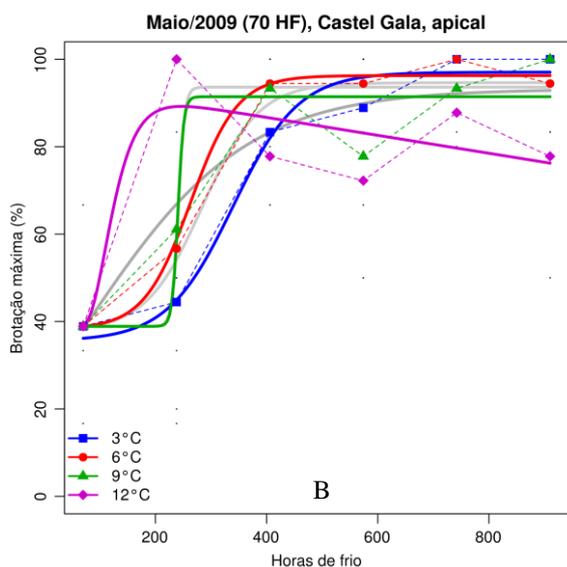
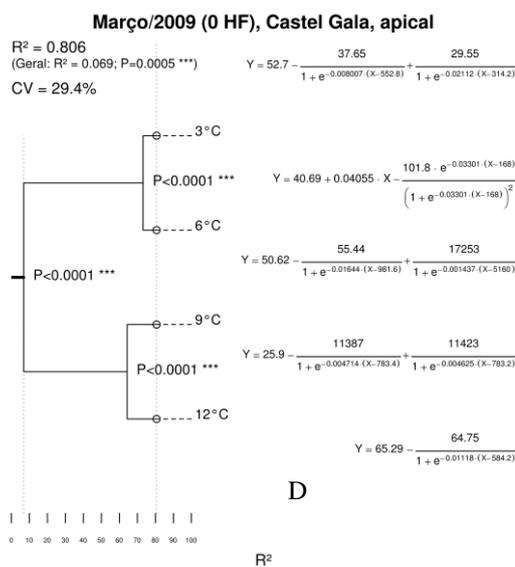
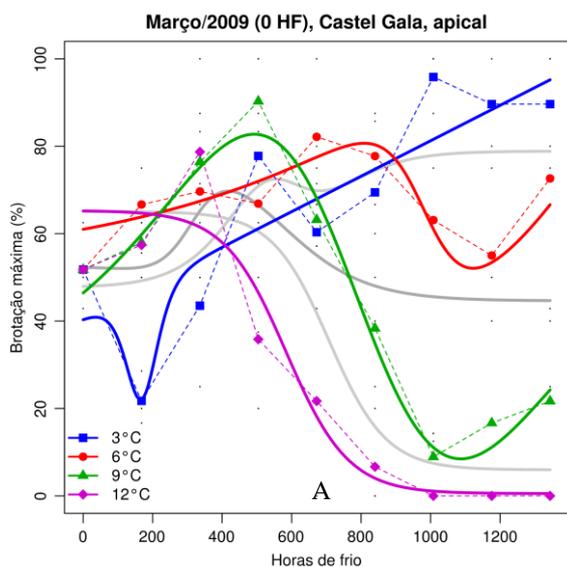
OBS.: em julho de 2010 não foi estimada a uniformidade da brotação das gemas apicais e laterais de Royal Gala, não sendo possível a realização da análise estatística. O valor de uniformidade é indefinido se menos de duas gemas houverem brotado.



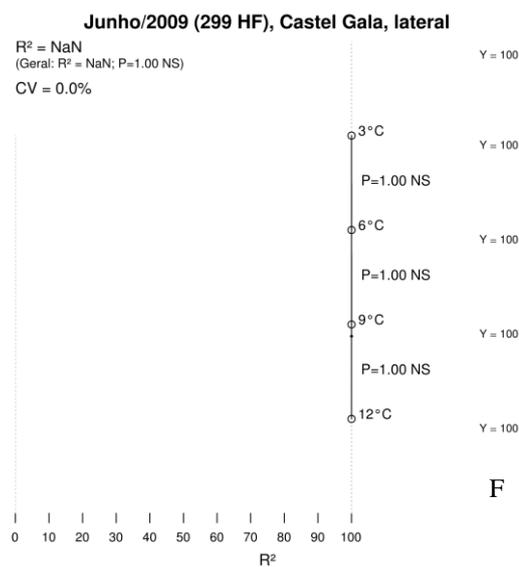
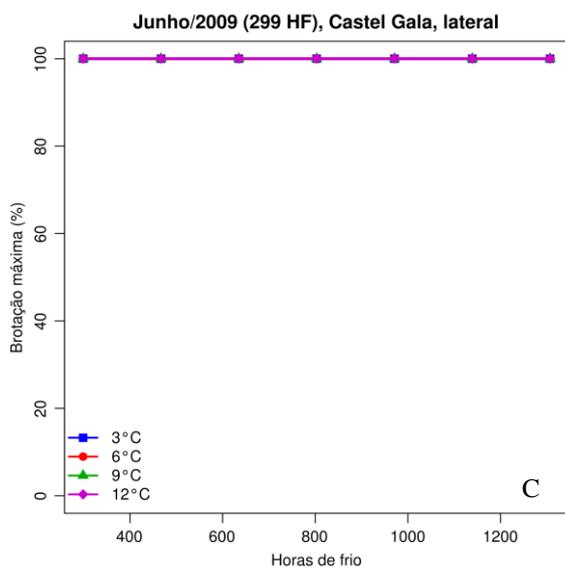
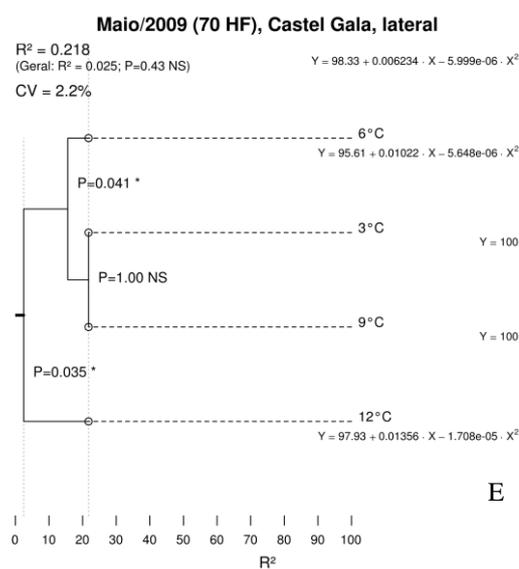
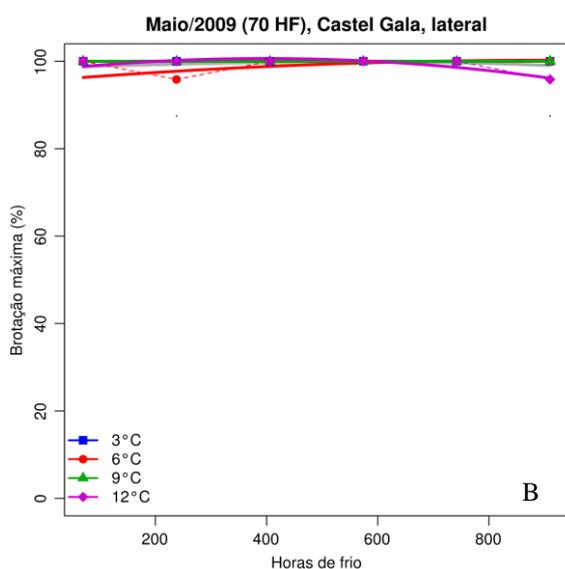
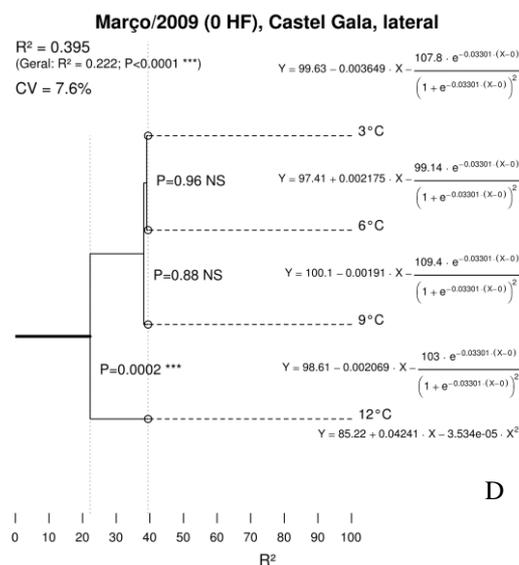
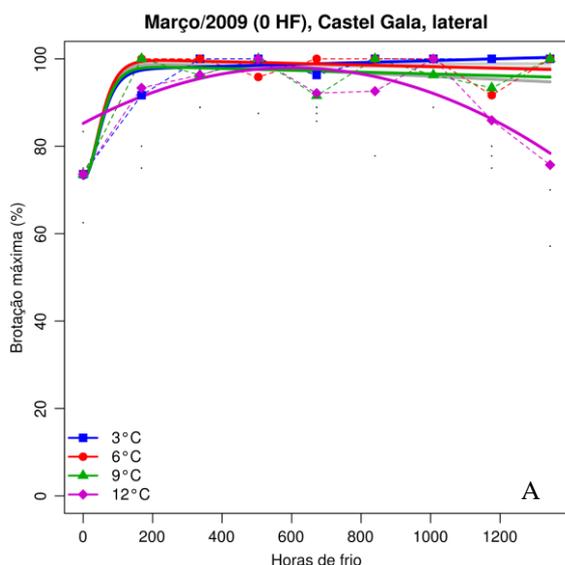
APÊNDICE 10. Suavização das curvas do parâmetro brotação máxima das gemas apicais de macieiras 'Royal Gala' (A, B e C) e representação gráfica da análise estatística (D, E e F) entre tratamentos. Coletas de março, maio e junho de 2009. Bento Gonçalves, RS, 2009.



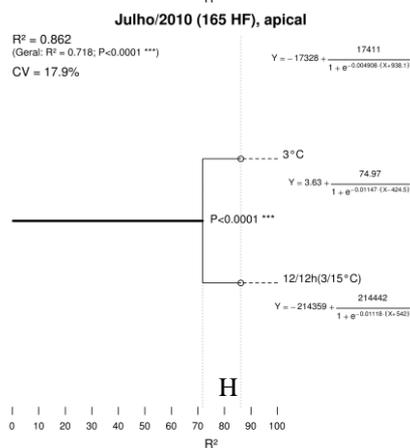
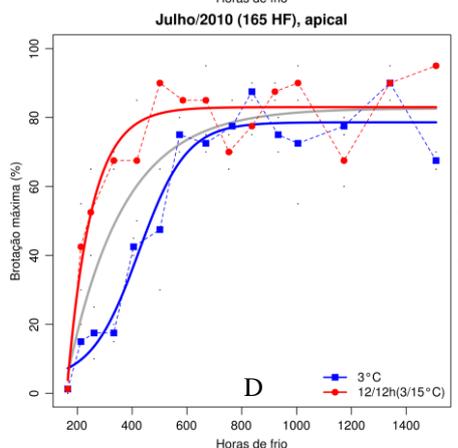
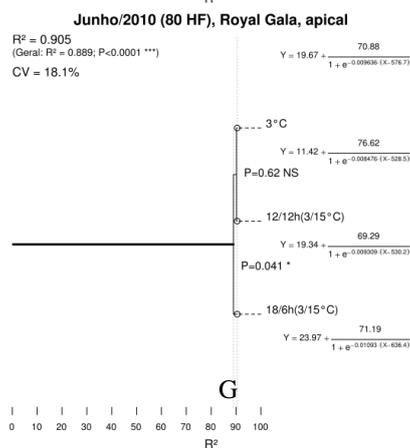
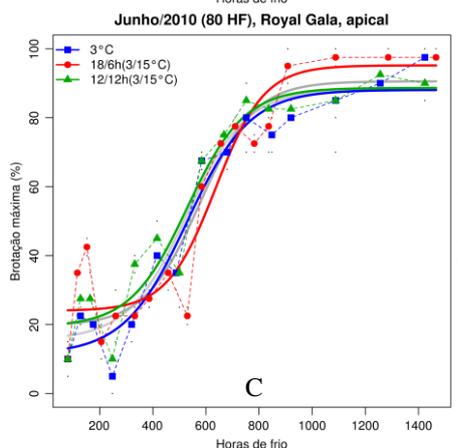
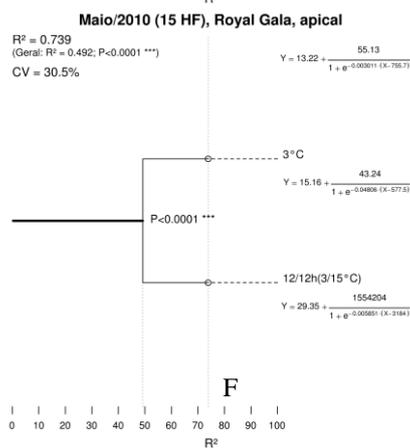
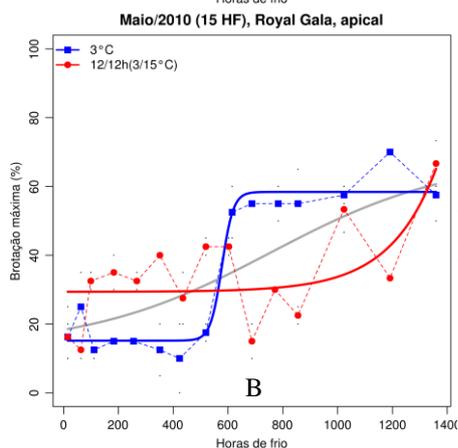
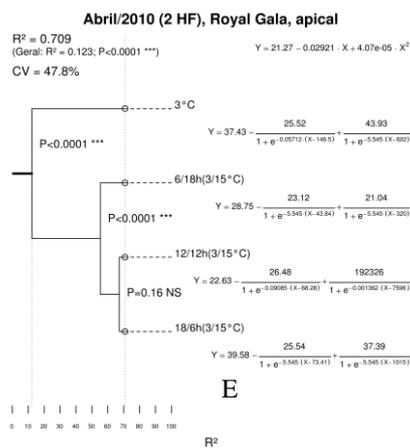
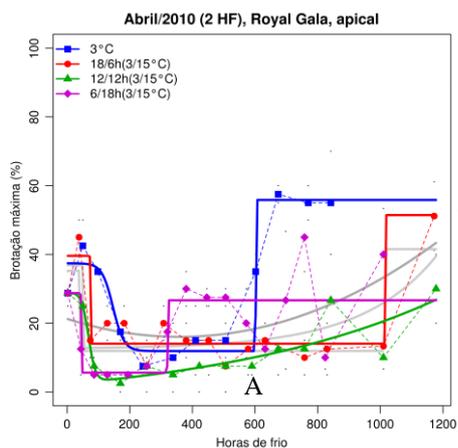
APÊNDICE 11. Suavização das curvas do parâmetro brotação máxima das gemas laterais de macieiras 'Royal Gala' (A, B e C) e representação gráfica da análise estatística (D, E e F) entre tratamentos. Coletas de março, maio e junho de 2009. Bento Gonçalves, RS, 2009



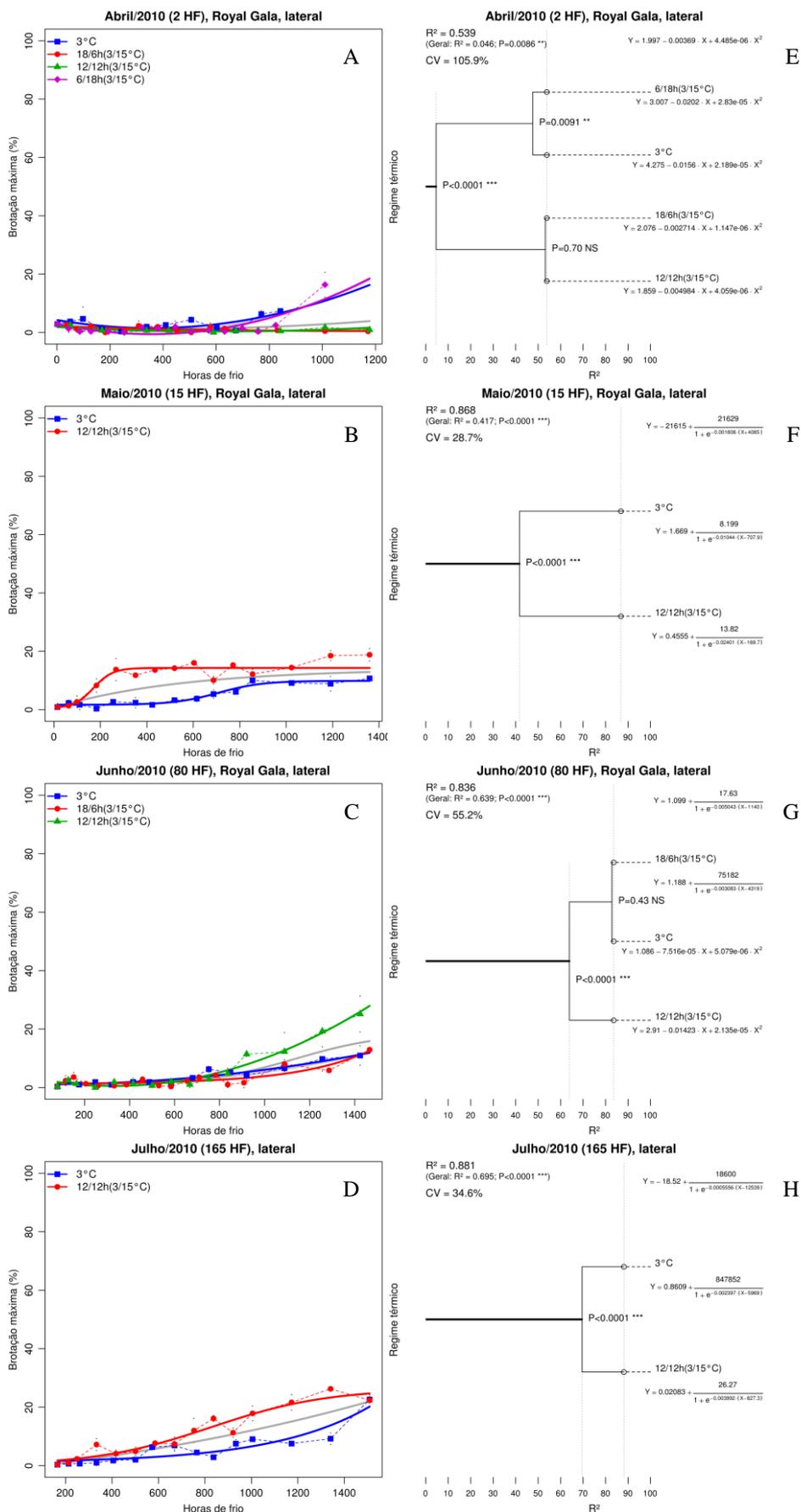
APÊNDICE 12. Suavização das curvas do parâmetro brotação máxima das gemas apicais de macieiras 'Castel Gala' (A, B e C) e representação gráfica da análise estatística (D, E e F) entre tratamentos. Coletas de março, maio e junho de 2009. Bento Gonçalves, RS, 2009.



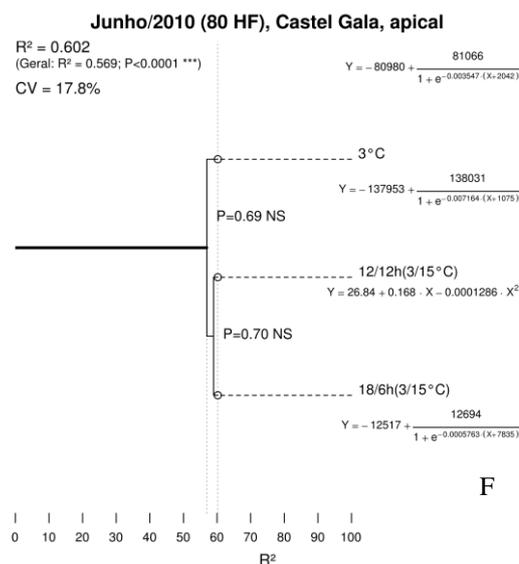
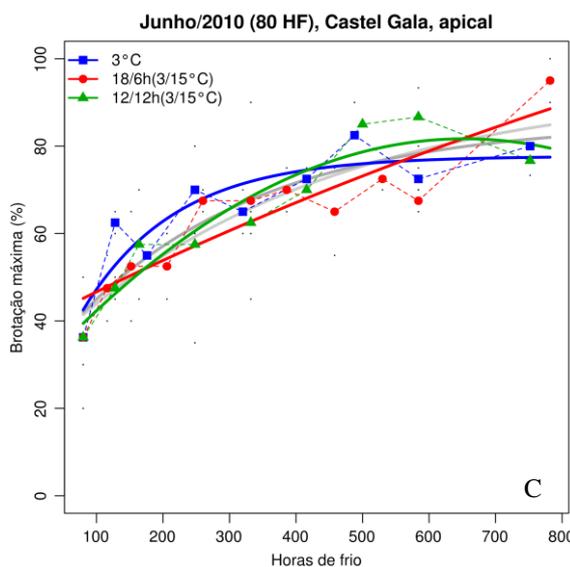
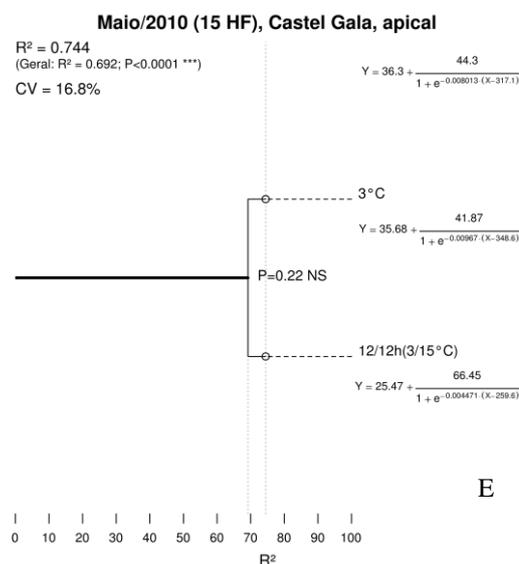
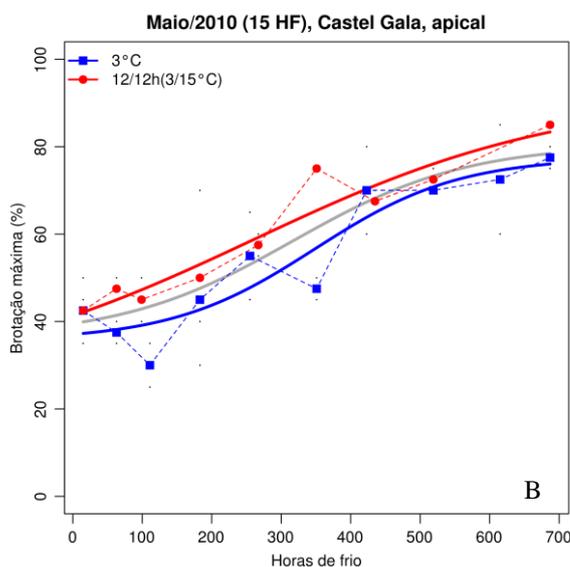
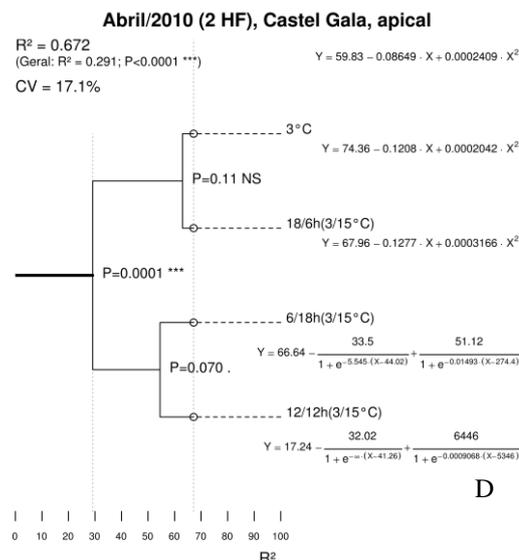
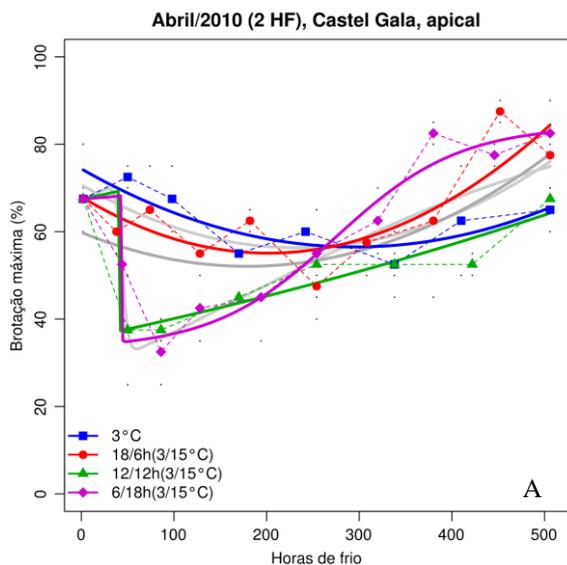
APÊNDICE 13. Suavização das curvas do parâmetro brotação máxima das gemas laterais de macieiras 'Castel Gala' (A, B e C) e representação gráfica da análise estatística (D, E e F) entre tratamentos. Coletas de março, maio e junho de 2009. Bento Gonçalves, RS, 2009.



