

Poliana Francescato

**DESENVOLVIMENTO DAS ESTRUTURAS REPRODUTIVAS
DA MACIEIRA (*Malus domestica* Borkh.) SOB DIFERENTES
CONDIÇÕES CLIMÁTICAS – DA FORMAÇÃO DAS GEMAS À
COLHEITA DOS FRUTOS**

Tese submetida ao Programa de
Pós-Graduação em Recursos
Genéticos Vegetais da
Universidade Federal de Santa
Catarina para a obtenção do Grau
de Doutor em Ciências
Orientador: Prof. Dr. Aparecido
Lima da Silva

Florianópolis
2014

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Francescato, Poliana

Desenvolvimento das estruturas reprodutivas da macieira
(*Malus domestica* Borkh.) sob diferentes condições
climáticas : da formação das gemas à colheita dos frutos /
Poliana Francescato ; orientador, Aparecido Lima da Silva
- Florianópolis, SC, 2014.
239 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-
Graduação em Recursos Genéticos Vegetais.

Inclui referências

1. Recursos Genéticos Vegetais. 2. Diferenciação de
gemas. 3. Biologia floral. 4. Fenologia. 5. Maçã. I. Silva,
Aparecido Lima da. II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos
Vegetais. III. Título.

Desenvolvimento das estruturas reprodutivas da macieira (*Malus domestica* Borkh.) sob diferentes condições climáticas - da formação das gemas à colheita dos frutos

por


Poliana Francescato


Tese julgada e aprovada em 28/07/2014, em sua forma final, pelo Orientador e membros da Banca Examinadora, para obtenção do título de Doutor em Ciências. Área de Concentração Recursos Genéticos Vegetais, no Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, CCA/UFSC.

Banca Examinadora:

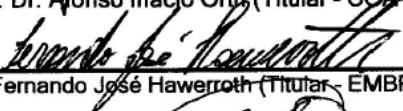

Prof. Dr. Aparecido Lima de Silva (Presidente - CCA-UFSC)


Prof. Dr. Luiz Antonio Blasi (Titular - UFPR-PR)


Dr. Gabriel Berenhauser Leite (Titular EPAGRI-SC)


Profª. Drª. Rosete Pescador (Titular - CCA-UFSC)


Prof. Dr. Afonso Inácio Orth (Titular - CCA-UFSC)


Dr. Fernando José Hawerth (Titular - EMBRAPA-CE)


Prof. Dr. Rubens Onofre Nodari (Coordenador do Programa)

Florianópolis, julho de 2014

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela força maior.

À minha FANTÁSTICA família. Aos meus pais (Leodir e Marines), pelo apoio e amor incondicional, paciência e incentivo me oferecido durante esta jornada; minha irmã (Ludmila) pelos dias infundáveis e pela companhia online de amor e carinho; meu irmão (Guilherme) pela alegria, amor e descontração; minha irmã (Luisa) e cunhado e minhas sobrinhas (Laís e Louise) pelo afeto e carinho. Eu amo vocês.

Ao meu companheiro Dr. Jozsef Racsko, orientador, confidente e parceiro, pelo infinito amor e paciência durante essa etapa final, e pela oportunidade única de me ensinar a pensar como pesquisadora, proporcionando-me capacidade emocional e intelectual. Obrigada também, pelo imenso apoio técnico e financeiro dado durante minha estadia nos Estados Unidos.

Ao sr. José Luiz Petri, pela amizade acima de tudo, pela confiança depositada sobre mim, sua disponibilidade científica e cultural, incentivo, compreensão, companherismo de trabalho e, principalmente, pela sua dedicação em me ensinar pesquisa. Tio Petri, se hoje eu vi mais longe, foi por estar de pé sobre ombros de gigantes como o senhor.

Ao professor Dr. Aparecido Lima da Silva, pela orientação, pelos ensinamentos, e especialmente, pela amizade.

Ao Dr. Marcelo Couto pelo apoio financeiro, via FAPESC, para a execução do trabalho, pela coorientação, e especialmente, pela amizade.

Ao Dr. Gabriel B. Leite pela colaboração no trabalho e, juntamente ao Dr. Luiz Antonio Palladini, pelo imenso apoio fornecido durante minha ida aos Estados Unidos.

À Dr. Diane Miller, pelo total apoio técnico e financeiro oferecido na Ohio State University.

Ao pesquisador Dr. Luis Carlos Argenta por fazer-me acreditar na minha própria capacidade, por sua disponibilidade psicológica e intelectual, pelos inúmeros conselhos, e acima de tudo pela amizade.

À todos os pesquisadores da Estação Experimental de Caçador/EPAGRI, Renato Vieira, Álvaro Graeff; Anderson Feltrim, Atsuo Suzuki, Bianca Schweitzer, Frederico Denardi, Hildebrando Nora, Ivan Faoro, Janaína Pereira, Janice Valmorbida, Marcus Kvitschal, Siegfried Muller, Walter Becker; aos funcionários de campo, do escritório, da cozinha, estagiários e laboratoristas, Margarete, Solange,

Neuza, Silmara, Hawerth, Amanzine, Czerniak, Marise, Caroline, Cristian, Luizão, Pasa, Gersi, Cavalett, Dorvalino, Adelmo, Cleiton, Jairo, Emerson, Figur, Ladir, Lourenço, Caetano, Marcão, Valdemar, Vera, Miguel, Adriana, Hortêncio, Eurico; e os guardas Cleiton, Lima, Farinon, Getúlio. MUITO OBRIGADA pelo auxílio nos experimentos, pelas jantas, pela simpatia e, principalmente, por ter me acolhido com tanto cuidado e carinho durante os três anos que eu estive “acampada” na estação. Vocês realmente fizeram a diferença!

Ao meu colega, amigo e quase irmão Gentil Gabardo pela ajuda imensurável na execução de várias etapas do trabalho, e pelos momentos únicos de divertimento durante minha estadia na Epagri.

Ao meus conselheiros, amigos, psicólogos, caridosos, alguns cientistas outros malucos, Cláudia Damiani, Marcelo Borghezan, Ivanilde Francescato, Jenny Corredor, Robson Yamamoto, Analice Meurer, Alison Kirchhoff, Francine Lunardi, Luciane Malinovski, Volmir Kist, Larissa Villar, Rafael Brandalise, Liliana Pila, Caroline Cristofolini, Gabriella Vanderlinde, Tatiane C. Da Silva; obrigada pelo carinho, apoio, hospitalidade, loucuras e travessuras.

Às três “estagiárias”, agora mestres, que foram fundamentais no primeiro ano de coleta dos dados, além de grandes amigas, Fabiana Borsatti, Heloisa Thomazi e Caroline Amadori.

À todos os funcionários e professores da Ohio State University, em especial ao grupo técnico do laboratório de microscopia MCIC e ao funcionário de campo Bruce Williams, os quais além da amizade cultivada, foram sempre paciosos e prestativos.

Ao casal Andrea Kaszas e Andras Fodor por compartilhar seus conhecimentos e pelo imenso carinho oferecido durante meu período nos Estados Unidos.

Aos meus amigos Anne, Maria Elena, Eddie, Antonio, Cláudio e Fiorela, os quais tornaram meus dias em Wooster valiosos e divertidos. Obrigada pelo apoio, pelo companheirismo e especialmente, pelo carinho.

À todos os meus colegas e amigos do RGV, em especial Camila, Juan, Alberto, Cristina, Ricardo, pelo companheirismo, generosidade e amizade.

À nossa querida secretária do curso de pós-graduação do RGV, Bernadete Ribas, obrigada pela paciência e auxílio durante estes quatro anos.

À Universidade Federal de Santa Catarina, aos funcionários e professores da Pós Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, que participaram de minha formação profissional e humana.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos no Brasil e nos Estados Unidos.

Aos membros doutores da Banca Examinadora, Afonso Orth, Rosete Pescador, Fernando J. Hawerth, Gabriel B. Leite e Luiz A. Biasi, por terem atendido ao convite em fazer parte do meu crescimento profissional.

Enfim, à todos, aqui citados ou não, que contribuíram de alguma forma, direta ou indiretamente, para realização deste trabalho.

À vocês minha gratidão e respeito.

“Se chorei ou se sorri, o importante é que emoções eu vivi.”

-Roberto Carlos-

“I am still determined to be cheerful and happy, in whatever situation I may be; for I have also learned from experience that the greater part of our happiness or misery depends upon our dispositions, and not upon our circumstances.”

-Martha Washington, 1732-1802-

DESENVOLVIMENTO DAS ESTRUTURAS REPRODUTIVAS DA MACIEIRA (*Malus domestica* Borkh.) SOB DIFERENTES CONDIÇÕES CLIMÁTICAS – DA FORMAÇÃO DAS GEMAS À COLHEITA DOS FRUTOS

RESUMO

A cultura da macieira apresenta grande importância econômica no cenário mundial visto o grande volume de frutos produzidos e comercializados. No Brasil, a cultura da macieira é explorada principalmente na região Sul do país, devido suas condições climáticas subtropicais temperadas serem as mais parecidas às condições exigidas pela planta na obtenção de produções razoáveis de maçãs. No entanto, dentre os elementos climáticos, a temperatura pode ser considerada um dos fenômenos que mais tem influência sobre a cultura, desde a formação floral até a produção final; sendo um dos fatores responsáveis pelas irregularidades de produções. Diante disto, e com o intuito de gerar conhecimentos e informações sobre a cultura da macieira, este trabalho procurou entender os possíveis efeitos ambientais e climáticos, e seus limites qualitativos e quantitativos, sobre a aclimação das plantas e de suas estruturas reprodutivas. Durante os anos de 2010 à 2014, foram realizadas as avaliações que envolvem o processo do desenvolvimento floral e reprodutivo de duas cultivares de grande importância econômica mundial, ‘Gala’ e ‘Fuji’. Tais avaliações incluíram a caracterização da iniciação e diferenciação morfológica de gemas, da morfologia e biologia floral, e do comportamento fenológico e produtivo das plantas; sendo que as mesmas foram direcionadas sobre as duas principais estruturas de frutificação das plantas, brindilas (gemas axilares e terminal) e esporões. Grande parte do trabalho foi realizado na região de Caçador, localizada no Estado de Santa Catarina a uma latitude de 26°50’S, longitude de 50°58’W e altitude de 950m. No entanto, uma outra região, do Estado de Ohio nos Estados Unidos, a qual, devido as condições climáticas locais, é caracterizada como ideal para o cultivo da macieira, foi utilizada para servir como base de referência para alguns dos estudos aqui realizado. Dez estádios morfológicos foram definidos, do meristema vegetativo à formação dos órgãos florais de inflorescências de gemas da espécie *Malus domestica* Borkh. A iniciação floral foi influenciada pela cultivar e estrutura. O desenvolvimento floral de gemas da cv. Fuji foi mais rápido que da cv. Gala, e entre as estruturas, os esporões de ambas cultivares formaram-se

mais precocemente que as gemas axilares e a terminal das brindilas. A transição floral parece ser regulado por sinais intrínsecos da planta. No entanto, a transição entre os demais estádios de diferenciação parece sofrer considerável influência dos sinais ambientais, principalmente das temperaturas. Flores de macieiras das cvs. Gala e Fuji provenientes de regiões de clima temperado foram mais desenvolvidas morfológicamente que flores de macieira cultivadas sob condições subtropicais. Sob as condições ambientais da região brasileira em estudo, estigmas apresentaram-se mais receptivos na abertura das flores, ou talvez, anteriormente a esta. Diferentemente da região norte americana, onde os estigmas alcançaram a máxima receptividade entre as 24-48 horas após a abertura das flores. Na região de Caçador, flores de gemas terminais de brindilas apresentaram, em geral, melhor qualidade morfológica dos órgãos reprodutivos femininos e masculino. As diferenças encontradas no início de brotação e florescimento entre as estruturas de frutificação dependeram grandemente das condições climáticas do ano em questão. Sob condições de altas temperaturas após o tratamento de quebra de dormência, há maior sincronia fenológica entre as estruturas, e vice e versa. Gemas de esporões necessitam de menor acúmulo térmico para brotarem, principalmente esporões de 'Gala'. Além da baixa frutificação efetiva, gemas axilares de ambas cultivares apresentaram frutos com baixa qualidade morfológica (massa fresca e diâmetro de fruto). Frutos provenientes de terminais de brindilas tendem ser mais arredondados e com maior massa fresca do que frutos das axilares e dos esporões, em ambas as cultivares. Sob as condições climáticas de Caçador, SC, a cultivar Fuji foi mais estável produtivamente que a cv. Gala. O favorecimento de brindilas na cv. Gala, seja através de podas, arqueamento ou outras técnicas específicas, deve ser preconizado quando se deseja garantir boa frutificação efetiva, altas produtividades, e frutos de melhor calibre. Na cv. Fuji, apesar de terminais apresentarem os melhores frutos, a frutificação dos esporões tendeu ser mais estável durante os anos, Para esta cultivar, ambas estruturas poderiam ser preconizadas.

Palavras-Chaves: Iniciação e diferenciação morfológica, estruturas de frutificação, biologia floral, fenologia, qualidade do fruto, produtividade.

DEVELOPMENT OF APPLE FRUITING HABITS (*Malus domestica* Borkh.) UNDER DIFFERENT CLIMATE CONDITIONS – FROM BUD FORMATION TO FRUIT HARVEST

ABSTRACT

Apples are one of the most valuable fruit crops in the world because of the significant amount produced and commercialized. In Brazil, apples are mainly grown in the south since these areas possess the most suitable climatic conditions for reasonable productions. Among climate elements temperature may be considered the most significant phenomenon affecting the process of fruit production, from flower bud formation through harvest. Also, it is one of the factors responsible for irregular cropping. Thereafter, this work tried to understand the possible environmental and climatic effects, qualitative and quantitative limitations, on the acclimation of both trees and fruiting habits. From 2010 to 2014, the process of flower and fruit development of the two main apple cultivars, Gala and Fuji, were evaluated. Measurements were done separately on the three types of buds, spurs, and both terminal and axillary buds of one year shoots. Morphological characterization of bud initiation and differentiation, flower biology and morphology, flowering phenology and fruit production were studied. The trials were mainly carried under the Brazilian conditions, in Caçador, SC, Brazil (latitude 26°50'S, longitude 50°58'W, altitude of 950m). However, a second region located in Ohio State, in the United States, was included as a reference for some of the studies such as bud differentiation and flower biology, since it shows great climate conditions for growing apples. Ten morphological bud stages of *Malus domestica* Borkh were defined, from the vegetative meristem to floral organs differentiation. Flower initiation was affected by cultivar and bud type. Floral development of 'Fuji' buds was faster than 'Gala' buds. Among the buds types, flower initiation and differentiation occurred first in spurs, then in axillary and terminal buds, successively. Floral transition seems to be triggered by intrinsic signals; whereas the transition between the stages seems to be considerably affected by environmental conditions, mainly temperatures. The morphological development of apple flowers 'Gala' and 'Fuji' were greater under temperate climate than subtropical conditions. Under the environmental conditions of the region in south of Brazil stigmas reached the optimum

receptivity at anthesis or earlier; whereas in the region in North America pollen reached a maximum germination 24-48 hours after flower opening. In Caçador, terminal flowers on one year old long shoot showed higher morphological qualities of the female and male floral organs than spurs and axillary. Flowering and bud break onset of the different bud types greatly depended on the year assessed; warmer springs induced to a synchronized onset between the different buds. Spur buds requires less heat-unit accumulation at budbreak, specially 'Gala' spur buds. In general, axillary buds of both cultivars showed low fruitset and produced smaller fruits (weight and diameter). Terminal buds on long shoots of both cultivars induced rounder and heavier fruits than axillary and spur buds. Under the climate conditions of Caçador 'Fuji' was productively more stable than 'Gala'. In order to ensure good fruitset, high yields and larger fruits, one year shoots should be preferred in the tree management practices of 'Gala' such as pruning, bending or other techniques. Although in 'Fuji', terminal buds of long shoots produced high quality fruits, the fruitset of spurs tended to be stable among years; therefore, both bud types should be preconized.

Keywords: Bud initiation and differentiation, fruiting habits, floral biology, phenology, fruit quality and production.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1.1 Estruturas de frutificação da macieira (Brindilas e Esporões)..... 43

Figura 1.2 Desenho esquemático de uma flor de macieira (MCGREGOR, 1976)..... 44

Figura 1.3 Gemas de esporão de macieira. A – Diagrama esquemático de um esporão de macieira com a presença de uma gema reprodutiva já diferenciada para próxima estação com B – Secção transversal de uma gema reprodutiva. Apêndices foliares de fora para dentro: escamas, folhas de transição, folhas verdadeiras e brácteas. C – Tipos específicos de apêndices (escamas, folhas de transição, folhas verdadeiras e brácteas). D – Diagrama esquemático da secção transversal de uma gema reprodutiva durante a dormência, com destaque à gema na axila de um primórdio foliar (círculo). E = Imagem macroscópica de uma inflorescência após a dormência. Flores e folhas expandidas (VL) formadas na estação anterior, novas folhas (L1-L3) (indicado pela seta) formadas pela gema axilar (círculo), a qual será diferenciada em vegetativa ou reprodutiva para a próxima estação (MCLAUGHLIN; GREENE, 1991a; FOSTER et al., 2003)..... 50

Figura 1.4 Temperaturas críticas de primavera durante o desenvolvimento fenológico de gemas florais de macieira observados na região de Washington, Estados Unidos. Traduzido e modificado de BALLARD et al. (1981)..... 60

Figura 2.1 Gemas de macieira, em Microscopia Eletrônica de Varredura no Estádio 0 – gema vegetativa, meristema achatado (seta). B: Brácteas; LP: primórdios foliares. Barra: 100 µm. 80

Figura 2.2 Desenvolvimento do meristema da inflorescência em gemas de macieira, em Microscopia Eletrônica de Varredura no Estádio 1 – iniciação floral, arredondamento do ápice (seta). B: Brácteas; LP: primórdios foliares. Barra: 100 µm. 81

Figura 2.3 Desenvolvimento do meristema da inflorescência em gemas de macieira, em Microscopia Eletrônica de Varredura no Estádio 2 – presença dos meristemas florais laterais (LFM) nas axilas de primórdios foliares e brácteas (seta - C). B: Brácteas; IM: meristema da inflorescência; LFM: meristema floral lateral; LP: primórdios foliares. Barra: 100 µm. 82

Figura 2.4 Desenvolvimento do meristema da inflorescência em gemas de macieira, em Microscopia Eletrônica de Varredura no Estádio 3 – iniciação de um primórdio de bráctea (tB) no meristema floral terminal. B: Brácteas; LFM: meristema floral lateral; LP: primórdios foliares; tB: bráctea terminal; TFM: meristema floral terminal. Barra: 100 µm. 82

Figura 2.5 Desenvolvimento do meristema da inflorescência em gemas de macieira, em Microscopia Eletrônica de Varredura no Estádio 4 – Início da diferenciação de primórdios de sépalas no meristema floral terminal e um par de bracteólas nos meristemas florais laterais. B:

Brácteas; br: bracteólas; LFM: meristema floral lateral; LP: primórdios foliares; S(1-4): sépalas; TFM: meristema floral terminal; tB: bráctea terminal. Barra: 100 µm. 83

Figura 2.6 Desenvolvimento do meristema da inflorescência em gemas de macieira, em Microscopia Eletrônica de Varredura no Estádio 5 – Início da diferenciação de primórdios de sépalas nos meristemas florais laterais e pétalas no meristema floral terminal. br: bracteólas; LFM: meristema floral lateral; P: pétalas; S(1-4): sépalas; TFM: meristema floral terminal. Barra: 100 µm. 84

Figura 2.7 Desenvolvimento do meristema da inflorescência em gemas de macieira, em Microscopia Eletrônica de Varredura . Ênfase ao meristema floral lateral mais distal (último a ser diferenciado) (seta). dLFM: meristema lateral floral distal. Barra: 100 µm. 85

Figura 2.8 Inflorescência da macieira (cacho floral). A – Desenho esquemático da sequência de abertura de flores (1-5) na inflorescência da macieira, demonstrando o mesmo padrão na formação dos meristemas florais laterais e da terminal (Racsko e Miller (2010) com modificações). B – Imagem macroscópica mostrando o eixo floral e inserção das flores. 86

Figura 2.9 Formação de flores secundárias em inflorescências da macieira, cv. Gala. A: Detalhe da flor desenvolvida na bracteóla de uma flor lateral (seta). B: Elongação do eixo de uma flor lateral com desenvolvimento de flores nas

bracteólas da mesma (seta). Caçador, SC, BR, 2013/14..... 87

Figura 2.10 Desenvolvimento da Inflorescência em gemas de macieira, em Microscopia Eletrônica de Varredura. Todos os meristemas florais com pétalas e sépalas. Barra: 100 µm. 88

Figura 2.11 Desenvolvimento floral em inflorescências da macieira, em Microscopia Eletrônica de Varredura no Estádio 6a – Primeira camada de primórdios de estames na flor terminal demonstrando concavidade do ápice (seta vazia), e início da diferenciação de pétalas nos meristemas florais laterais. KF: flor rainha ou terminal; P: pétalas; St: estames. Barra: 100 µm. 89

Figura 2.12 Desenvolvimento floral em inflorescências da macieira, em Microscopia Eletrônica de Varredura no Estádio 6b – Diferenciação dos primórdios de estames nas flores laterais. P: pétalas; S(1-2): Sépalas; St: estames. Barra: 100 µm..... 90

Figura 2.13 Desenvolvimento floral em inflorescências da macieira, em Microscopia Eletrônica de Varredura no Estádio 6c – Diferenciação e crescimento dos primórdios de pistilos na flor terminal (*). KF: flor rainha; P: pétalas; Pi(1-5): pistilos; St: estames. Barra: 100 µm. 91

Figura 2.14 Desenvolvimento floral em inflorescências da macieira, em Microscopia Eletrônica de Varredura no Estádio 6d – Diferenciação dos primórdios de pistilos nas

flores laterais. IPi (1-3): pistilo de flores laterais;
St: estames. Barra: 100 μm 92

Figura 2.15 Desenvolvimento floral em inflorescências da macieira, em Microscopia Eletrônica de Varredura no Estádio 6e – Todas as flores com órgãos reprodutivos (pistilos e estames) diferenciados. LF: flor lateral; Pi (1-5): pistilo; St: estames; TF: flor terminal. Barra: 100 μm 92

Figura 2.16 Médias mensais das temperaturas máxima, mínima e média do ar ($^{\circ}\text{C}$), acúmulo mensal da precipitação (mm) e umidade relativa do ar (UR %) das normais climatológicas (Caçador 1961-2013 e Berlin Heights 1986-2013) e dos anos 2010/11 e 2013/14 em Caçador, SC, BR (coluna à esquerda) e dos anos 2012/13 em Berlin Heights, OH, EUA (coluna à direita). 94

Figura 2.17 Época de ocorrência e duração média dos estádios de desenvolvimento morfológico das gemas de esporões de macieira ‘Fuji’ a partir da plena floração (30/9/2010 e 8/10/2013 em Caçador e 15/04/2012 em Berlin Heights) e médias diárias ajustadas da temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) dos anos de 2010/11 e 2013/14 na região de Caçador, SC, BR e 2012/13 na região de Berlin Heights, OH, EUA. DAPF: dias após plena floração. ORF: órgãos reprodutores florais. Estádio 1: Iniciação floral; Estádio 2: Aparecimento do meristema floral lateral no meristema da inflorescência; Estádio 3: Alongamento do meristema floral terminal; Estádio 4: Diferenciação da primeira sépala no

meristema floral terminal e de um par de bractéolas nos meristemas florais laterais; Estádio 5: Diferenciação das pétalas no meristema floral terminal e das sépalas no primeiro meristema floral lateral basal; Estádio 6a: Diferenciação dos estames na flor terminal; Estádio 6b: Diferenciação dos estames nas flores laterais; Estádio 6c: Diferenciação dos pistilos na flor terminal; Estádio 6d: Diferenciação dos pistilos nas flores laterais; Estádio 6e: Todas as flores da inflorescência apresentam pistilo e estames diferenciados. 95

Figura 2.18 Época de ocorrência e duração média dos estádios de desenvolvimento morfológico das gemas de esporões e axilares e terminais de brindilas de macieiras ‘Gala’ a partir da plena floração (10/10/2013) e médias diárias da temperatura do ar (C°) dos anos de 2013/14, na região de Caçador, SC, BR. DAPF: dias após plena floração. ORF: órgãos reprodutores florais. Estádio 1: Iniciação floral; Estádio 2-3: Aparecimento do meristema floral lateral no meristema da inflorescência e alongamento do meristema floral terminal; Estádio 4-5: Diferenciação de sépalas e pétalas no meristema floral terminal e diferenciação das sépalas no primeiro meristema floral lateral basal; Estádio 6a-b: Diferenciação dos estames na flor terminal e nas flores laterais; Estádio 6c-d: Diferenciação dos pistilos na flor terminal e nas flores laterais; Estádio 6e: Todas as flores da inflorescência apresentam pistilo e estames diferenciados. 96