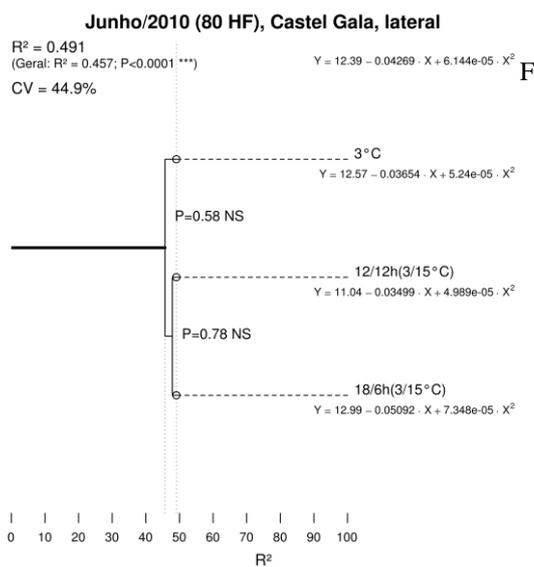
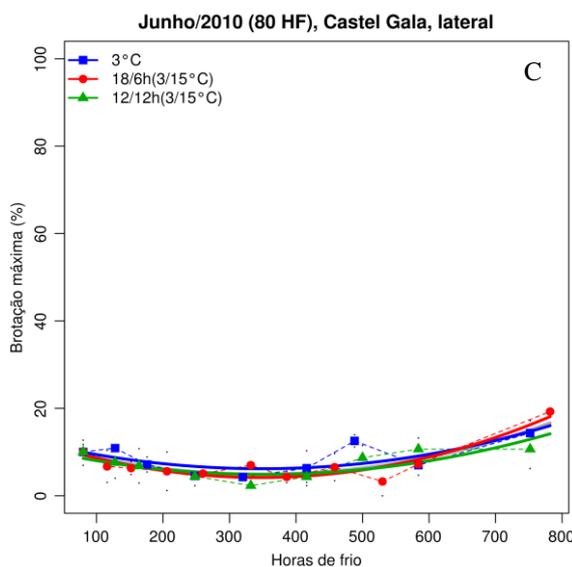
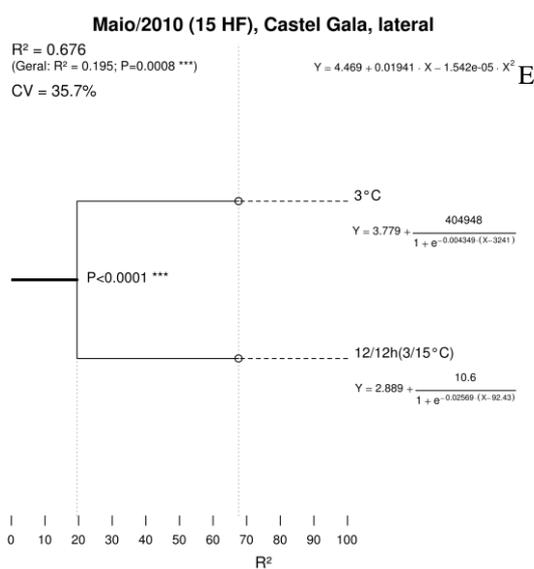
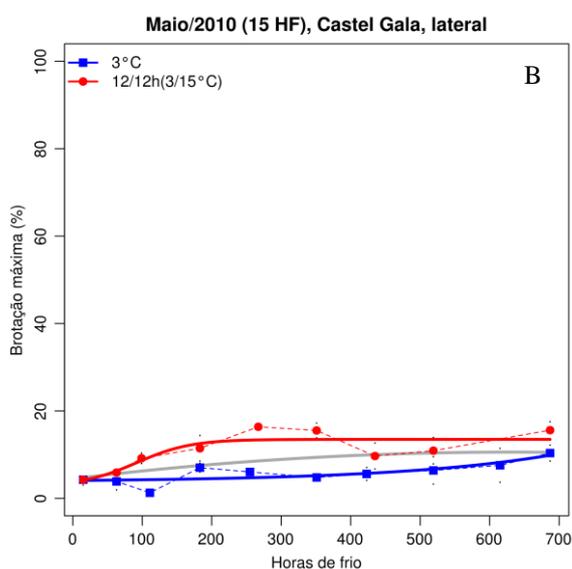
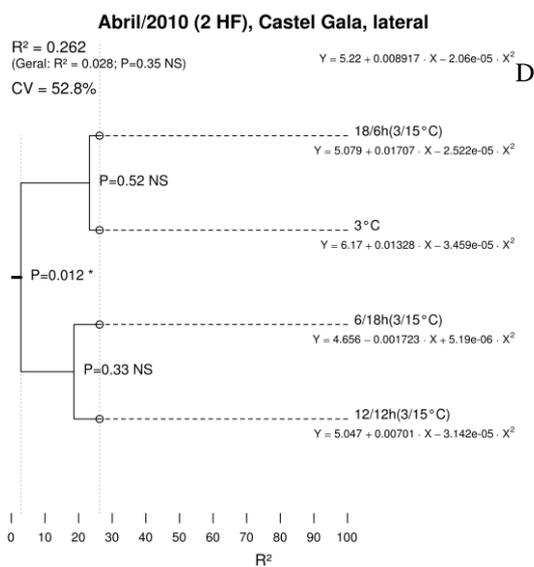
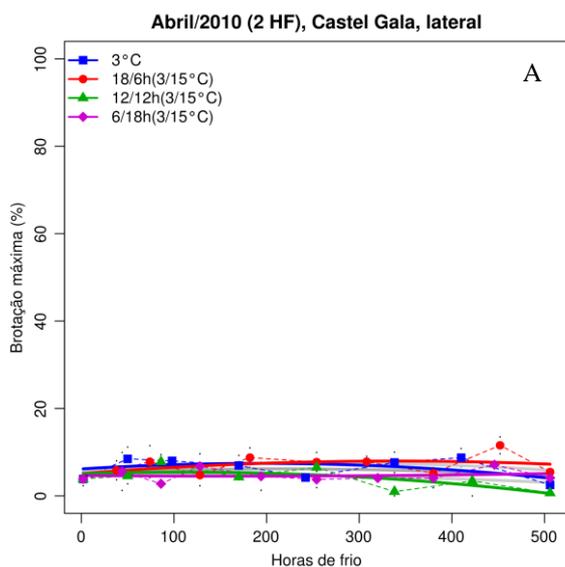
APÊNDICE 14. Suavização das curvas do parâmetro brotação máxima das gemas apicais de macieiras 'Royal Gala' (A, B, C e D) e representação gráfica da análise estatística (E, F, G e H) entre tratamentos. Coletas de abril, maio, junho e julho de 2010. Bento Gonçalves, RS, 2010.



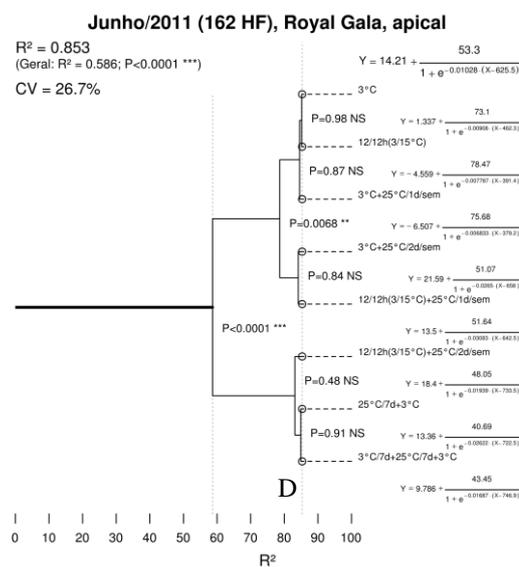
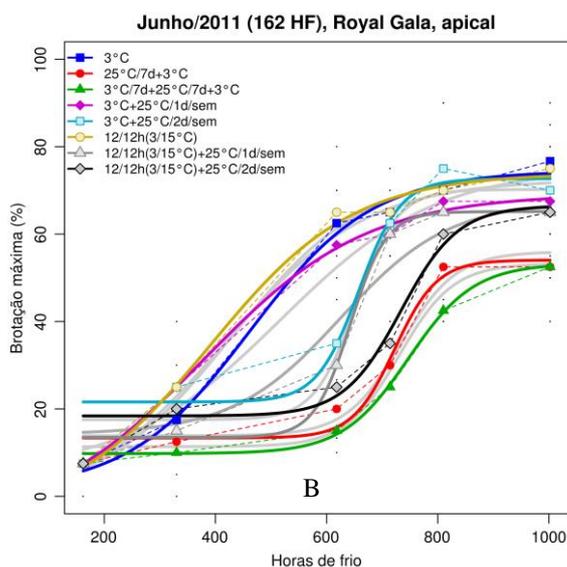
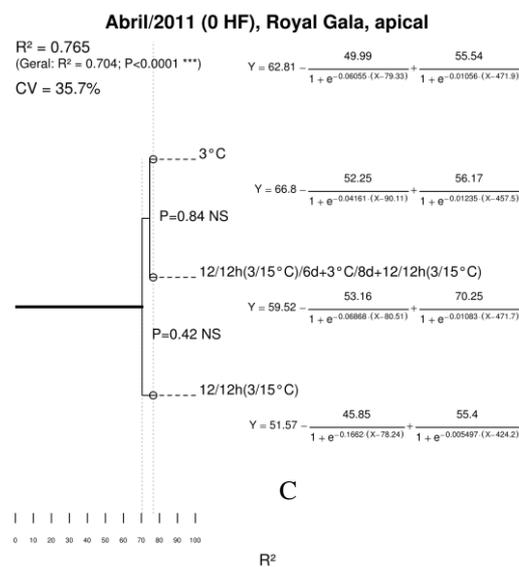
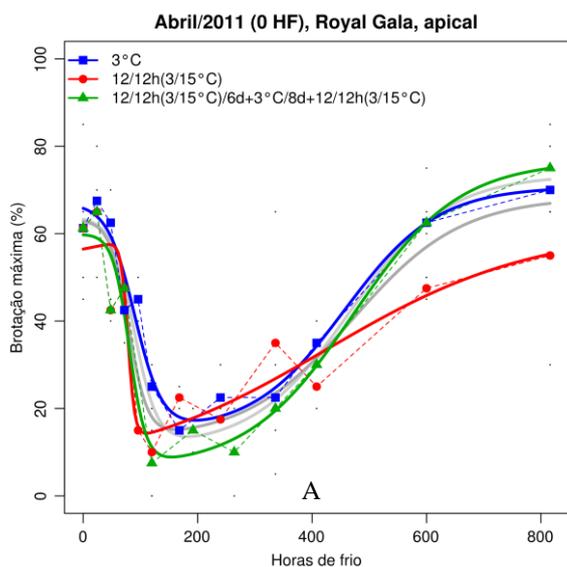
APÊNDICE 15. Suavização das curvas do parâmetro brotação máxima das gemas laterais de macieiras 'Royal Gala' (A, B, C e D) e representação gráfica da análise estatística (E, F, G e H) entre tratamentos. Coletas de abril, maio, junho e julho de 2010. Bento Gonçalves, RS, 2010.



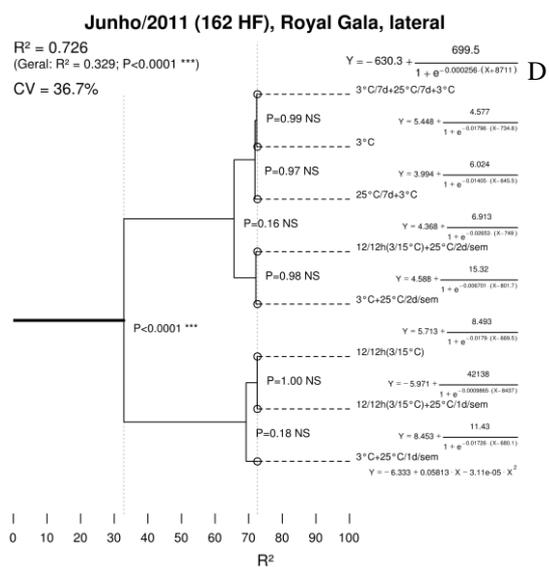
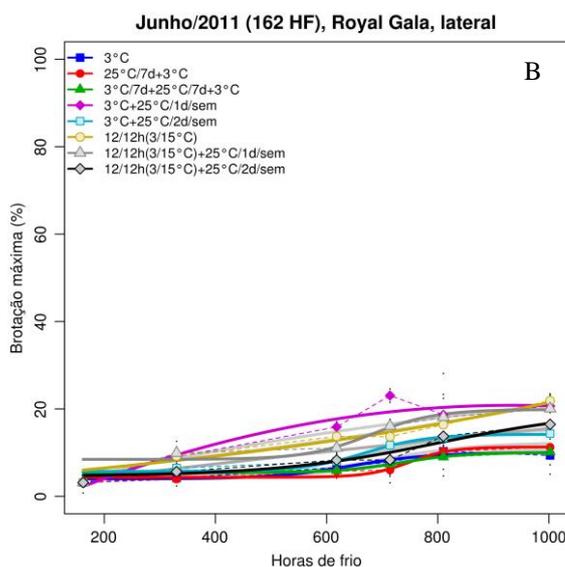
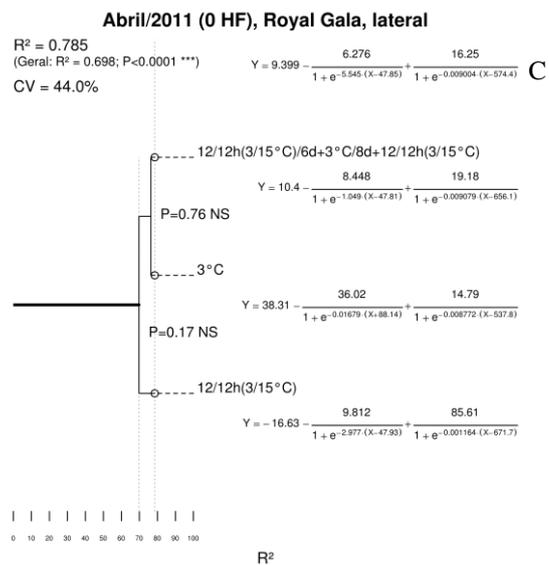
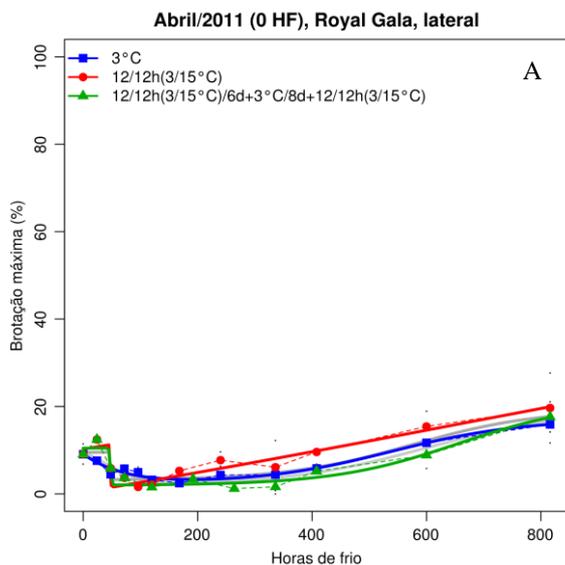
APÊNDICE 16. Suavização das curvas do parâmetro brotação máxima das gemas apicais de macieiras 'Castel Gala' (A, B e C) e representação gráfica da análise estatística (D, E e F) entre tratamentos. Coletas de abril, maio e junho de 2010. Bento Gonçalves, RS, 2010.



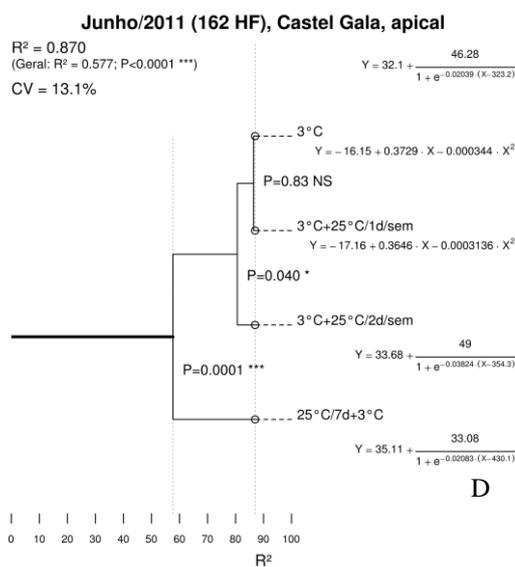
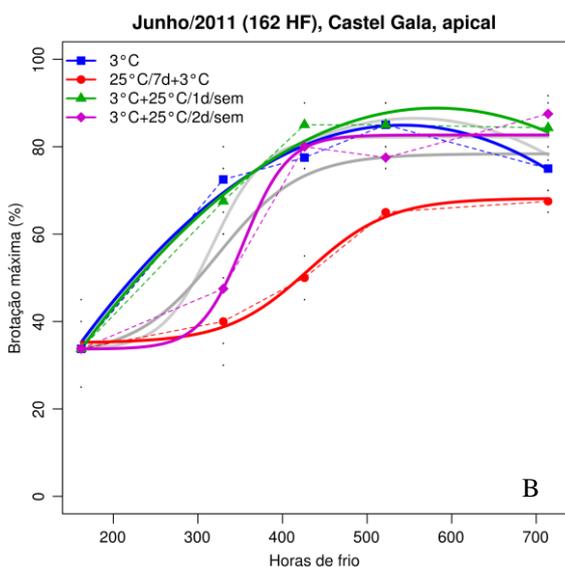
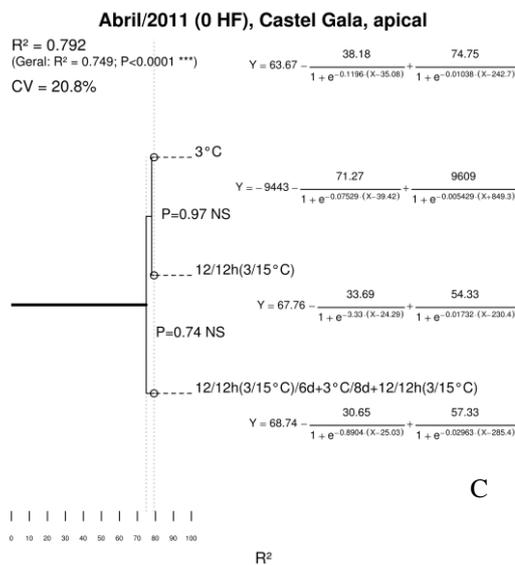
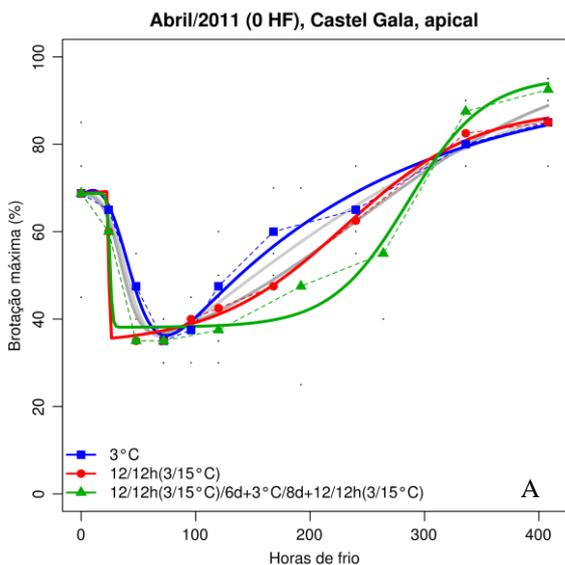
APÊNDICE 17. Suavização das curvas do parâmetro brotação máxima das gemas laterais de macieiras 'Castel Gala' (A, B e C) e representação gráfica da análise estatística (D, E e F) entre tratamentos. Coletas de abril, maio e junho de 2010. Bento Gonçalves, RS, 2010.



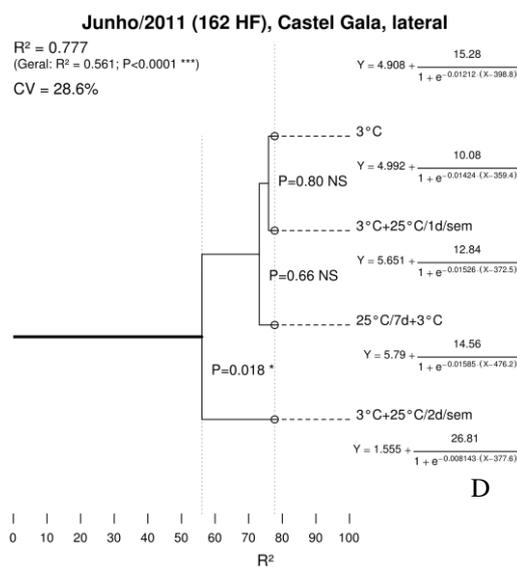
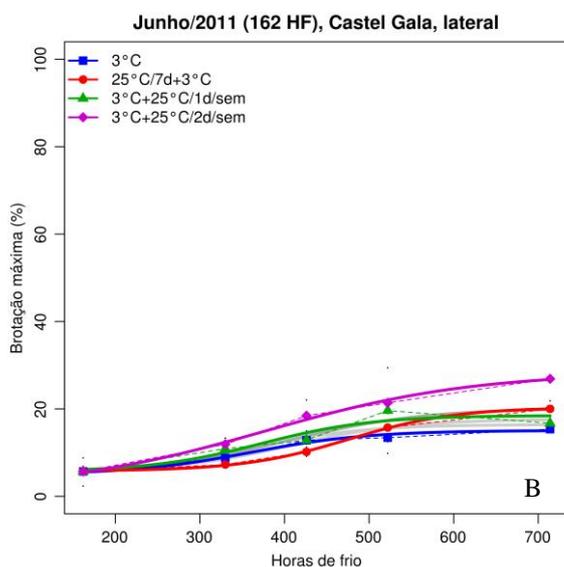
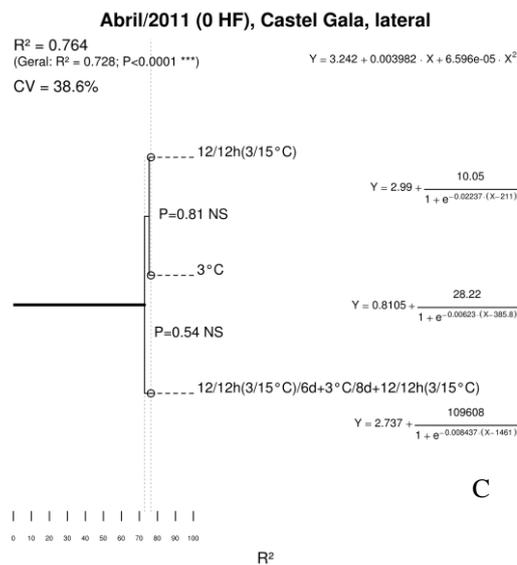
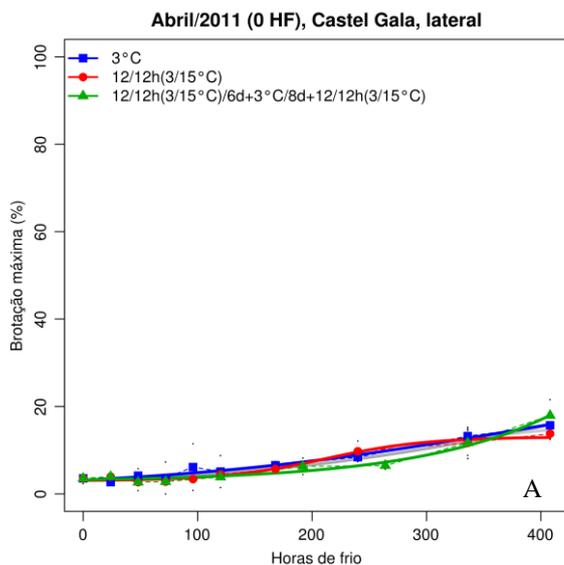
APÊNDICE 18. Suavização das curvas do parâmetro brotação máxima das gemas apicais de macieiras 'Royal Gala' (A e B) e representação gráfica da análise estatística (C e D) entre tratamentos. Coletas de abril e junho de 2011. Bento Gonçalves, RS, 2011.