- Figura 2.19** Retorno de crescimento em brindilas da cv. Gala. A: Destaque para o ponto de recrescimento (círculo). Formação de gemas florais axilares no crescimento normal da brindila, aproximadamente meados de janeiro (setas abaixo do círculo) e formação de gemas florais axilares e terminais após o retorno de crescimento, aproximadamente meados de março (setas acima do círculo). B: Brindila formada demonstrando as gemas florais (setas). Foto tirada em A: 15/01/2014 e B: 13/06/2014, Caçador, SC, BR..... 100
- Figura 2.20** Flores extemporâneas de macieira, cv. Gala. Detalhe do alongamento caulinar (seta). Caçador, SC, BR, 2014. 102
- Figura 3.1** Inflorescência da macieira (*Malus domestica* Borkh.). Flor rainha (central) em estágio de balão. 113
- Figura 3.2** Método da avaliação morfológica das flores de macieira. Caçador, SC, BRA e Wooster, OH, EUA, 2010-2014..... 114
- Figura 3.3** A: Crescimento do tubo polínico ao longo dos estiletos de flores de macieira observado sob microscopia de fluorescência. B: Destaque para os pontos de calose (setas), os quais se depositam na parede do tubo polínico em forma de tampões em diferentes intervalos durante o crescimento dos tubos. Barra: 500 µm. 117
- Figura 3.4** Desenho esquemático do método de avaliação do crescimento do tubo polínico, numa escala de 1% (grão de pólen recém germinado) à

100% (tubo polínico na base do estilete)
(ADACHI et al. (2009) com modificações). 118

Figura 3.5 Média da temperatura (°C), umidade relativa do ar (%) e precipitação (mm) durante os meses de agosto, setembro e outubro de 2011 e 2013 na região de Caçador, SC, BR, e março, abril e maio de 2013 na região de Wooster, OH, EUA. QD: tratamento de quebra de dormência; IB: data média do início da brotação; IF: data média do início do florescimento. 121

Figura 3.6 Receptividade do estigma através do número de grãos de pólen germinados no estigma de flores da macieira cv. Gala, provenientes de diferentes estruturas de frutificação, polinizadas às 0, 24, 48 e 72 horas após antese simulada no ciclo de 2011/12 na região de Caçador, SC, BR. Temperatura média e umidade relativa do ar registradas da antese até 72 horas após.. 137

Figura 3.7 Desempenho germinativo dos grãos de pólen sobre os estigmas de flores terminais de brindilas da macieira cv. Gala às 0, 24, 48 e 72 horas após antese simulada, em Caçador, SC, BR, no ano de 2011. Barra: 100µm. 138

Figura 3.8 Receptividade do estigma através do número de grãos de pólen germinados no estigma de flores da macieira cv. Gala, provenientes de diferentes estruturas de frutificação, polinizadas às 0, 24, 48, 72 e 96 horas após antese simulada no ciclo de 2013/14 na região de Caçador, SC, BR. Temperatura média e umidade relativa do ar registradas da antese até 96 horas após, para cada estrutura de frutificação..... 139

Figura 3.9 Receptividade do estigma através do número de grãos de pólen germinados no estigma de flores da macieira cv. Gala, provenientes de esporões, polinizadas às 0, 24, 48, 72 e 96 horas após antese simulada no ciclo de 2013 na região de Wooster, OH, EUA. Temperatura média e umidade relativa do ar registradas da antese até 96 horas após..... 140

Figura 3.10 Receptividade do estigma através do número de grãos de pólen germinados no estigma de flores da macieira cv. Fuji, provenientes de esporões, polinizadas às 0, 24, 48, 72 e 96 horas após antese simulada no ciclo de 2013/14 na região de Caçador, SC, BR..... 142

Figura 3.11 Receptividade do estigma através do número de grãos de pólen germinados no estigma de flores da macieira cv. Fuji, provenientes de esporões, polinizadas às 0, 24, 48, 72 e 96 horas após antese simulada no ciclo de 2013 na região de Wooster, OH, EUA..... 143

Figura 3.12 Regressão linear com equação de ajuste do crescimento médio dos tubos polínicos no estilete de flores da macieira cv. Gala provenientes de diferentes estruturas de frutificação dos ciclos de A: 2011/12 e B: 2013/14 na região de Caçador, SC, BR..... 146

Figura 3.13 Regressão linear com equação de ajuste do crescimento médio dos tubos polínicos no estilete de flores da macieira cv. Fuji provenientes de diferentes estruturas de frutificação dos ciclos de A: 2011/12 e B: 2013/14 na região de Caçador, SC, BR..... 147

Figura 3.14 Regressão polinomial com equação de ajuste do crescimento médio dos tubos polínicos no estilete de flores da macieira cv. A: Gala e B: Fuji provenientes de esporões do ciclo de 2013 na região de Wooster, OH, EUA..... 147

Figura 4.1 Estádios fenológicos da macieira, segundo Fleckinger (1953) com modificações. (A): gema dormente; (B) gema inchada - ponta de prata; (C) ponta verde; (C3-D) 1,3 cm verde; (D2) 1,3cm verde com folhas; (E) botão verde; (E2) botão rosado; (F) início da floração; (F2) plena floração; (G) final da floração; (H) queda de pétalas; (I) frutificação efetiva; (J) frutos verdes com 10mm de diâmetro..... 158

Figura 4.2 Médias mensais das temperaturas máximas, mínimas e médias do ar (°C) durante o ciclo vegetativo e reprodutivo da macieira nos anos 2011/12 e 2013/14 na região de Caçador, SC. Caçador, SC, ciclos 2011/12 e 2013/14. 161

Figura 4.3 Duração média em dias dos diferentes estádios fenológicos da macieira cv. Gala por estrutura de frutificação, durante os ciclos de 2011/12 e 2013/14. (C) pontas verdes, (C3-D) 1,3 cm ponta verde, (D2) 1,3 cm verde com folhas, (E) botão verde, (E2) botão rosado, (F) início da floração, (F2) plena floração, (G) final da floração, (H) queda de pétalas, (I) frutificação efetiva. Caçador, SC, ciclos 2011/12 e 2013/14. 162

Figura 4.4 Duração média em dias dos diferentes estádios fenológicos da macieira cv. Fuji por estrutura de frutificação, durante os ciclos de 2011/12 e 2013/14. (C) pontas verdes, (C3-D) 1,3

cm ponta verde, (D2) 1,3 cm verde com folhas, (E) botão verde, (E2) botão rosado, (F) início da floração, (F2) plena floração, (G) final da floração, (H) queda de pétalas, (I) frutificação efetiva. Caçador, SC, ciclos 2011/12 e 2013/14. 163

Figura 4.5 Data média e duração dos principais eventos fenológicos ocorridos da quebra de dormência até a colheita dos frutos de macieira cv. Gala nas diferentes estruturas de frutificação e temperatura média diária (°C) observada da quebra de dormência à colheita, durante os ciclos de 2011/12 e 2013/14. Caçador, SC, ciclos 2011/12 e 2013/14..... 167

Figura 4.6 Data média e duração dos principais eventos fenológicos ocorridos da quebra de dormência até a colheita dos frutos de macieira cv. Fuji nas diferentes estruturas de frutificação e temperatura média diária (°C) observada da quebra de dormência à colheita, durante os ciclos de 2011/12 e 2013/14. Caçador, SC, ciclos 2011/12 e 2013/14..... 168

Figura 4.7 Acúmulo térmico médio (ΣGDD) a partir do tratamento de quebra de dormência ao início do florescimento, pleno florescimento, final do florescimento, frutos com 10mm de diâmetro e colheita, das diferentes estruturas de frutificação da cv. Gala. Caçador, SC, ciclos 2011/12 e 2013/14..... 177

Figura 4.8 Acúmulo térmico médio (ΣGDD) a partir do tratamento de quebra de dormência ao início do florescimento, pleno florescimento, final do florescimento, frutos com 10mm de diâmetro e

colheita, das diferentes estruturas de frutificação da cv. Fuji. Caçador, SC, ciclos 2011/12 e 2013/14..... 177

Figura 4.9 Distribuição das inflorescências com 0, 1, 2, 3 e 4 ou mais frutos da macieira ‘Gala’, nos ciclos 2011/2012 e 2013/14 em Caçador, SC, Brasil. 182

Figura 4.10 Distribuição das inflorescências com 0, 1, 2, 3 e 4 ou mais frutos da macieira ‘Fuji’, nos ciclos 2011/2012 e 2013/14 em Caçador, SC, Brasil. 183

Figura 4.11 Frutos de maçã da cultivar Gala colhidas de diferentes estruturas de frutificação, durante safra 2011/12, Caçador, SC..... 186

Figura 4.12 Frutos de maçã da cultivar Fuji colhidas de diferentes estruturas de frutificação, durante safra 2011/12, Caçador, SC..... 187

LISTA DE TABELAS

- Tabela 2.1** Datas do início e fim das estações do ano conforme os hemisférios Sul e Norte. 78
- Tabela 2.2** Análise e classificação dos estádios morfológicos das gemas da macieira, cvs. Gala e Fuji, observados durante os anos de 2010 à 2014, nas condições edafoclimáticas de Berlin Heights, OH, EUA e Caçador, SC, BR..... 79
- Tabela 3.1** Massa fresca média (mg) do pistilo de flores de diferentes estruturas de frutificação da macieira ‘Gala’, no ciclo de 2011/12 e 2013/14 em Caçador, SC, BR, e ciclo 2013 em Wooster, OH, EUA..... 122
- Tabela 3.2** Comprimento médio (mm) do pistilo de flores de diferentes estruturas de frutificação da macieira ‘Gala’, no ciclo de 2011/12 e 2013/14 em Caçador, SC, BR, e ciclo 2013 em Wooster, OH, EUA..... 123
- Tabela 3.3** Diâmetro médio do ovário (mm) de flores de diferentes estruturas de frutificação da macieira ‘Gala’, no ciclo de 2011/12 e 2013/14 em Caçador, SC, BR e ciclo 2013 em Wooster, OH, EUA..... 123
- Tabela 3.4** Massa fresca média (mg) do pistilo de flores de diferentes estruturas de frutificação da macieira ‘Fuji’, no ciclo de 2011/12 e 2013/14 em Caçador, SC, BR e ciclo 2013 em Wooster, OH, EUA..... 124
- Tabela 3.5** Comprimento médio (mm) do pistilo de flores de diferentes estruturas de frutificação da macieira ‘Fuji’, no ciclo de 2011/12 e 2013/14

em Caçador, SC, BR e ciclo 2013 em Wooster, OH, EUA.....	125
Tabela 3.6 Diâmetro médio do ovário (mm) de flores de diferentes estruturas de frutificação da macieira ‘Fuji’, no ciclo de 2011/12 e 2013/14 em Caçador, SC, BR e ciclo 2013 em Wooster, OH, EUA.....	125
Tabela 3.7 Número médio de anteras por flor de diferentes estruturas de frutificação da macieira ‘Gala’, no ciclo de 2011/12 e 2013/14 em Caçador, SC, BR e ciclo 2013 em Wooster, OH, EUA.....	127
Tabela 3.8 Número médio de anteras por flor de diferentes estruturas de frutificação da macieira ‘Fuji’, no ciclo de 2011/12 e 2013/14 em Caçador, SC, BR e ciclo 2013 em Wooster, OH, EUA.....	128
Tabela 3.9 Número médio de grãos de pólen por antera de flores de diferentes estruturas de frutificação da macieira ‘Gala’, no ciclo de 2011/12 e 2013/14 em Caçador, SC, BR e ciclo 2013 em Wooster, OH, EUA.	130
Tabela 3.10 Número médio de grãos de pólen por antera de flores de diferentes estruturas de frutificação da macieira ‘Fuji’, no ciclo de 2011/12 e 2013/14 em Caçador, SC, BR e ciclo 2013 em Wooster, OH, EUA.	131
Tabela 3.11 Número médio de grãos de pólen por flor de flores de diferentes estruturas de frutificação da macieira ‘Gala’, no ciclo de 2011/12 e 2013/14 em Caçador, SC, BR e ciclo 2013 em Wooster, OH, EUA.	132

Tabela 3.12 Número médio de grãos de pólen por flor de flores de diferentes estruturas de frutificação da macieira ‘Fuji’, no ciclo de 2011/12 e 2013/14 em Caçador, SC, BR e ciclo 2013 em Wooster, OH, EUA. 133

Tabela 3.13 Taxa de germinação de grãos de pólen (%) de flores de diferentes estruturas de frutificação da macieira ‘Gala’ no ciclo de 2011/12 e 2013/14 em Caçador, SC, BR e ciclo 2013 em Wooster, OH, EUA. 135

Tabela 3.14 Taxa de germinação de grãos de pólen (%) de flores de diferentes estruturas de frutificação da macieira ‘Fuji’ no ciclo de 2011/12 e 2013/14 em Caçador, SC, BR e ciclo 2013 em Wooster, OH, EUA. 136

Tabela 3.15 Média das temperaturas horárias (°C) registradas no intervalo entre a polinização e as diferentes coletas dos estigmas das flores provenientes de diferentes estruturas de frutificação da macieira ‘Gala’ e ‘Fuji’, e a média da umidade relativa do ar (UR%) entre a polinização à última coleta; no ciclo de 2011/12 e 2013/14 em Caçador, SC, BR e ciclo 2013 em Wooster, OH, EUA. HAP: horas após polinização. 145

Tabela 4.1 Duração total média (dias) dos estádios fenológicos de C-J (de acordo com Fleckinger (1953)) e duração média (dias) do florescimento (F à G) por estrutura de frutificação da cv. Gala. (C) pontas verdes, J (frutos com 10 mm), (F) início da floração, (G) final da floração. Caçador, SC, ciclos 2011/12 e 2013/14. 164

Tabela 4.2 Intervalo, em dias, entre o tratamento de quebra de dormência (DAQD) ao início da brotação (IB), início do florescimento (IF), pleno florescimento (PF), final do florescimento (FF) e frutos com 10mm, das diferentes estruturas de frutificação da cv. Gala. Caçador, SC, ciclos 2011/12 e 2013/14..... 169

Tabela 4.3 Intervalo, em dias, entre o tratamento de quebra de dormência (DAQD) do início da brotação (IB), início do florescimento (IF), pleno florescimento (PF), final do florescimento (FF) e frutos com 10mm, das diferentes estruturas de frutificação da cv. Fuji. Caçador, SC, ciclos 2011/12 e 2013/14..... 169

Tabela 4.4 Acúmulo térmico (Σ GDD) a partir do tratamento de quebra de dormência ao do início do florescimento (IF), pleno florescimento (PF), final do florescimento (FF), frutos com 10mm de diâmetro (F10), das diferentes estruturas de frutificação da cv. Gala. Caçador, SC, ciclos 2011/12 e 2013/14..... 170

Tabela 4.5 Acúmulo térmico (Σ GDD) a partir do tratamento de quebra de dormência ao início do florescimento (IF), pleno florescimento (PF), final do florescimento (FF), frutos com 10mm de diâmetro (F10), das diferentes estruturas de frutificação da cv. Fuji. Caçador, SC, ciclos 2011/12 e 2013/14..... 171

Tabela 4.6 Intervalo médio (dias) entre início e final do florescimento (IMF), nas diferentes estrutura de frutificação das cvs. Gala e Fuji. Caçador, SC, ciclos 2011/12 e 2013/14. 174

Tabela 4.7 Intervalo médio (dias) entre o final do florescimento à colheita (FF-CO) e início da brotação à colheita (IB-CO) das cultivares Gala e Fuji. Caçador, SC, ciclos 2011/12 e 2013/14.....	176
Tabela 4.8 Acúmulo térmico (Σ GDD) e duração total do ciclo, a partir do tratamento de quebra de dormência à colheita, das cultivares Gala e Fuji durante os ciclos de 2011/12 e 2013/14.	176
Tabela 4.9 Frutificação efetiva (número médio de frutos por inflorescência) de diferentes estruturas de frutificação das macieiras ‘Gala’ e ‘Fuji’, nos ciclos 2011/2012 e 2013/14 em Caçador, SC, Brasil.	180
Tabela 4.10 Distribuição dos frutos colhidos por planta (número de frutos e representatividade - %) e massa média dos frutos (g fruto^{-1}), em relação as diferentes estruturas de frutificação da macieira ‘Gala’, nos ciclos 2011/2012 e 2013/14 em Caçador, SC, Brasil.	184
Tabela 4.11 Distribuição dos frutos colhidos por planta (número de frutos e representatividade - %) e massa média dos frutos (g fruto^{-1}), em relação as diferentes estruturas de frutificação da macieira ‘Fuji’, nos ciclos 2011/2012 e 2013/14 em Caçador, SC, Brasil.	185
Tabela 4.12 Tamanho médio dos frutos (diâmetro e comprimento) (mm) de diferentes estruturas de frutificação da macieira ‘Gala’ e ‘Fuji’, nos ciclos 2011/2012 e 2013/14 em Caçador, SC, Brasil.	187
Tabela 4.13 Número médio de sementes por fruto de diferentes estruturas de frutificação da	

macieira ‘Gala’ e ‘Fuji’, nos ciclos 2011/2012 e
2013/14 em Caçador, SC, Brasil. 189

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

(C) = Pontas verdes

(C3-D) = 1,3 cm ponta verde

(D2) = 1,3cm verde com folhas

(E) = Botão verde

(E2) = Botão rosado

(F) = Início da floração

(F2) = Plena floração

(G) = Final da floração

(H) = Queda de pétalas

(I) = Frutificação efetiva

(J) = Frutos com 10 mm

ANOVA = Análise de variância

B = Brácteas

Br = Bracteólas

BR = Brasil

C/D = Relação comprimento/diâmetro

CIRAM = Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia

CO = Colheita

CV = Coeficiente de variação

cv. = Cultivar

cvs. = Cultivares

DAPF = Dias após o pleno florescimento

DAQP = Dias após o tratamento de quebra de dormência

dlfm = Meristema lateral floral distal

EPAGRI = Empresa Brasileira Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina

EUA = Estados Unidos da América

F(A) = Valor estatístico de F para o fator ano

F(AxE) = Valor estatístico de F para a interação entre ano e estrutura

F(E) = Valor estatístico de F para o fator estrutura

F10 = Frutos com 10mm

FAA = *Formalin : acetic acid : alcohol*

FF = Final do florescimento

g = Gramas

GDD = *Growing degree days* (graus dias)

HAA = Horas após a antese

IB = Início da brotação
IF = Início do florescimento
IM = Meristema da inflorescência
IMF = Intervalo médio entre início e final do florescimento
KF = Flor rainha
LF = Flor lateral
LFM = Meristema floral lateral
LP = Primórdios foliares
IPi (1-3) = Pistilo de flores laterais
MEV = Microscopia eletrônica de varredura
mg = Miligramas
mm = Milímetros
mm = Milímetros
OARDC = Ohio Agricultural Research and Developmental Center
OH = Estado de Ohio nos Estados Unidos
ORF = Órgãos reprodutores florais
OSU = Ohio State University
P = Pétalas
PF = Pleno florescimento
Pi (1-5) = Pistilos
PPE = Período de polinização efetiva
QD = Quebra de dormência
S(1-4) = Sépalas
SC = Estado de Santa Catarina no Brasil
SISAGRO II = Sistema de Agrometeorologia para Computador
St = Estames
tb = Bráctea terminal
TF = Flor terminal
TFM = Meristema floral terminal
UR = Umidade relativa do ar
 Σ = Somatório

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	35
OBJETIVOS	39
Geral.....	39
Específicos	39
Capítulo 1 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	43
1.1 A cultura da Macieira.....	43
1.1.1 Morfologia e biologia reprodutiva	43
1.1.2 Processo evolutivo da diferenciação de gemas florais	45
1.1.2.1 Ontogênese reprodutiva da macieira	47
1.1.2.1.1 Indução Floral	47
1.1.2.1.2 Iniciação Floral.....	48
1.1.2.1.3 Diferenciação Floral.....	51
1.1.2.2 Fatores envolvidos na indução floral.....	52
1.1.2.3 Comportamento das gemas da macieira sob condições de inverno ameno.....	55
1.1.3 Período de dormência.....	56
1.1.4 Período vegetativo.....	59
1.1.5 Polinização	63
1.1.6 Frutificação e Produção.....	68
Capítulo 2 – CARACTERIZAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO MORFOLÓGICO FLORAL DAS GEMAS DE MACIEIRA CULTIVARES GALA E FUJI, SOB DIFERENTES ESTRUTURAS DE FRUTIFICAÇÃO E CONDIÇÕES CLIMÁTICAS	73
RESUMO	73
2.1 Introdução	74
2.2 Material e Métodos.....	76
2.2.1 Descrição do local e material vegetal.....	76
2.2.2 Avaliações	77
2.2.2.1 Análise em microscópio eletrônico de varredura (MEV).....	77
2.2.2.2 Caracterização climática.....	77
2.2.2.3 Análises descritiva.....	78
2.3 Resultados e Discussão	78
2.3.1 Classificação morfológica dos estádios de desenvolvimento.....	78
2.3.2 Época de ocorrência da iniciação e diferenciação floral das gemas	93

2.4 Conclusões	104
Capítulo 3 – CARACTERIZAÇÃO DA BIOLOGIA E MORFOLOGIA DOS ÓRGÃOS REPRODUTORES FLORAIS DA MACIEIRA CULTIVARES GALA E FUJI, SOB DIFERENTES ESTRUTURAS DE FRUTIFICAÇÃO E CONDIÇÕES CLIMÁTICAS.....	107
RESUMO.....	107
3.1 Introdução	108
3.2 Material e Métodos	111
3.2.1 Descrição do local e material vegetal.....	111
3.2.2 Variáveis avaliadas	113
3.2.2.1 Comprimento e massa fresca do pistilo e diâmetro do ovário.....	113
3.2.2.2 Número de anteras por flor e grãos de pólen por antera ou flor	114
3.2.2.3 Germinação <i>in vitro</i> dos grãos de pólen.....	115
3.2.2.4 Cinética dos tubos polínicos no pistilo.....	115
3.2.2.5 Receptividade do estigma	118
3.2.3 Monitoramento Climático	119
3.2.4 Análise Estatística.....	119
3.3 Resultados e Discussão	120
3.3.1 Órgãos florais reprodutivos femininos.....	121
3.3.1 Órgãos florais reprodutivos masculinos.....	126
3.3.2 Receptividade do estigma e cinética do tubo polínico	136
3.3.2.1 Receptividade do estigma	136
3.3.2.2 Cinética do tubo polínico	144
3.4 Conclusões	149
Capítulo 4 – CARACTERIZAÇÃO DA FENOLOGIA, PRODUÇÃO E QUALIDADE DE FRUTOS DAS CULTIVARES DE MACIEIRA GALA E FUJI SOB DIFERENTES ESTRUTURAS FRUTÍFERAS.....	153
RESUMO.....	153
4.1 Introdução	154
4.2 Material e Métodos	156
4.2.1 Descrição do local e material vegetal.....	156
4.2.2 Avaliação Fenológica.....	158
4.2.3 Avaliação da Produtividade	159
4.2.4 Monitoramento Climático	159
4.2.5 Análise Estatística.....	160
4.3 Resultados e Discussão	160
4.3.1 Desenvolvimento fenológico (C-J) das estruturas de frutificação	161

4.3.2 Desenvolvimento fenológico das plantas em relação as estruturas de frutificação	166
4.3.3 Comportamento produtivo das estruturas.....	179
4.4 Conclusões	191
5. considerações finais.....	193
6. REFERÊNCIAS	197
APÊNDICE A	233
APÊNDICE B	235
APÊNDICE C	237
APÊNDICE D	239

INTRODUÇÃO

Entre as espécies frutíferas de clima temperado de importância econômica no Brasil sensíveis a altas temperaturas, está a macieira (*Malus domestica* Borkh.). Pertencente a família Rosaceae e subfamília Pomoideae, a macieira agrupa 100 gêneros e mais de 2000 espécies (JACKSON, 2003; IUCHI, 2006). Possui uma ampla variabilidade genética, o que permite o seu cultivo em escala comercial mesmo em condições de clima temperado quente ou subtropical, sendo que o seu cultivo é geralmente limitado entre as latitudes 25° à 52°. Porém, seu cultivo pode ser facilitado fora desta faixa se as condições forem favoravelmente quentes durante o verão em altas latitudes por estarem próximas as massas de água ou se as temperaturas de invernos forem baixas em regiões de baixa latitude (PALMER et al., 2003). A produção comercial da fruta é dominada por seis cultivares que correspondem por 50% da produção mundial, mesmo existindo mais de 7500 cultivares disponíveis no mundo (WAY et al., 1990). No Brasil, as principais cultivares produzidas são limitadas a Gala e Fuji (PETRI et al., 1996), cujos plantios estão localizados e restritos a regiões de maior frio invernal.