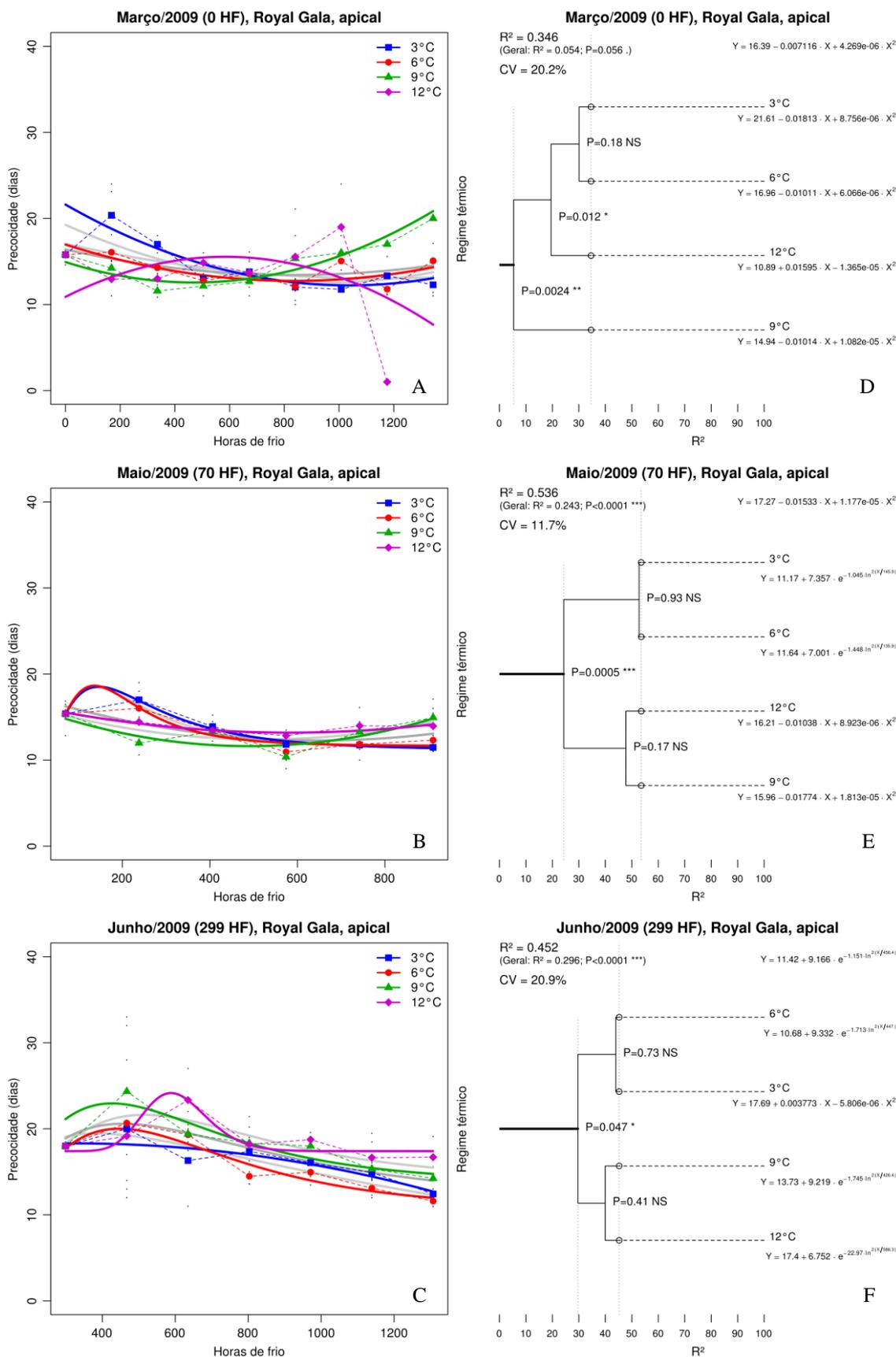
APÊNDICE 19. Suavização das curvas do parâmetro brotação máxima das gemas laterais de macieiras 'Royal Gala' (A e B) e representação gráfica da análise estatística (C e D) entre tratamentos. Coletas de abril e junho de 2011. Bento Gonçalves, RS, 2011.



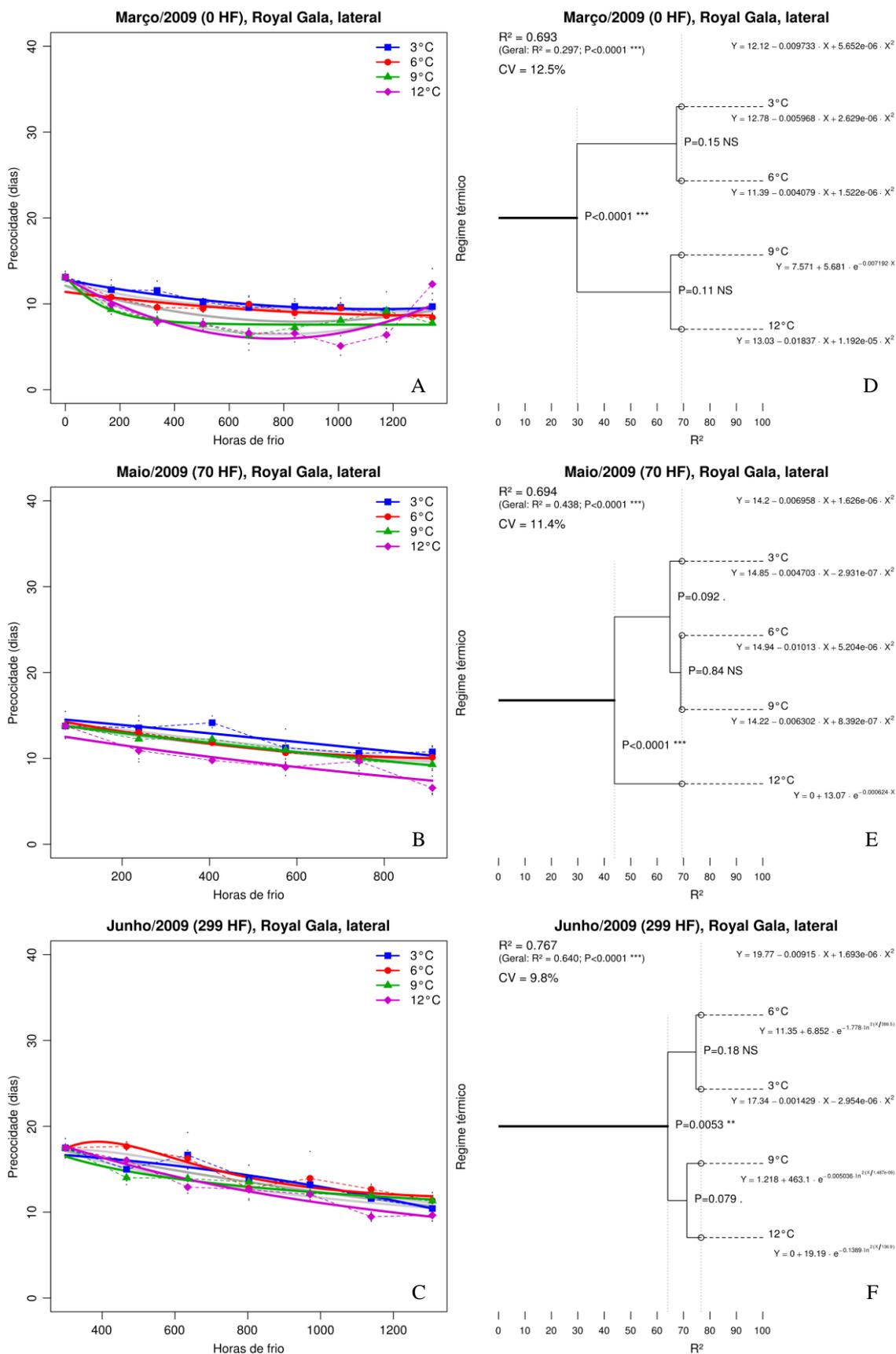
APÊNDICE 20. Suavização das curvas do parâmetro brotação máxima das gemas apicais de macieiras 'Castel Gala' (A e B) e representação gráfica da análise estatística (C e D) entre tratamentos. Coletas de abril e junho de 2011. Bento Gonçalves, RS, 2011.



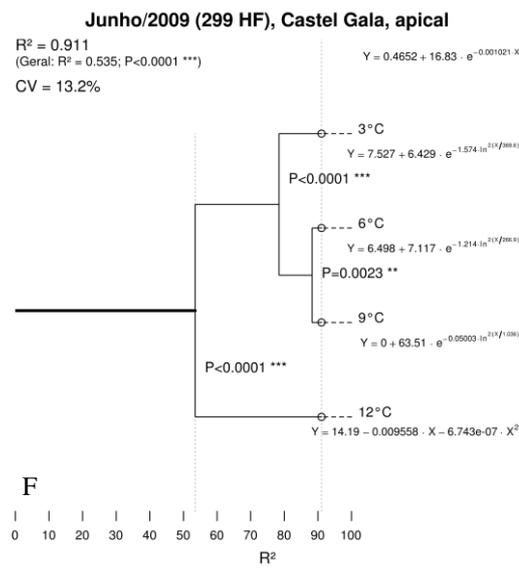
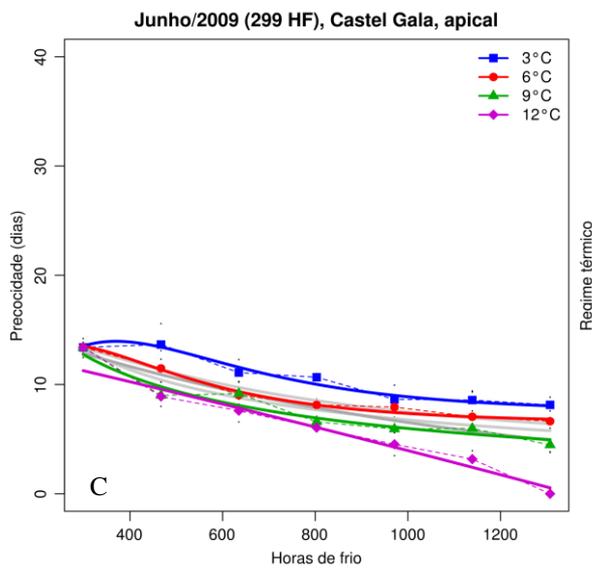
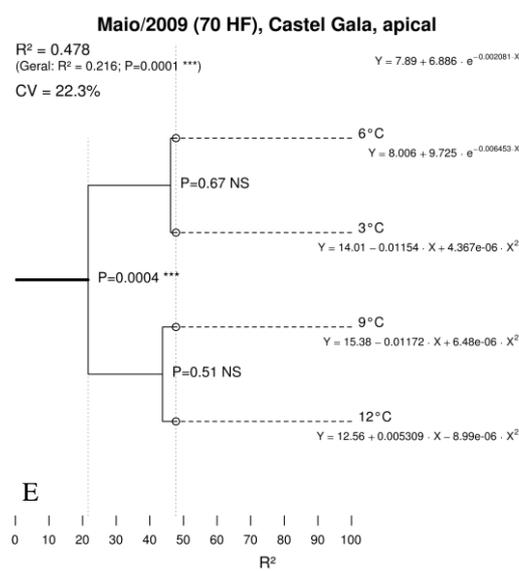
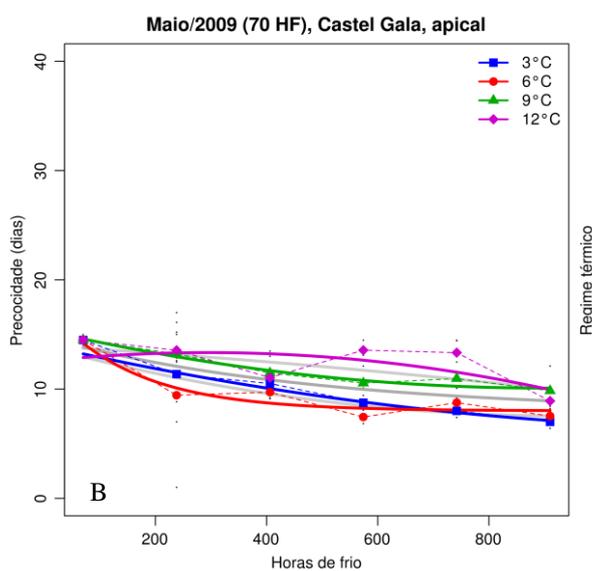
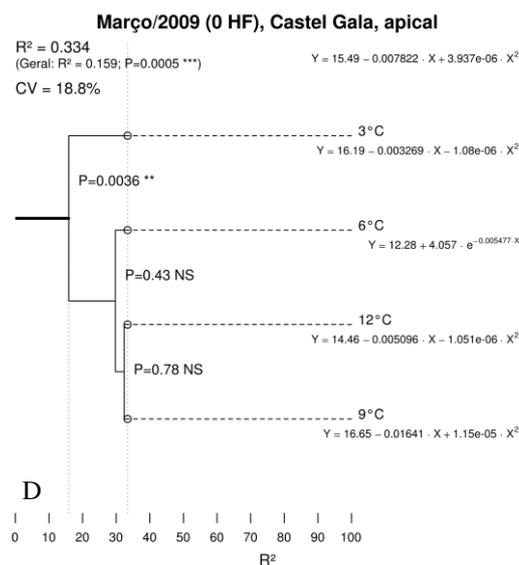
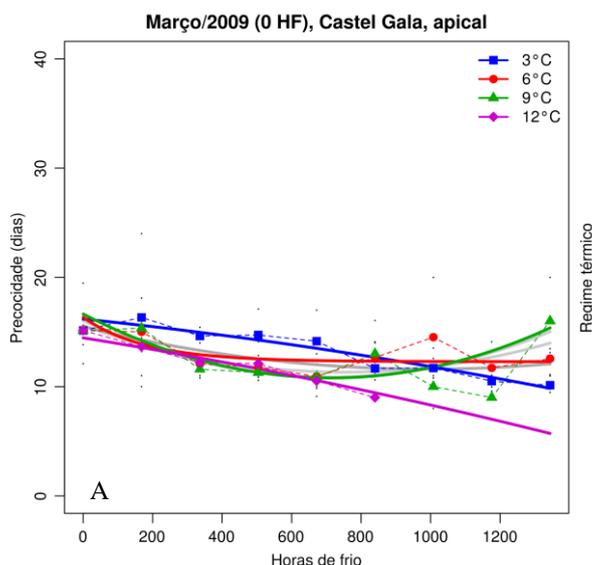
APÊNDICE 21. Suavização das curvas do parâmetro brotação máxima das gemas laterais de macieiras 'Castel Gala' (A e B) e representação gráfica da análise estatística (C e D) entre tratamentos. Coletas de abril e junho de 2011. Bento Gonçalves, RS, 2011.



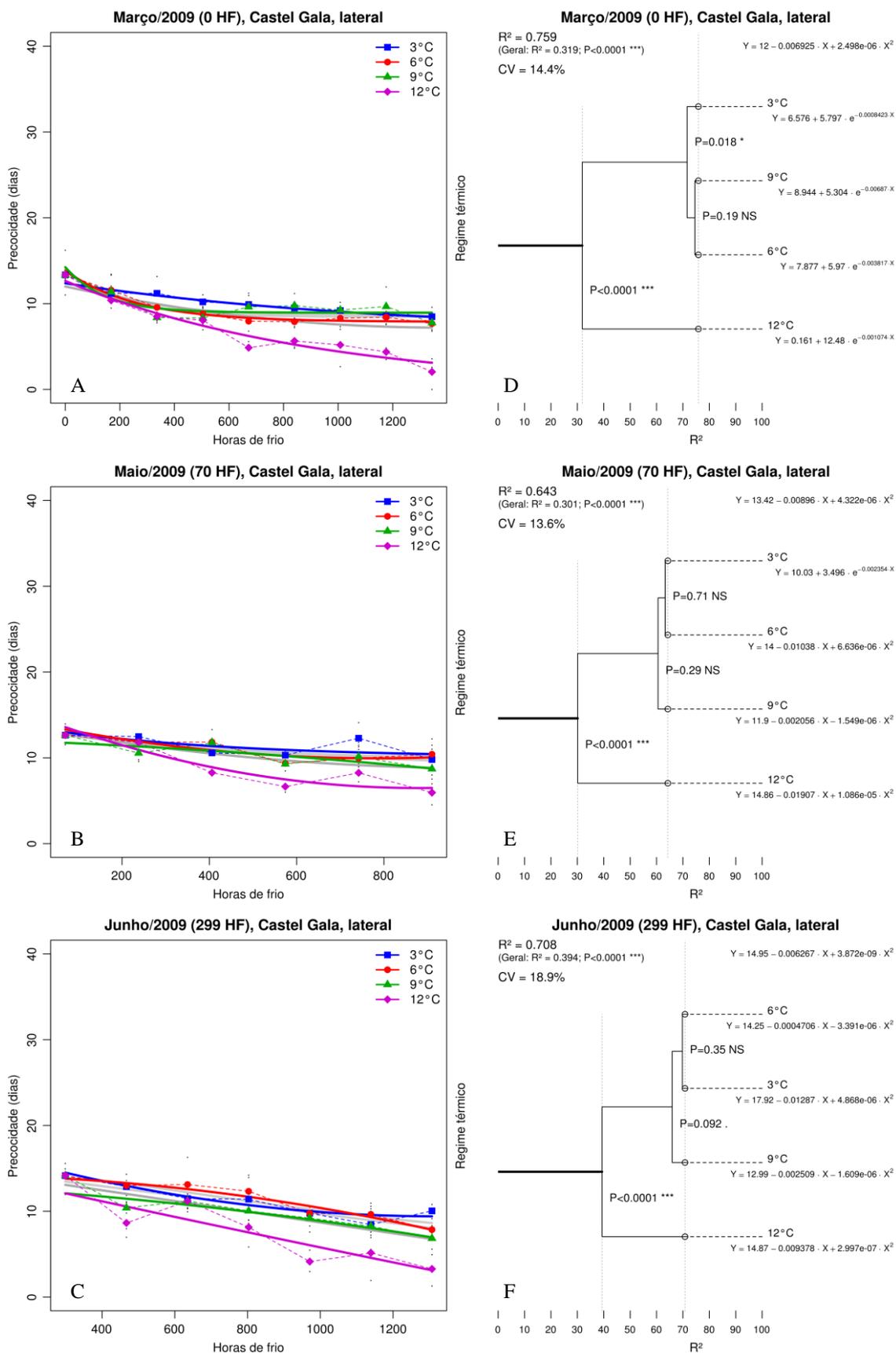
APÊNDICE 22. Suavização das curvas do parâmetro precocidade das gemas apicais de macieiras 'Royal Gala' (A, B e C) e representação gráfica da análise estatística (D, E e F) entre tratamentos. Coletas de março, maio e junho de 2009. Bento Gonçalves, RS, 2009.



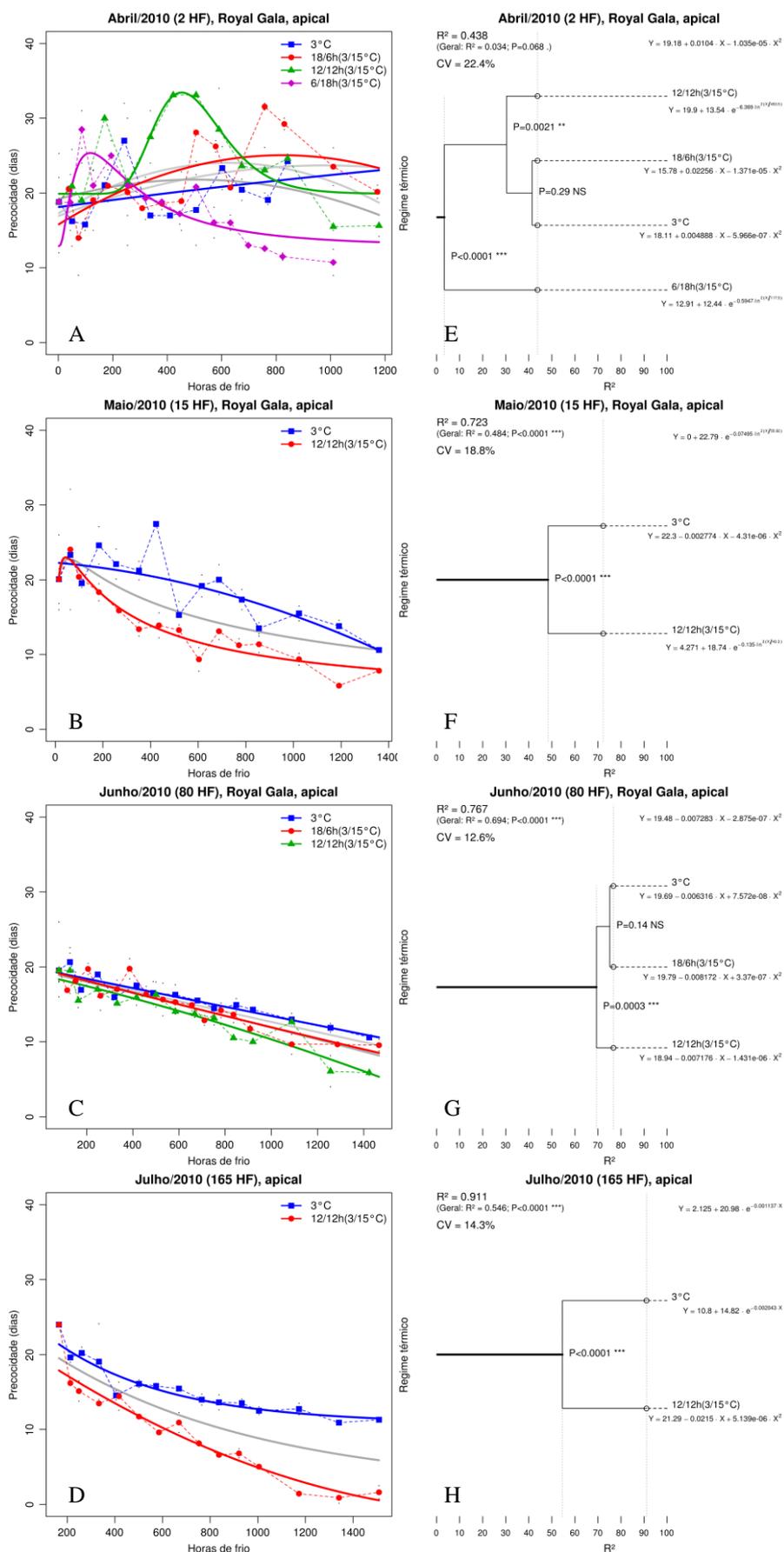
APÊNDICE 23. Suavização das curvas do parâmetro precocidade das gemas laterais de macieiras 'Royal Gala' (A, B e C) e representação gráfica da análise estatística (D, E e F) entre tratamentos. Coletas de março, maio e junho de 2009. Bento Gonçalves, RS, 2009.