Seu principal centro de origem está compreendido na região entre o Cáucaso, cadeia de montanhas da Ásia, entre os mares Negro e Cáspio, e o leste da China (BLEICHER, 2006). O desenvolvimento da macieira na referida região foi determinado pela aquisição de mecanismos adaptativos, como a dormência das gemas, que permitiram sua sobrevivência às baixas temperaturas ocorrentes durante o período de outono e inverno, e a sua capacidade de reassumir o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo quando as condições ambientais deixassem de ser limitantes. Um dos fatores que determinam a adaptação nos locais de cultivo é a necessidade de frio. Embora em certas áreas esta necessidade seja atendida, as condições climáticas nas regiões produtoras de maçã no Brasil são muito variáveis. De modo geral, os invernos caracterizam-se por apresentar temperaturas amenas e, muitas vezes, com grandes oscilações, típicas de inverno subtropical.

A cultura da macieira apresenta grande importância econômica no cenário mundial visto o grande volume de frutos produzidos e comercializados. A maçã insere-se como a quinta fruta mais produzida no mundo, cuja produção em 2012 foi estimada em 76,38 milhões de toneladas, sendo superada apenas pela melancia, banana, uva e laranja (FAOSTAT, 2014). O grande consumo de maçãs está relacionado à

excelente qualidade gustativa e visual dos frutos, e a alta capacidade de conservação dos frutos em câmaras de armazenamento com atmosfera controlada, que permite estender o período de oferta da fruta para o ano todo.

No Brasil, a cultura da macieira é explorada principalmente na região Sul do país devido as condições climáticas serem adequadas para o seu cultivo, sendo cultivada em cerca de 36,3 mil hectares. No ciclo de 2013/14 a produção nacional alcançou 1,37 milhões de toneladas (FAOSTAT, 2014). No ciclo de 2011/12, Santa Catarina representava 49,2 % da produção nacional, com 659.756 toneladas, vindo a seguir 46,3 % do Rio Grande do Sul, 3,8 % do Paraná, 0,3% em São Paulo e 0,3% da Bahia e Minas Gerais (IBGE, 2014). As principais cultivares produzidas no Brasil são Gala e Fuji e seus clones (46 % e 45 %, respectivamente), que respondem por aproximadamente 90% da produção nacional de maçãs (PETRI e LEITE, 2008). A produtividade média do Brasil, desde 1961 à 2012, é de 18,7 toneladas por hectare (FAOSTAT, 2014). Os Estados Unidos são o segundo maior produtor mundial de maçãs, com 6,3% da produção mundial (4,1 milhões de toneladas em 2012), e uma produtividade média (1961-2012) de 22,7 toneladas por hectare. O Estado de Washington possui mais de 50% da produção nacional americana, sendo que o Estado de Ohio representa apenas 0,72% (30,2 mil toneladas em 2011) (USDA, 2013; FAOSTAT, 2014).

A irregularidade nas colheitas é um dos principais problemas da produção de frutas de clima temperado no mundo. No entanto, RODRIGO e HERRERO (2002) destacam que as causas que provocam variações na frutificação de um ano para outro nem sempre são claras, e que muitas vezes ocorrem frutificações irregulares mesmo em pomares implantados com material vegetal adequado e com condições climáticas favoráveis durante o período de floração.

Dentre os elementos climáticos, a temperatura é um dos fatores que mais influencia na floração e na frutificação. Invernos com temperaturas muito baixas podem causar danos às gemas por congelamento, enquanto que invernos moderados, que não satisfazem as necessidades de frio, causam prejuízos à floração, tais como anomalias na antese e floração escalonada (HEDHLY et al., 2003), prejudicando a produção. As temperaturas elevadas durante a pré-floração e floração condicionam a uma má qualidade das flores e, conseqüentemente, uma baixa frutificação (RODRIGO e HERRERO, 2002). Além disso, também podem encurtar o período de floração (BERNAD e SOCIAS,

1995) e reduzir o período efetivo de polinização (SANZOL e HERRERO, 2001).

No decorrer dos últimos 100 anos a temperatura média global aumentou aproximadamente 0,6°C, e a projeção é que continue aumentando rapidamente (ROOT et al., 2003). Os prognósticos sobre mudanças climáticas do IPCC (MCCARTHY et al., 2001) indicam um aumento das temperaturas em nível planetário. O efeito deste aumento já pode ser observado em vários processos biológicos, dentre eles as características fenológicas de plantas, como a alteração da época de floração (PARMESAN e YOHE, 2003; ROOT et al., 2003; GUÉDON e LEGAVE, 2008; ATAURI et al., 2010). Além disso, a exposição das plantas a altas temperaturas durante longos períodos pode causar danos irreversíveis a diferentes processos fisiológicos e de desenvolvimento (HALL, 1992).

Caso essas previsões se concretizem, haverá uma mudança climática nas regiões clássicas de cultivo de fruteiras de clima temperado. Em vista desse cenário, um entendimento mais profundo e específico dos processos fisiológicos e biológicos que regulam a produção de frutas sob uma condição climática com temperaturas mais elevadas, permitirá o desenvolvimento sustentável de fruteiras em diversas regiões do mundo. Sendo considerado como um significativo centro de produção de fruteiras de clima temperado, embora apresente condições climáticas subtropicais temperadas, o Brasil está investindo consideráveis esforços em adequar práticas culturais com o principal objetivo de aumentar a produtividade e qualidade de frutos. Desta forma, o Brasil poderia servir de laboratório natural *in vivo*, com interesse mundial, de como aplicar estratégias especiais para minimizar eventuais alterações na biologia floral das fruteiras temperadas sob possíveis alterações climáticas de elevada temperatura que estão previstas para os próximos anos.

Com o intuito de gerar conhecimento e informações capazes de possibilitar o desenvolvimento e a adequação de estratégias de manejo eficientes na diminuição dos distúrbios ocasionados pelas oscilações de temperaturas, como irregularidade de produção, durante o período de pré-floração e pós-floração, o conhecimento das etapas de diferenciação, biologia e morfologia floral, fenologia e produção da cultura da macieira é imprescindível para tal objetivo. Por essa razão, foram realizadas as principais avaliações que envolvem o processo do desenvolvimento floral e reprodutivo de duas cultivares de grande importância econômica, ‘Gala’ e ‘Fuji’, desde a caracterização da iniciação e

diferenciação morfológica de gemas, morfologia e comportamento do aparelho reprodutor da flor, até o comportamento fenológico e produtivo das plantas. Alguns dos estudos incluídos nesta tese trazem informações sobre o desenvolvimento floral observado em regiões tidas como ideais para o cultivo da macieira. Portanto, um paralelo foi traçado entre regiões do Estado de Ohio, localizado no meio-oeste norte dos Estados Unidos, e a região do meio oeste do Estado de Santa Catarina, Brasil, em Caçador.

Além disso, este trabalho procura entender os possíveis efeitos ambientais e climáticos e seus limites qualitativos e quantitativos na falta de aclimatação das plantas, que possam causar danos à produtividade de maçãs. De posse desta informação, será possível incorporar os conhecimentos observados às tecnologias de manejo empregadas na condução dos pomares comerciais instalados nas principais regiões produtoras de maçã do Brasil, de forma a amenizar possíveis anomalias nos órgãos reprodutivos provenientes das amplitudes térmicas durante os períodos hibernal de pré-floração e vegetativo de pós-floração. Estudos desse nível podem fornecer base de interpretação para estudos futuros de genética molecular, fisiologia e desenvolvimento, possibilitando o direcionamento de ações no melhoramento genético que sejam passíveis de atenuá-las ou mesmo eliminá-las.

Para tanto, as principais etapas envolvidas durante o ciclo produtivo da macieira, estão apresentadas nesta tese na forma de capítulos, para favorecer o entendimento e a sequência das atividades desenvolvidas.

O Capítulo 1 traz uma revisão da literatura sobre os principais processos vegetativos e reprodutivos envolvidos no cultivo da macieira. O Capítulo 2 enfoca na caracterização dos estádios morfológicos durante iniciação e diferenciação do meristema de gemas das diferentes estruturas de frutificação da macieira, caracterizando também a época de ocorrência de cada estádio em duas regiões distintas produtoras de maçã, região caracterizada por clima temperado no Meio-Oeste Norte dos Estados Unidos e região de clima ameno no Meio-Oeste do Sul do Brasil. O Capítulo 3 caracteriza a biologia floral e a morfologia dos órgãos reprodutores de flores da macieira nas diferentes estruturas reprodutivas da planta sob as condições climáticas do sul do Brasil e do norte dos Estados Unidos. E pra finalizar, o Capítulo 4 tenta compreender o efeito do fator ano e estrutura sobre a fenologia, produção e qualidade dos frutos da macieira, sob as condições climáticas do sul do Brasil.

OBJETIVOS

Geral

O objetivo geral deste trabalho foi estudar a biologia floral e reprodutiva das estruturas de frutificação da macieira *Malus domestica* Borkh, sob diferentes condições climáticas, visando gerar conhecimentos que permitam dar suporte a estudos genéticos, fisiológicos, e ao sistema de produção comercial dessa pomácea.

Específicos

a) Caracterizar os estádios morfológicos durante iniciação e diferenciação do meristema de gemas da macieira;

b) Caracterizar a época desses estádios nas diferentes estruturas reprodutivas da macieira;

c) Comparar o comportamento da época de iniciação e diferenciação em duas regiões distintas produtoras de maçã, região caracterizada por clima temperado nos Estados Unidos e região de clima ameno no Sul do Brasil;

d) Comparar duas regiões distintas produtoras de maçã em relação a biologia floral e reprodutiva da macieira;

e) Observar as diferenças morfológicas das flores, especialmente do gineceu, das diferentes estruturas de frutificação durante o florescimento;

f) Estudar a evolução da produção e qualidade de pólen das flores durante o período de florescimento;

g) Verificar a cinética dos tubos polínicos no pistilo e a receptividade do estigma em flores de diferentes estruturas de frutificação ao longo do período de florescimento;

h) Verificar e comparar o comportamento fenológico detalhado da macieira no Sul do Brasil nas principais estruturas de frutificação;

i) Verificar e comparar o comportamento dos principais eventos fenológicos (início da brotação, início do florescimento, plena floração, final do florescimento, frutos com 10mm de diâmetro e colheita) após o tratamento de indução de brotação e conforme o acúmulo térmico;

j) Determinar quais tipos de estruturas de frutificação são mais sensíveis ao ambiente em relação ao pegamento do fruto;

l) Determinar quais estruturas produzem frutos de maior qualidade;

CAPÍTULO 1

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

CAPÍTULO 1 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 A cultura da Macieira

1.1.1 Morfologia e biologia reprodutiva

A macieira é composta por gemas vegetativas (produzem somente folhas) e produtivas ou mistas (produzem folhas e flores), as quais estão inseridas em diferentes estruturas classificadas, resumidamente, em brindilas e esporões (Figura 1.1). As brindilas são ramos longos (10 – 50 cm), formadas do crescimento do ano anterior e apresentam uma gema na parte apical e gemas axilares situadas na inserção das folhas; esporões são ramos encurtados formados por gemas de dois ou mais anos (DENNIS, 2003; PETRI, 2006).

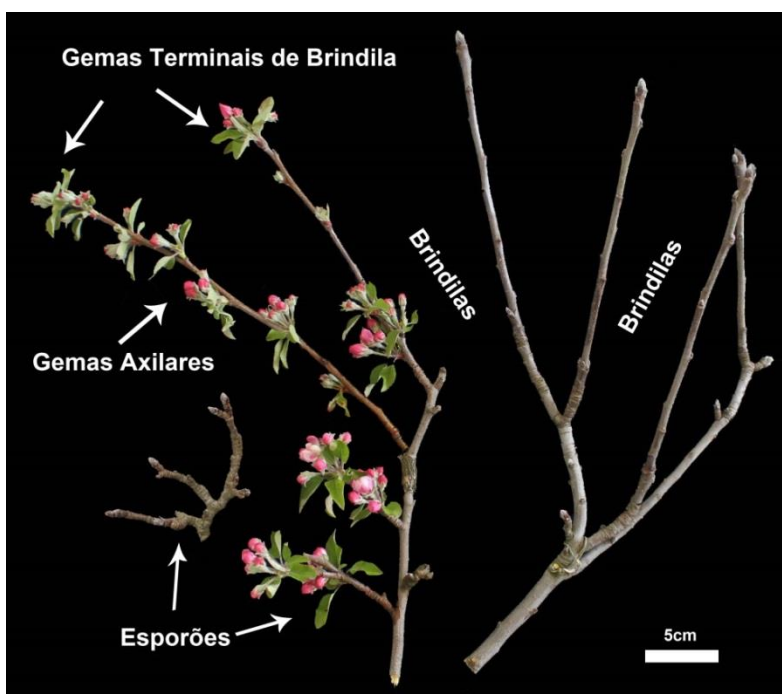


Figura 1.1 Estruturas de frutificação da macieira (Brindilas e Esporões).

A flor de macieira, de acordo com a descrição de Brown (1975), é periantada, completa, constituída por cálice com cinco sépalas, corola com cinco pétalas, aproximadamente vinte estames e pistilo dividido em cinco estilos ou estiletos. O ovário é ínfero e possui cinco carpelos, cada um contendo dois óvulos (Figura 1.2).

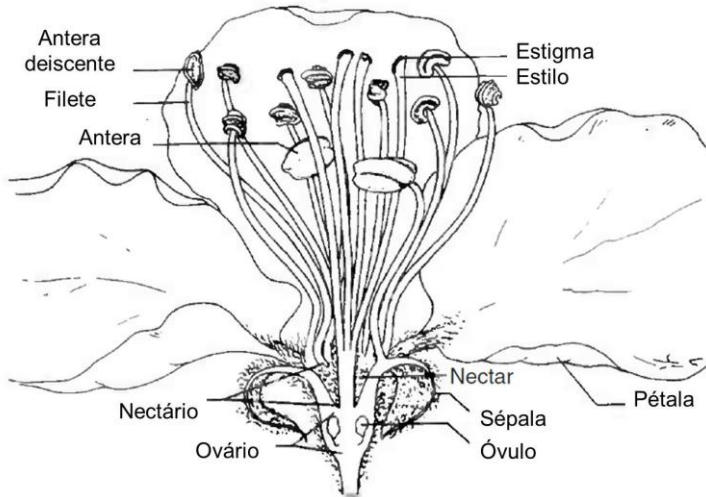


Figura 1.2 Desenho esquemático de uma flor de macieira (MCGREGOR, 1976)

Os pistilos são livres em sua parte superior e soldam-se na parte basal, e são sincárpicos, cada pistilo forma dois lóculos individualizados. A sincarpia é uma vantagem evolutiva, pois distribui os grãos de pólen de forma mais homogênea e aumenta a seleção gametofítica de incompatibilidade, bem como proporciona maior superfície de captura dos grãos de pólen (SHEFFIELD et al., 2005). Segundo o mesmo autor, é preciso que pelo menos um pistilo seja polinizado para se obter elevado grau de fertilização e frutificação, pois há uma perfeita sincarpia via *compitum* que permite que os tubos polínicos sejam uniformemente distribuídos nos óvulos, apesar da deposição desigual durante polinização.

As sépalas, o receptáculo e o pedicelo de flores, possuem grande habilidade fotossintética comparada às folhas (ASCHAN et al., 2005). Em macieiras, essa fotossíntese contribuiria com o balanço de carboidratos em 15 a 33% durante o período de floração (VEMMOS; GOLDWIN, 1994). Como neste período a quantidade de folhas é

pequena, pois a brotação nas gemas vegetativas é mais tardia que nas gemas floríferas, a capacidade das flores em realizar fotossíntese torna-se importante para o período inicial de crescimento.

A macieira é uma espécie diplóide e o conjunto básico de cromossomos é $n=17$. Entretanto, são encontradas variedades triplóides, tetraplóides e hexaplóides, que surgiram espontaneamente através de fertilização entre gametas não reduzidos (HUARACHA et al., 2004). O tipo de reprodução predominante é a alogamia, mesmo sendo considerada uma planta monóica, pois possui flores hermafroditas com gineceu e androceu viáveis.

As cultivares de macieira necessitam de polinização cruzada, pois esta espécie apresenta mecanismo de auto-incompatibilidade (SI), o qual é um sistema muito difundido para prevenir a auto-fertilização, que é controlada por um único loco denominado SA (WEIRTHEIM; SCHMIDT, 2005; PETRI, 2006; CHARLESWORTH, 2009), limitando a autofertilização de flores e diminuindo a frutificação. Esta incompatibilidade é geneticamente controlada, sendo do tipo gametofítica, ocorrendo sempre que o pólen e o estigma apresentam o mesmo alelo-S. Quando os alelos são idênticos, a velocidade de crescimento do tubo polínico é lenta, ou mesmo nula, retardando a sua penetração até o ovário (SANTOS et al., 2007). Assim, ao atingi-lo, dificilmente ocorrerá à fecundação, pois o óvulo em geral não está mais receptivo (FRANKEL et al., 1977). A polinização cruzada depende da co-existência de cultivares compatíveis, de insetos vetores para a transferência do pólen entre estas, durante o florescimento e das condições climáticas. Uma baixa eficiência de polinização contribui para uma baixa produtividade, que pode continuar ocorrendo nos anos subsequentes em pomares comerciais (GOLDWAY et al., 1999).

1.1.2 Processo evolutivo da diferenciação de gemas florais

O meristema apical caulinar é responsável pela formação dos diferentes órgãos e tecidos caulinares formados durante o ciclo de vida vegetal, apresentando especificidades estruturais e funcionais ao longo da ontogênese da planta (WANG; LI, 2008). Dessa forma, sabe-se que o meristema apical passa por três fases de desenvolvimento relativamente bem definidas e sucessivas: a fase juvenil, a fase adulta vegetativa, e a fase adulta reprodutiva (TAIZ; ZEIGER, 2004)

Dentro do processo produtivo, a indução floral é um componente de extrema importância na fruticultura, pois este é o primeiro passo para obtenção de produtividades altas e regulares.

Em plantas anuais o ciclo de vida é completado em um ano, sendo que o florescimento é total, não havendo a presença de meristemas vegetativos adicionais. Ao contrário, as plantas perenes são tipicamente policárpicas. Tal estratégia atribui plasticidade e ciclo longo a essas plantas (BANGERTH, 2006; TOOKE; BATTEY, 2010). Portanto, em plantas frutíferas, uma vez que a fase adulta é alcançada e a planta adquire competência reprodutiva, uma parte dos meristemas apicais formarão flores e produzirão frutos durante vários anos.

As mudanças ocorridas no meristema apical, quando da passagem do estado vegetativo para reprodutivo, foram morfológica e histologicamente reconhecidas em macieira (GRANDJEAN, 2004; KWIATKOWSKA, 2006). A caracterização da indução/iniciação floral em *Malus domestica* Borkh. foi descrita e vem sendo estudada por vários autores; seja através de sinais morfológicos ou estudos ontogênicos (FULFORD, 1966a; BENKO, 1967; BUBAN; FAUST, 1982; MCARTNEY et al., 2001; FOSTER et al., 2003; OUKABLI et al., 2003; DADPOUR et al., 2008); sinalização hormonal - síntese, concentração, transporte (FULFORD, 1966b; BUBAN; FAUST, 1982; MCLAUGHLIN; GREENE, 1991b; RAMÍREZ et al., 2004); influência indireta ambiental e exógena (BUBAN e FAUST, 1982; HIRST e FERREE, 1995; ZHU et al., 1997; KOUTINAS et al., 2006) e expressão gênica (WADA et al., 2002; KOTODA et al., 2010).

A biologia molecular tem descoberto um grande número de genes envolvidos no processo de florescimento de espécies anuais, principalmente em *Arabidopsis thaliana* (ARAKI, 2001; WADA et al., 2002; JACK, 2004; KOTODA; MASATO, 2005; MICHAELS, 2009), e, mais recentemente, em macieiras (YAO et al., 1999; KOTODA et al., 2000; SUNG et al., 2000; VAN DER LINDEN et al., 2002; KOTODA et al., 2010). Através da percepção ambiental ou sinais endógenos, esses genes serão ativados (ou reprimidos), e será dado o início do processo de desenvolvimento floral pelo aumento da expressão dos genes de identidade do meristema.

Dentre os genes recentemente isolados na macieira, considerados homólogos/ortólogos aos genes identificados no desenvolvimento floral em *Arabidopsis*, citam-se *Malus domestica* (Md) MADS1-MdMADS11, MdAPI, AFL, AFL1 e AFL2. O grupo de genes MdMADS parecem estar envolvidos no desenvolvimento de órgãos florais e na frutificação efetiva, porém não na indução floral (SUNG et

al., 2000). O MdMADS5 *gene*, considerado gene homólogo ao AP1 *gene* encontrado na *Arabidopsis*, mostra que o córtex e a casca do fruto da maçã tem provável origem da base de pétalas e sépalas, devido a alta expressão desse gene encontrado nesses tecidos (KOUTINAS; PEPELYANKOV, 2010).

1.1.2.1 Ontogênese reprodutiva da macieira

O desenvolvimento floral em macieira é um processo complexo, e muitas vezes a ambiguidade na caracterização da indução e/ou iniciação floral gera algumas incertezas na descrição dos estádios florais, bem como na distinção da época de ocorrência.

Cronologicamente, quatro principais processos ontogenéticos do desenvolvimento floral podem ser descritos: indução floral, iniciação floral (transformação histológica), diferenciação floral (morfológica) e antese (florescimento).

1.1.2.1.1 Indução Floral

A indução floral é considerada como o processo de transição do meristema vegetativo para a fase reprodutiva (HANKE et al., 2007). Durante este período, o meristema apical recebe sinais “florais” e os genes responsáveis pelo desenvolvimento floral são ativados; ou então, os genes de repressão são cessados (BUBAN; FAUST, 1982). KOTODA; MASATO (2005), usando técnicas de transgenia, demonstraram que, suprimindo a expressão do TFL1-like *gene* (MdTFL1), foi possível antecipar o florescimento e reduzir a fase juvenil de plantas lenhosas, como o caso da macieira. O MdTFL1 *gene* foi identificado como homólogo ao *Arabidopsis* TFL1 por manter a identidade do meristema da inflorescência. O MdTFL1 é expresso apenas em tecidos vegetativos da macieira, como gemas apicais de ramos e raízes de *seedlings*, e é fortemente expresso oito semanas após o pleno florescimento (duas semanas que antecede a iniciação floral), diminuindo gradualmente ao longo do tempo. Segundo a literatura (FULFORD, 1965; LUCKWILL; SILVA, 1979; PRANG et al., 1998), a identidade do meristema floral ocorre no período compreendido entre 40-60 DAPF, portanto, o MdTFL1 *gene* poderia estar possivelmente envolvido na regulação da indução floral (KOTODA et al., 2000; FOSTER et al., 2003). O AFL *gene* (Apple Floricaula Leafy – homólogo ao FLORICAULA/LEAFY *gene*) é expresso especificamente

no meristema apical no início da iniciação floral e diferenciação de sépalas, no entanto, quase ausente em pétalas e carpelos; o que leva a concluir seu relevante envolvimento durante a morfogênese floral, bem como nos estádios mais precoces do desenvolvimento da formação da gema, ou seja, na indução floral (WADA et al., 2002).

Segundo Petri (2006) e Koutinas et al. (2010), a época de indução pode variar em função da cultivar, do porta-enxerto, da localização das gemas nas plantas, do crescimento vegetativo, de fatores nutricionais e das condições climáticas. O manejo da planta, como por exemplo, severidade de poda e irrigação, também pode alterar a época de diferenciação das gemas. A maior parte da indução floral ocorre no início do verão, mas pode estender-se até o início de outono sobre determinadas condições como em regiões subtropicais (DENNIS, 2003).

1.1.2.1.2 Iniciação Floral

Iniciação floral é uma fase na qual acontecem uma série de mudanças histológicas e intensa atividade mitótica.

O primeiro sinal visível de transição floral (fase vegetativa para reprodutiva) observado em macieira é um arredondamento do meristema apical. Mais recentemente, através de análise quantitativa do diâmetro do meristema apical, Foster et al. (2003) observaram uma expansão do ápice, aos 50 DAPF, seguido então, da aparência convexa do domo apical; expansão a qual já foi citada por Pratt et al. (1959). Dadpour et al. (2011) confirmaram a existência de modificação histológica através da formação de um sulco na base no primórdio foliar durante a iniciação da bráctea, junto à esta expansão do meristema apical.

As gemas são formadas nas axilas das folhas abaixo do primórdio floral formado na estação anterior, no início da brotação (primavera) (Figura 1.3A e D). Em seguida, uma sequência ordenada de primórdios foliares é diferenciada pelo meristema apical da gema; seis a sete apêndices foliares encontram-se presentes quando a planta floresce (MCLAUGHLIN; GREENE, 1991a). Segundo Abbott (1970) e Luckwill e Silva (1979) há um número crítico de apêndices foliares como pré-requisito para que ocorra essa transição. É necessário um total de 16-22 apêndices foliares (nós) formados, dependendo da cultivar, antes que a iniciação floral ocorra (MCLAUGHLIN; GREENE, 1991a; HIRST; FERREE, 1995; HUANG, 1996; MCARTNEY et al., 2001). Em geral, em torno de nove escamas e três primórdios de folhas de transição, seis folhas verdadeiras e três brácteas, respectivamente (Figura 1.3B e C). O uso de diferentes porta-enxertos não afeta o

número de apêndices formados antes que ocorra a indução floral, e nem o intervalo em que eles ocorrem (plastocrono - intervalo de tempo entre o aparecimento de nós sucessivos em uma haste) (HIRST; FERREE, 1995). Segundo os mesmos autores citados acima, além do número determinado de apêndices para que a indução floral ocorra, o plastocrono deve ser acelerado para garantir que este número de apêndices seja alcançado antes do final da primavera, o que coincide com o cessamento do crescimento vegetativo (FAUST, 1989). Neste caso fica claro, que este requisito é mais importante em regiões de altas latitudes, onde a estação de crescimento é muito mais curta se comparada com as condições do Brasil, por exemplo. Segundo Hirst e Ferree (1995), quanto mais cedo ocorrer a terminação do crescimento terminal, maior será o grau de flores formadas, ou seja, quanto mais longa a estação de crescimento menor será o número de gemas florais formadas.

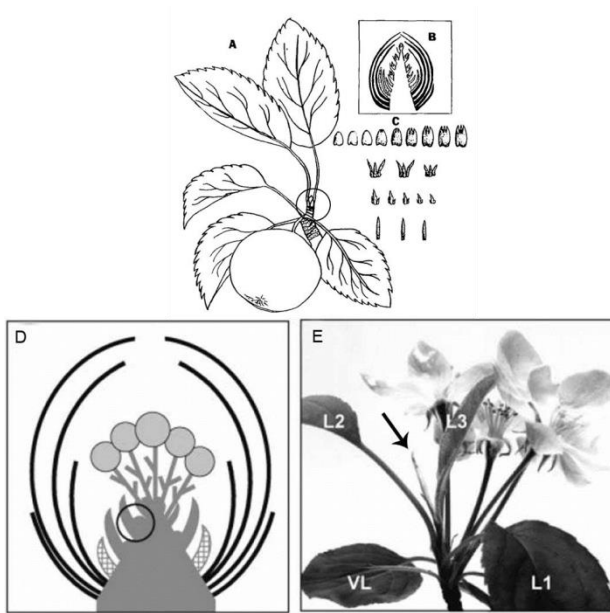


Figura 1.3 Gemas de esporão de macieira. A – Diagrama esquemático de um esporão de macieira com a presença de uma gema reprodutiva já diferenciada para próxima estação com B – Secção transversal de uma gema reprodutiva. Apêndices foliares de fora para dentro: escamas, folhas de transição, folhas verdadeiras e brácteas. C – Tipos específicos de apêndices (escamas, folhas de transição, folhas verdadeiras e brácteas). D – Diagrama esquemático da secção transversal de uma gema reprodutiva durante a dormência, com destaque à gema na axila de um primórdio foliar (círculo). E = Imagem macroscópica de uma inflorescência após a dormência. Flores e folhas expandidas (VL) formadas na estação anterior, novas folhas (L1-L3) (indicado pela seta) formadas pela gema axilar (círculo), a qual será diferenciada em vegetativa ou reprodutiva para a próxima estação (MCLAUGHLIN; GREENE, 1991a; FOSTER et al., 2003).

Segundo Hirst e Ferree (1995) o arredondamento do domo apical ocorre entre 85 a 109 dias após a plena floração (DAPF); o uso de diferentes porta-enxertos e os anos avaliados não diferiram no início da iniciação e sim na proporção de gemas florais. Hoover et al. (2004) conduziram experimento similar, porém observando o efeito de

diferentes cultivares no progresso da organogênese em gemas de macieira, e observaram que o aumento do domo apical ocorre entre 60 a 112 DAPF, dependendo da cultivar. Da mesma forma, Dadpour et al. (2011) confirmam uma visível modificação celular e morfológica iniciando aos 90 e se estendendo até 120 DAPF na cv. Golden Delicious. Enquanto McCartney et al. (2001), encontraram gemas iniciando o desenvolvimento entre 72-99 DAPF na cv. Royal Gala, dependendo do ano.

1.1.2.1.3 Diferenciação Floral

A diferenciação floral é caracterizada por mudanças morfológicas, ou especialização celular, nas gemas da macieira. Seu início é marcado pelo o aparecimento do primeiro primórdio floral (HIRST; FERREE, 1995, 1996).

Foster et al. (2003) classificaram oito distintos estádios morfológicos do desenvolvimento floral no meristema apical antes da entrada da dormência: estágio 0 – vegetativo, o meristema é reduzido e achatado; estágio 1 – o meristema vegetativo se expande; estágio 2 – arredondamento do ápice meristemático; estágio 3 – o domo apical inicia de quatro a seis meristemas florais laterais, sendo cada um subtendido por uma bráctea; estágio 4 – o meristema apical converte-se em meristema floral terminal; estágio 5 – início das sépalas no meristema floral terminal e início de duas brácteas nas laterais; estágio 6 – início das sépalas no meristema floral lateral basal; e finalmente estágio 7 – todos os meristemas florais laterais já iniciaram o desenvolvimento das sépalas. Segundo o mesmo autor, o início do estágio 2 e 3, teve seu pico entre 96 a 109 DAPF; sendo que, aos 100-141 DAPF foi observada a diferenciação do meristema floral terminal. Aos 189 DAPF aproximadamente 95% das gemas apresentavam a inflorescência formada (estádio 7) (sem considerar a formação dos órgãos internos florais).

Um estudo com a cv. Royal Gala mostrou que a completa formação da gema floral pode ser observado entre 108-149 DAPF, dependendo do ano (MCARTNEY et al., 2001). Aos 90 DAPF, Hoover et al. (2004) constataram o início do desenvolvimento das sépalas nos meristemas florais laterais, sendo a observação estabilizada em torno dos 150 DAPF. Nas condições brasileiras, observou-se que a formação das flores na cv. Gala completou-se ao redor dos 90 DAPF, enquanto

que, na cv. Fuji a inflorescência não se apresentava totalmente completa nesta mesma época (PETRI et al., 2012).

1.1.2.2 Fatores envolvidos na indução floral

A alternância de produção ou produções irregulares torna-se mais uma regra do que exceção na fruticultura de clima temperado. Além das considerações puramente genéticas relacionadas a indução, muitos outros fatores correlativos ao mesmo, foram observados ao decorrer do tempo. Fatores ambientais (temperatura, radiação solar, disponibilidade hídrica), estresses abióticos ocorridos antes e durante a fase de diferenciação das gemas, como também algumas práticas culturais (tipo e época de poda, raleio, sistemas de condução, fertilização, irrigação, tratamentos químicos) tem sido identificados como moduladores na regulação da indução floral e importantes causas capazes de modificar as fases da diferenciação floral (XILOYANNIS et al., 1999; NERI et al., 2010). Uma significativa parte da função dos hormônios relacionados a indução floral é estimulada por tais fatores, sendo estes considerados, prováveis responsáveis pela irregularidade de produções em macieira (BANGERTH, 2006; BANGERTH, 2009). De forma geral, pode-se considerar que os hormônios funcionam como um importante regulador intrínseco, responsivos às condições externas, na coordenação da expressão dos genes responsáveis pelo processo de diferenciação dos meristemas.

Em macieira, a formação de flores coincide temporalmente com a formação dos brotos e frutos. Vários estudos mostram que a presença de frutos na planta tem efeito inibitório na indução floral (FULFORD, 1966b; PRANG et al., 1998), devido a fatores hormonais, e não, nutricionais do fruto (BANGERTH, 2006). Este fato explica o fenômeno natural da alternância de floração/produção.

As sementes presentes nos frutos jovens contêm uma quantidade relativamente grande de hormônios, e segundo autores, tais hormônios são transportados aos meristemas das gemas, causando o efeito inibitório da indução floral de forma quantitativa (SRINIVASAN; MULLINS, 1981; NEILSEN; DENNIS, 2000). Dentre os hormônios, as auxinas, as giberelinas e as citocininas demonstram ser responsáveis pelo controle hormonal entre indução/inibição. As auxinas e as giberelinas podem influenciar, tanto isoladamente como combinadas, na inibição floral em frutíferas, enquanto que, a citocinina é considerada como o hormônio que favorece a indução (BANGERTH, 2006).

Aplicações exógenas de diferentes giberelinas aplicadas em diferentes épocas a partir da plena floração e em diferentes concentrações demonstram claramente o efeito das mesmas neste processo (MARINO; GREENE, 1981; MCLAUGHLIN; GREENE, 1991b; CALLEJAS; BANGERTH, 1998; PRANG et al., 1998; PETRI et al., 2011). A ação conjunta entre giberelinas e auxinas foi indicada como uma trajetória alternativa sinalizadora, na qual as giberelinas, presentes em sementes e folhas jovens, são mensageiros primários no estímulo da síntese e no transporte basipolar de auxinas destes tecidos para o meristema a ser induzido, ou seja, a giberelina potencializa a ação da auxina. Sendo assim, a auxina tem o papel de mensageiro secundário, representando o verdadeiro transportador do sinal da inibição floral (KURASHI; MUIR, 1962; BANGERTH, 2006).

Vários trabalhos propuseram que a indução floral ocorreria justamente quando o crescimento dos ramos vegetativos cessasse (WILLIAMS; RENNISON, 1963; ABBOTT, 1970), para as condições de clima temperado. Uma relação negativa entre o crescimento vegetativo e formação da flor está claramente comprovada; no entanto, é mais provável que fatores que induzam a parada do crescimento de ramos e brotos mais precocemente, favoreçam um aumento na formação de gemas florais (FORSHEY, 1989; FORSHEY; ELFVING, 1989; HIRST; FERREE, 1995).

Segundo Forshey e Elfving (1989), gemas terminais e axilares de brindilas só irão se diferenciar em flores quando o crescimento da brindila é paralizado, e deste modo, gemas de esporões diferenciarão antes de gemas de brindilas. Por isso, tratamentos que estimulam o crescimento de plantas, pode reduzir o número de flores em brindilas. Dencker e Hansen (1994) observaram um atraso de 40 dias na iniciação floral de gemas axilares da cv. Elshof comparada a gemas de esporões.

Desde então, existem várias práticas culturais que vem sendo utilizadas com objetivo de aumentar, diretamente ou indiretamente, o número de estruturas de frutificação. A realização dessas práticas coincide com a época que a indução floral ocorre. O raleio de frutos é realizado por duas razões básicas: aumento do calibre e da qualidade do fruto e redução dos riscos com a alternância de produção (CAMILO; PEREIRA, 2002). O arqueamento e o anelamento dos ramos são realizados com o objetivo de reduzir crescimento e estimular o desenvolvimento de gemas floríferas; através da mudança no transporte e distribuição de hormônios e fotoassimilados, principalmente, na redução do transporte polar de auxina (SANYAL; BANGERTH, 1998).

As aplicações de reguladores de crescimento são efetivas como retardantes de crescimento devido sua ação como fonte inibidora da síntese das giberelinas e como redutores no transporte de auxinas; como exemplo pode-se citar, o uso de prohexadione de cálcio que atua inibindo a biossíntese da giberelina entre AG20 e AG1 (RADEMACHER et al., 2006; ADIL et al., 2011; HAWERROTH et al., 2012); de ethephon (etileno) e outros bloqueadores do transporte de auxina (SANYAL; BANGERTH, 1998; BUBAN, 2003).

Dentre os hormônios que foram encontrados influenciando o processo floral, tanto em plantas perenes e/ou anuais, a citocinina é o hormônio que está diretamente ligada ao estímulo da indução floral pelo estímulo da atividade meristemática (divisão celular). Aplicações exógenas de citocininas, como também, análises de concentrações endógenas durante indução do meristema, demonstram seu forte envolvimento na indução floral em plantas anuais (SRINIVASAN; MULLINS, 1981; BERNIER, 2003). Além das reações intrínsecas, o aumento do conteúdo das citocininas nos tecidos vegetais meristemáticos pode ser observado como resposta a práticas culturais realizadas em plantas perenes, como por exemplo, poda de raízes, anelamento, arqueamento dos ramos ou aplicações de alguns biorreguladores. Originalmente, se conhece que as citocininas são principalmente produzidas nas raízes e sementes (SKENE, 1968) e transportadas através do xilema para parte aérea. Porém, a origem da citocinina presente nos meristemas ainda necessita ser melhor estudada. Segundo Bangerth (2005, 2006), folhas maduras e raízes são tidas como as fontes mais prováveis de citocininas presentes na indução floral, porém não se descarta a hipótese da síntese deste hormônio pelo próprio meristema. Um exemplo da possível síntese de citocininas nas raízes, que são transportadas aos meristemas, é demonstrado pela prática de anelamento do tronco, a qual é realizada com o intuito de aumentar a formação de estruturas reprodutivas em diversas culturas perenes (YAMANISHI et al., 1995; GOREN et al., 2004; MARAFON et al., 2008). Alguns autores tentam explicar o fato pelo acúmulo de carboidratos na planta (LI et al., 2003; GOREN et al., 2004), no entanto, após a realização desta técnica há uma interrupção do transporte de auxina da parte aérea (BANGERTH et al., 2000) e presumidamente um rápido aumento no transporte de citocinina pelo xilema. Theron (2009) encontrou um acúmulo de citocinina em meristemas de esporões de macieira 24h após anelamento.

Levando em consideração os hormônios citados acima, a biologia molecular comprovou que existe uma interação entre auxinas e

citocininas; altas concentrações de auxina em plantas transgênicas inibem a presença de citocinina de um órgão em particular (MUDAY; DELONG, 2001). Comprova-se também que existe uma concentração ótima de citocinina no momento da indução floral; e que, uma baixa atividade meristemática durante essa operação pode ser possivelmente explicada por sinais inibitórios da auxina que levam a certa “dormência” (BANGERTH, 2006).

1.1.2.3 Comportamento das gemas da macieira sob condições de inverno ameno

No Brasil, nas principais regiões produtoras, a macieira e a pereira apresentam longo período de desenvolvimento vegetativo em relação ao observado em regiões de clima temperado. Isso, associado ao elevado regime pluviométrico e altas temperaturas durante o ciclo, resultam em desenvolvimento vegetativo excessivo, sobretudo em anos de baixa frutificação (HAWERROTH; PETRI, 2011). Sendo que, o crescimento vigoroso das brotações pode influenciar negativamente a produtividade, a qualidade da fruta e o controle de pragas e doenças (FORSHEY et al., 1992).

Segundo Petri et al. (2006), regiões com baixo acúmulo de frio estimulam o crescimento terminal de frutíferas de clima temperado, inibindo a brotação das gemas axilares. A falta de brotação das gemas axilares antecipa a brotação de gemas terminais no ciclo vegetativo seguinte, estabelecendo forte dominância apical, além de limitar a brotação das gemas axilares, comprometer a formação de novos órgãos reprodutivos e aumentar demasiadamente o desenvolvimento vegetativo.

Zhu et al. (1997), testando diferentes combinações de temperaturas em macieira após a plena floração, observaram que o aumento de temperatura durante a estação de crescimento atrasou a iniciação floral em gemas terminais e axilares de brindilas, provavelmente devido ao intenso crescimento vegetativo observado; não afetando a iniciação em gemas de esporões. Em plantas submetidas a temperaturas contínuas de 13 °C, o aparecimento do domo apical deu-se mais tardiamente, independente do tipo de estrutura observada (axilar, terminal ou esporão), comparado a tratamentos com temperaturas mais elevadas. Os mesmos autores observaram que mudanças severas em temperatura durante primavera/verão reduzem drasticamente a produção de flores nas plantas; e que a qualidade da flor, baseado no número de

flores bem desenvolvidas por inflorescência, tende a diminuir com aumento da temperatura.

Nessas condições de invernos amenos, a brotação deficiente pode ser também associada a necrose de gemas florais em algumas espécies frutíferas. George e Erez (2000) abordam que várias espécies prunóideas apresentam morte ou abscisão das gemas florais que não brotam durante a primavera. Bonhomme (1998) citado por Hawerorth (2009), verificou a morte de primórdios florais de pessegueiro quando mantidos em condições de privação de baixas temperaturas no inverno. Legave et al. (1982) observaram que a não satisfação do requerimento em frio induziu a queda de gemas de damasqueiro (*Prunus armeniaca* L.). Para Armas-Reyes et al. (2006), os altos índices de queda de gemas florais observados em damasqueiros podem ser associados a ocorrência de períodos com temperaturas elevadas ou flutuações térmicas durante o inverno, momento em que ocorre a diferenciação das anteras. Os resultados demonstrados por Bonhomme et al. (2005) mostraram que a privação de frio no inverno em plantas de pessegueiro altera a dinâmica de carboidratos através do bloqueio do carboidrato importado aos primórdios florais ou vegetativos, sendo os mesmos acumulados nas escamas e tecidos adjacentes à gema. Diante dos resultados obtidos, estes autores afirmaram que a necrose de primórdios florais não parece ser diretamente relacionada a exaustão das reservas, mas sim devido a incapacidade dos primórdios utilizarem as reservas disponíveis.

Um estudo morfológico com caracterização histológica das gemas em locais de baixo acúmulo de frio e altas temperaturas durante outono com elevada amplitude térmica durante o inverno, foi realizada em Marrocos, onde Oukabli et al. (2003) observaram o desenvolvimento anormal das flores, fato que eles atribuem as condições climáticas citadas durante a fase de diferenciação. A diferenciação floral em macieira ainda é um problema em regiões subtropicais, principalmente em regiões onde ocorrem grandes amplitudes térmicas. A escassez de estudos nestas regiões impossibilita confirmar cientificamente o envolvimento indireto das condições climáticas sobre o desenvolvimento floral, baseando-se apenas na formulação de hipóteses.

1.1.3 Período de dormência

As fruteiras de clima temperado caracterizam-se pela queda das folhas no final do ciclo e, conseqüente, entrada em dormência no inverno, com drástica redução de suas atividades metabólicas. Para que ocorram brotação e floração da macieira de forma satisfatória, faz-se

necessário que as plantas sejam expostas a baixas temperaturas durante o período de outono e inverno em quantidade suficiente para atender suas necessidades fisiológicas (PETRI et al., 1996; OLSEN, 2006; RUIZ et al., 2007). Por essa razão, inicialmente o cultivo da macieira foi delimitado as regiões de altas latitudes, caracterizadas pela alta ocorrência de frio durante o período hibernal. Porém, com a crescente demanda da fruta, foi observada a partir da década de 70, a rápida expansão da cultura da macieira em regiões não tradicionais no cultivo desta espécie, principalmente em regiões de clima temperado-quente, subtropicais e até mesmo regiões tropicais (JACKSON, 2000). Isso se deve ao fato da implantação de técnicas de manejo adequadas ao sistema, bem como, ao melhoramento de cultivares adaptadas a estas regiões.

Os processos fisiológicos envolvidos na entrada e saída da dormência podem estar relacionados a modificações na estrutura celular (LARCHER, 2000), alterações do metabolismo energético nas gemas (BONHOMME et al., 2000), fluxo de carboidratos, suprimento de nutrientes e translocação de reservas em curtas distâncias, regulação hormonal, bem como a relação de todos estes fatores, resultando numa dinâmica variada de resposta à ação do frio (EREZ, 2000).

Sob condições naturais, a entrada e saída da dormência de plantas perenes são influenciadas por fatores genéticos e ambientais, como cultivar, porta-enxerto, temperatura, luz, época de ocorrência do frio e precipitação pluvial. Além disso, os reguladores de crescimento (ácido abscísico, auxinas e citocininas) também interferem no processo de dormência (SAURE, 1985; OLSEN, 2006; PETRI et al., 2006).

Como o frio de outono e inverno influencia diretamente a capacidade de brotação das gemas, é fundamental que se conheça a quantidade de frio que cada cultivar necessita para a superação da dormência, de forma a garantir uma brotação uniforme, floração e produção de frutos em nível adequado. A 'Gala' é considerada uma cultivar de media exigência em frio (600 HF abaixo 7,2 °C), sendo que a 'Fuji' já é mais exigente, necessitando em torno de 700-800 HF (PETRI et al., 2006).

Para mensurar a quantidade de frio necessária para superar a dormência das gemas, vários modelos são utilizados (EREZ e LAVEE, 1971; RICHARDSON et al., 1974; ASHCROFT et al., 1977; SHALTOUT; UNRATH, 1983). No entanto, três são os modelos mais utilizados: horas de frio (HF), modelo Utah e modelo Carolina do Norte. O modelo horas de frio considera a soma diária das horas com

temperaturas iguais ou inferiores a 7,2 °C durante o período de maio a setembro. Os modelos Utah e Carolina do Norte foram modificados e adaptados às condições do Sul do Brasil por Ebert et al. (1986). Os modelos foram modificados de forma que altas temperaturas resultassem em acumulação negativa de frio somente até 96 horas após a última unidade positiva de frio ter sido registrada. Desta forma, as unidades de frio acumuladas foram consideradas constantes até que novas unidades de frio positivas ocorressem.

As frutíferas de clima temperado, quando submetidas às condições subtropicais, geralmente não acumulam unidades de frio suficiente para que os processos fisiológicos naturais da espécie ocorram normalmente. Segundo Carvalho e Zanette (2004) e Veríssimo et al. (2004), a taxa respiratória mantém-se elevada e consome-se grande parte das substâncias de reserva (amido) sem aumentar os sólidos solúveis nas gemas durante o inverno, induzindo menor quantidade de reserva para as gemas se desenvolverem e brotarem normalmente. Ou seja, a planta não entra em dormência profunda (endodormência) e continua seu desenvolvimento morfofisiológico intenso gerando maior desgaste fisiológico, visto que em seu processo evolutivo não sofreu seleção genética para se adequar às condições climáticas mais quentes. Geralmente essa deficiência leva a alterações nas características morfológicas da planta. Os sintomas comumente observados são brotação e floração deficientes, tardias, irregulares e prolongadas; baixa formação de estruturas frutíferas; gemas fracas e com escassas reservas de hidratos de carbono; flores de tamanho pequeno ou com má formação, de pedúnculo curto; alto percentual de gemas que permanecem dormentes; necrose ou abortamento e queda de gemas; bifurcação das gemas e primórdios florais em pereiras, frutos menores e com maturação irregular (CAMELATTO, 1990; GEMMA et al., 1990; COUVILLON, 1995; PETRI; LEITE, 2004; BONHOMME et al., 2005; LEITE et al., 2006; PETRI, 2006).

Nestas condições amenas de inverno, têm-se empregado práticas de manejo que permitam amenizar alguns dos problemas citados acima e alcançar um padrão adequado de brotação. Entre tais práticas destacam-se a incisão de gemas, anelamento de ramos e tronco, o arqueamento de ramos, a desfolha e o frio artificial em mudas, e a utilização de produtos químicos (PETRI et al., 2006). Entre os produtos químicos utilizados para a superação artificial da dormência destacam-se o óleo mineral, cianamida hidrogenada (H_2CN_2), dinitro-Ó-Cresol, cianamida cálcica (CaN_2) e thidiazuron (PETRI, 1997; COSTA et al., 2004; PETRI et al., 2006). Dentre as opções disponíveis no mercado, a

cianamida hidrogenada é a principal substância utilizada comercialmente na indução da brotação de várias espécies frutíferas (CHANG; LIN, 1989; WILLIAMSON et al., 2002; LOMBARD et al., 2006; HAWERROTH et al., 2009). O uso associado de cianamida hidrogenada com óleo mineral traz, além dos benefícios na indução da brotação, redução nos custos de aplicação. Segundo Erez et al. (1980), o efeito do óleo mineral deve-se a condição anaeróbica temporária nas gemas, resultantes da privação de oxigênio pela cobertura de óleo que leva à produção de etanol, que é responsável pela superação da dormência. O modo de ação da cianamida parece 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. Esta, resultaria 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; SHULMAN et al., 1986).