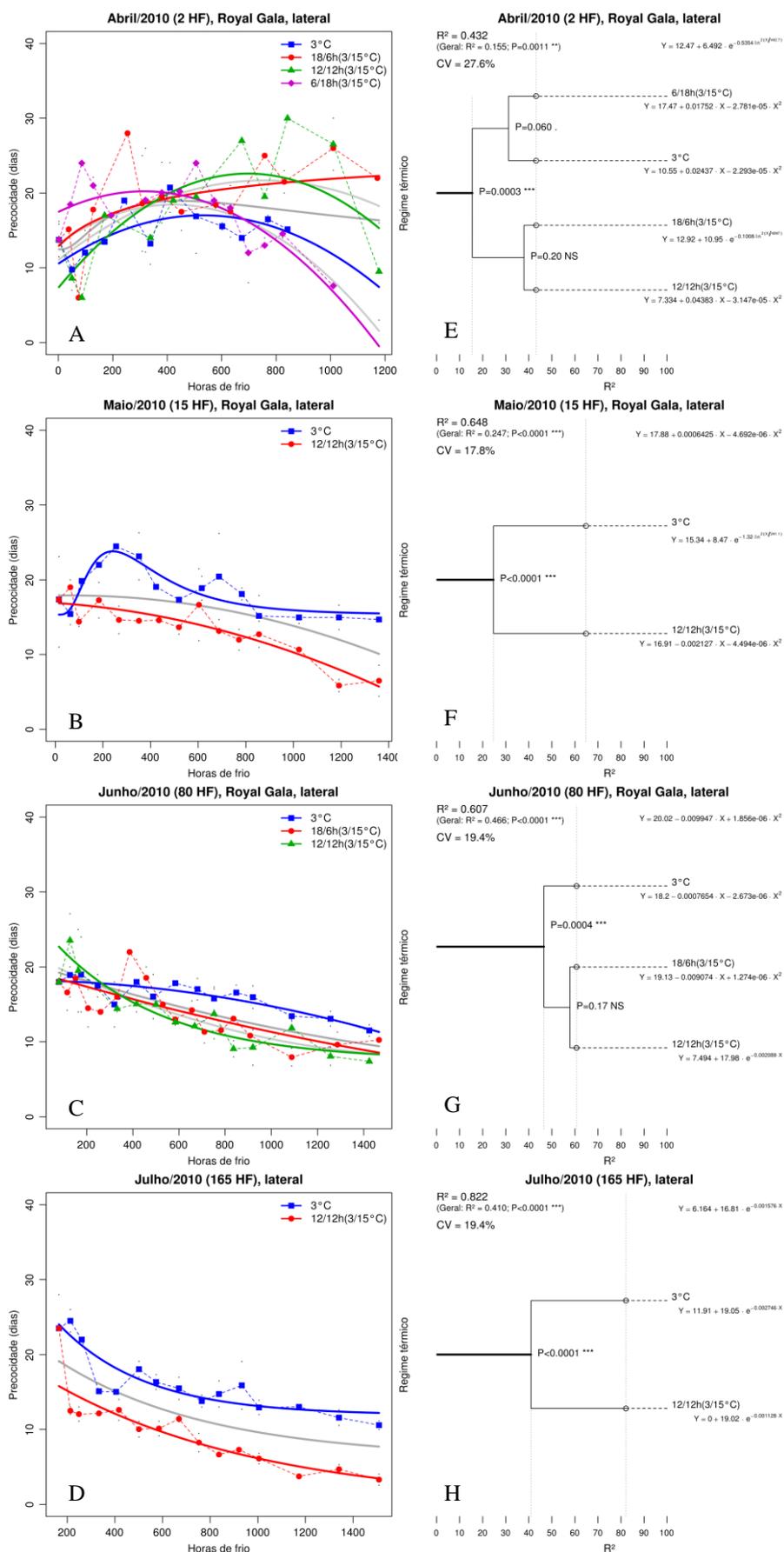
APÊNDICE 24. Suavização das curvas do parâmetro precocidade das gemas apicais de macieiras 'Castel Gala' (A, B e C) e representação gráfica da análise estatística (D, E e F) entre tratamentos. Coletas de março, maio e junho de 2009. Bento Gonçalves, RS, 2009.



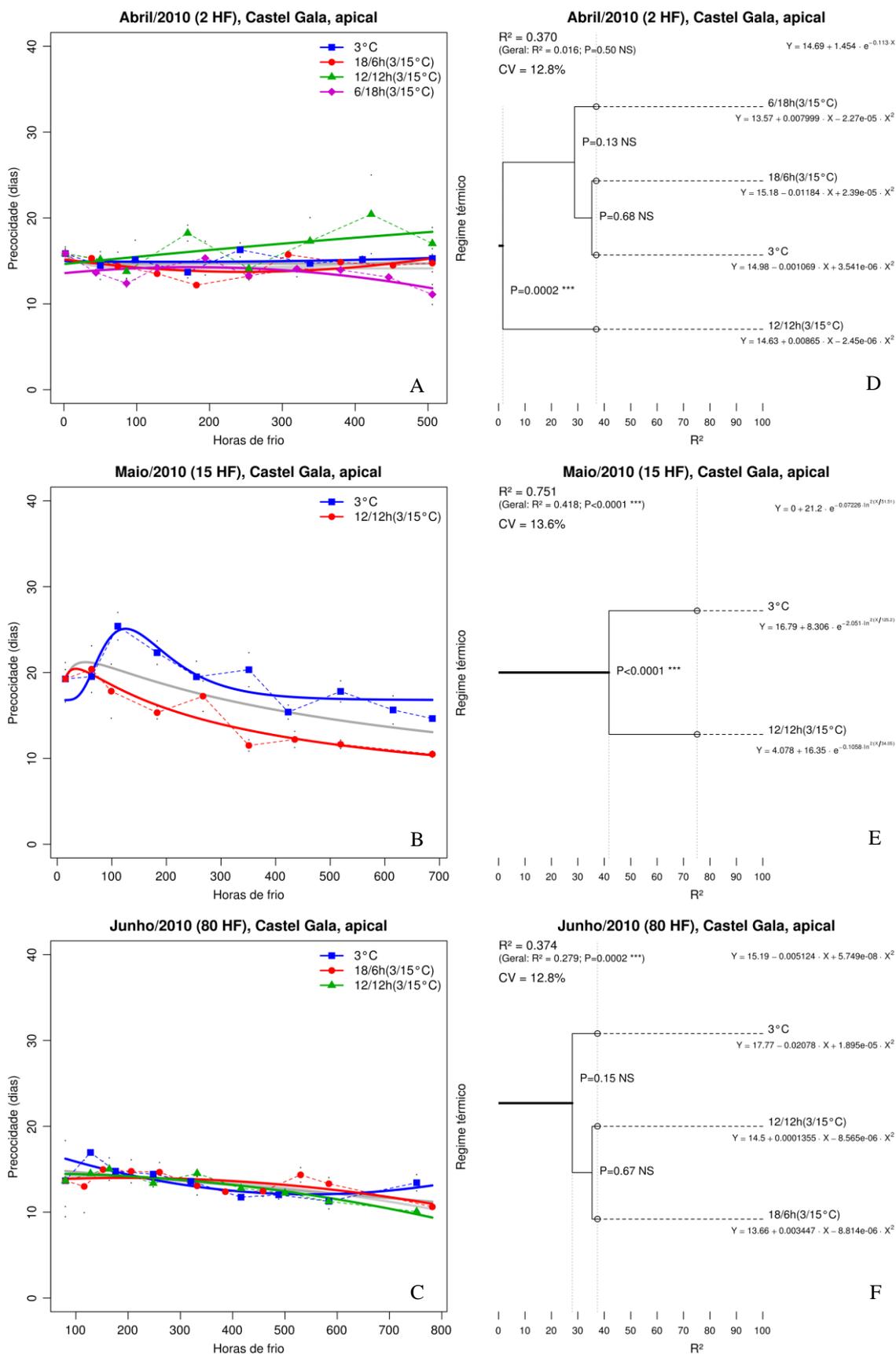
APÊNDICE 25. Suavização das curvas do parâmetro precocidade das gemas laterais de macieiras 'Castel Gala' (A, B e C) e representação gráfica da análise estatística (D, E e F) entre tratamentos. Coletas de março, maio e junho de 2009. Bento Gonçalves, RS, 2009.



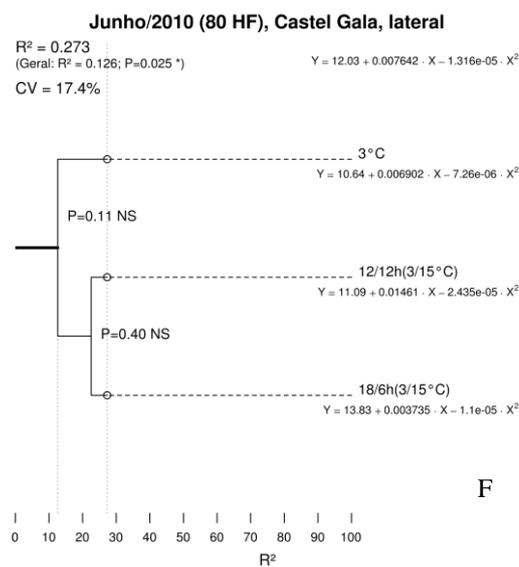
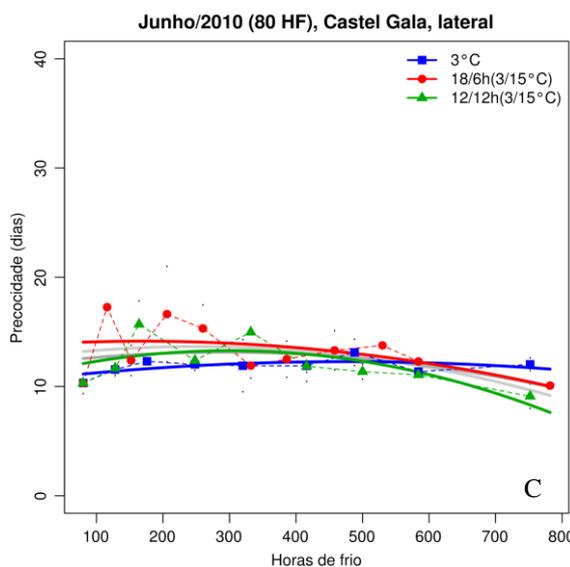
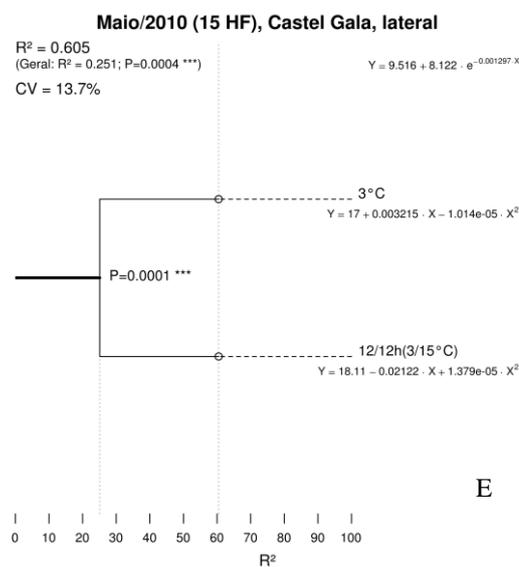
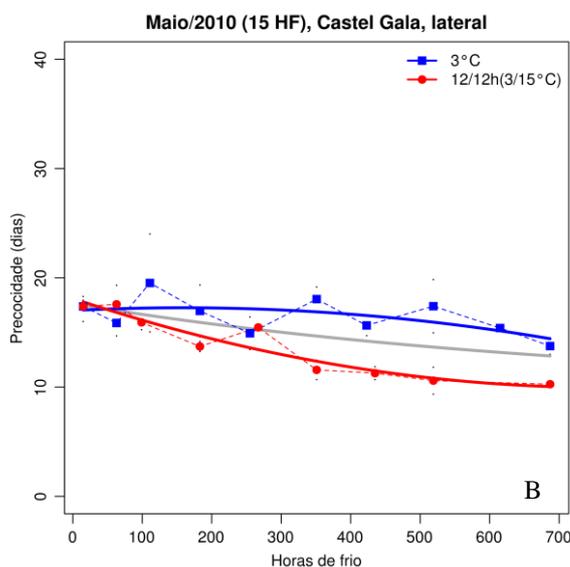
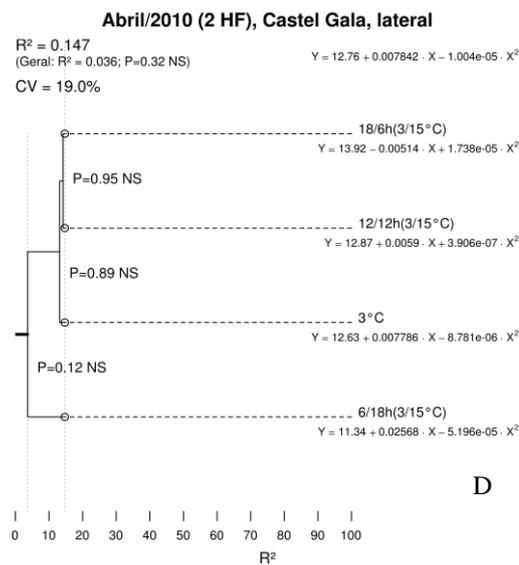
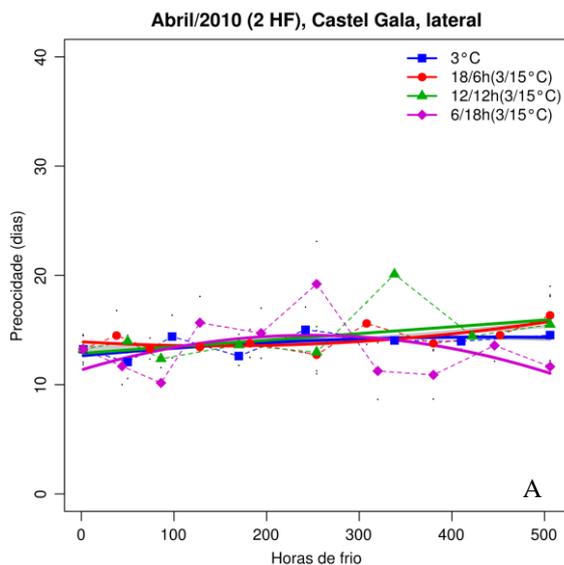
APÊNDICE 26. Suavização das curvas do parâmetro precocidade das gemas apicais de macieiras 'Royal Gala' (A, B, C e D) e representação gráfica da análise estatística (E, F, G e H) entre tratamentos. Coletas de abril, maio, junho e julho de 2010. Bento Gonçalves, RS, 2010.



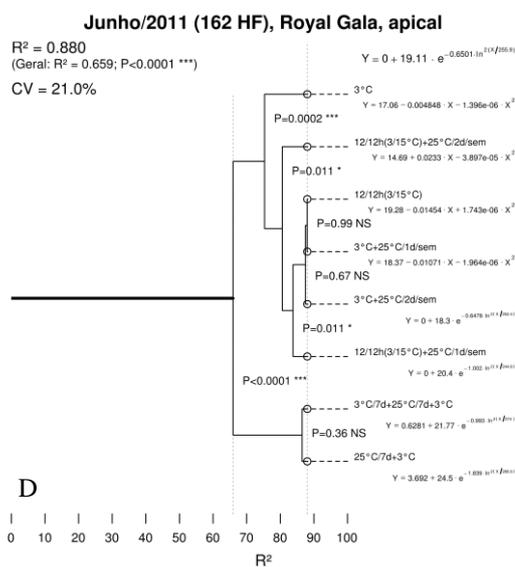
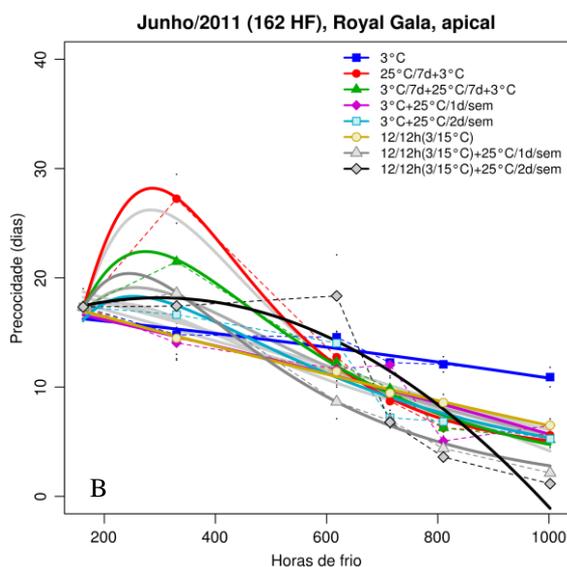
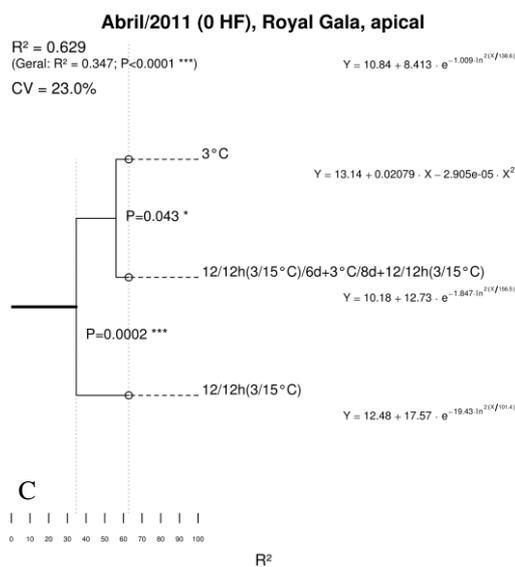
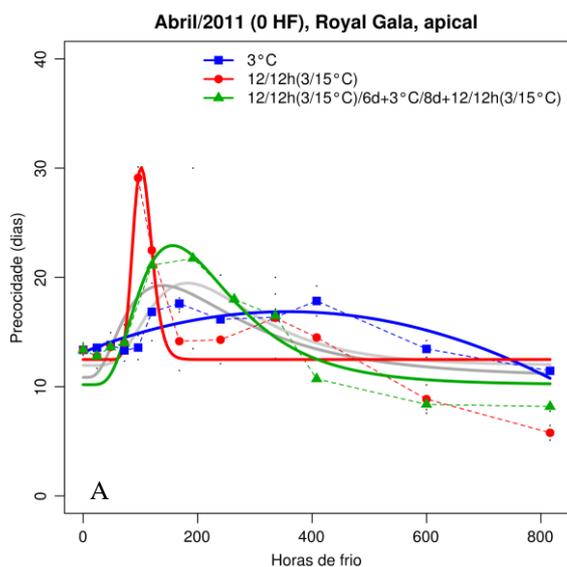
APÊNDICE 27. Suavização das curvas do parâmetro precocidade das gemas laterais de macieiras 'Royal Gala' (A, B, C e D) e representação gráfica da análise estatística (E, F, G e H) entre tratamentos. Coletas de abril, maio, junho e julho de 2010. Bento Gonçalves, RS, 2010.



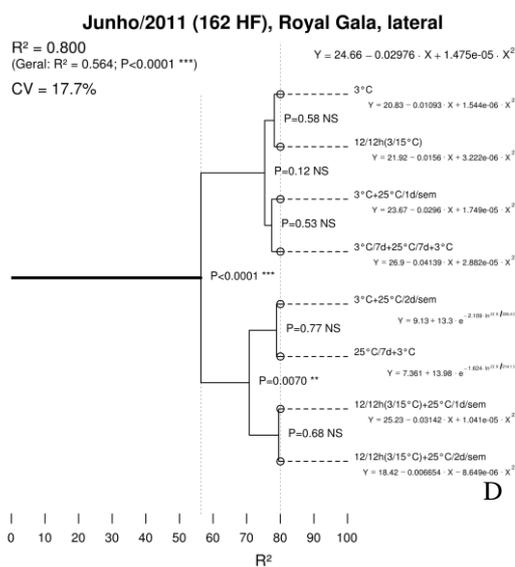
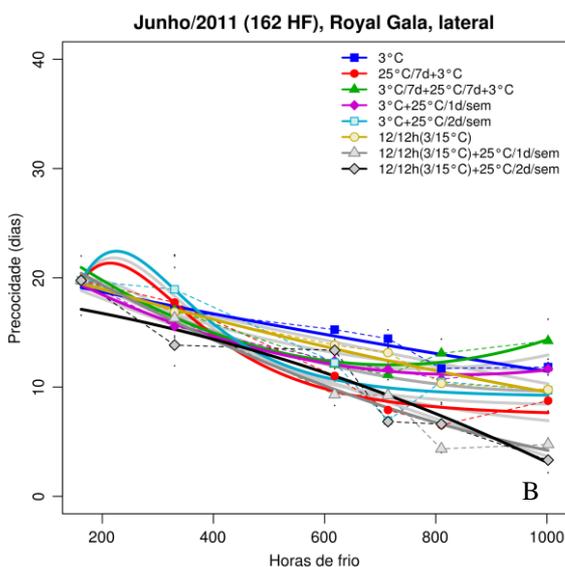
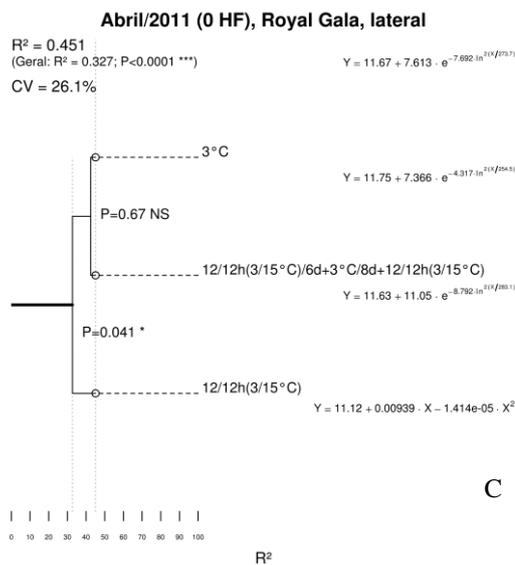
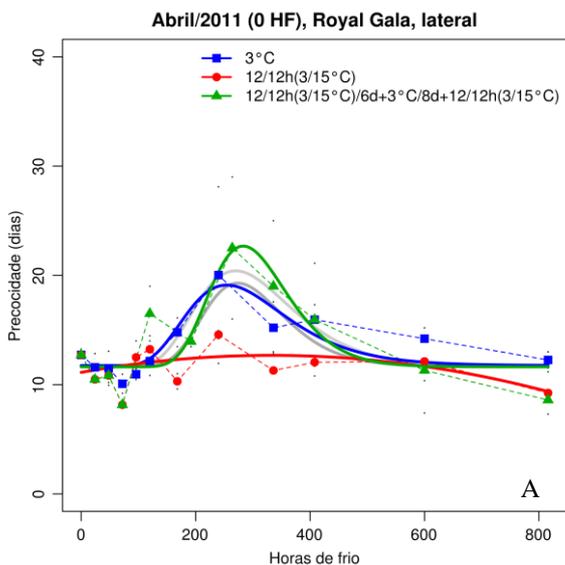
APÊNDICE 28. Suavização das curvas do parâmetro precocidade das gemas apicais de macieiras 'Castel Gala' (A, B e C) e representação gráfica da análise estatística (D, E e F) entre tratamentos. Coletas de abril, maio e junho de 2010. Bento Gonçalves, RS, 2010.