1.1.4 Período vegetativo

Ao sair do período de dormência as gemas vegetativas e reprodutivas da macieira evoluem, passando por fases externas diferentes, que são conhecidas como estádios fenológicos, sendo o crescimento diretamente influenciado pelas condições térmicas do ambiente. Por exemplo, o crescimento vegetativo em macieira e pereira é usualmente otimizado por temperaturas noturnas de 14 °C e temperaturas diurnas de 20 °C (WEBSTER, 2005). A mudança do estádio dormente da macieira para o estádio ativo de crescimento, ou seja, vegetativo, depende do aumento da temperatura do ar na primavera (ZHU et al., 1997). Entre a cadeia de efeitos que estão envolvidos nesse processo, a mobilização dos carboidratos armazenados e das reservas de proteínas darão suporte ao desenvolvimento das gemas e crescimentos das folhas, e geralmente tem início antes da brotação, antecedendo o início do crescimento autotrófico da planta (LOESCHER et al., 1990).

O conhecimento e o entendimento de cada estádio fenológico das plantas de macieira, ou de qualquer outra planta frutífera, podem auxiliar todas as pessoas envolvidas na cadeia produtiva do fruto, sejam eles produtores, pesquisadores, extensionistas, empresas fornecedoras de pesticidas e fungicidas ou até mesmo setores responsáveis pela regulamentação dos mesmos, na tomada das principais decisões e

adoções de técnicas agronômicas adequadas e necessárias durante o processo evolutivo das gemas e produtivo da macieira.

Portanto, o estudo da observação dos estádios fenológicos pode ser utilizado para os seguintes fins: produzir dados sobre biologia floral e comparar a capacidade de adaptação de diferentes cultivares em um mesmo ambiente, ou mesmo, auxiliar na seleção e inserção de cultivares em áreas que apresentam condições limitantes para o cultivo; verificar o desenvolvimento das gemas e a influência dos fatores ambientais, fazendo previsões futuras do início da brotação, florescimento e colheita; contribuir para aprimorar certas práticas de cultivo como raleio de frutos e polinização e interferir no momento oportuno no controle de pragas e doenças e na proteção das gemas contra danos de geadas. No caso do ataque de pragas e doenças, o custo de pulverizações ou outras formas de controle podem ser levadas ao mínimo, quando se conhece a época de emergência do inseto ou ocorrência da doença e quais são os estágios que se encontram mais vulneráveis.

A temperatura na qual as gemas florais são prejudicadas depende do estágio de desenvolvimento das mesmas, são mais resistente ao frio durante o inverno, quando se encontram em dormência profunda, e mais susceptíveis a danos na primavera, a partir do seu inchamento. Para indicar essa variação de dano para a região de Washington, Estados Unidos, pesquisadores do centro de pesquisa e extensão da Universidade Estadual de Washington nos Estados Unidos, durante os anos de 1964-1970 (BALLARD et al., 1981), estabeleceram duas faixas de temperaturas que podem severamente danificar 10% e 90% das gemas em cada estágio fenológico, com base na temperatura mínima (ou crítica) que a gema pode resistir sem danos por até 30 minutos de exposição (Figura 1.4).


Estádio Fenológico									
	B	C-C3	D2	E	Início E2	E2	F	F2	G-H
T ^{crítica}	-5	-5	-4	-2	-2	-1,5	-1,5	-1,5	-1
10% de dano	-9,5	-8	-5	-3	-2	-2	-2	-2	-2
90% de dano	-16,5	-12	-9,5	-6	-4,5	-4	-4	-4	-4

Figura 1.4 Temperaturas críticas de primavera durante o desenvolvimento fenológico de gemas florais de macieira observados na região de Washington, Estados Unidos. Traduzido e modificado de BALLARD et al. (1981)

As mudanças na escala fenológica de plantas frutíferas, principalmente durante brotação e florescimento, devido ao aumento da temperatura, tornou-se atualmente um fator de estudo com grande importância econômica devido aos impactos causados no processo de formação do fruto, e conseqüentemente, na produtividade final (CANNELL; SMITH, 1986; ATKINS; MORGAN, 1990; ATKINSON; TAYLOR, 1994). Um florescimento precoce anormal pode correr o risco de sofrer danos com geadas tardias. Geadas ocasionadas antes do florescimento podem causar alguns danos menores ou não visíveis às gemas, porém os danos são menores do quais seriam no período do florescimento (Figura 1.4). Durante o período de 40 anos, Chmielewski et al. (2004) estudaram o comportamento fenológico, através da data início de florescimento, e relacionaram o mesmo às temperaturas registradas. Deste período, eles puderam observar que anos com temperaturas acima do normal durante o final do inverno e começo da primavera são claramente relacionadas a anomalias negativas na data de florescimento. Um aumento de 1 °C na temperatura média entre os meses de fevereiro à abril (correspondentes a julho a final de setembro no Brasil) leva a uma antecipação da brotação e florescimento em torno de cinco dias. Fujisawa e Kobayashi (2010) encontraram relação similar em duas das seis regiões observadas no Japão, na qual um aumento de 1 °C na temperatura média de março (aproximadamente agosto-setembro no Brasil) resultaria na antecipação de 3,6 e 4,3 dias na brotação da macieira. Ambos os autores, Wielgolaski (1999) e Fujisawa e Kobayashi (2010), observaram alta correlação entre as temperaturas médias de Março (aproximadamente um mês antes da data média de brotação) com o início da brotação de plantas frutíferas. Vale ressaltar que esses estudos foram realizados em locais de alta latitude, e que geralmente apresentam suficiente acúmulo de frio durante o inverno sem a necessidade de aplicação de indutores de brotação, portanto estudos da fenologia em regiões marginais produtoras de macieira, de baixa latitude, caracterizadas pela baixa ocorrência de frio durante o período de outono e inverno, torna-se necessário para comprovar as tendências climáticas e fenológicas observadas em tais regiões.

É importante salientar que algumas cultivares e espécies de macieira florescem mais cedo do que outras, com grande variabilidade entre os anos (PETRI et al., 2008). O comportamento climático de cada ano é variável, sendo que o período de duração de cada estágio fenológico podem também variar consideravelmente em relação a média (PUTTI; PETRI, 2002). A resposta ao florescimento das plantas

frutíferas, sofre efeito indireto das temperaturas ao longo de todo o período (inverno e primavera); como por exemplo, espera-se que invernos amenos acumulem uma menor quantidade de frio e, conseqüentemente, atrasem a saída da endodormência. Embora primaveras mais quentes possam acelerar o florescimento, esse efeito torna-se menor nesse grupo de plantas, pois o mesmo é também dependente da acumulação de frio (TOOKE; BATTEY, 2010). Para Soltesz (1996) e Putti e Petri (2002), a data de brotação da macieira é determinada pela quantidade de frio acumulada durante o inverno. Sendo assim, quanto maior a exposição da planta ao frio menor será a necessidade de calor para a brotação (CITADIN et al., 1998; ALBURQUERQUE et al., 2008; HAWERROTH et al., 2013). Entretanto, a data de florescimento parece ser determinada pela data da brotação e pela temperatura ocorrida a partir desta (SOLTESZ, 1996).

A alta correlação observada entre a temperatura e a fenologia das plantas, demonstrada pelos autores citados anteriormente, não exclui a possibilidade de que outros fatores tenham influência sobre essa tendência fenológica observada nas últimas décadas. Por muito tempo, devido a busca por um aumento na produtividade, diferentes práticas de manejo foram sendo adaptadas e adotadas, como exemplo o uso de reguladores vegetais com os mais diversos objetivos, novos métodos de podas e arqueamentos, que também poderiam contribuir nas mudanças fenológicas observadas.

Quando o requerimento de determinadas frutíferas temperadas não é satisfeito, sobretudo quando cultivadas em regiões subtropicais, as plantas exibem elevada heterogeneidade na brotação e no florescimento, manifestada temporalmente e espacialmente (LEITE, 2005). No entanto, o maior ou menor tempo médio para brotação pode estar relacionado não somente às necessidades de frio da cultivar, mas também ao suprimento das exigências térmicas para a brotação.

O conceito de graus-dias, também conhecido como unidades térmicas, considera a existência de uma temperatura base, abaixo da qual a planta não se desenvolve e, se o fizer, é em escala muito reduzida (HUDSON; KEATLEY, 2010). Para todas as fases fenológicas, é necessário calcular a taxa de unidades de calor distintamente durante o período, pois o somatório de unidades de calor é um dos parâmetros básicos que especificam a duração do período de um estágio fenológico a outro (YAZDANPANA et al., 2010).

Para estimar o requerimento de calor para ocorrência da floração pode ser utilizada a seguinte equação (PETRI et al., 2012):

$$GD = \sum_{i=1}^n \left(\frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} - T_b \right)$$

em que: GD, é o total de graus-dia acumulado; T_{max} é a temperatura do ar máxima diária (°C); T_{min} é a temperatura do ar mínima diária (°C); T_b é a temperatura-base (°C), normalmente utilizada como 4,5 °C, de acordo com Richardson et al.(1975); n é o número de dias do período de florescimento.

Como foi visto anteriormente, os eventos fenológicos variam entre anos devido a variação dos elementos climáticos, principalmente a temperatura. No Brasil, diversos estudos vêm sendo realizados buscando avaliar a fenologia e adaptação de cultivares de macieira nas diferentes regiões e na seleção de cultivares polinizadoras (PETRI et al., 2008; PUTTI; PETRI, 2002; SOSTER; LATORRE, 2007; OLIVEIRA et al., 2010a; OLIVEIRA et al., 2010b).

1.1.5 Polinização

Para um desenvolvimento normal dos frutos, a polinização e a fertilização são necessárias para garantir o pegamento do fruto. O período de florescimento é um dos principais eventos durante o ciclo produtivo de espécies frutíferas, visto que neste momento será definida a frutificação. Neste período interagem fatores ambientais e fisiológicos que definirão as próximas etapas da frutificação, e conseqüentemente da produção. Na floração é o momento no qual a planta necessita utilizar as reservas acumuladas, sendo que, o crescimento vegetativo e o desenvolvimento reprodutivo (floração) competem entre si por carboidratos (fotoassimilados), podendo afetar a frutificação efetiva.

A polinização, a fertilização e a frutificação efetiva dependem de muitas condições, entre elas podemos citar como mais importantes: a intensidade de floração, quantidade e qualidade do pólen, combinação variedade produtora e polinizadora, eficiência dos insetos polinizadores e as condições climáticas na época da floração. Estes três eventos (polinização, fertilização e frutificação efetiva) estão intrinsecamente ligados. A percentagem de frutificação para uma produção aceitável varia de acordo com a intensidade de floração, mesmo embora a quantidade de flores fecundadas necessária para uma produção plena seja em torno de 0,5 a 10% (DENNIS, 1996). De acordo com NYÉKY; SOLTÉSZ (1998), quanto menor a intensidade de floração, maior é a necessidade de pegamento. Em condições adversas à polinização e

quando a intensidade da floração for pequena, pode ser necessário intervir com o uso de práticas culturais que melhorem o pegamento do fruto, como por exemplo o uso de ‘bouquets’ com flores compatíveis ou o uso de substâncias reguladoras de crescimento (PETRI, 2006).

Períodos de floração muito curtos podem apresentar menor produção que períodos de floração mais longos, se as condições climáticas não forem favoráveis à polinização (OLIVEIRA et al., 2011). Para Camilo e Pereira (2002), quando o período de floração é curto, a polinização e/ou fertilização são deficientes e, conseqüentemente, a frutificação efetiva; quando o período de floração é muito longo os frutos podem apresentar diferentes estádios de desenvolvimento, dificultando os tratamentos fitossanitários e a colheita.

O período de polinização efetiva (PPE) foi definido por Williams (1966) como o período durante no qual a flor é capaz de efetivamente produzir um fruto, desde que a polinização não seja limitada. O PPE pode estar restrito por limitações nos três principais eventos ao longo do processo reprodutivo, a receptividade estigmática, o crescimento do tubo polínico e a longevidade do óvulo. Este período é bastante variável e dependente das condições climáticas, principalmente temperatura, a fatores intrínsecos da flor, da espécie, cultivar, local e ano. Em vista dessas condições, na macieira, essa duração pode variar de 1 a 9 dias (SANZOL; HERRERO, 2001).

Diversos fatores podem afetar a polinização, conforme descritos por Faoro (1994), Nyéki (1996) e Petri (2006). Após os grãos de pólen tocarem o estigma, eles se hidratam e liberam enzimas hidrolíticas e aminoácidos por meio de suas paredes, e germinam. Esta fase é afetada pela temperatura e situa-se como ideal em torno de 15 °C. Já o tubo polínico se desenvolve melhor em temperaturas de até 25 °C (NYÉKI, 1996). Buban (1996) cita que quanto maior for a quantidade de tubos polínicos dentro de estigma, melhor será a fertilização. Tal fato reforça a importância de grande quantidade de grãos de pólen produzidos nas anteras das flores, tornando ainda mais vantajosa a visita das abelhas, pois as mesmas carregarão maiores quantidades de grãos.

A receptividade estigmática avalia a habilidade do estigma em favorecer a germinação do grão de pólen. A maioria das descrições sobre a biologia reprodutiva de frutíferas relata que o estigma está receptivo na antese (WILLIAMS, 1965; EGEA et al., 1991; GONZALEZ et al., 1995). No entanto, há casos onde a maturação do estigma pode não ocorrer com a abertura das flores, como acontece com a maioria das cultivares de pereira (HERRERO, 1983). Após a germinação do grão de pólen na superfície estigmática, o tubo polínico é

emitido e inicia seu crescimento através do estilete, transportando os gametas até a região do saco embrionário/óvulos. A cinética do tubo polínico é dependente da espécie, cultivar, origem do grão de pólen, estado nutritivo da flor e das condições ambientais. A temperatura parece ser o principal fator climático responsável pela velocidade do tubo polínico e a germinação do grão de pólen em frutíferas, como pereira (MELLENTHIN et al., 1972; VASILAKAKIS; PORLINGIS, 1985), em cerejeira doce (CEROVIC; RUZIC, 1992), abacateiro (SEDGLEY; ANNELLS, 1981), amendoeira (SOCIAS I COMPANY et al., 1976), mangueira (DAG, 2000) e macieira (WILLIAMS; MAIER, 1977; MARCUCCI et al., 1982; JEFFERIES; BRAIN, 1984; DANTAS et al., 2005; YODER et al., 2009), desde que as cultivares (ambas produtora e receptora do grão de pólen) sejam compatíveis entre si. Segundo Williams e Wilson (1970), sob uma temperatura média diária de 15°C, é preciso dois dias para que o tubo polínico alcance os óvulos, comparado com 4 dias sob 13°C e 8 dias sob temperatura média de 9°C. Yoder et al. (2009) observou que sob temperaturas diurnas e noturnas de 7/0 °C o crescimento do tubo polínico em cvs. Gala e Golden foi muito baixo ou quase nulo.

Embora tenha sido demonstrado que exista uma correlação entre temperaturas elevadas na pré-floração e frutificação, os mecanismos que levam a esta redução na frutificação ainda são desconhecidos. A redução da viabilidade dos óvulos, por ocorrer degeneração dos sacos embrionários e da nucela logo após a antese, é uma hipótese sugerida (EGEA; BURGOS, 1995; BEPPU et al., 2001), bem como o efeito prejudicial das altas temperaturas sobre o pólen é demonstrado para algumas espécies (ANEJA et al., 1992; HEDHLY et al., 2005b). Algumas anormalidades do óvulo ou do saco embrionário parecem ser de fonte genética, no entanto, a degeneração precoce do óvulo parece ter efeito ambiental, dependendo do local e ano (SANZOL; HERRERO, 2001).

Em se tratando da parte feminina da flor, a maioria dos estudos sobre o efeito da temperatura se concentra em analisar o efeito na viabilidade e longevidade dos óvulos, enquanto que o efeito sobre o estigma e pistilo tem recebido menos atenção, assim como a interação com o gametófito masculino. A longevidade dos óvulos em frutíferas tem um papel importante no período efetivo de polinização. A maioria dos trabalhos demonstra que os óvulos têm curta viabilidade, o que afeta seriamente a frutificação, principalmente quando ocorre um atraso na polinização e, quando as temperaturas são altas, como relatado, em

fruteiras de clima temperado (STOSSER; ANVARI, 1982; BEPPU et al., 1997), sugerindo um maior efeito da temperatura sobre a parte feminina do que sobre a parte masculina.

Portanto, a fertilização, após a polinização, é dependente da germinação do grão de pólen e do crescimento do tubo polínico pelos tecidos do estilete. Geralmente, a presença de óvulos fertilizados conduzirá o desenvolvimento do ovário em fruto (GILLASPY et al., 1993). Altas temperaturas associadas à baixa umidade relativa do ar podem provocar a inviabilidade dos grãos de pólen e o dessecamento das substâncias secretoras do estigma, impedindo ou dificultando a germinação dos grãos de pólen, diminuindo sensivelmente a frutificação (PETRI, 2006).

Hormônios, como as auxinas e GAs exercem função crucial na fase indutiva à frutificação e ao desenvolvimento partenocárpico dos frutos (DE JONG et al., 2009). As giberelinas estimulam a germinação do pólen e crescimento do tubo polínico (LOONEY; PHARIS, 1986; SINGH et al., 2002); aplicações exógenas de GAs em flores podem resultar em frutificação sem fertilização (BANGERTH; SCHRÖDER, 1994). Aplicações de GAs em flores não polinizadas de tomate causam um aumento no nível de auxina no ovário (SASTRY; MUIR, 1963; SERRANI et al., 2010). De acordo Gillaspay et al. (1993), as giberelinas produzidas pelo grão de pólen podem, de certa forma, estar relacionadas com o aumento da produção de auxinas no ovário, as quais por sua vez podem atuar como um sinal (ou amplificar esse sinal) na frutificação e, subsequentemente, na ativação da divisão celular.

Como regra geral, baixas temperaturas durante florescimento diminuem o crescimento do tubo polínico, porém aumentam o PPE através extensão da viabilidade do óvulo (TROMP; BORSBOOM, 1994). No entanto, temperaturas muito baixas podem diminuir o PPE se a longevidade dos óvulos não superar o baixo crescimento do tubo polínico. Altas temperaturas aumentam o crescimento do tubo polínico, mas diminuem o PPE através da rápida senescência dos estigmas e óvulos (BURGOS et al., 1991; EGEA et al., 1991; DENNIS, 2003). Apesar do claro efeito da temperatura sobre vários aspectos relacionados a polinização e fertilização do óvulo, a qualidade da flor (tamanho, cor, relação folha/frutos, estado nutricional) sob as mesmas condições ambientais podem apresentar diferentes efeitos sobre o PPE (SANZOL; HERRERO, 2001). Além disso, Yoder et al. (2009) observaram que a taxa de crescimento do tubo polínico é também dependente das reservas da planta que são mobilizadas às flores e da fotossíntese realizada por estas.

Alguns trabalhos mostram que algumas práticas culturais ou tratamentos químicos podem influenciar na qualidade da flor e, conseqüentemente, no PPE.

A aplicação de nitrogênio em plantas de macieira no verão ou outono demonstrou ser eficaz na longevidade do óvulo e receptividade do estigma (WILLIAMS, 1965). De acordo com Robbie et al. (1993), a orientação de ramos na planta de macieira não afeta as flores morfológicamente, no entanto ramos orientados na posição horizontal mostraram melhor frutificação efetiva devido ao aumento na proporção de óvulos saudáveis na antese e após a mesma. A idade do ramo e da planta também afeta a qualidade da flor. Flores de macieira provenientes de ramos ou plantas jovens tendem a ter baixa frutificação comparada a flores de ramos ou plantas mais velhas, sendo este relacionado ao baixo PPE e a alta proporção de óvulos imaturos ou degenerados (ROBBIE; ATKINSON, 1994).

Dentre os reguladores de crescimento, o etileno tem efeito direto com o desenvolvimento do pistilo e parece estar envolvido com a sinalização do processo de polinização (O'NEILL; SHARMAN, 1997). A aplicação de aminoetoxivinilglicina, inibidor da síntese de etileno, na floração mostrou-se eficiente na viabilidade do óvulo, na frutificação efetiva e no número de sementes em várias frutíferas como pereira, macieira, cerejeira, etc (GREENE, 1980; DUSSI et al., 2002; RETAMALES et al., 2010; WARNER, 2014). Boro é conhecido por aumentar a germinação *in vitro* e *in vivo* do grão de pólen (BATJER; THOMPSON, 1949; NYOMORA et al., 1999; SOTOMAYOR et al., 2012).

O estudo da receptividade e do crescimento do tubo polínico em flores de macieiras pode trazer, além do conhecimento sobre a biologia floral da macieira ou sobre os efeitos que o aumento da temperatura pode ocasionar, informações relevantes relacionadas a certos manejos dados às plantas, como por exemplo o raleio químico. O raleio realizado no florescimento é geralmente mais efetivo ao raleio de pós-floração, devido ao efeito positivo sobre o tamanho do fruto e retorno de florescimento (GREENE, 2002). Geralmente, os raleantes de floração reduzem a frutificação por prevenir a polinização e fertilização das flores, danificando as anteras, estigmas e estiletos das flores, ou mesmo inibindo o crescimento do tubo polínico; geralmente, são aplicados quando algumas, mas não todas, flores são fertilizadas (FALLAHI; WILLEMSSEN, 2002; MCARTNEY et al., 2006). No entanto, o resultado deste tipo de manejo é bastante variável, pois depende da

interação entre o ambiente, do comportamento floral e do momento de aplicação. Por exemplo, em condições ótimas de crescimento, a fertilização das flores pode ocorrer em menos de 24 horas; e em torno de 48 horas em condições sub-ótimas (YODER et al., 2008). Por isto, e os outros motivos citado anteriormente, o estudo da biologia floral e da fenologia da planta, sob diferentes condições ambientais vem somente à acrescentar para o melhor desenvolvimento da cultura.

1.1.6 Frutificação e Produção

O processo de frutificação, o qual foi definido por Gillaspay et al. (1993) como o processo de transformação dos tecidos do ovário em fruto, tem ganhado considerável atenção devido tanto à busca no desenvolvimento de frutos partenocárpicos na ausência da polinização e/ou fertilização (PANDOLFINI et al., 2007), como também ao estudo do processo de abscisão de frutos para a prática de raleio (BOTTON et al., 2011).

A baixa frutificação efetiva e formação de frutos pequenos ou deformados, podem estar associados a falhas na polinização devido a fatores genéticos de incompatibilidade entre cruzamentos ou associados a fatores ambientais, variações climáticas, como alternância de frio e calor após a polinização (WILLIAMS; MAIER, 1977; SOLTESZ, 1997). A frutificação pode ser reduzida mesmo em situações de alta coincidência de florescimento entre cultivares e alta densidade de floração, devido a ocorrência de baixas temperaturas e de elevada precipitação durante o florescimento, que diminuem a atividade de insetos polinizadores (SOLTÉSZ, 2003; PETRI, 2006).

No entanto, deve-se levar em conta que tais problemas não estão apenas restritos a não polinização, mas a fatores pós polinização. Neste caso, tanto a singamia (formação do embrião) como a tripla fusão (formação do endosperma) podem ter falhados, levando a degeneração do endosperma e embrião. Petri e Pasqual (1981) e Schramm (1985) também verificaram que cruzamentos com baixa frutificação também estavam associados a fatores climáticos, como baixas temperaturas após a floração, carência em número de horas de frio no período de dormência ou deficiência de caráter fisiológico.

O processo de crescimento e maturação do fruto exercem papel fundamental no tamanho final do fruto e, embora estes dois processos estejam fisiologicamente interrelacionados, os impactos da temperatura em cada um destes podem ser diferentes. É mais provável que a

maturação, e os processos bioquímicos associados a esta, são mais diretamente influenciados pelas condições climáticas próximas a colheita do que a condições do começo da estação. Em contraste, o crescimento do fruto parece ser grandemente influenciado pelas condições climáticas de pós-floração ocorridas no início da estação, período este, de máxima divisão celular.

Em geral, a carga produtiva atual da planta e a carga genética que a mesma carrega determinará o potencial de desenvolvimento do tamanho dos frutos da macieira. No entanto, o meio ambiente em que a fruta é cultivada pode atenuar essa potencialidade.

Segundo Palmer et al. (2003) nos primeiros 35 a 50 dias após a fertilização, há intensa divisão celular nos frutos formados. Após este período, o crescimento do fruto torna-se praticamente linear devido a expansão celular; primeiramente caracterizado pela vacuolização das células, depois pelo rápido aumento de tamanho das células individualmente, e finalmente pelo rápido desenvolvimento dos espaços intercelulares. Em estudos de campos na Nova Zelândia, foi observado que primaveras frias, ou seja, com baixas temperaturas, geralmente resultavam em frutos de menor tamanho. Temperaturas amenas ao redor de 20°C proporcionam desenvolvimento do fruto dez vezes maior que em temperaturas mais baixas (6°C) (WARRINGTON et al., 1999).

Em anos em que o florescimento é antecipado, pressupõe-se em um maior período de crescimento entre o florescimento e colheita; no entanto, efeito adicional de altas temperaturas durante este período resultaria na redução deste ciclo. A cada 1°C a mais na temperatura média entre junho à agosto (correspondente a novembro à janeiro no Brasil) ocorre redução de aproximadamente 3,5 dias na colheita (PALMER et al., 2003).

A época de maturação dos frutos em pomares comerciais pode ser influenciado por inúmeros fatores incluindo a data de florescimento e as condições ambientais ocorridas durante este período. Alguns estudos demonstram alta correlação entre os graus dias acumulados e o intervalo de tempo entre florescimento e ponto de colheita. Por exemplo, Eggert (1960) mostrou que a diferença de unidades térmicas acumuladas durante os primeiros 40 dias após a queda de pétalas contabilizou por grande parte da variabilidade encontrada entre o tempo transcorrido da queda de pétalas até a colheita da cv. 'McIntosh'. Similarmente, Blanpied e Ben-David (1970) e Kronenberg (1988) observaram que a variação durante o período de desenvolvimento do fruto (até a colheita) poderia ser melhor justificada pela temperatura diária durante os 30

primeiros dias após pleno florescimento. Para Warrington et al. (1999), as temperaturas ocorridas no pós florescimento afetam consideravelmente a maturação do fruto. Temperaturas mais altas após o florescimento resultam em frutos com maior concentração de sólido solúveis, cor de fundo da epiderme mais amarela, pouca firmeza de polpa e maior degradação do amido.

Abeles e Lightner (1984), utilizando equações para estimar a data ótima de colheita, demonstrou que a data do florescimento foi mais importante em determinar a data da colheita em seis cultivares de macieira do que a média das temperaturas durante a estação de crescimento.

CAPÍTULO 2

CARACTERIZAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO MORFOLÓGICO FLORAL DAS GEMAS DA MACIEIRA CULTIVARES 'GALA' E 'FUJI', SOB DIFERENTES CONDIÇÕES CLIMÁTICAS

CAPÍTULO 2 – CARACTERIZAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO MORFOLÓGICO FLORAL DAS GEMAS DE MACIEIRA CULTIVARES GALA E FUJI, SOB DIFERENTES ESTRUTURAS DE FRUTIFICAÇÃO E CONDIÇÕES CLIMÁTICAS

RESUMO

Cronologicamente, quatro principais processos ontogenéticos do desenvolvimento floral podem ser descritos: indução floral, iniciação floral, diferenciação floral e antese. Uma gema para ser reprodutiva ou vegetativa depende de vários fatores, como por exemplo, o tipo da estrutura de frutificação, o comprimento da estação de crescimento e a presença de frutos. O objetivo deste trabalho foi caracterizar os estádios morfológicos durante a iniciação e diferenciação dos meristemas de gemas da macieira, a época desses estádios nas diferentes estruturas reprodutivas da planta, e comparar a ocorrência entre duas regiões distintas produtoras de maçãs localizadas no hemisfério Sul e Norte. O pomar de macieira localizado no Sul do Brasil situa-se em Caçador/SC/Brasil (26°50'S, 50°58'W, altitude 950 m); e o pomar do hemisfério norte localiza-se nos Estados Unidos, na região de Berlin Heights/OH (41°18'N, 82°29'W, 252 m). As cultivares estudadas foram Gala e Fuji, e as estruturas de frutificação foram esporões e brindilas, sendo nestas, axilares e terminais. As coletas das gemas foram realizadas ao longo do ciclo vegetativo da planta. A caracterização e classificação temporal dos estádios morfológicos das gemas, foi realizado com auxílio do microscópio estereoscópio e do MEV. Dez estádios morfológicos (0-6e) foram definidos, do meristema vegetativo à formação dos órgãos reprodutores florais. A iniciação floral é influenciada pela cultivar e estrutura de frutificação. O desenvolvimento floral de gemas da cv. Fuji ocorre mais precocemente do que na cv. Gala. A iniciação floral de esporões da cv. Fuji ocorre, em média, a partir de 60 DAPF, meados de dezembro no Brasil, independente do local e ano. A iniciação floral de esporões, axilares e terminais de brindilas da cv. Gala ocorreu, em média, a partir de 80, 90 e 105 DAPF (a partir de janeiro), respectivamente, no ano de 2013 no Brasil. A transição floral parece ser regulada por sinais intrínsecos da planta, e a transição entre os demais estádios por sinais ambientais, principalmente pelas temperaturas. O intervalo compreendido entre a iniciação (Estádio 1) à diferenciação do pistilo em flores laterais da inflorescência (Estádio 6e) de uma gema de esporão, axilar e terminal de brindila da cv. Gala,

foi de aproximadamente 145, 135 e 133 dias, respectivamente; enquanto de uma gema de esporão da cv. Fuji, foi de aproximadamente 90 dias na região de Caçador, e 155 dias em Berlin Heights.

Palavras Chave: *Malus domestica* Borkh., iniciação e diferenciação de gemas, esporões, brindilas.

2.1 Introdução

Dentro do processo produtivo, a indução floral é um componente de extrema importância na fruticultura, pois este é o primeiro passo para obtenção de produtividades altas e regulares.

O desenvolvimento floral em macieira é um processo complexo, e muitas vezes a ambiguidade na caracterização da indução e/ou iniciação floral gera algumas incertezas na descrição dos estádios florais, bem como na distinção da época de ocorrência. Cronologicamente, quatro principais processos ontogenéticos do desenvolvimento floral podem ser descritos: indução floral, iniciação floral (transformação histológica), diferenciação floral (morfológica) e antese (florescimento).

Uma gema para ser reprodutiva ou vegetativa depende de vários fatores, como por exemplo, o tipo da estrutura de frutificação, o comprimento da estação de crescimento, a presença de frutos (FORSHEY; ELFVING, 1989; MCLAUGHLIN; GREENE, 1991b; PRANG et al., 1998; PETRI et al., 2006).

Segundo Petri (2006) e Koutinas et al. (2010), a época de indução pode variar em função da cultivar, do porta-enxerto, da localização das gemas nas plantas, do crescimento vegetativo, de fatores nutricionais e das condições climáticas. As condições ambientais, em geral, são em partes responsáveis pela iniciação floral em um grande número de espécies tropicais e subtropicais (WILKIE et al., 2008), entretanto, em macieira esse efeito parece ser mais relacionado à intensidade de gemas florais do que ao tempo de ocorrência ou ao estímulo de indução. Segundo, McArtney et al. (2001), o início e duração do desenvolvimento floral não apresentou relação com as variações sazonais de acúmulo térmico ocorrido a partir da plena floração. No entanto, a temperatura registrada durante o período vegetativo da planta pode vir a afetar a intensidade de estruturas florais, pois altas temperaturas induzem maior crescimento vegetativo e, conseqüentemente, há uma redução na formação de gemas florais (TROMP, 1980; FORSHEY, 1989; FORSHEY; ELFVING, 1989;

HIRST; FERREE, 1995). Associado a isso, o sombreamento causado pelo alto vigor impede a entrada de luminosidade na parte interna das plantas, e segundo Tromp (1984), a formação das gemas florais é afetada em condições de baixa intensidade de luz, sendo completamente nula com mais de 70% de sombreamento (CAIN, 1971).

As flores de macieira se desenvolvem em dois tipos de estruturas de frutificação: esporões e brindilas. As brindilas são ramos longos (10 – 50 cm), formadas do crescimento do ano anterior e apresentam uma gema, floral ou vegetativa, na parte apical e gemas axilares, florais ou vegetativas, situadas na inserção das folhas; esporões são ramos encurtados formados por gemas de dois ou mais anos (DENNIS, 2003; PETRI, 2006). Pouco se conhece a respeito do comportamento floral nas diferentes estruturas de frutificação em macieira, principalmente sob condições subtropicais. O desenvolvimento de gemas florais em esporões com dois ou mais anos, ocorre mais cedo do que gemas terminais ou axilares de brindilas; sendo que, quanto mais curta for a estação de crescimento, maior é a probabilidade de que gemas de brindilas não se desenvolvam em primórdios florais (JACKSON, 2003). De acordo com Zeller apud Fulford (1966a), a formação floral em gemas terminais de brindilas ocorrem em torno de três semanas após a formação nas gemas de esporões, e mais tardiamente ocorre em gemas axilares. Segundo o mesmo autor, fatores intrínsecos são mais determinantes na formação floral, do que fatores extrínsecos do ambiente. Para Petri (2006), sob as condições climáticas do sul do Brasil, as gemas de esporões iniciam a indução floral de quatro a seis semanas antes das gemas axilares.

O conhecimento antecipado do processo de formação de gemas floríferas nas diferentes estruturas da planta, como também, de adaptação da planta sob condições ideais e/ou extremas de cultivo, poderá subsidiar o planejamento de práticas culturais que melhor se adequariam a cada sistema produtivo, cultivar e local. Dessa forma seria possível corrigir ou pelo menos minimizar os problemas encontrados no cultivo da macieira, como por exemplo a baixa produtividade e a alternância de produção. Além disso, estudos desse nível poderiam fornecer base de interpretação para estudos futuros de genética molecular, fisiologia e desenvolvimento. O conhecimento dos estádios de desenvolvimento dos meristemas florais laterais e terminais, ou então, o entendimento da dominância dos meristemas florais terminais sobre os laterais dentro de uma inflorescência, bem como, podem servir de base e auxiliar em estudos genéticos na manipulação de genes para

criação de cultivares que produzam apenas um fruto por inflorescência ou cacho floral, eliminando desta forma a prática onerosa do raleio de frutos.

Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivos, caracterizar os estádios morfológicos durante iniciação e diferenciação dos meristemas das gemas da macieira, caracterizar a época desses estádios nas diferentes estruturas reprodutivas da planta, e comparar o comportamento da época de iniciação e diferenciação em duas regiões distintas produtoras de maçãs, região caracterizada por clima temperado no Norte dos Estados Unidos e região de clima ameno no Sul do Brasil.

2.2 Material e Métodos

2.2.1 Descrição do local e material vegetal

A observação da época e do estágio de diferenciação e desenvolvimento das gemas de macieira foi conduzido em dois locais distintos, porém ambas regiões apresentam condições climáticas favoráveis para seu cultivo – no Sul do Brasil e Norte dos Estados Unidos.

O pomar de macieira localizado no Sul do Brasil pertence a Estação Experimental de Caçador/EPAGRI – Caçador/SC/Brasil, com latitude 26°50'S, longitude 50°58'W e altitude de 950 m. O clima dessa região caracteriza-se como temperado constantemente úmido, com verão ameno, conforme a classificação de Köppen, do tipo "Cfb". As cultivares estudadas foram Gala e Fuji. Amostras de aproximadamente 40-50 gemas de cada estrutura de frutificação: 1) gema de esporão – de ramos com mais de dois anos; 2) gema terminal de brindila – de 25-35 cm; 3) gema axilar de brindila, foram coletados durante anos de 2010/11 e 2013/14. A escolha das estruturas foi padronizada no terço médio das plantas e em ramos sem a presença de frutos, sendo coletadas de ambos os lados da fileira. As coletas foram realizadas quinzenalmente ao longo do ciclo vegetativo e mensalmente durante o período inicial de dormência da planta, tendo início 60 dias após a plena floração (DAPF) e finalizando na metade do inverno (dezembro à junho).

O segundo local onde o experimento foi conduzido pertence a uma propriedade particular, e está localizado na cidade de Berlin Heights, no Estado de Ohio (OH), nos Estados Unidos, com latitude 41°18'N, longitude 82°29'W e altitude de 252m. O clima dessa região caracteriza-se como continental úmido, com quatro estações bem definidas: verões muito quente e úmidos e invernos frio, conforme a

classificação de Köppen, do tipo “Dfa”. A cultivar estudada neste local foi a Fuji, e apenas gemas de esporões (de ramos com mais de dois anos) foram avaliados, aproximadamente 40-50 gemas. As coletas neste local, foram realizadas durante um ciclo apenas, Mai/2012 à Mar/2013. Os esporões foram coletados no terço médio das plantas e em ramos sem a presença de frutos, sendo coletados de ambos os lados da fileira. As coletas foram realizadas quinzenalmente ao longo do ciclo vegetativo e mensalmente durante o período inicial de dormência da planta, tendo início 60 DAPF, e finalizando na metade do inverno.

Em ambos os locais, as plantas apresentavam em torno de doze anos de idade, e estavam enxertadas sobre o porta-enxerto M9. Ambos os pomares utilizados apresentavam densidade de plantio de 2500 plantas ha⁻¹, sendo as plantas conduzidas no sistema em líder central. A condução e as práticas de manejo do pomar foram conforme as recomendações técnicas da cultura para cada local, no entanto, escolheu-se pomares que fossem bastante similares entre si.

2.2.2 Avaliações

2.2.2.1 Análise em microscópio eletrônico de varredura (MEV)

A cada coleta, escamas e primórdios foliares foram removidos sob microscópio estereoscópio até o aparecimento do ápice. Os ápices foram, então, fixados em solução de 3% glutaraldeído, 2% paraformaldeído em tampão fosfato de potássio 0,1M, pH 7,2 por 24 horas em temperatura ambiente. Após este período, os mesmos foram desidratados em séries etílicas (25, 50, 70, 90 e 100 (x3) e secos em ponto crítico (Tousimis Autosamdri-814). Subsequentemente, eles foram aderidos a suportes metálicos e metalizados (Hummer 6.2 Sputtering System, Metalizador Anatech LTD, Alexandria, VA, USA) com platina. Os espécimes foram visualizados e fotografados em MEV (Hitachi High Technologies America, Inc., Pleasanton, CA, USA operando entre 15-25kV) no Molecular and Cellular Imaging Center da Ohio State University, Berlin Heights, OH, EUA.

2.2.2.2 Caracterização climática

Os dados climáticos de temperatura máxima, mínima e média, e precipitação, ocorridos durante os períodos de avaliação, 2010/11 e 2013/14 em Caçador e 2012/13 em Berlin Heights, bem como a série

histórica (Caçador 1961-2013 e Berlin Heights 1986-2013), foram obtidos através da estação meteorológica da Epagri - CIRAM (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina/ Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina) e do OARDC Weather System, respectivamente.

Os dados climáticos estão apresentados a partir do mês em que ocorreu a plena floração, observados em cada local. Além disso, estão representados com as estações do ano para melhor visualização e comparação dos locais (Tabela 2.1).

Tabela 2.1 Datas do início e fim das estações do ano conforme os hemisférios Sul e Norte.

Estação	Hemisfério Sul (Brasil)	Hemisfério Norte (EUA)
Primavera	21/set à 20/dez	21/mar à 20/jun
Verão	21/dez à 20/mar	21/jun à 20/set
Outono	21/mar à 20/jun	21/set à 20/dez
Inverno	21/jun à 20/set	21/dez à 20/mar

2.2.2.3 Análises descritiva

Com auxílio do MEV e com base na classificação proposta por Foster et al. (2003), foi definida uma escala do processo evolutivo dos ápices meristemáticos das gemas da macieira. Em cima disso, e conforme a data das coletas, foi também possível descrever a época de ocorrência e a duração de cada estágio para cada cultivar, estrutura e local.

2.3 Resultados e Discussão

2.3.1 Classificação morfológica dos estádios de desenvolvimento

Baseando-se nas análises de microscopia eletrônica de varredura e nas observações feitas durante a dissecação das gemas de macieira, e com auxílio da classificação feita por Foster et al. (2003), foram definidos cinco diferentes estádios morfológicos, do meristema vegetativo à formação dos meristemas florais. Subsequente à formação dos primórdios florais, a iniciação e formação dos órgãos reprodutores florais (pistilos e estames) foram divididos e descritos em cinco sub estádios conforme a Tabela 2.2.

Tabela 2.2 Análise e classificação dos estádios morfológicos das gemas da macieira, cvs. Gala e Fuji, observados durante os anos de 2010 à 2014, nas condições edafoclimáticas de Berlin Heights, OH, EUA e Caçador, SC, BR.

Estádios do meristema apical	Descrição
Estádio 0	Gema vegetativa. Meristema achatado envolto pelos últimos primórdios foliares e de brácteas.
Estádio 1	Arredondamento do domo apical – Iniciação floral
Estádio 2	Formação de três a quatro brácteas nos flancos do domo apical (meristema da inflorescência), sendo cada subtendendo um meristema floral lateral.
Estádio 3	Alongamento do domo apical (meristema floral terminal) juntamente com a formação de uma bráctea apical.
Estádio 4	Diferenciação da primeira sépala no meristema floral terminal e de um par de bractéolas nos meristemas florais laterais.
Estádio 5	Diferenciação das pétalas no meristema floral terminal e das sépalas no primeiro meristema floral lateral basal.
Estádio 6a	Diferenciação dos estames na flor terminal
Estádio 6b	Diferenciação dos estames nas flores laterais
Estádio 6c	Diferenciação dos pistilos na flor terminal
Estádio 6d	Diferenciação dos pistilos nas flores laterais
Estádio 6e	Todas as flores da inflorescência apresentam os órgãos florais reprodutores (pistilo e estames) diferenciados.

A gema de flor da macieira é considerada como um eixo encurtado, que geralmente contém em torno de 16-21 formações ou apêndices foliares inseridos numa sequência espiral (ABBOTT, 1977). As brácteas em macieira são folhas modificadas, desprovidas de lâmina e estípulas, e com desenvolvimento limitado do limbo, sendo

metabolicamente menos ativos que os primórdios foliares (FULFORD, 1965). Segundo Kerstetter e Hake (1977), o meristema apical caulinar podem ser denominados genericamente de meristemas vegetativos. O Estádio 0 neste trabalho foi considerado como vegetativo, acompanhando a mesma consideração feita por Foster et al. (2003), em que, o meristema apical, seja este estreito ou vasto, apresenta-se achatado, e envolto pelos últimos primórdio foliares e primórdios de brácteas (Figura 2.1).

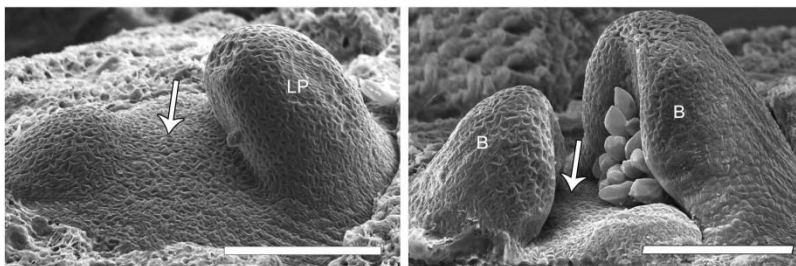


Figura 2.1 Gemas de macieira, em Microscopia Eletrônica de Varredura no Estádio 0 – gema vegetativa, meristema achatado (seta). B: Brácteas; LP: primórdios foliares. Barra: 100 μ m.

A conversão do meristema apical vegetativo em meristema floral (mudança de fase) é induzida por múltiplos sinais ambientais e endógenos que, em última instância, convergem em pontos-chave de regulação para o estabelecimento da identidade floral. Uma vez sob controle desta rede sinalizadora, o meristema apical normalmente adquire uma natureza determinada refletida pela diferenciação terminal de suas células, as quais se tornam comprometidas com a formação de um número específico de órgãos florais (ZIK; IRISH, 2003; SABLÓWSKI, 2007; SHISHKOVA et al., 2008). Em geral, os meristemas florais apresentam crescimento determinado, sendo que em algumas espécies o meristema apical pode se transformar em um meristema floral que originará uma única flor, ao passo que em outras espécies, o meristema apical vegetativo é inicialmente convertido em uma inflorescência, a qual, posteriormente, produz meristemas florais em seus flancos (RODRIGUES; KERBAUY, 2009). No caso da *Malus domestica* Borkh, foi possível observar a conversão do meristema apical em um meristema da inflorescência, e esta, deu origem aos meristemas florais laterais (flores laterais) e o meristema floral terminal (flor rainha ou terminal).

O Estádio 1 foi definido a partir do momento do arredondamento do domo apical (Figura 2.2). Tal estágio foi caracterizado por diversos autores como o primeiro sinal visível da fase transitória entre a vegetativa e reprodutiva da gema (FULFORD, 1966a; ABBOTT, 1977; LUCKWILL; SILVA, 1979; FOSTER et al., 2003). Pequenas saliências no meristema da inflorescência foram posteriormente observadas.

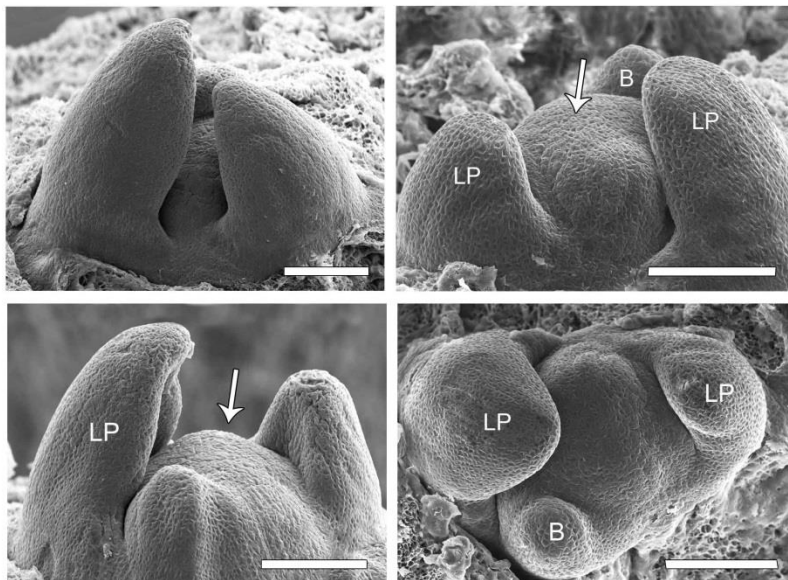


Figura 2.2 Desenvolvimento do meristema da inflorescência em gemas de macieira, em Microscopia Eletrônica de Varredura no Estádio 1 – iniciação floral, arredondamento do ápice (seta). B: Brácteas; LP: primórdios foliares. Barra: 100 μ m.

As protuberâncias observadas no meristema da inflorescência no Estádio 1 transformaram-se em primórdios de brácteas e sua formação é observada nos flancos do meristema da inflorescência, mesmo antes da diferenciação do meristema floral terminal (Figura 2.3). Nas axilas destas brácteas, como também, nas axilas de dois ou três primórdios foliares basais proximais, os quais posteriormente irão desempenhar o papel de brácteas, surgem os meristemas florais laterais, com formato de uma dobra estreita (Estádio 2).

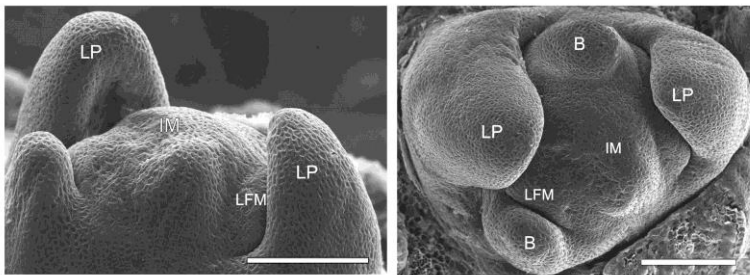


Figura 2.3 Desenvolvimento do meristema da inflorescência em gemas de macieira, em Microscopia Eletrônica de Varredura no Estádio 2 – presença dos meristemas florais laterais (LFM) nas axilas de primórdios foliares e brácteas (seta - C). B: Brácteas; IM: meristema da inflorescência; LFM: meristema floral lateral; LP: primórdios foliares. Barra: 100 μ m.

O Estádio 3 é marcado pela iniciação de um primórdio de bráctea (tB) o qual subtende o meristema floral terminal em si. Em seguida, ocorre um achatamento do domo apical (meristema floral terminal). A partir deste período, o meristema floral terminal estende-se e torna-se dominante sobre os meristemas florais laterais (Figura 2.4).

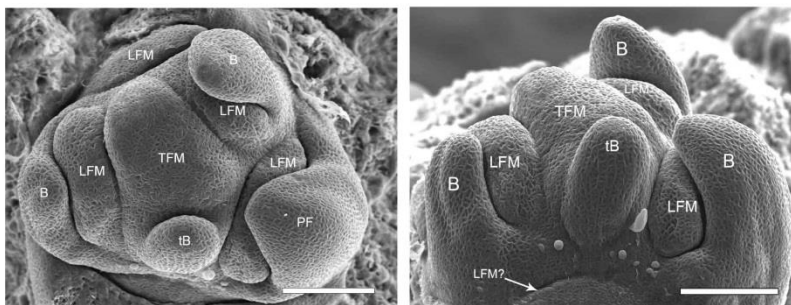


Figura 2.4 Desenvolvimento do meristema da inflorescência em gemas de macieira, em Microscopia Eletrônica de Varredura no Estádio 3 – iniciação de um primórdio de bráctea (tB) no meristema floral terminal. B: Brácteas; LFM: meristema floral lateral; LP: primórdios foliares; tB: bráctea terminal; TFM: meristema floral terminal. Barra: 100 μ m.