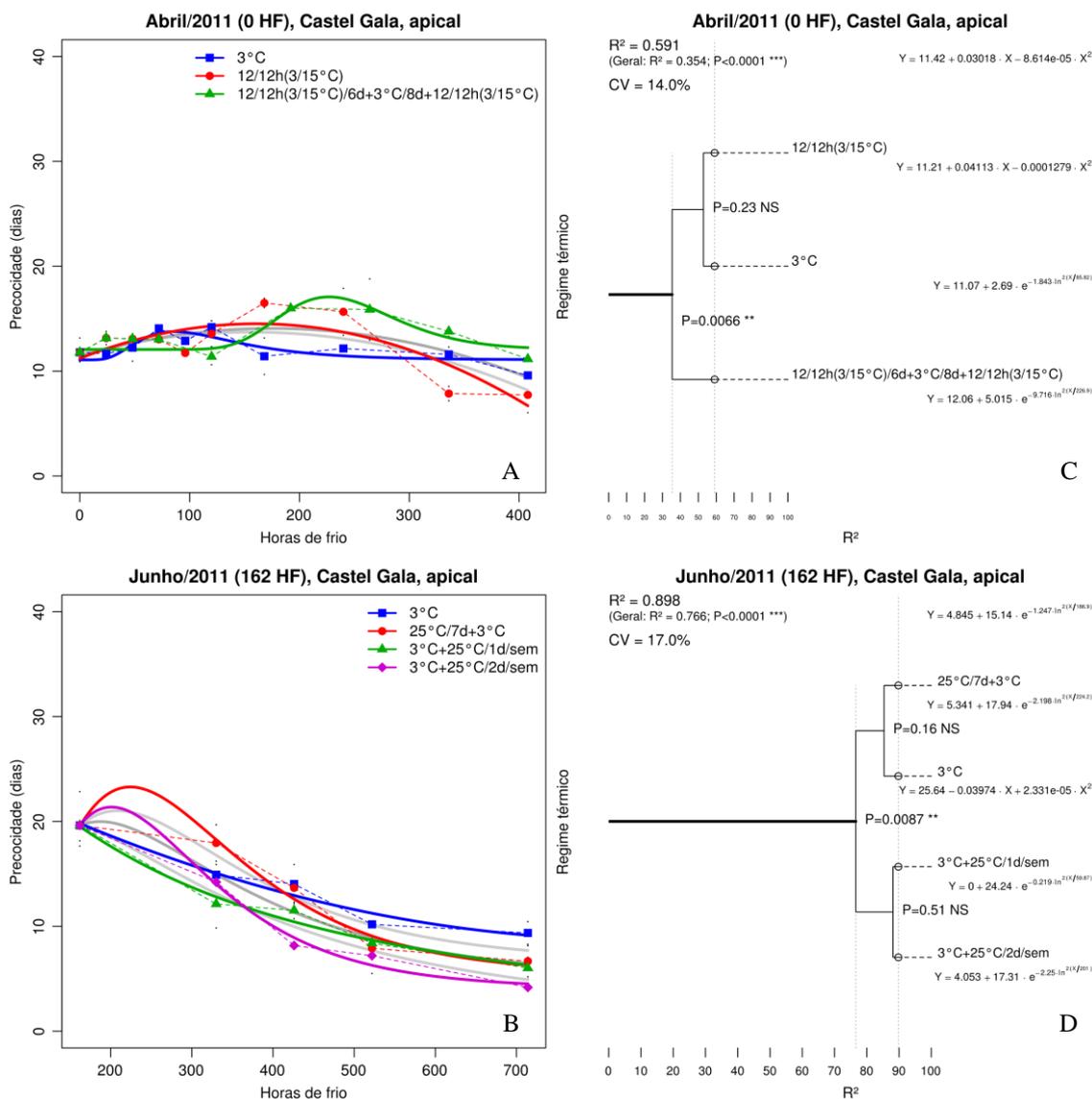
APÊNDICE 29. Suavização das curvas do parâmetro precocidade das gemas laterais de macieiras 'Castel Gala' (A, B e C) e representação gráfica da análise estatística (D, E e F) entre tratamentos. Coletas de abril, maio e junho de 2010. Bento Gonçalves, RS, 2010.



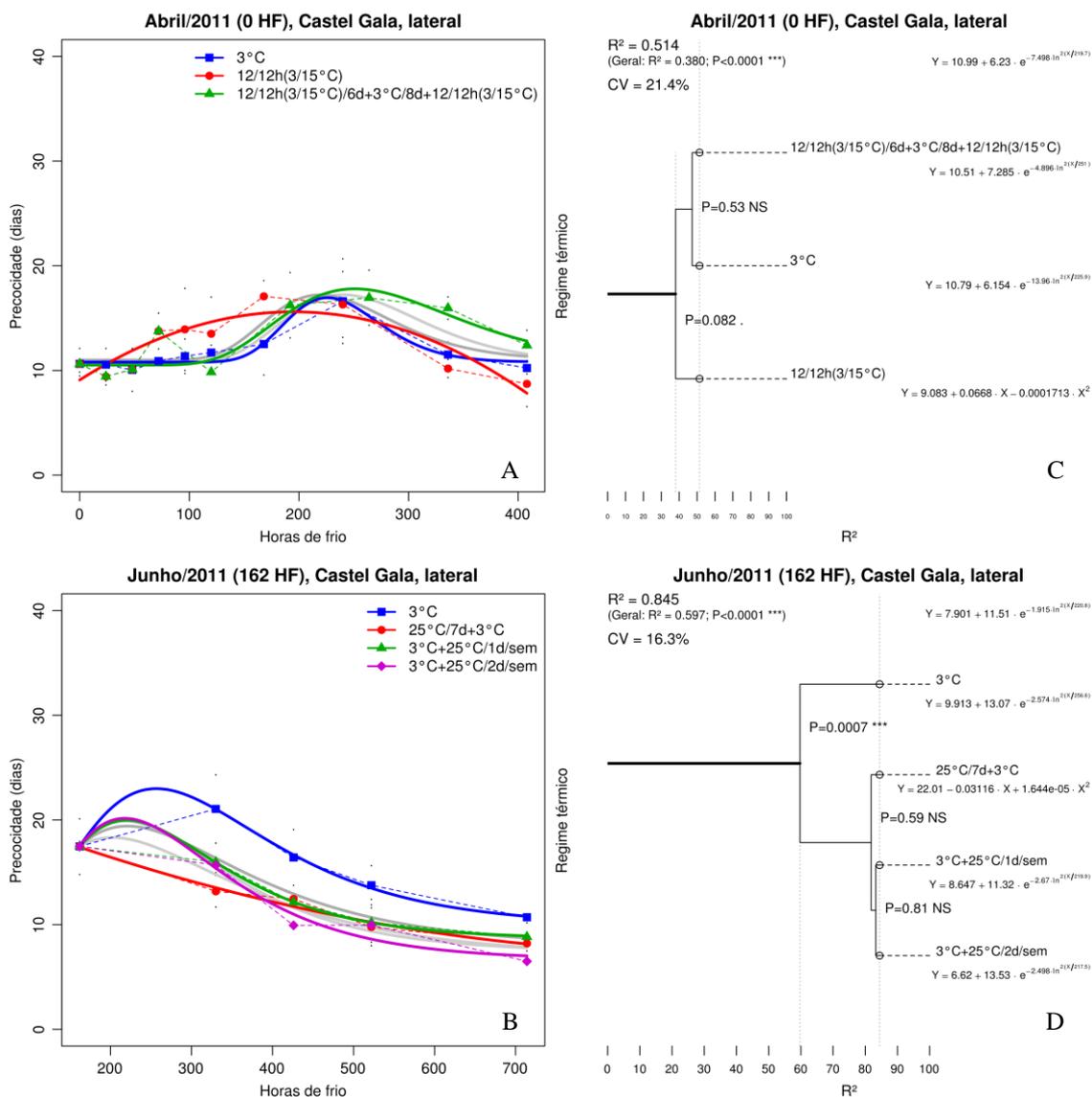
APÊNDICE 30. Suavização das curvas do parâmetro precocidade das gemas apicais de macieiras 'Royal Gala' (A e B) e representação gráfica da análise estatística (C e D) entre tratamentos. Coletas de abril e junho de 2011. Bento Gonçalves, RS, 2011.



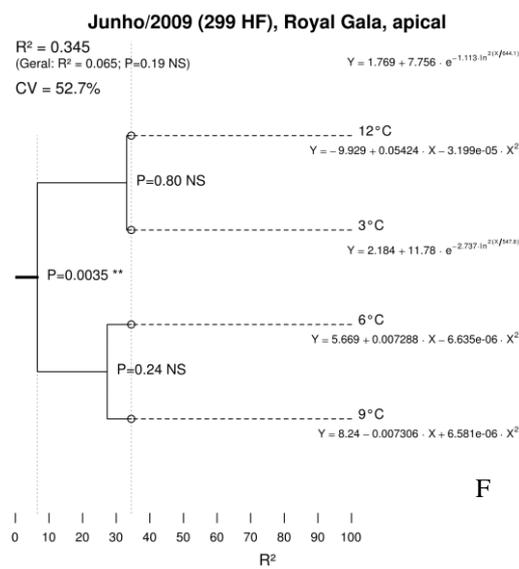
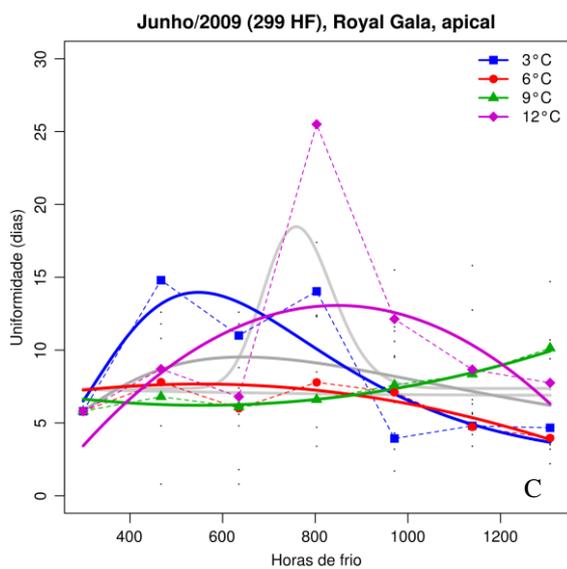
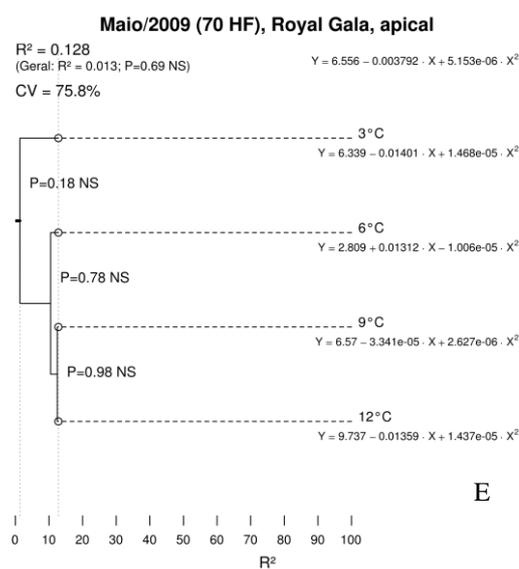
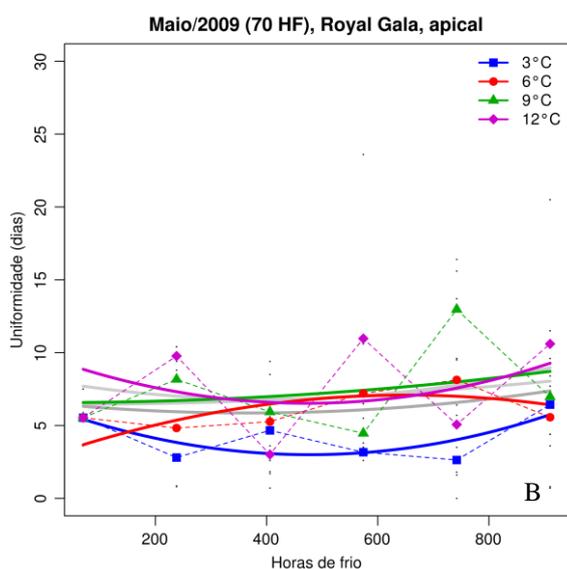
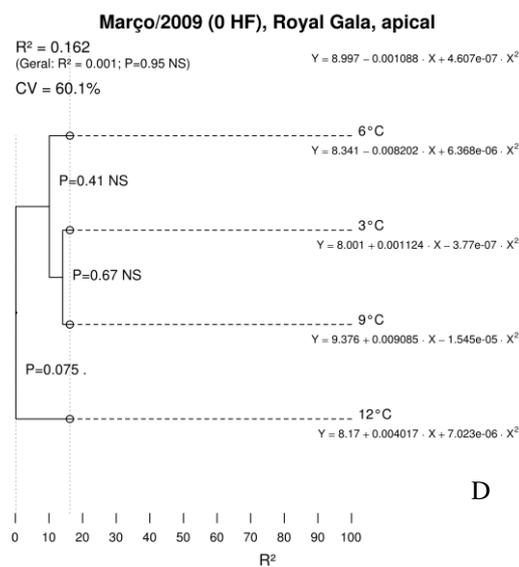
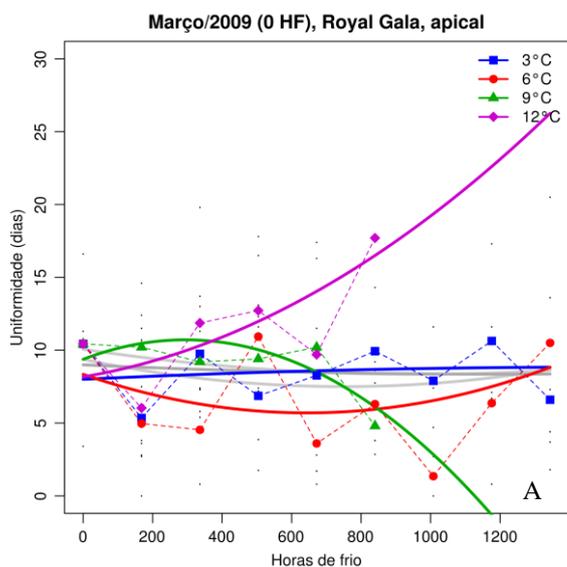
APÊNDICE 31. Suavização das curvas para o parâmetro precocidade das gemas laterais de macieiras 'Royal Gala' (A e B) e representação gráfica da análise estatística (C e D) entre tratamentos. Coletas de abril e junho de 2011. Bento Gonçalves, RS, 2011.



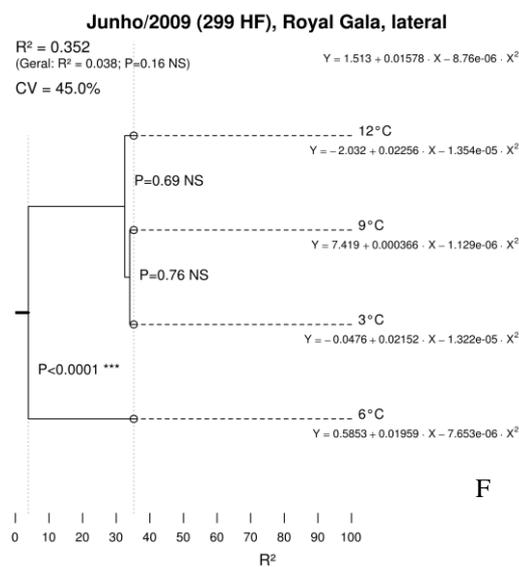
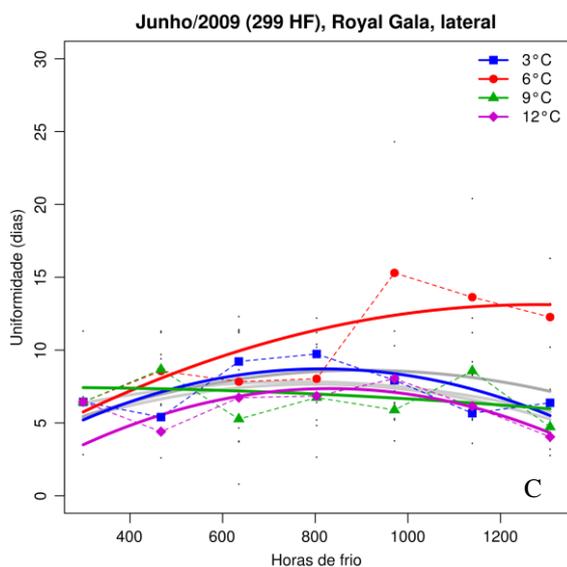
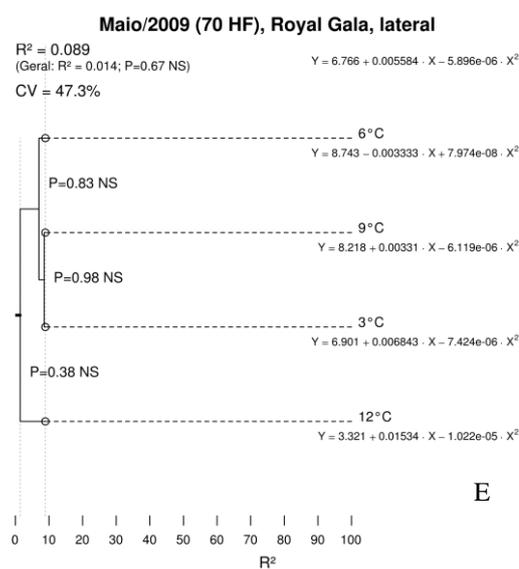
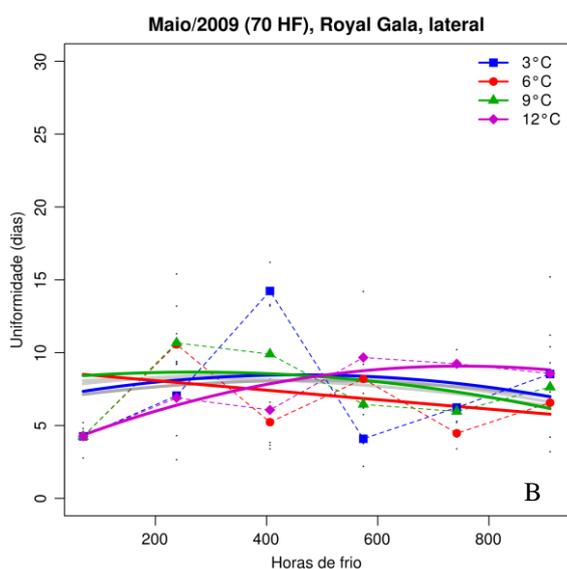
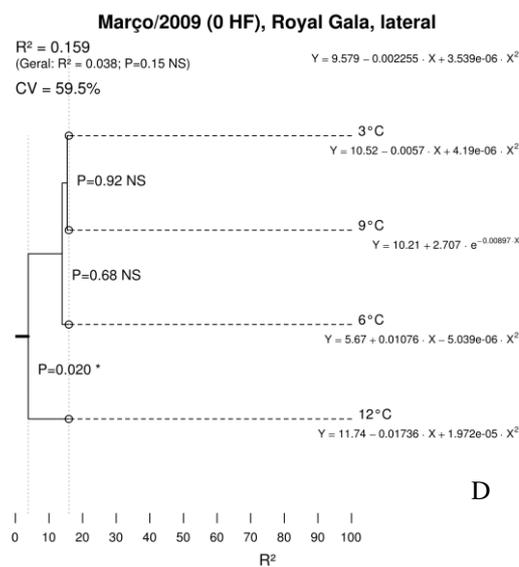
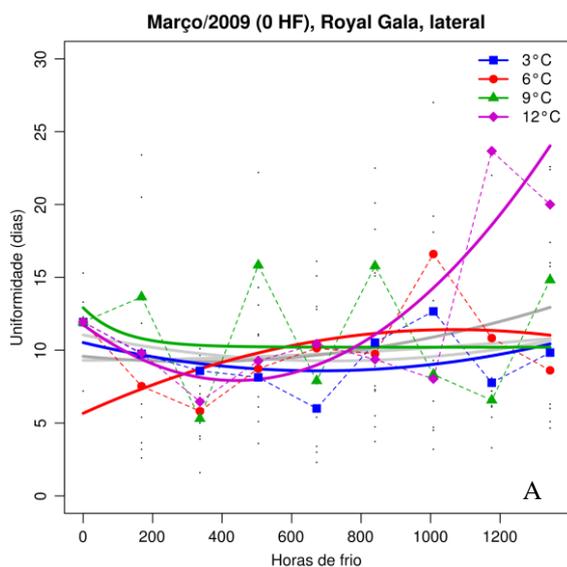
APÊNDICE 32. Suavização das curvas do parâmetro precocidade das gemas apicais de macieiras 'Castel Gala' (A e B) e representação gráfica da análise estatística (C e D) entre tratamentos. Coletas de abril e junho de 2011. Bento Gonçalves, RS, 2011.



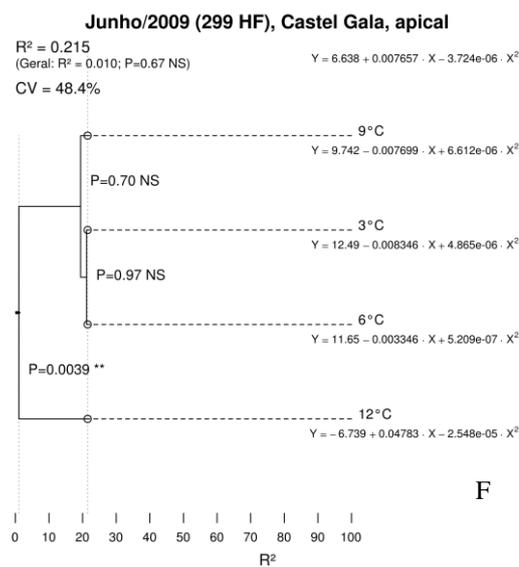
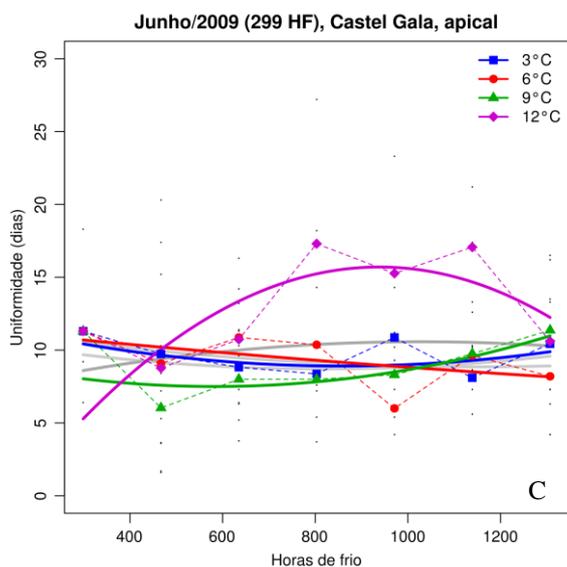
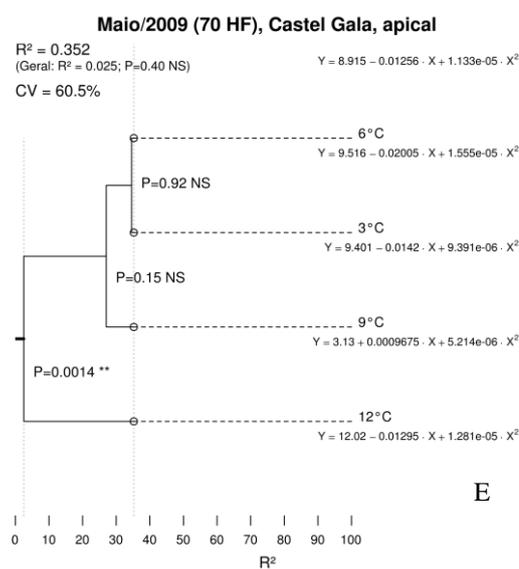
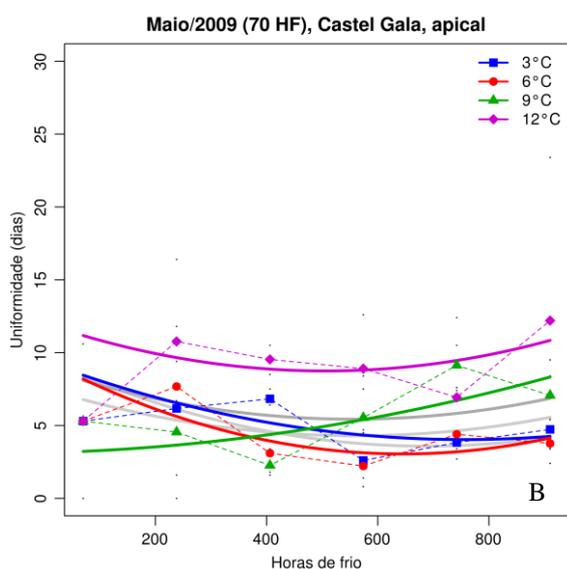
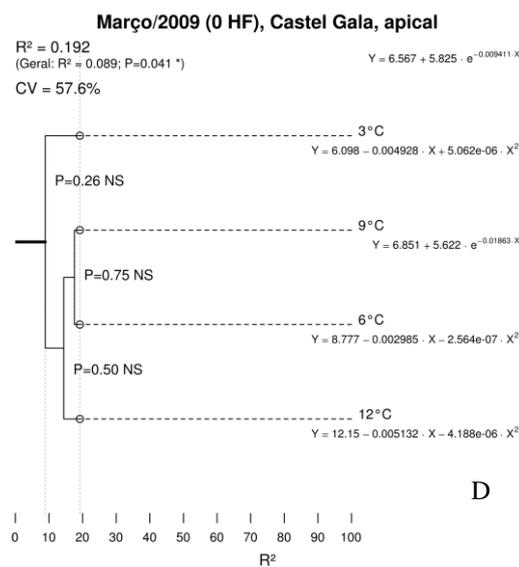
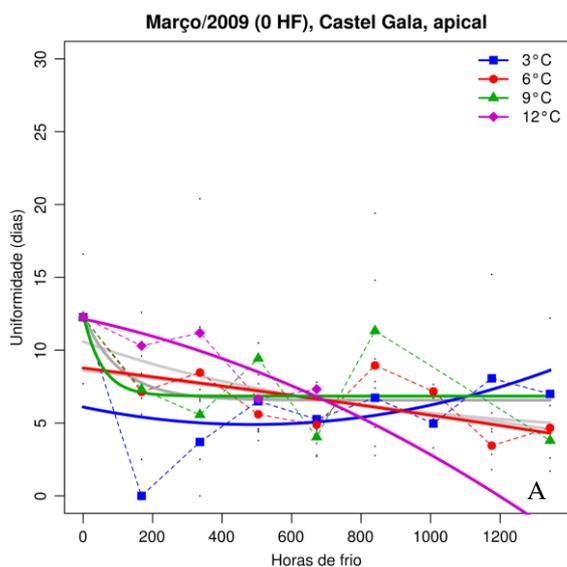
APÊNDICE 33. Suavização das curvas do parâmetro precocidade das gemas laterais de macieiras 'Castel Gala' (A e B) e representação gráfica da análise estatística (C e D) entre tratamentos. Coletas de abril e junho de 2011. Bento Gonçalves, RS, 2011.