A dominância de desenvolvimento da flor terminal sobre as demais, pode ser claramente observado no Estádio 4, o qual foi caracterizado pela diferenciação do primeiro primórdio de sépala no

meristema floral terminal e a diferenciação de duas bracteólas nas extremidades dos meristemas florais laterais (Figura 2.5). A sequência de iniciação das bracteólas nos meristemas florais laterais, e dos outros órgãos florais citados adiante, segue, primeiramente nas distais (exceto a sub-terminal que é a última a se diferenciar, detalhes mais abaixo) e depois nas proximais.

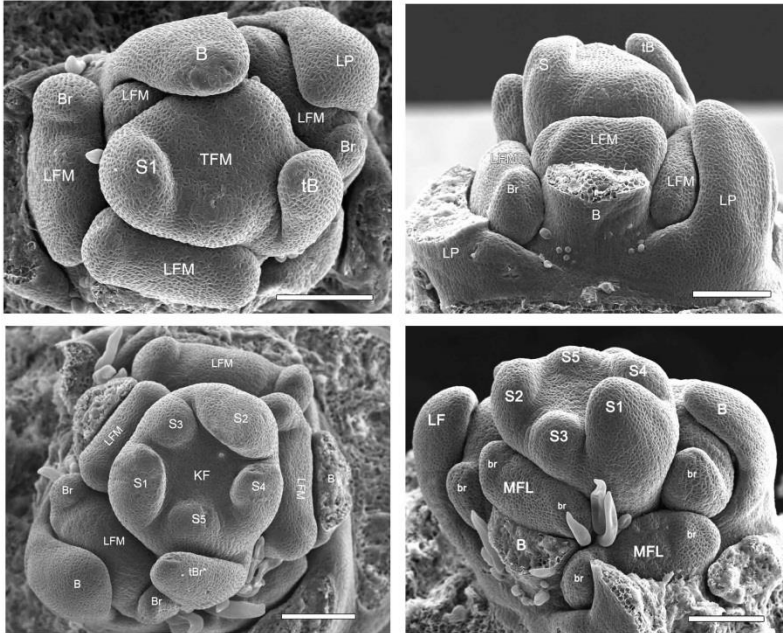


Figura 2.5 Desenvolvimento do meristema da inflorescência em gemas de macieira, em Microscopia Eletrônica de Varredura no Estádio 4 – Início da diferenciação de primórdios de sépalos no meristema floral terminal e um par de bracteólas nos meristemas florais laterais. B: Brácteas; br: bracteólas; LFM: meristema floral lateral; LP: primórdios foliares; S(1-4): sépalos; TFM: meristema floral terminal; tB: bráctea terminal. Barra: 100 μ m.

O desenvolvimento das sépalos não é simultâneo, por isso observa-se variação de tamanho das mesmas. Embora, as sépalos diferenciam-se separadamente, sua base, unir-se-á pelo crescimento intercalar ou difuso (EVANS; DICKINSON, 2005). A diferenciação de

sépalas nos meristemas florais laterais não ocorre até que todos os primórdios de sépalas são diferenciados no meristema floral terminal.

Os primórdios de pétalas iniciam simultaneamente como cinco protusões no ponto de juntura das sépalas no meristema floral terminal. Os primórdios de sépalas se diferenciam nos meristemas florais laterais, da mesma forma como são diferenciadas no meristema floral terminal (Figura 2.6). Porém, ainda observa-se, a diferenciação de bracteólas no primórdio floral lateral mais distal (meristema floral lateral sub-terminal), último a ser diferenciado (Figura 2.7 e Figura 2.8A). Nesta fase, a inflorescência encontra-se definida, e foi caracterizada como Estádio 5.

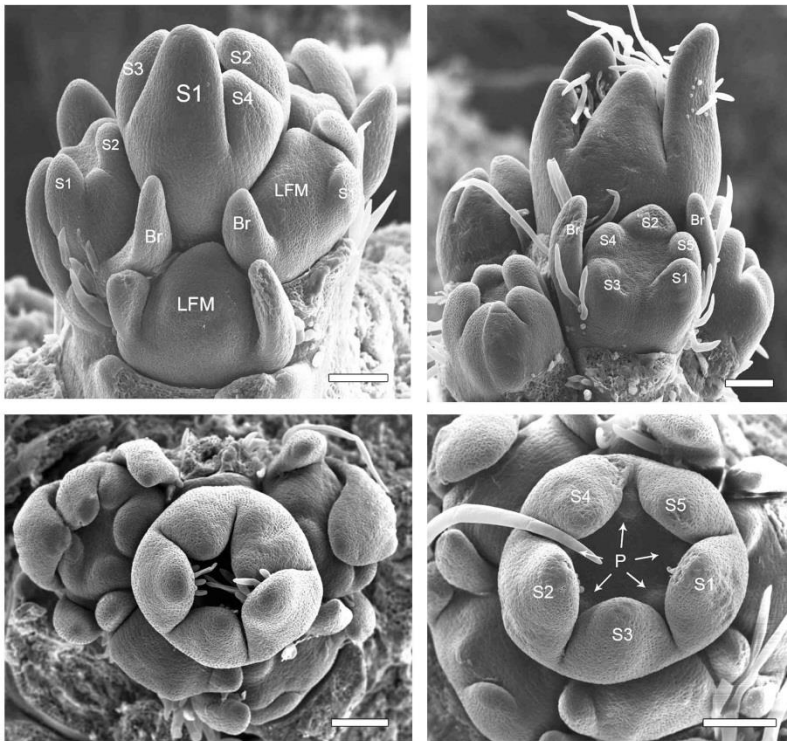


Figura 2.6 Desenvolvimento do meristema da inflorescência em gemas de macieira, em Microscopia Eletrônica de Varredura no Estádio 5 – Início da diferenciação de primórdios de sépalas nos meristemas florais laterais e pétalas no meristema floral terminal. br: bracteólas; LFM: meristema floral lateral; P: pétalas; S(1-4): sépalas; TFM: meristema floral terminal. Barra: 100 μ m.

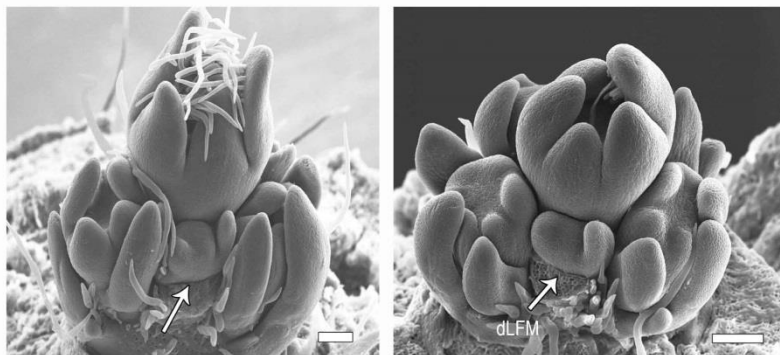


Figura 2.7 Desenvolvimento do meristema da inflorescência em gemas de macieira, em Microscopia Eletrônica de Varredura. Ênfase ao meristema floral lateral mais distal (último a ser diferenciado) (seta). dLFM: meristema lateral floral distal. Barra: 100 μ m.

De acordo com Foster et al. (2003), brácteas e flores formam-se seguindo a mesma filotaxia das folhas vegetativas; no entanto a ordem de formação das flores parece ser basípeta, com exceção do meristema floral lateral mais distal. A inflorescência da macieira é determinada (PRATT, 1988), ou seja, possui uma inflorescência terminal. No entanto a terminologia é bastante contestada devido ao padrão do florescimento, sendo variavelmente descrita como um corimbo, um racemo corimbóide, cima e falsa cima (JACKSON, 2003). De fato, observa-se a inserção de brácteas e flores laterais sobre um eixo principal, seguida de uma flor terminal (Figura 2.8 e Figura 2.10), concordando com Foster et al. (2003), em que a inflorescência nada mais é que uma panícula simples. A sequência de diferenciação da flor terminal e das flores laterais parece coincidir com o padrão de abertura das flores durante o florescimento observado por Racsko e Miller (2010) (Figura 2.8).

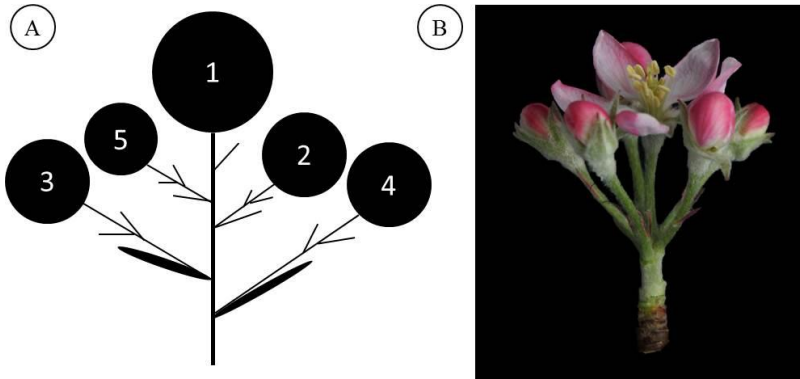


Figura 2.8 Inflorescência da macieira (cacho floral). A – Desenho esquemático da sequência de abertura de flores (1-5) na inflorescência da macieira, demonstrando o mesmo padrão na formação dos meristemas florais laterais e da terminal (Racsko e Miller (2010) com modificações). B – Imagem macroscópica mostrando o eixo floral e inserção das flores.

Durante as observações realizadas no MEV, não foi observado nenhum órgão se desenvolvendo nas axilas das bracteólas. No entanto, em alguns anos nas condições ambientais do sul do Brasil, é possível observar a presença de flores secundárias inseridas nas axilas das mesmas ou o alongamento do eixo secundário com a inserção seriada de flores (Figura 2.9). Segundo Evans e Dickinson (2005), durante o processo de diferenciação floral da *Gillenia trifoliata* (gênero botânico pertencente à família Rosaceae e subfamília Spiraeoideae), pode ocorrer o desenvolvimento de meristemas florais nas axilas de bracteólas. O parentesco botânico da macieira associado as condições climáticas, poderia explicar a presença não habitual destas flores nas inflorescências da macieira.



Figura 2.9 Formação de flores secundárias em inflorescências da macieira, cv. Gala. A: Detalhe da flor desenvolvida na bractéola de uma flor lateral (seta). B: Elongação do eixo de uma flor lateral com desenvolvimento de flores nas bractéolas da mesma (seta). Caçador, SC, BR, 2013/14.

A diferenciação dos órgãos florais reprodutores, gineceu (pistilo) e androceu (estames) dos meristemas florais da inflorescência será demonstrada como sub estádios a partir do Estádio 6 (a, b, c, d, e). A partir desse estágio, todos os meristemas florais laterais já haviam diferenciados os primórdios de sépalas e pétalas (Figura 2.10). Portanto, o meristema floral terminal será denominado como flor terminal e os meristemas florais laterais como flores laterais. Foram observados, um total médio de 4 à 7 flores em cada inflorescência para todas as cultivares.

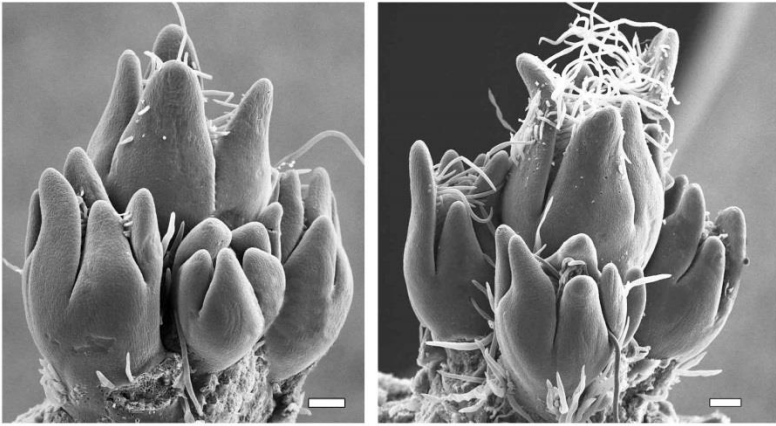


Figura 2.10 Desenvolvimento da Inflorescência em gemas de macieira, em Microscopia Eletrônica de Varredura. Todos os meristemas florais com pétalas e sépalas. Barra: 100 μm .

Os primórdios de estames tem início primeiramente na flor terminal, aproximadamente quando ocorre a diferenciação dos primórdios de pétalas nos meristemas florais laterais. São formados de forma espiral em três camadas abaixo dos primórdios de pétalas (Estádio 6a). Seguido da primeira camada de primórdios de estames, observa-se uma concavidade no centro do ápice floral (Figura 2.11).

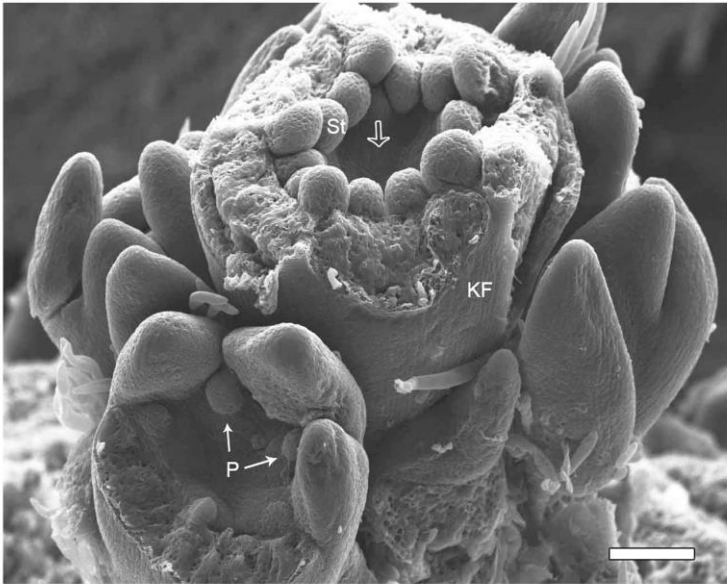


Figura 2.11 Desenvolvimento floral em inflorescências da macieira, em Microscopia Eletrônica de Varredura no Estádio 6a – Primeira camada de primórdios de estames na flor terminal demonstrando concavidade do ápice (seta vazia), e início da diferenciação de pétalas nos meristemas florais laterais. KF: flor rainha ou terminal; P: pétalas; St: estames. Barra: 100 μ m.

Subsequentemente, ocorre a diferenciação alternada dos primórdios de estames nas flores laterais, da mesma forma como ocorre na flor terminal. Estádio denominado 6b (Figura 2.12). Neste intervalo, ocorre a diferenciação sincronizada de cinco primórdios de estigma no centro do ápice do meristema floral terminal. (Estádio 6c) (Figura 2.13).

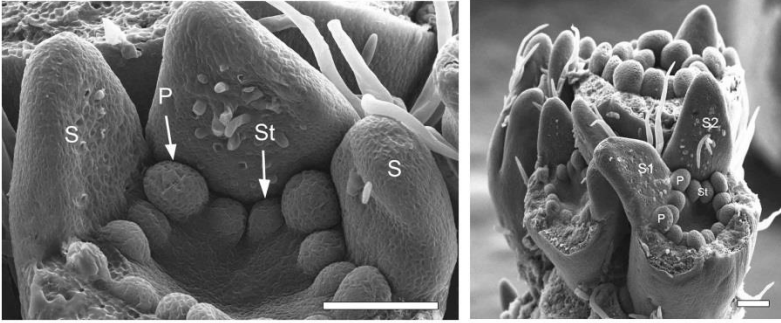


Figura 2.12 Desenvolvimento floral em inflorescências da macieira, em Microscopia Eletrônica de Varredura no Estádio 6b – Diferenciação dos primórdios de estames nas flores laterais. P: pétalas; S(1-2): Sépalas; St: estames. Barra: 100 μ m.

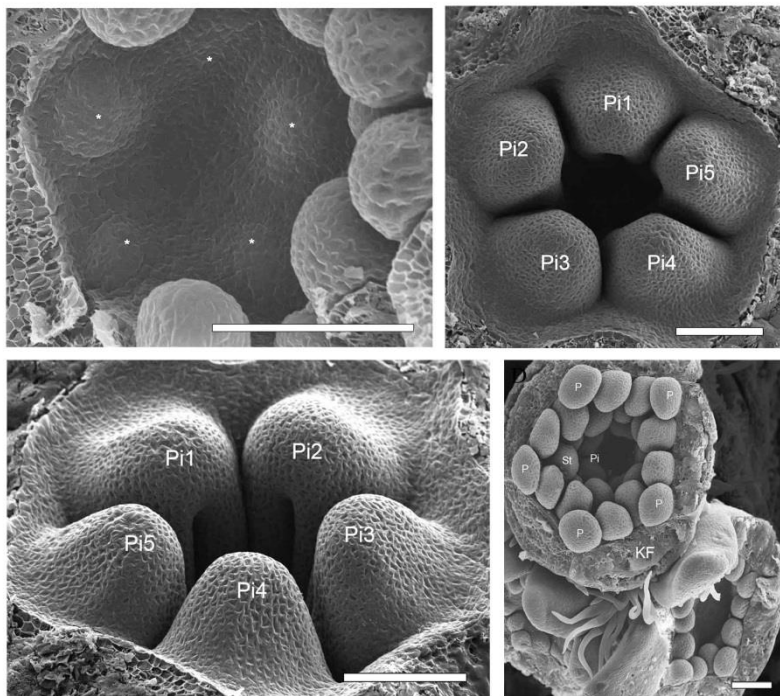


Figura 2.13 Desenvolvimento floral em inflorescências da macieira, em Microscopia Eletrônica de Varredura no Estádio 6c – Diferenciação e crescimento dos primórdios de pistilos na flor terminal (*). KF: flor rainha; P: pétalas; Pi(1-5): pistilos; St: estames. Barra: 100 μ m.

Primórdios de pistilos diferenciam na primeira flor lateral e nas demais, caracterizando o Estádio 6d (Figura 2.14).

E para finalizar, Estádio 6e é definido quando todos os meristemas florais tem as anteras e pistilos diferenciados, seguindo assim, o crescimento e desenvolvimento até o florescimento da planta (Figura 2.15).

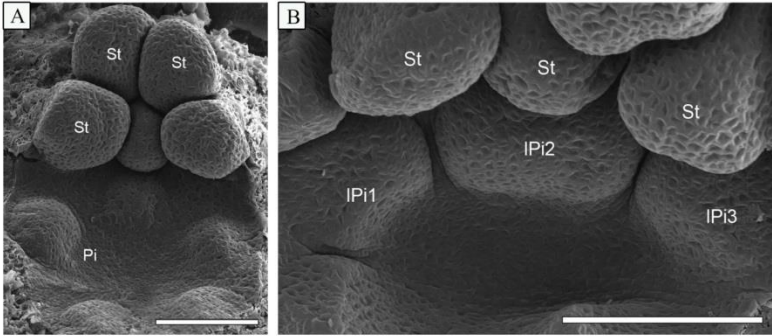


Figura 2.14 Desenvolvimento floral em inflorescências da macieira, em Microscopia Eletrônica de Varredura no Estádio 6d – Diferenciação dos primórdios de pistilos nas flores laterais. IPi (1-3): pistilo de flores laterais; St: estames. Barra: 100 μ m.

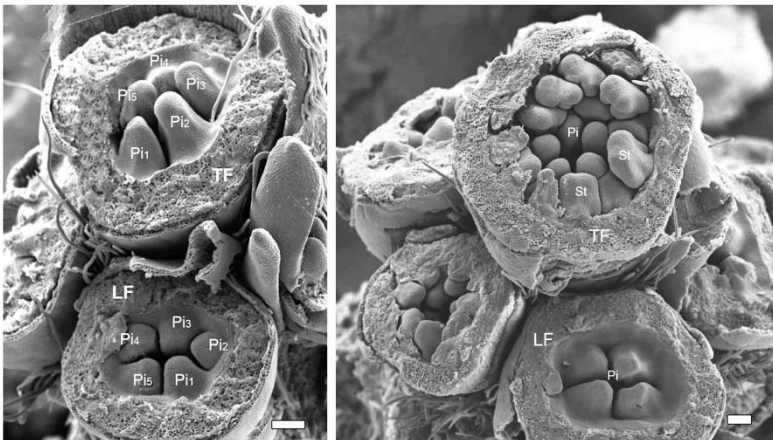


Figura 2.15 Desenvolvimento floral em inflorescências da macieira, em Microscopia Eletrônica de Varredura no Estádio 6e – Todas as flores com órgãos reprodutivos (pistilos e estames) diferenciados. LF: flor lateral; Pi (1-5): pistilo; St: estames; TF: flor terminal. Barra: 100 μ m.

Os carpelos e sacos polínicos não foram avaliados neste trabalho. No entanto, os sacos polínicos (grãos de pólen) e os óvulos são os últimos órgãos formados na flor (TAIZ; ZEIGER, 2004), e estão em fase final de formação mesmo antes da abertura das flores (TROMP, 2005).

De acordo com Bergh (1985), carpelos e sacos polínicos desenvolvem rapidamente em setembro, e primórdios de óvulos são distinguidos no final desse período, aproximadamente 21 dias antes da antese. O estágio de inchamento das gemas (B) coincide com a rápido prolongamento dos carpelos, formação dos sacos polínicos e alongamento dos filamentos das anteras. E, do estágio de ponta verde (C3) da gema até a abertura da flor terminal da inflorescência coincide com o alongamento dos órgãos florais e rápido desenvolvimento do óvulo.

2.3.2 Época de ocorrência da iniciação e diferenciação floral das gemas

A descrição climática dos anos e locais estudados, Caçador, SC – 2010/11 e 2013/14, e Berlin Heights, OH – 2012/13, estão representados na Figura 2.16, e serão utilizados para embasar aos resultados encontrados.

De forma geral, observa-se que as estações do ano da região estudada nos Estados Unidos são bem definidas, com verões muito quentes e invernos rigoroso, com razoável precipitação total durante o período de avaliação (da plena floração à 300 DAPF, 2012-2013), de 595 mm. A média das temperaturas médias, neste mesmo ciclo, foi de 13 °C, situando-se 1 °C acima da média histórica para este período. Ao contrário, temperaturas amenas durante o inverno, estação longa de crescimento durante verão/outono, e alta precipitação pluviométrica (1779 mm em 2010/11 – 300 DAPF e 1493mm em 2013/14 – 257 DAPF) foram observados na região de Caçador. A média das temperaturas médias destes períodos foi de 17 °C e 18 °C (2010/11 e 2013/14, respectivamente).

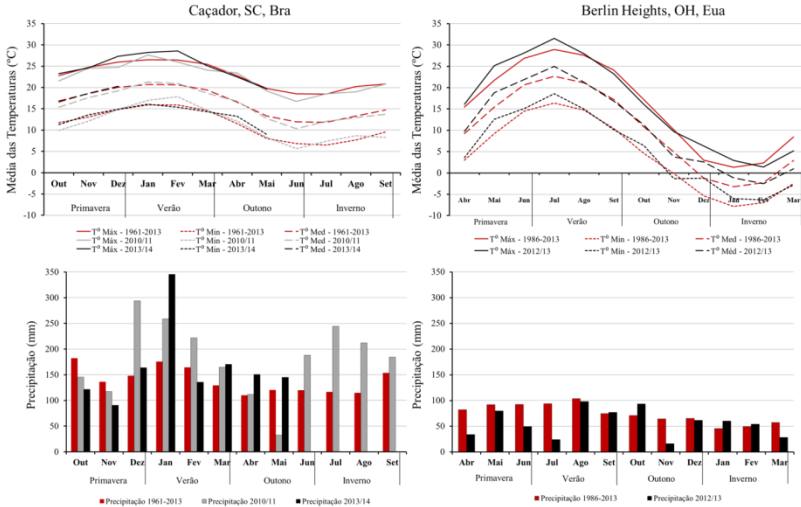


Figura 2.16 Médias mensais das temperaturas máxima, mínima e média do ar ($^{\circ}\text{C}$), acúmulo mensal da precipitação (mm) e umidade relativa do ar (UR %) das normais climatológicas (Caçador 1961-2013 e Berlin Heights 1986-2013) e dos anos 2010/11 e 2013/14 em Caçador, SC, BR (coluna à esquerda) e dos anos 2012/13 em Berlin Heights, OH, EUA (coluna à direita).

A partir da formação da escala morfológica (Tabela 2.2), foi possível a classificação das gemas coletadas periodicamente, permitindo, portanto, definir a época estimada de ocorrência de cada estádio. A Figura 2.17 compara a época estimada de ocorrência (a partir da plena floração) de cada estádio morfológico da gema de esporões da cv. Fuji entre Caçador e Berlin Heights. Enquanto a Figura 2.18, compara a ocorrência dos estádios morfológicos de acordo com a estrutura de frutificação da cv. Gala, no ano de 2013/14 na região de Caçador.