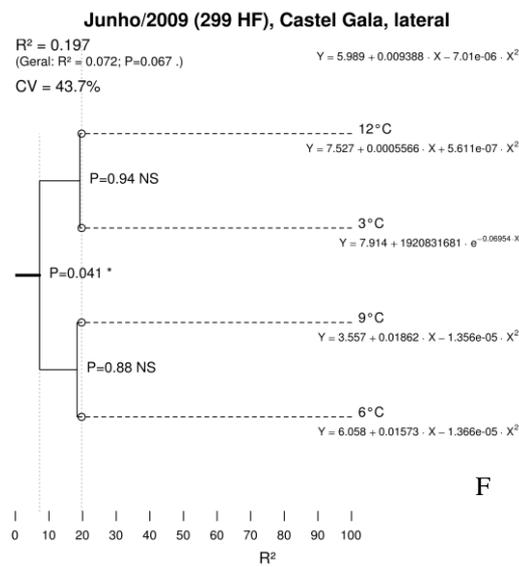
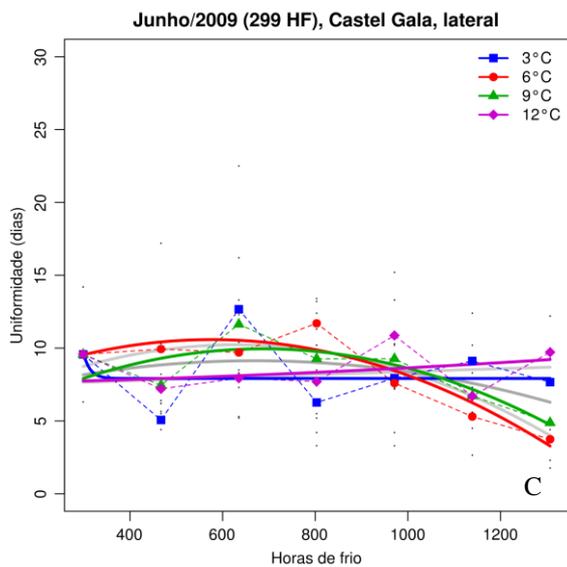
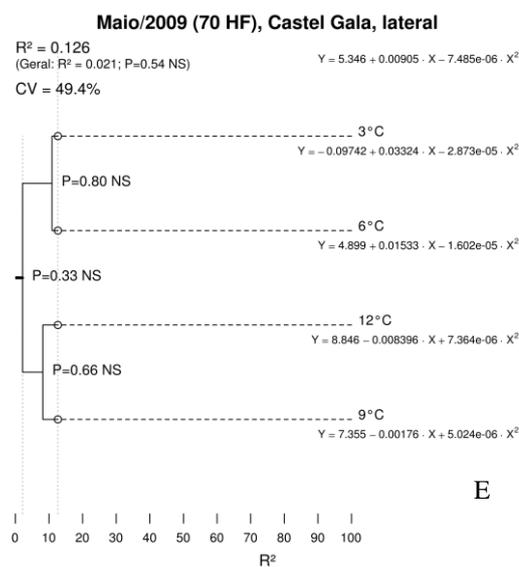
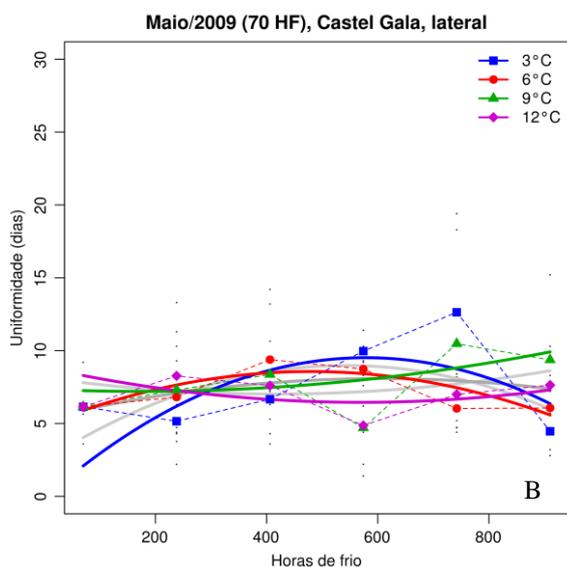
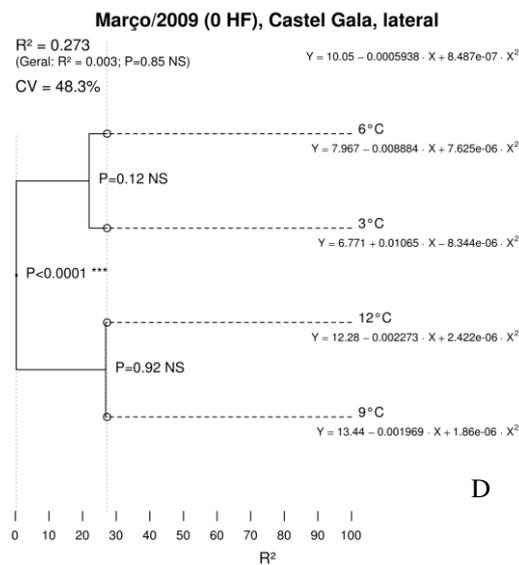
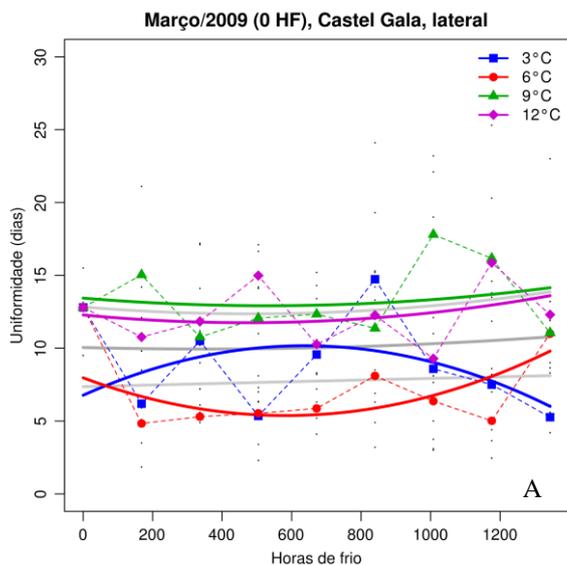
APÊNDICE 34. Suavização das curvas do parâmetro uniformidade das gemas apicais de macieiras 'Royal Gala' (A, B e C) e representação gráfica da análise estatística (D, E e F) entre tratamentos. Coletas de março, maio e junho de 2009. Bento Gonçalves, RS, 2009.



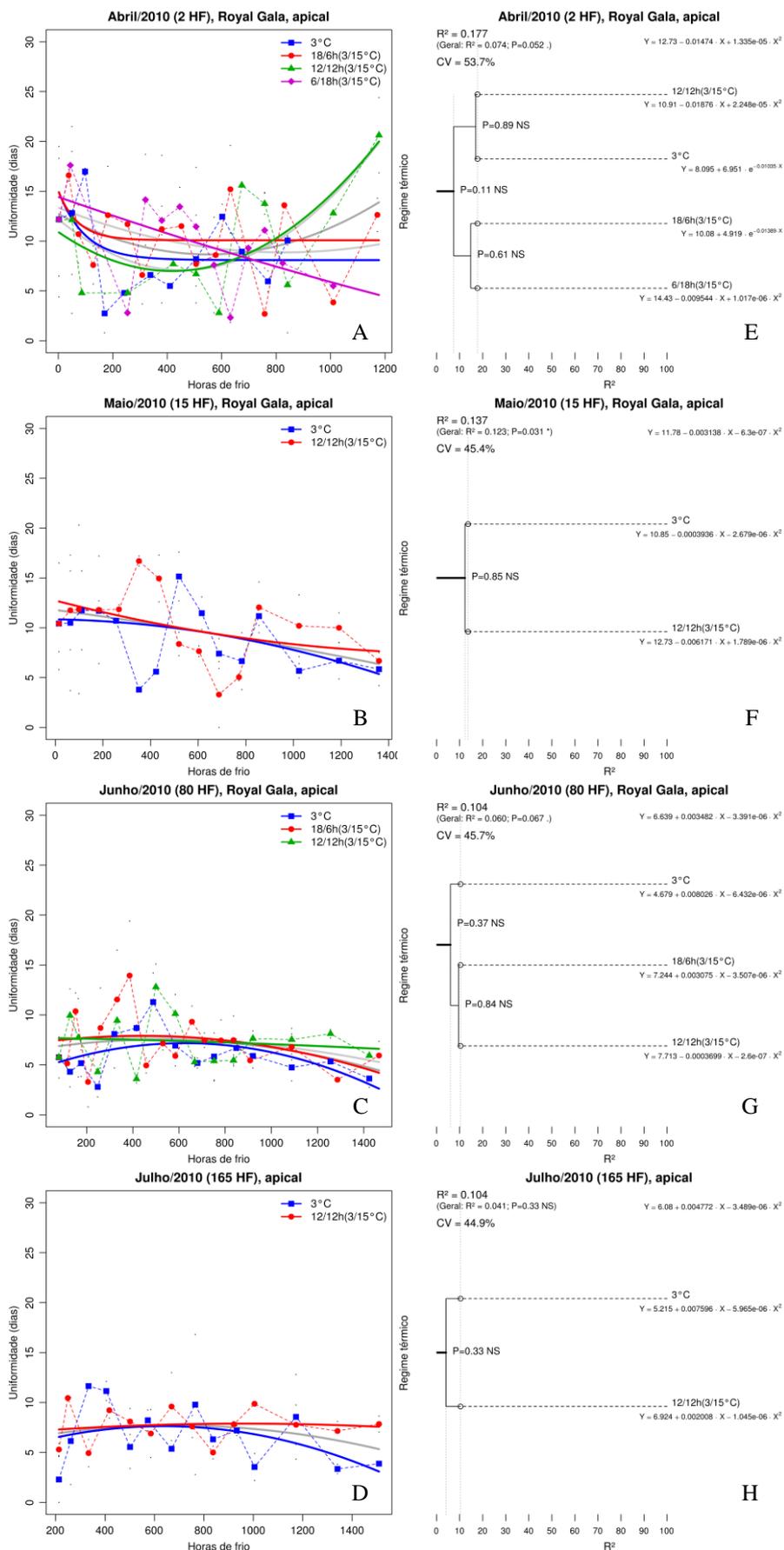
APÊNDICE 35. Suavização das curvas do parâmetro uniformidade das gemas laterais de macieiras 'Royal Gala' (A, B e C) e representação gráfica da análise estatística (D, E e F) entre tratamentos. Coletas de março, maio e junho de 2009. Bento Gonçalves, RS, 2009.



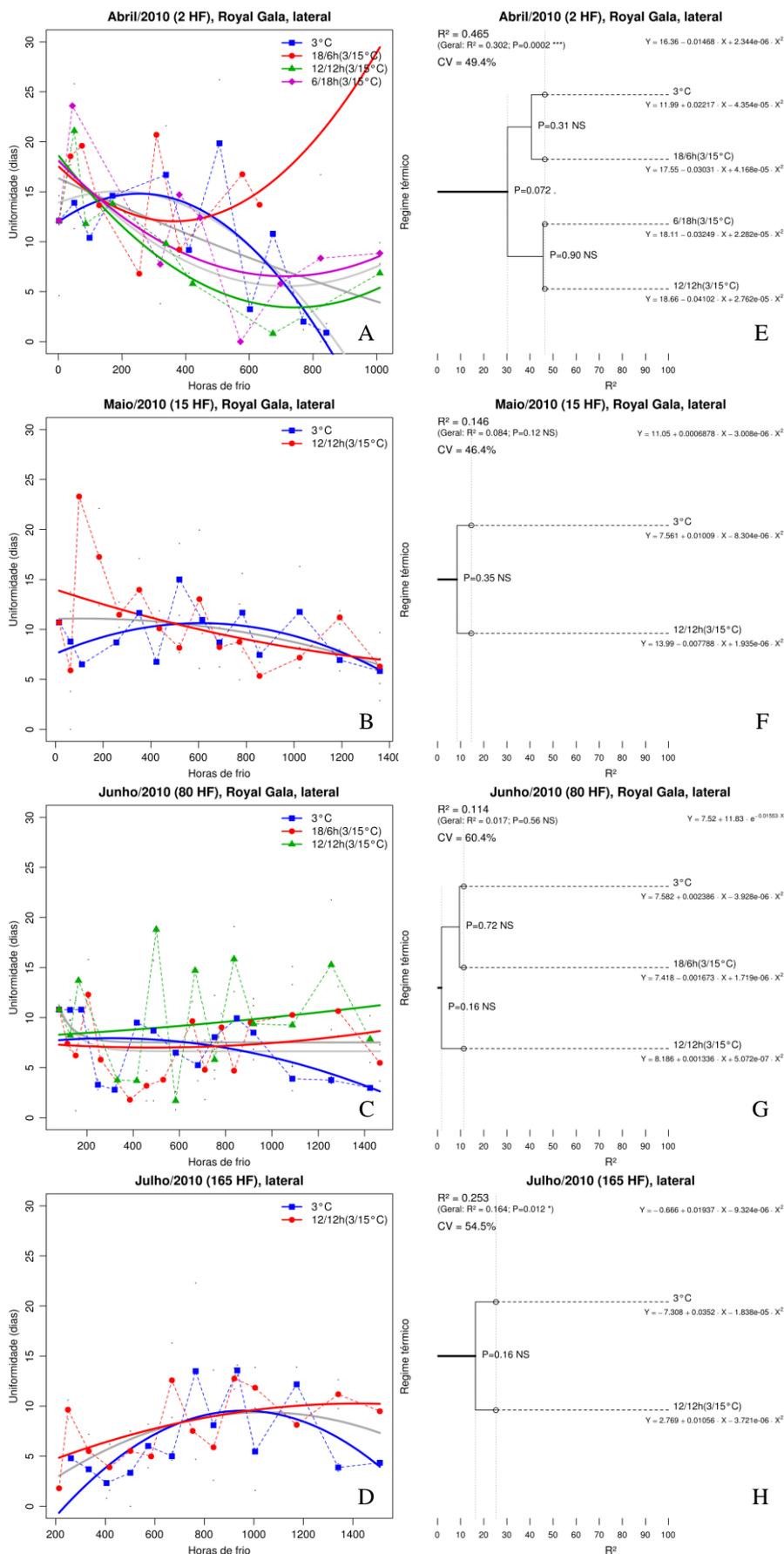
APÊNDICE 36. Suavização das curvas do parâmetro uniformidade das gemas apicais de macieiras 'Castel Gala' (A, B e C) e representação gráfica da análise estatística (D, E e F) entre tratamentos. Coletas de março, maio e junho de 2009. Bento Gonçalves, RS, 2009.



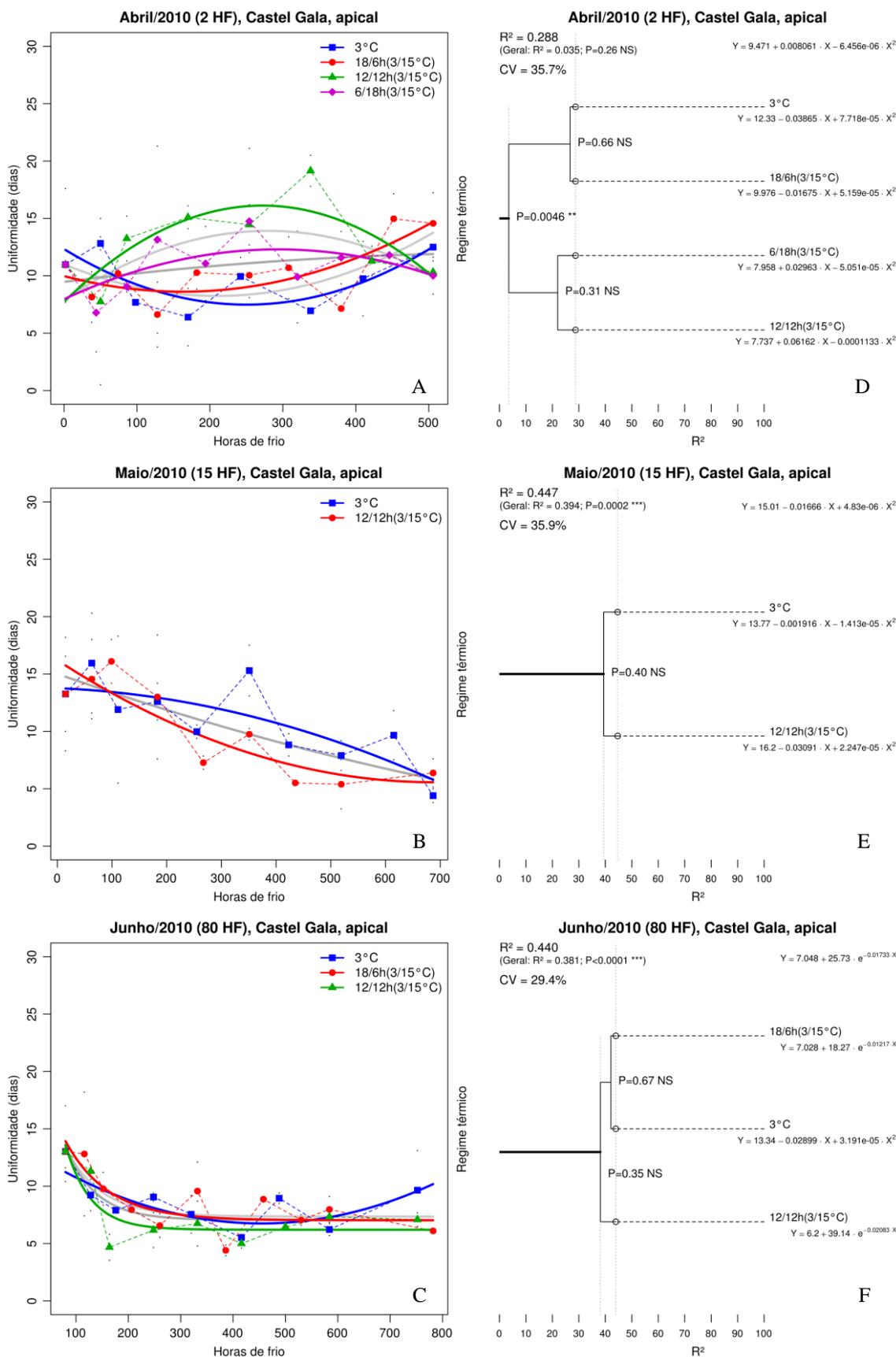
APÊNDICE 37. Suavização das curvas do parâmetro uniformidade das gemas laterais de macieiras 'Castel Gala' (A, B e C) e representação gráfica da análise estatística (D, E e F) entre tratamentos. Coletas de março, maio e junho de 2009. Bento Gonçalves, RS, 2009.



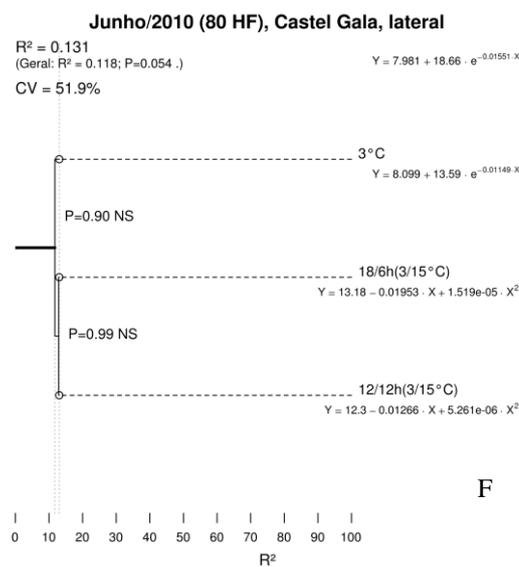
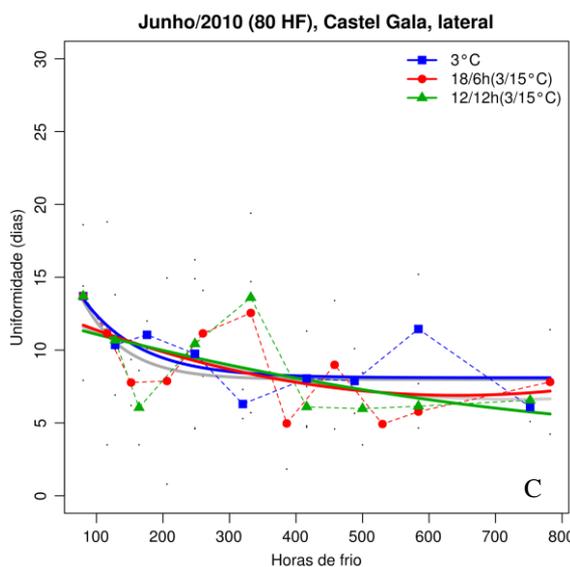
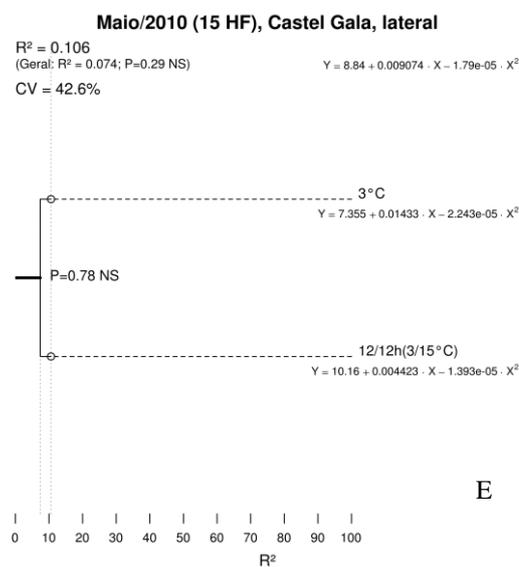
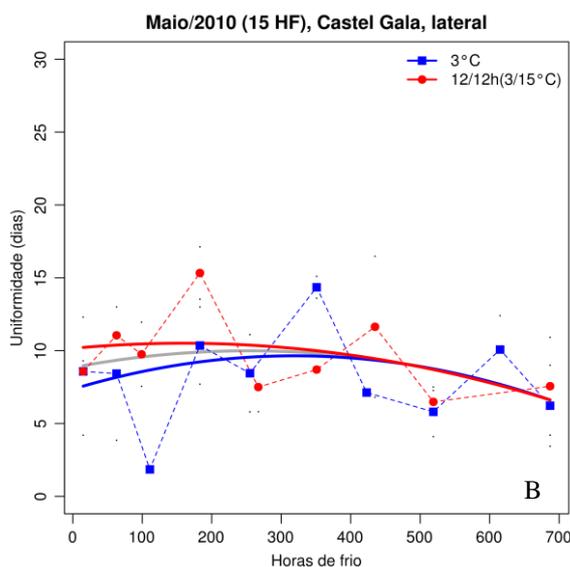
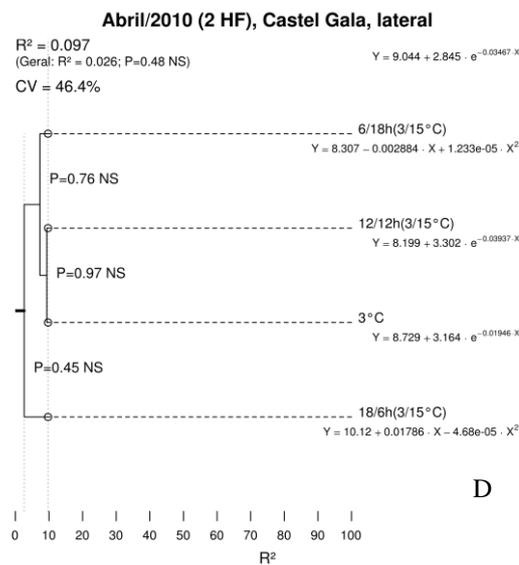
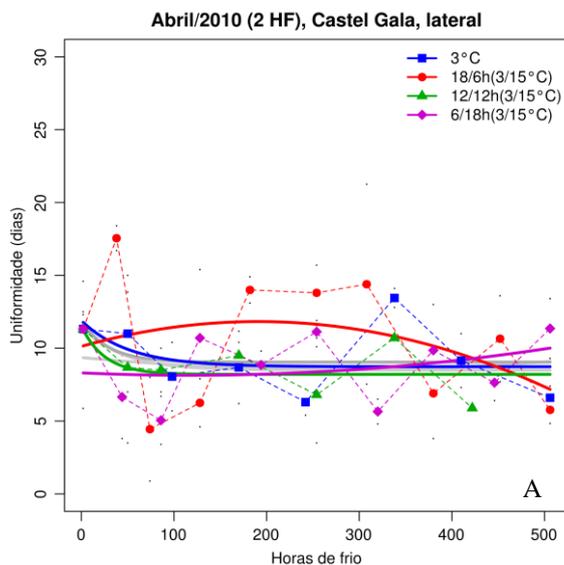
APÊNDICE 38. Suavização das curvas do parâmetro uniformidade das gemas apicais de macieiras 'Royal Gala' (A, B, C e D) e representação gráfica da análise estatística (E, F, G e H) entre tratamentos. Coletas de abril, maio, junho e julho de 2010. Bento Gonçalves, RS, 2010.



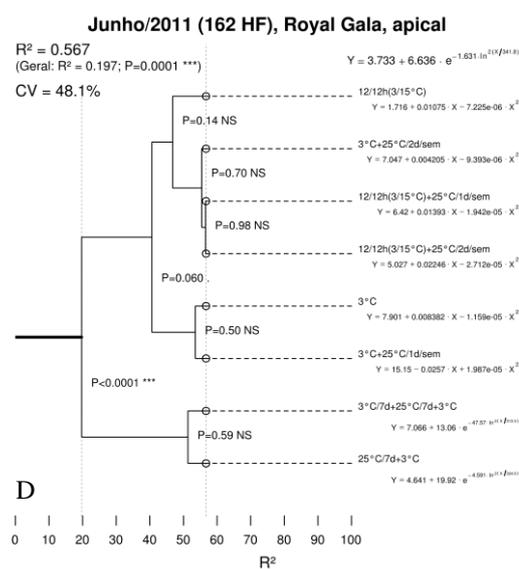
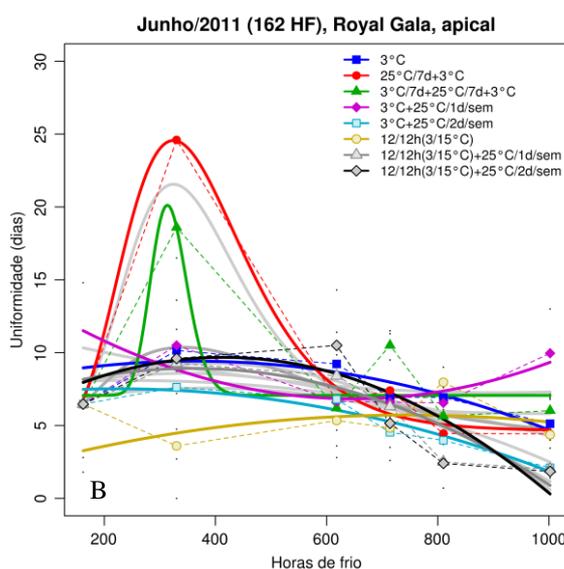
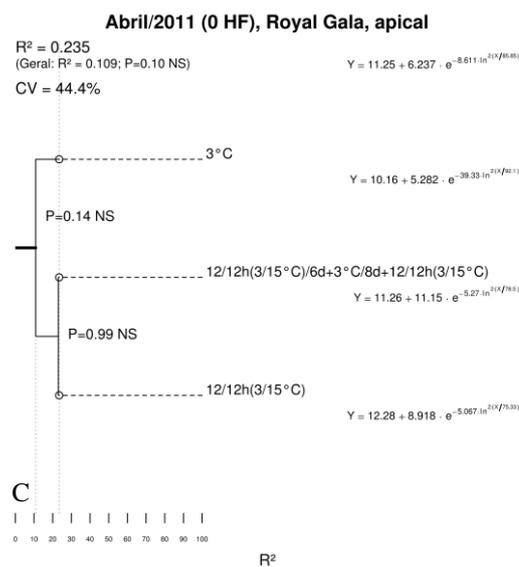
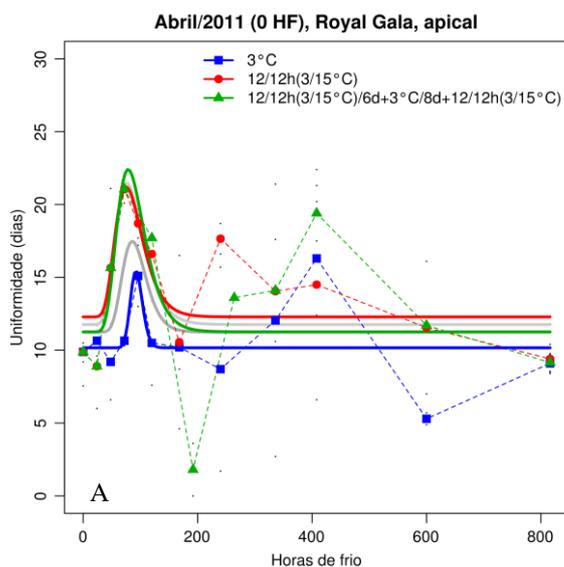
APÊNDICE 39. Suavização das curvas do parâmetro uniformidade das gemas laterais de macieiras 'Royal Gala' (A, B, C e D) e representação gráfica da análise estatística (E, F, G e H) entre tratamentos. Coletas de abril, maio, junho e julho de 2010. Bento Gonçalves, RS, 2010.



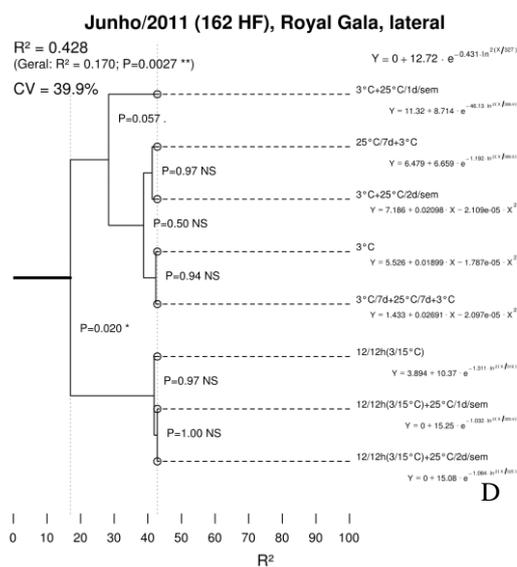
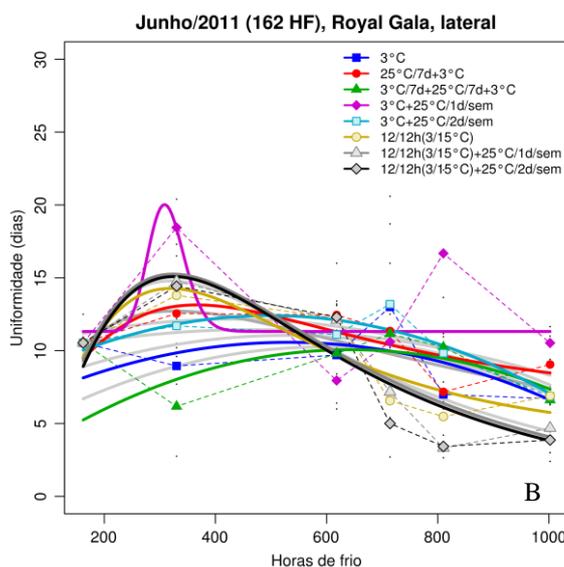
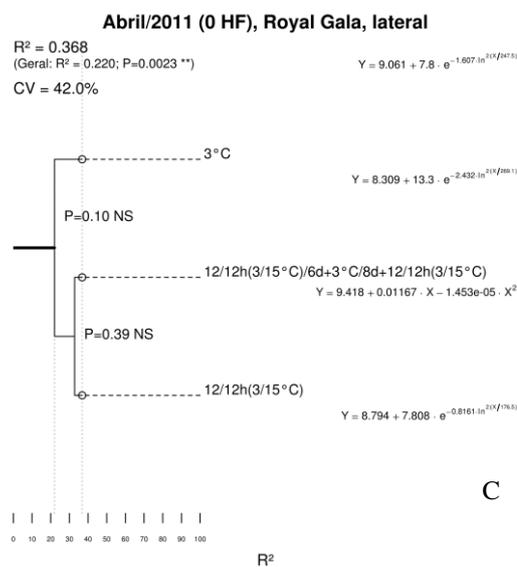
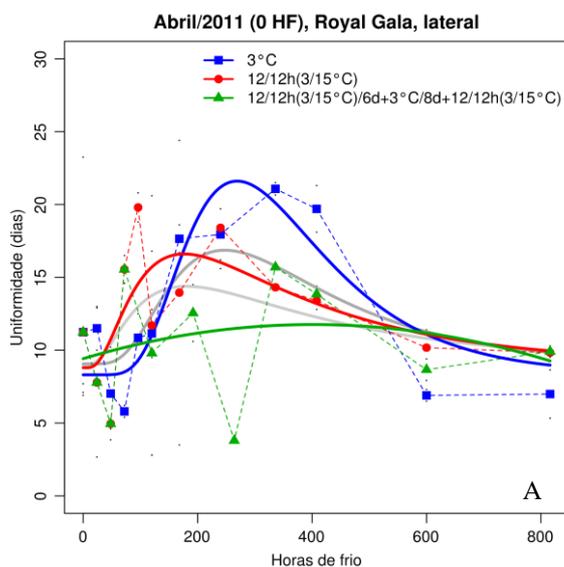
APÊNDICE 40. Suavização das curvas do parâmetro uniformidade das gemas apicais de macieiras 'Castel Gala' (A, B e C) e representação gráfica da análise estatística (D, E e F) entre tratamentos. Coletas de abril, maio e junho de 2010. Bento Gonçalves, RS, 2010.



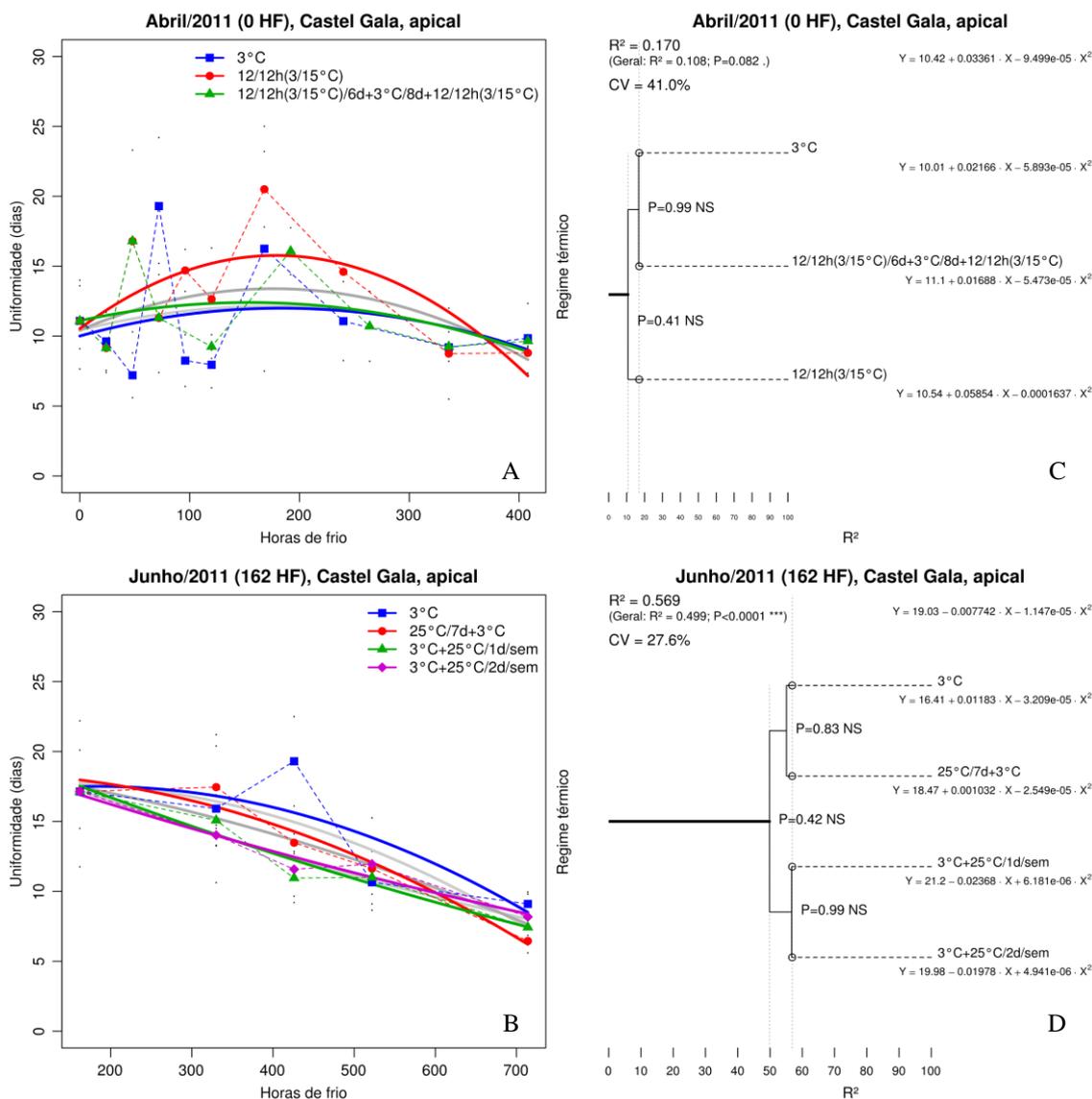
APÊNDICE 41. Suavização das curvas do parâmetro uniformidade das gemas laterais de macieiras 'Castel Gala' (A, B e C) e representação gráfica da análise estatística (D, E e F) entre tratamentos. Coletas de abril, maio e junho de 2010. Bento Gonçalves, RS, 2010.



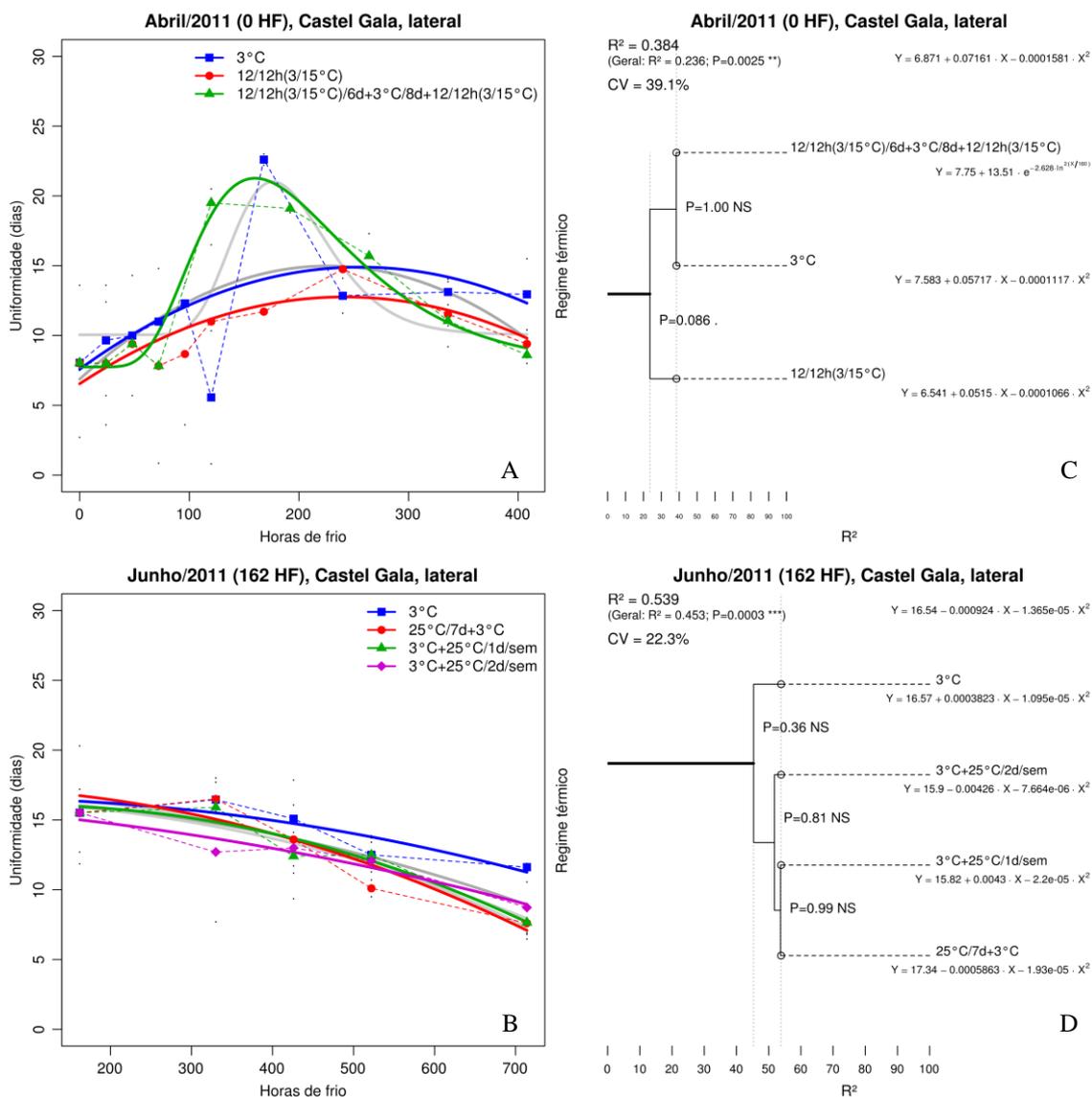
APÊNDICE 42. Suavização das curvas do parâmetro uniformidade das gemas apicais de macieiras 'Royal Gala' (A e B) e representação gráfica da análise estatística (C e D) entre tratamentos. Coletas de abril e junho de 2011. Bento Gonçalves, RS, 2011.



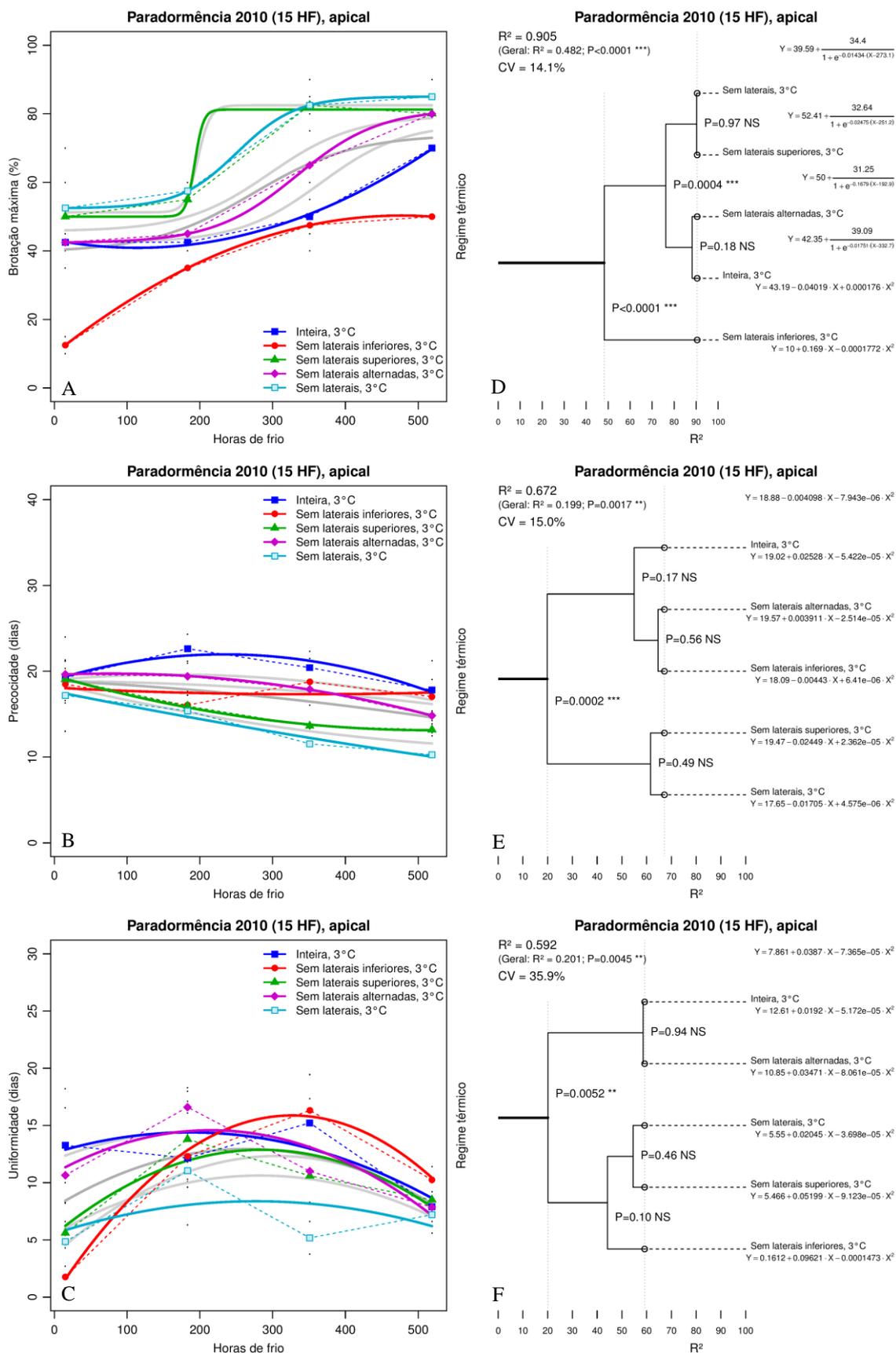
APÊNDICE 43. Suavização das curvas do parâmetro uniformidade das gemas laterais de macieiras 'Royal Gala' (A e B) e representação gráfica da análise estatística (C e D) entre tratamentos. Coletas de abril e junho de 2011. Bento Gonçalves, RS, 2011.



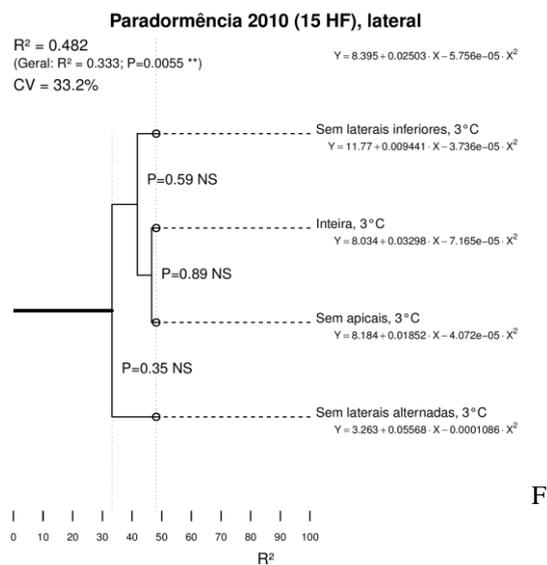
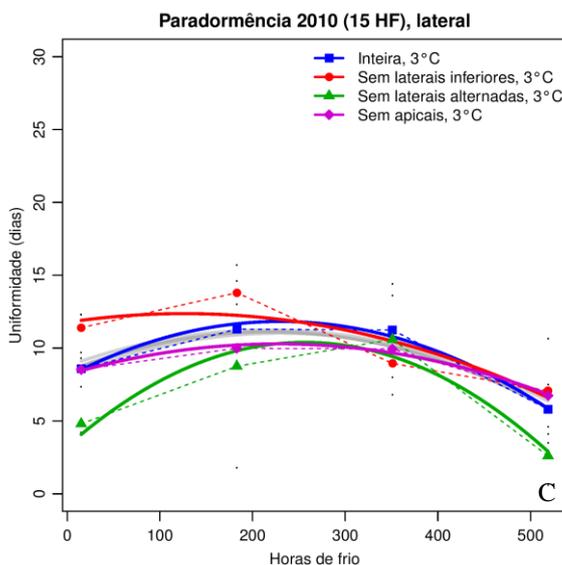
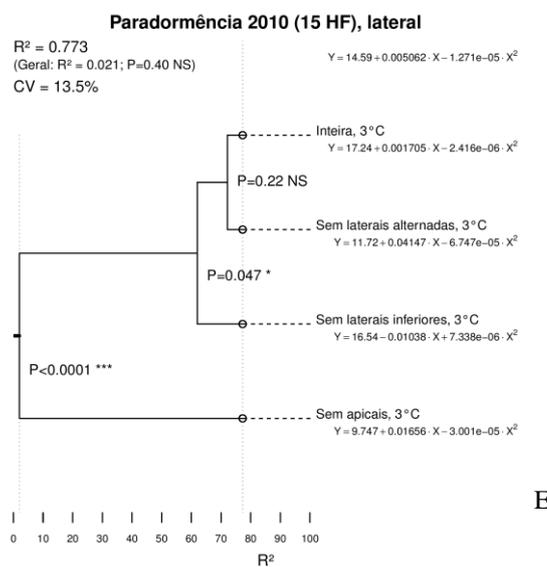
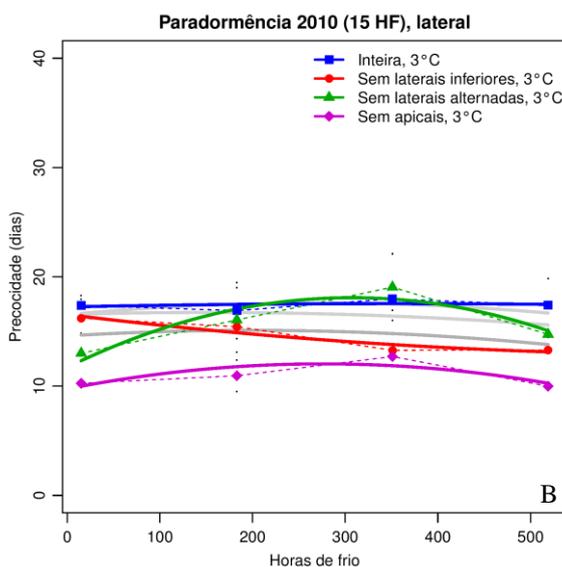
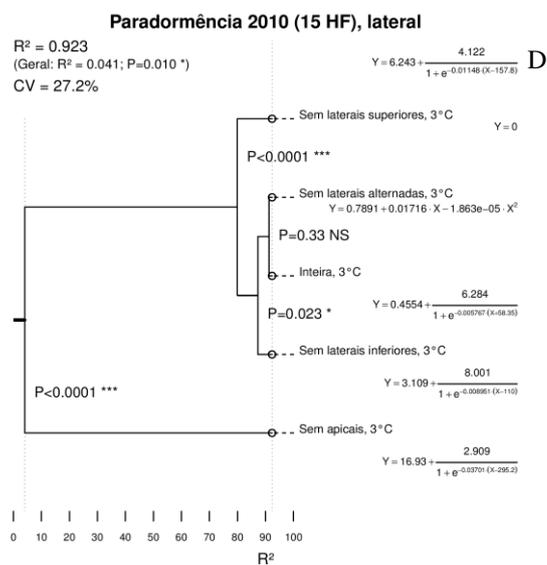
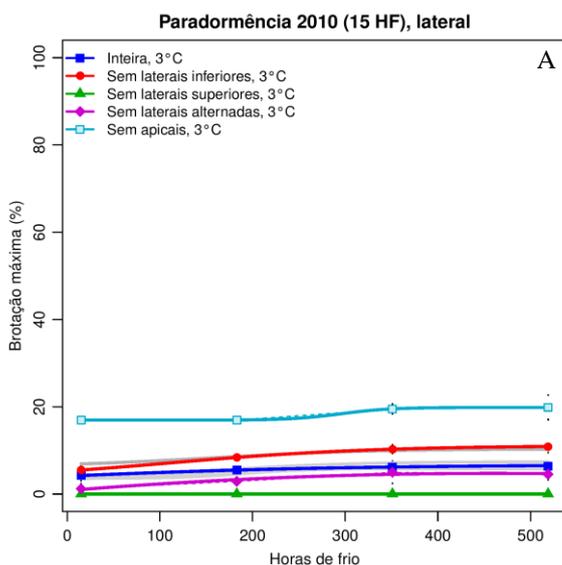
APÊNDICE 44. Suavização das curvas do parâmetro uniformidade das gemas apicais de macieiras 'Castel Gala' (A e B) e representação gráfica da análise estatística (C e D) entre tratamentos. Coletas de abril e junho de 2011. Bento Gonçalves, RS, 2011.



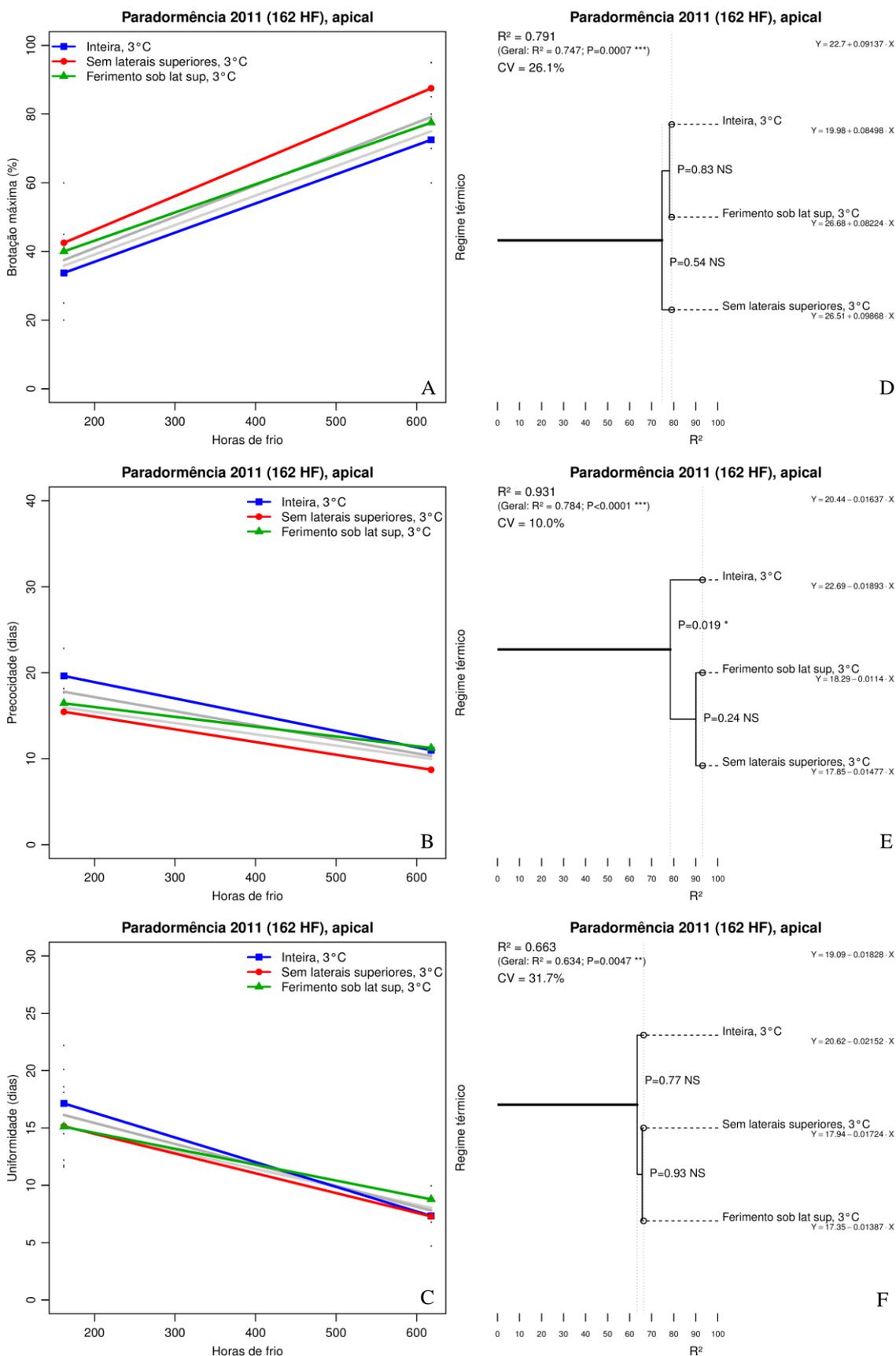
APÊNDICE 45. Suavização das curvas do parâmetro uniformidade das gemas laterais de macieiras 'Castel Gala' (A e B) e representação gráfica da análise estatística (C e D) entre tratamentos. Coletas de abril e junho de 2011. Bento Gonçalves, RS, 2011.

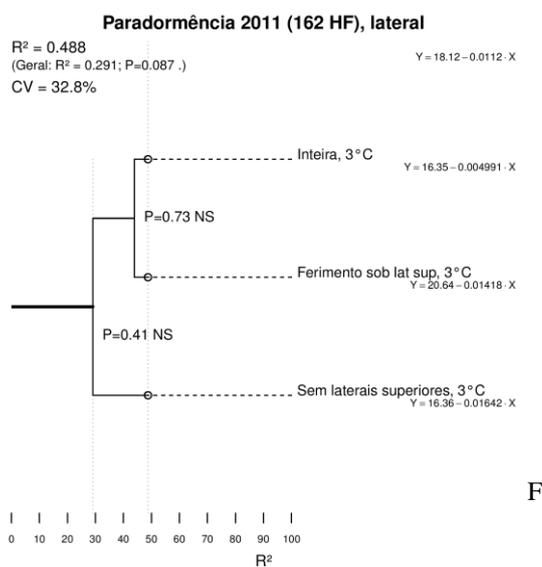
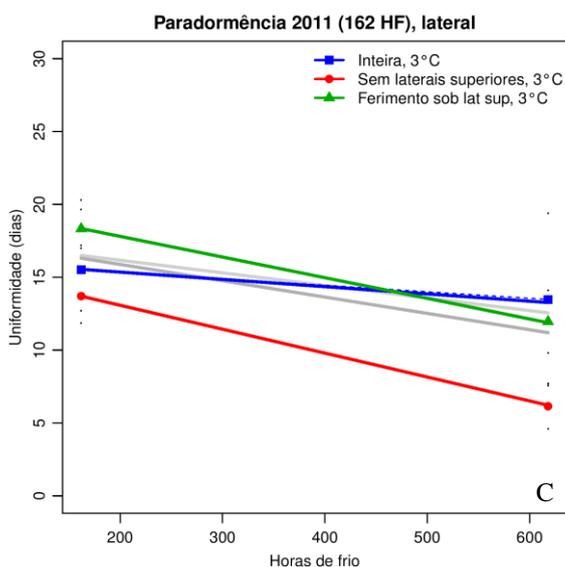
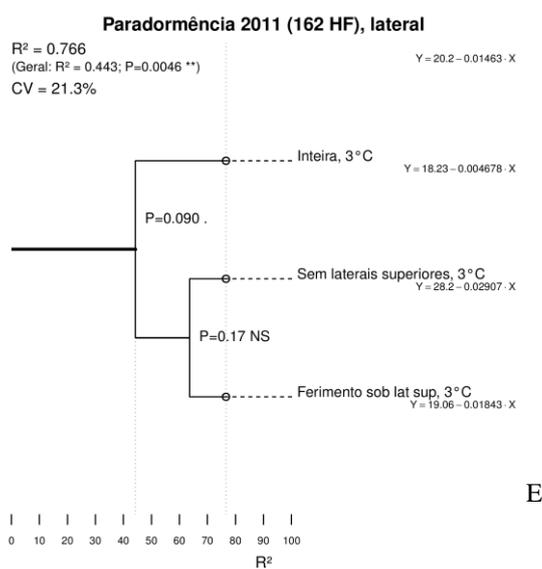
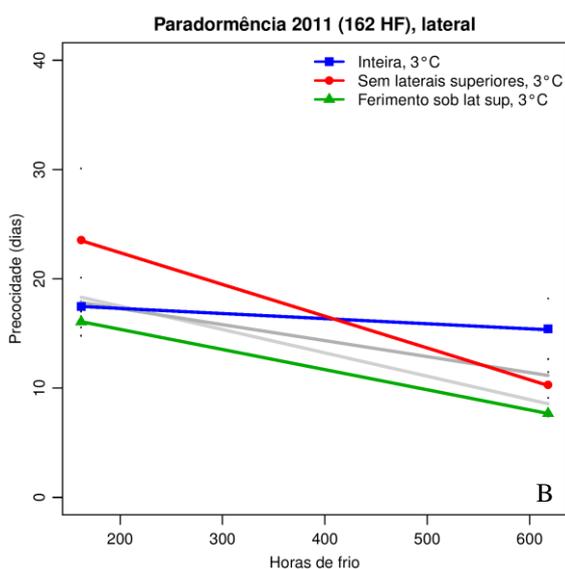
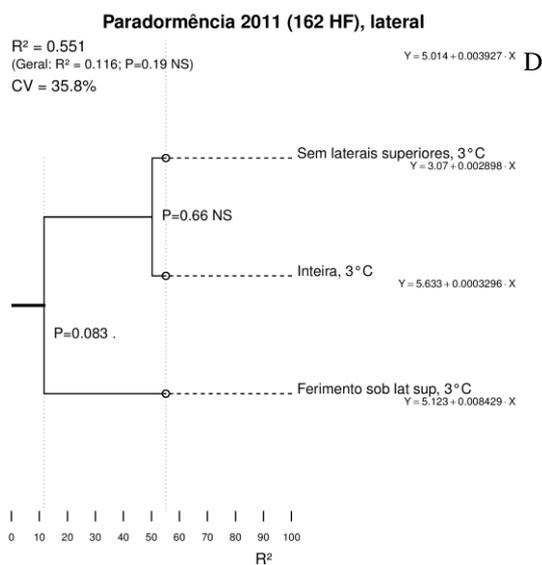
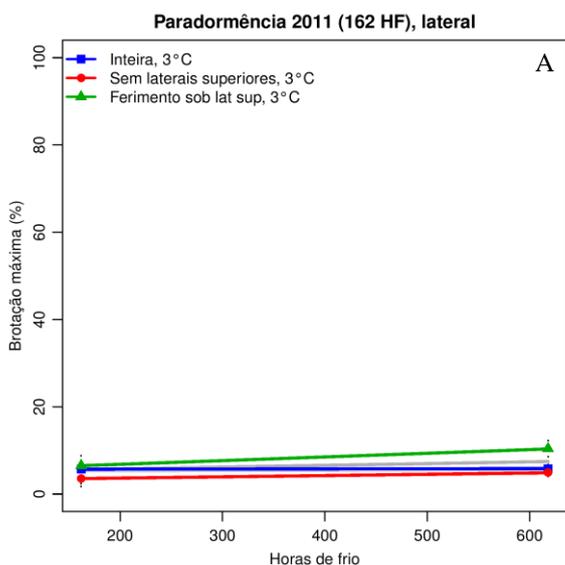


APÊNDICE 46. Suavização das curvas dos parâmetros brotação máxima, precocidade e uniformidade das gemas apicais de macieiras 'Castel Gala' (A, B e C) e representação gráfica da análise estatística (D, E e F) entre tratamentos, quanto à disposição das gemas axilares na estaca. Coleta de maio de 2010. Bento Gonçalves, RS, 2010.

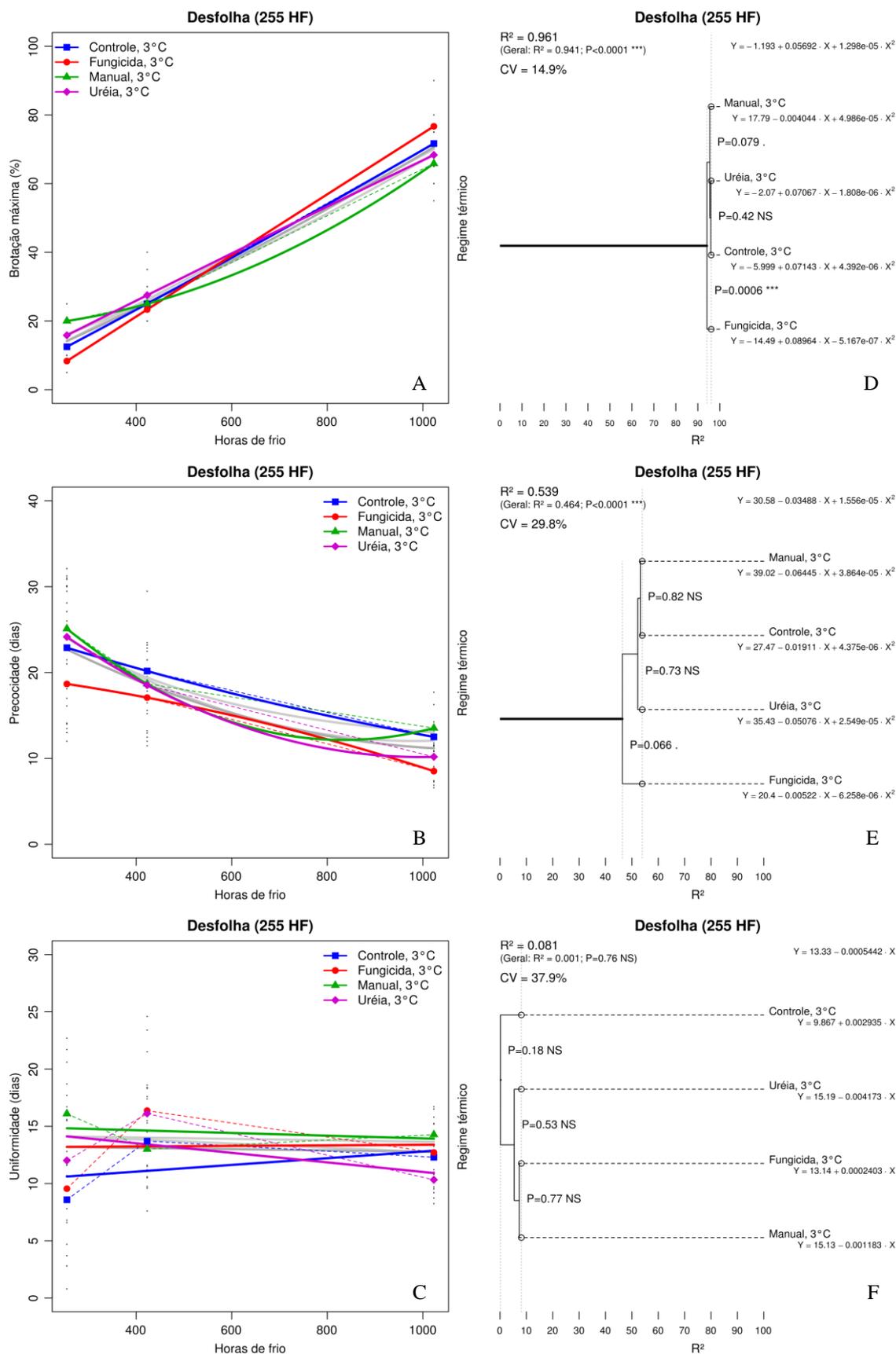


APÊNDICE 47. Suavização das curvas dos parâmetros brotação máxima, precocidade e uniformidade das gemas laterais de macieiras 'Castel Gala' (A, B e C) e representação gráfica da análise estatística (D, E e F) entre tratamentos, quanto à disposição das gemas axilares na estaca. Coleta de maio de 2010. Bento Gonçalves, RS, 2010.

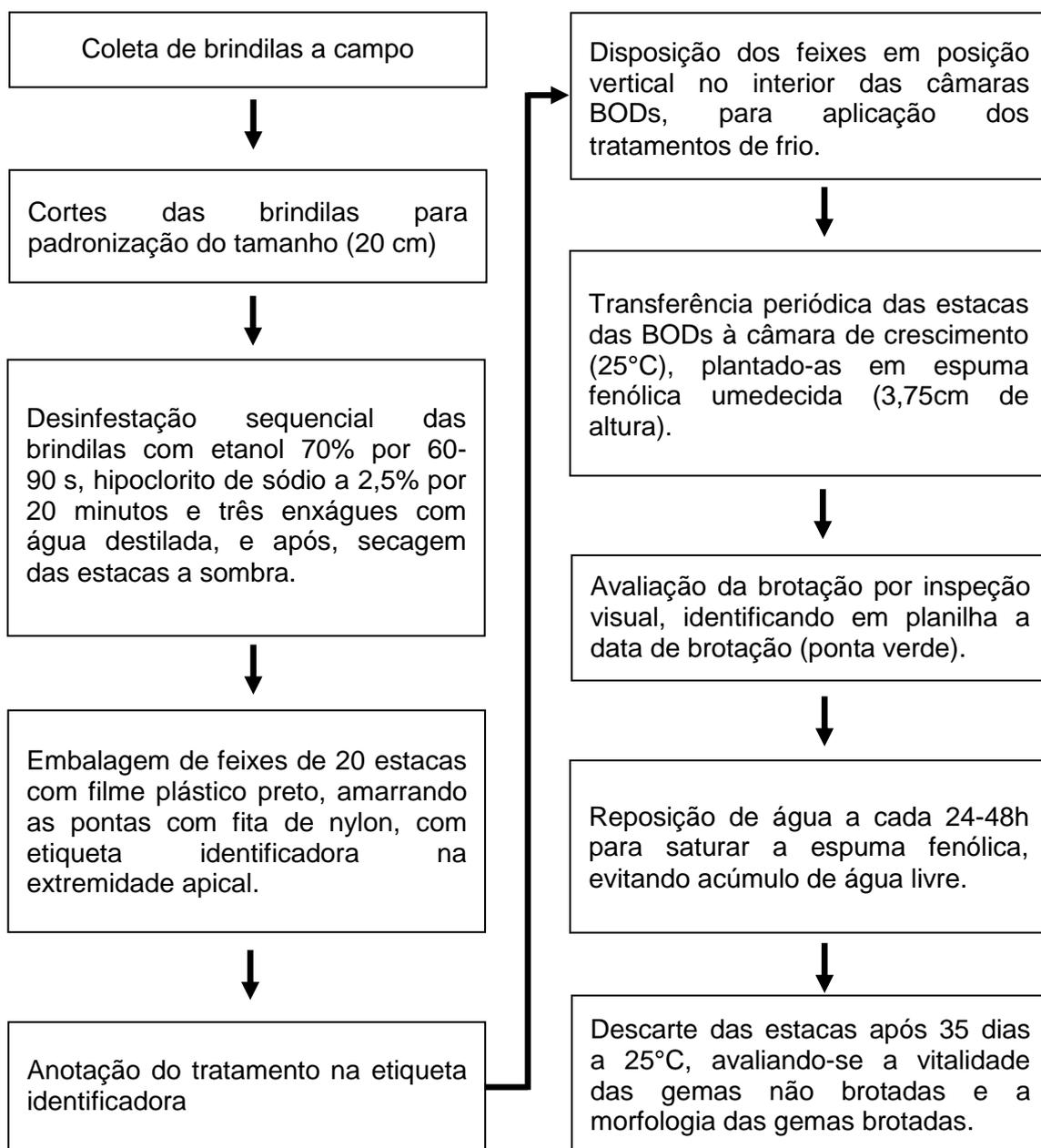




APÊNDICE 49. Suavização das curvas dos parâmetros brotação máxima, precocidade e uniformidade das gemas laterais de macieiras 'Castel Gala' (A, B e C) e representação gráfica da análise estatística (D, E e F) entre tratamentos, quanto à disposição das gemas axilares na estaca. Coleta de junho de 2011. Bento Gonçalves, RS, 2011.



APÊNDICE 50. Suavização das curvas dos parâmetros brotação máxima, precocidade e uniformidade das gemas apicais de macieiras 'Royal Gala' (A, B e C) e representação gráfica da análise estatística (D, E e F) entre tratamentos (diferentes modalidades de desfolha a campo). Coleta de junho de 2011. Bento Gonçalves, RS, 2011.



APÊNDICE 51. Fluxograma para avaliação da dormência de gemas de macieira, da coleta à avaliação da brotação. Bento Gonçalves, RS.