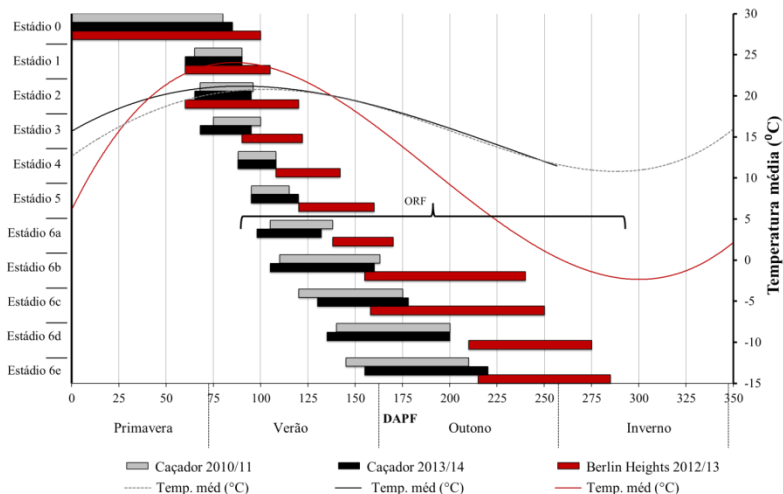


Figura 2.17 Época de ocorrência e duração média dos estádios de desenvolvimento morfológico das gemas de esporões de macieira ‘Fuji’ a partir da plena floração (30/9/2010 e 8/10/2013 em Caçador e 15/04/2012 em Berlin Heights) e médias diárias ajustadas da temperatura do ar (C°) dos anos de 2010/11 e 2013/14 na região de Caçador, SC, BR e 2012/13 na região de Berlin Heights, OH, EUA. DAPF: dias após plena floração. ORF: órgãos reprodutores florais. Estádio 1: Iniciação floral; Estádio 2: Aparecimento do meristema floral lateral no meristema da inflorescência; Estádio 3: Alongamento do meristema floral terminal; Estádio 4: Diferenciação da primeira sépala no meristema floral terminal e de um par de bractéolas nos meristemas florais laterais; Estádio 5: Diferenciação das pétalas no meristema floral terminal e das sépalas no primeiro meristema floral lateral basal; Estádio 6a: Diferenciação dos estames na flor terminal; Estádio 6b: Diferenciação dos estames nas flores laterais; Estádio 6c: Diferenciação dos pistilos na flor terminal; Estádio 6d: Diferenciação dos pistilos nas flores laterais; Estádio 6e: Todas as flores da inflorescência apresentam pistilo e estames diferenciados.

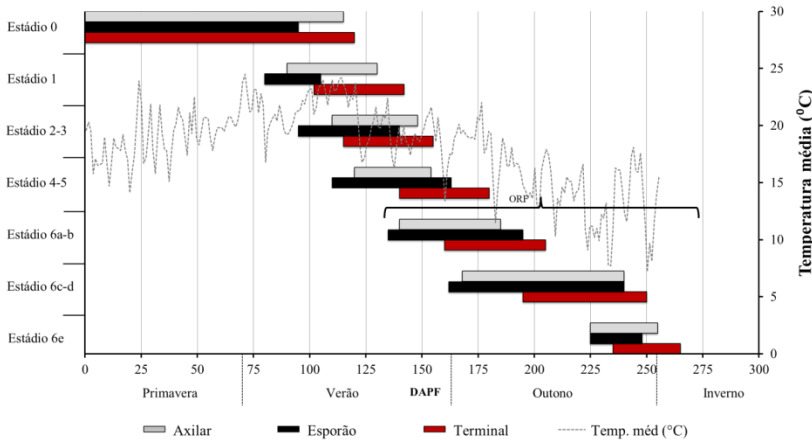


Figura 2.18 Época de ocorrência e duração média dos estádios de desenvolvimento morfológico das gemas de esporões e axilares e terminais de brindilas de macieiras ‘Gala’ a partir da plena floração (10/10/2013) e médias diárias da temperatura do ar (°C) dos anos de 2013/14, na região de Caçador, SC, BR. DAPF: dias após plena floração. ORF: órgãos reprodutores florais. Estádio 1: Iniciação floral; Estádio 2-3: Aparecimento do meristema floral lateral no meristema da inflorescência e alongamento do meristema floral terminal; Estádio 4-5: Diferenciação de sépalas e pétalas no meristema floral terminal e diferenciação das sépalas no primeiro meristema floral lateral basal; Estádio 6a-b: Diferenciação dos estames na flor terminal e nas flores laterais; Estádio 6c-d: Diferenciação dos pistilos na flor terminal e nas flores laterais; Estádio 6e: Todas as flores da inflorescência apresentam pistilo e estames diferenciados.

Considerando todas as estruturas de frutificação (esporões e axilares e terminais de brindilas), gemas vegetativas foram observadas em 100% das gemas da cv. Gala, coletadas até os 75 DAPF (Figura 2.18), e até os 55 DAPF na cv. Fuji, independente do local (Figura 2.17), ou seja, não houve início visível de formação da flor nestes períodos.

A iniciação floral em macieira, em geral, ocorre nos primeiros 40 dias após o florescimento (WESTWOOD, 1978; BUBAN; FAUST, 1982). No entanto, diversos autores observaram que o aparecimento do domo apical ocorre mais tarde e é dependente da cultivar, por exemplo, Hirst e Ferree (1995) observaram que o arredondamento do meristema apical de gemas de esporões da cv. Delicious ocorreu entre 85 e 109

DAPF, enquanto Dadpour et al. (2011) observaram este estágio, para esta mesma cv., entre 90-120 DAPF; outros autores entre 72-99 DAPF (MCARTNEY et al., 2001), 70-150 DAPF (HOOVER et al., 2004) e 53-109 DAPF (FOSTER et al., 2003) para a cv. Gala; entre 60-112 DAPF na cv. Fuji (HOOVER et al., 2004), e aos 94 DAPF para a cv. Starking (BERGH, 1985).

A iniciação floral de gemas de esporões em ‘Fuji’ nas condições brasileiras foi similar entre os anos, ocorreu, em média, entre 63 a 90 DAPF, o que corresponde a 13 de dezembro à 6 de janeiro. Após os 90 DAPF não foi observado nenhuma formação de flor nos esporões. Na região norte americana, esse estágio deu-se muito similar à Caçador, entre 60 a 100 DAPF (Figura 2.17).

Entre as quatro cultivares estudadas por Hoover et al. (2004), (‘Gala’, ‘Fuji’, ‘Braeburn’ e ‘Pacific Rose’) e por Lobos e Yuri (2006) (‘Gala’, ‘Fuji’, ‘Braeburn’ e ‘Red Chief’) o início e término da formação floral de gemas da cv. Fuji ocorreu mais cedo que as demais. De fato, comparando os esporões da cv. Fuji na região de Caçador com os esporões da cv. Gala, em 2013, observa-se que a cv. Fuji mostra precocidade na indução floral, pois a iniciação floral desta cultivar foi observada mais cedo na estação. O início do Estádio 1 (63 e 58 DAPF, Caçador e Berlin Heights, respectivamente) encontrado neste trabalho foi, também, de acordo com Hoover et al. (2004), 60 DAPF (Figura 2.17).

O comportamento das temperaturas médias observadas a partir da plena floração até o momento da iniciação floral foi semelhante, ou seja, foi crescente. No entanto, a caracterização climática de cada local foi diferente. A temperatura média do ar na plena floração em Caçador foi registrada em 11,2°C e 15,6°C, 2010 e 2013, respectivamente. Em Berlin Heights, a temperatura média situava-se ao redor de 4,3°C. No entanto, as temperaturas da região norte americana elevaram-se significativamente até meados do verão, ultrapassando as temperaturas médias da série histórica para aquele local e das registradas na região de Caçador (Figura 2.16, Figura 2.17).

Tais observações, auxiliam na conclusão que as condições climáticas durante o período de crescimento das plantas, distintas em cada local e ano, parecem não exercer influência sobre a iniciação floral dos esporões, sendo mais característico da própria cultivar; concordando com Zeller apud Fulford (1966a) e Foster et al. (2003), em que, fatores intrínsecos são mais determinantes na transição floral, do que fatores extrínsecos do ambiente.

Em relação as estruturas de frutificação da macieira, é possível claramente observar as diferenças da época de iniciação floral entre as gemas de esporões, axilares e terminais de brindilas da cv. Gala, na região de Caçador, no ano de 2013. A primeira evidência da transformação floral dos meristemas foi observada nas gemas de esporões (80 DAPF), em torno de 10 e 25 dias antes da iniciação floral ocorrida em axilares e terminais, respectivamente. O início da formação de flores nas gemas axilares foi antecipado às gemas terminais de brindilas (90 e 105 DAPF, respectivamente). Além disso, o período que compreende o Estádio 1 em esporões foi relativamente mais curto (em torno de 25 dias) que em relação as demais estruturas (40 dias). Isso demonstra certa homogeneidade na iniciação floral destas estruturas, diferentemente das gemas terminais e axilares de brindilas, as quais, neste específico caso, provavelmente foram dependentes e influenciadas pelo crescimento do ramo (Figura 2.18). Segundo Jackson (2003), a época de formação das gemas florais em brindilas, ambas axilares e terminais, varia em relação ao comprimento deste ramo. Devido a grande variabilidade de comprimento observadas durante as coletas, as brindilas coletadas para este estudo variaram entre 20-40 cm, o que pode também explicar tal diferença na iniciação floral.

O início da formação floral em gemas terminais de brindilas ocorreu em torno de três semanas após a formação nas gemas de esporões, corroborando com Zeller apud Fulford (1966a). No entanto, o mesmo autor afirma que a iniciação floral de gemas axilares ocorre mais tardiamente que gemas terminais; fato este, não foi observado no ano de 2013/14, em que a iniciação floral de gemas axilares, sob aquelas condições climáticas, foi em média dez dias mais cedo de que em gemas terminais de brindila (Figura 2.18).

Em regiões subtropicais, principalmente, onde as temperaturas permanecem altas até o outono, o crescimento vegetativo torna-se intenso, havendo, muitas vezes, retorno do crescimento dos ramos do ano. Em tais condições, há uma grande possibilidade de que indução e diferenciação sejam prolongadas durante o ciclo, não havendo sincronia da população de gemas dentro de uma mesma planta. Fato este, é observado durante o período de florescimento pela falta de sincronia na brotação das gemas reprodutivas.

O ciclo de 2013/14, em particular, apresentou-se mais quente que a média histórica (1961-2014), principalmente durante os meses de dezembro à fevereiro, os quais, segundo a ocorrência dos estádios, são os meses críticos onde ocorrem a indução, iniciação e diferenciação das gemas. As temperaturas máximas do ar, de dezembro à fevereiro, na

região de Caçador, foram em média 1,8°C mais altas. Em janeiro, a precipitação acumulada foi em quase 50% a mais que a média histórica, e com 60% dos dias chuvosos, principalmente de primeiro a quinze de janeiro (Figura 2.16). Em consequência disso, observou-se um crescimento mais intenso destes ramos a partir da floração, comparados aos outros anos. A partir do início de janeiro, uma grande quantidade de ramos retomaram seu crescimento, ou seja, a gema terminal brotou novamente e o ramo voltou a crescer. Apesar das amostras de gemas axilares e terminais serem coletadas de brindilas, da cv. Gala, que apresentavam apenas o crescimento normal do ciclo, foi observado em uma amostra secundária, coletada a partir de março, de ramos que retomaram o crescimento (dados não demonstrados neste trabalho) que as gemas axilares e terminais formadas acima do ponto de re-crescimento formaram gemas florais (detalhe na Figura 2.19). A iniciação floral dessas novas gemas ocorreu a partir da metade de março nas axilares e início de abril nas terminais. Com isso, houve um segundo ciclo de formação de gemas florais em brindilas, o primeiro em torno de 100 DAPF (metade do mês de janeiro) e o segundo em média 160 DAPF (metade de março).



Figura 2.19 Retorno de crescimento em brindilas da cv. Gala. A: Destaque para o ponto de recrescimento (círculo). Formação de gemas florais axilares no crescimento normal da brindila, aproximadamente meados de janeiro (setas abaixo do círculo) e formação de gemas florais axilares e terminais após o retorno de crescimento, aproximadamente meados de março (setas acima do círculo). B: Brindila formada demonstrando as gemas florais (setas). Foto tirada em A: 15/01/2014 e B: 13/06/2014, Caçador, SC, BR.

A iniciação floral de gemas terminais e axilares de brindilas só ocorrerá quando o crescimento dos ramos cessarem (FAUST, 1989). Segundo Jackson (2003) a parada de crescimento, geralmente ocorre na entrada do verão, no entanto, a formação de flores ao longo das brindilas pode ocorrer em diferentes épocas. Sob as condições ambientais do Sul do Brasil, observa-se que esta diferença torna-se ainda mais acentuada, uma vez que após o retorno de crescimento dos ramos, gemas axilares e terminais de brindilas continuam a formar flores. Além disso, o intervalo de observação de gemas no Estádio 1 (transição visível da transformação floral das gemas) em gemas axilares e terminais de brindilas foi mais longo que em relação as gemas de esporões.

Desta forma, fica evidente que a variação da época da parada de crescimento, ou da prolongação do período de crescimento, e da formação das gemas florais, principalmente em gemas axilares e terminais de brindilas, não é provocada por um único sinal ou estímulo

ambiental; como acontece em algumas espécies, em que a indução floral só ocorrerá após a exposição à baixas temperaturas, como é o caso da macadâmia, abacate, citrus, etc (MOSS, 1976; NAKATA, 1976; BUTTROSE; ALEXANDER, 1978); ou mesmo em casos em que a entrada de dormência está associada a mudança do fotoperíodo, como é o caso da videira (NITSCH, 1957; FENNELL; HOOVER, 1991). E sim, essa variação parece ser resposta à uma série de fatores ocorridos durante este período, considerados como indutores de crescimento, como por exemplo, temperaturas elevadas, excesso de chuvas e de nutrientes (especialmente nitrogênio), uso de porta-enxertos vigorosos, baixa produtividade, etc.

Outro caso relevante que foi observado durante as avaliações do ano de 2010/11, (ano não incluído na tese), foi que a época da indução/iniciação floral de gemas de esporões também ocorreu mais precocemente naquele ano, entretanto, em gemas terminais e axilares de brindilas a formação floral ocorreu de maneira paralela. Talvez, a sincronia entre estas estruturas seja devido à baixa ocorrência do retorno de crescimento dos ramos novos. Porém, é necessário uma análise mais detalhada das condições climáticas daquele ano comparadas ao ano de 2013/14, para auxiliar no entendimento do processo de crescimento dos ramos de brindilas e da formação floral.

Em alguns anos, é muito comum a formação de flores e frutos extemporâneos (Figura 2.20), sendo várias as hipóteses formuladas em relação ao desenvolvimento desses órgãos reprodutivos. Uma delas é que a indução e diferenciação floral tenha ocorrido no mesmo ciclo de crescimento durante um curto espaço de tempo. Entretanto, como foi descrito acima, ramos (brindilas) que retomaram o crescimento dentro da mesma estação de crescimento, geralmente entre dezembro e janeiro, tendem a formar flores mais tardiamente, principalmente as gemas terminais dessas brindilas. Esta observação sugere que flores extemporâneas tenham sido originadas de tais gemas, pois a diferenciação dos órgãos florais pode ter ocorrido lentamente durante a dormência da planta e finalizado na entrada da primavera seguinte; consequentemente florescendo fora da época de floração habitual da cultura.



Figura 2.20 Flores extemporâneas de macieira, cv. Gala. Detalhe do alongamento caulinar (seta). Caçador, SC, BR, 2014.

Nos dois ciclos de coletas de gemas de esporões da cv. Fuji, realizados em Caçador, o comportamento dos estádios de diferenciação floral foi muito similar durante os dias após a plena floração. A transição dos estádios iniciais (2-5) foi mais rápida comparada à Berlin Heights. Até aproximadamente 120 DAPF (início de fevereiro), o meristema da inflorescência mostrava-se completo com todos os meristemas florais, e estes, com sépalas e pétalas diferenciadas (Estádio 5). A diferenciação de primórdios de estames (6a e 6b) e pistilos (6c e 6d), na flor terminal e nas flores laterais da inflorescência, respectivamente, teve início a partir dos 100 DAPF; e aos, aproximadamente, 185-195 DAPF (metade de abril), 50% das gemas amostradas, apresentavam inflorescência completa, com pistilos e estames diferenciados (Estádio 6e) (Figura 2.17).

Já, os esporões da ‘Fuji’ conduzidas na região de Berlin Heights, apresentaram comportamento distinto de esporões de Caçador. Além do mais longo intervalo, a transição entre um estádio à outro deu-se de forma mais lenta. Até o estádio 4, o início de cada estádio ocorreu de forma similar ao observado em Caçador. A partir daí, a diferença tornou-se acentuada. Os meristemas florais apresentavam-se definidos, com primórdios de pétalas e sépalas diferenciados (Estádio 5), somente

aos 155 DAPF, 35 dias após o observado sob as condições de Caçador. A diferenciação dos primórdios de estames, na flor terminal (rainha) só foi observada aos 135 DAPF, correspondente a final de fevereiro no Brasil. Os primórdios de estigmas das flores laterais e terminal (rainha) na inflorescência, tem início a partir dos 155 e 205 DAPF, respectivamente. E somente aos 268 DAPF, depois da entrada do inverno, é que 50% das gemas coletadas encontravam-se no Estádio 6e, aproximadamente 80 dias após as gemas de esporões em Caçador (Estádio 6e) (Figura 2.17).

O intervalo compreendido entre a iniciação (Estádio 1) à diferenciação do pistilo em flores laterais da inflorescência (Estádio 6e) de uma gema de esporão da cv. Fuji, foi de aproximadamente 90 dias na região de Caçador, e 155 dias em Berlin Heights.

O maior prolongamento dos estádios de diferenciação floral observado na região de Berlin Heights, poderia ser explicado pelas condições climáticas deste local. A queda de temperatura do ar no hemisfério Norte a partir da metade do verão é consideravelmente mais acentuada que no hemisfério Sul, o que talvez, teria levado à um mais lento desenvolvimento dos primórdios dos órgãos florais. Outro fator, que deveria ser considerado, é que as altas temperaturas observadas durante os Estádios 2-4 naquela região (aproximadamente 3 graus mais altas que a média histórica), poderia de certa forma, ter ocasionado certo estresse às gemas, levando ao atraso do desenvolvimento floral (Figura 2.16, Figura 2.17).

Em relação as estruturas de frutificação da cv. Gala, no ciclo de 2013/14, a sequência de formação das gemas de 'Gala' nos diferentes estádios, seguiu-se da mesma forma que a sequência do Estádio 1, em que, esporões demonstram precocidade em relação as demais estruturas, seguido de axilares e por último as gemas terminais de brindilas (Figura 2.18).

Até 168 DAPF (27/3), todos os meristemas florais de esporões haviam diferenciado os primórdios de sépalas e pétalas. Aproximadamente a mesma época em que Lobos e Yuri (2006), sob as condições ambientais do Chile, observou em gemas de esporões da cv. Gala (156-173). Esta fase deu-se entre 175 e 182 DAPF para axilares e terminais de brindilas, respectivamente. Portanto, até meados de abril, pode-se considerar que em todas as gemas da cv. Gala na região de Caçador, a inflorescência apresentava-se definida (Figura 2.18).

Os órgãos reprodutivos florais, como os estames e pistilos, começam a diferenciar na flor terminal e nas flores laterais,

aproximadamente, em 130 DAPF (15/02) em esporões. As gemas terminais de brindilas apresentaram uma diferença de 30 dias no início do desenvolvimento desses órgãos, comparado com os esporões (Figura 2.18).

Segundo Bergh (1985), sob as condições da África do Sul, flores terminais (flor rainha) de esporões da cv. Starking (mutação da 'Red Delicious') apresentavam órgãos florais reprodutores (estames e pistilo), correspondente ao estágio 6b deste trabalho, durante a segunda semana de março (153 DAPF). A formação de primórdios de pistilo na flor terminal de esporões 'Gala', foi observado entre 140-165 DAPF, com maior frequência aos 150 DAPF, coincidindo com o autor para aquela variedade.

Ao final do outono, aproximadamente aos 248 DAPF, todas as flores laterais e a flor rainha (terminal) de gemas de esporões da 'Gala' apresentavam estames e pistilos. A completa formação floral em gemas terminais ocorreu aos 265 DAPF (2/07), sendo a mais prolongada entre as estruturas (Figura 2.18).

O intervalo compreendido entre a iniciação (Estádio 1) à diferenciação do pistilo em flores laterais da inflorescência (Estádio 6e) de uma gema de esporão, axilar e terminal de brindila da cv. Gala, foi de aproximadamente 145, 135 e 133 dias, respectivamente.

Se a iniciação floral é dependente de fatores intrínsecos da planta, e ocorre em certo período após a plena floração, a homogeneidade de brotação e florescimento parece estar estreitamente associada à época de ocorrência da transformação floral. Em outras palavras, a falta de sincronia de florescimento poderá conduzir à um maior intervalo de indução floral, ou seja, a iniciação floral poderá ser observada em um período maior de tempo. Provavelmente, este seja outro fator, responsável pela variabilidade temporal de flores, observadas nos pomares de macieira do Sul do Brasil; associado ao mais baixo acúmulo de frio ocorrido no inverno dessas regiões.

2.4 Conclusões

Dez estádios morfológicos foram definidos, do meristema vegetativo à formação dos órgãos florais de inflorescências de gemas da espécie *Malus domestica* Borkh. A iniciação floral, na inflorescência, ocorreu primeiramente nos meristemas florais laterais (flores laterais), no entanto, ocorreu um avanço na diferenciação e o desenvolvimento da flor terminal;

A indução floral em esporões da cv. Fuji, ocorreu na mesma época, em ambos os locais estudados. No entanto, foi observado um prolongamento na duração dos estádios de diferenciação das gemas, na região de Berlin Heights, nos Estados Unidos. Tal observação, leva a concluir que a transição floral do estádio vegetativo para reprodutivo (Estádio 0 para 1), parece ser regulado por sinais intrínsecos da planta. No entanto, a transição entre os demais estádios de diferenciação parece sofrer considerável influência dos sinais ambientais, principalmente das temperaturas.

A iniciação floral foi influenciada pela cultivar e estrutura de frutificação. O desenvolvimento floral de gemas da cv. Fuji ocorreu mais precocemente do que o desenvolvimento floral de gemas da cv. Gala. O mesmo foi observado para as gemas de esporões da cv. Gala.

Faz-se necessário uma análise detalhada das épocas, pois a forma apresentada não demonstra os picos de ocorrência dos estádios, e sim o período médio compreendido.

CAPÍTULO 3

CARACTERIZAÇÃO DA BIOLOGIA E MORFOLOGIA DOS ÓRGÃOS REPRODUTORES DE FLORES DE MACIEIRA CULTIVARES GALA E FUJI, SOB DIFERENTES ESTRUTURAS DE FRUTIFICAÇÃO E CONDIÇÕES CLIMÁTICAS

CAPÍTULO 3 – CARACTERIZAÇÃO DA BIOLOGIA E MORFOLOGIA DOS ÓRGÃOS REPRODUTORES FLORAIS DA MACIEIRA CULTIVARES GALA E FUJI, SOB DIFERENTES ESTRUTURAS DE FRUTIFICAÇÃO E CONDIÇÕES CLIMÁTICAS

RESUMO

A qualidade da flor pode ser definida pela sua capacidade em tornar-se um fruto. Vários fatores estão envolvidos durante o processo da formação e da qualidade da flor de frutíferas de clima temperado, como por exemplo, as características reprodutivas da planta, sua adaptação ao ambiente e as condições climáticas ocorridas da diferenciação à antese. Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivos, estudar e caracterizar a biologia floral e a morfologia dos órgãos reprodutores de flores de macieira nas diferentes estruturas reprodutivas da planta. O estudo foi conduzido em dois locais distintos, porém ambas regiões apresentam condições climáticas favoráveis para o cultivo da macieira – no Sul do Brasil e meio-oeste Norte dos Estados Unidos, durante os ciclos de 2011/12 e 2013/14, e 2013, respectivamente. O pomar de macieira localizado no Sul do Brasil situa-se em Caçador/SC/Brasil (26°50'S, 50°58'W, altitude 950m); e o pomar do hemisfério norte localiza-se nos Estados Unidos, na região de Wooster/OH (40°44'N, 81°54'W, altitude 356m). As cultivares estudadas foram Gala e Fuji. As variáveis avaliadas foram comprimento e massa fresca do pistilo e diâmetro do ovário, número de anteras por flor e grãos de pólen por antera e por flor, germinação in vitro do grão de pólen, cinética dos tubos polínicos no pistilo e receptividade dos estigmas. Todas as variáveis estudadas foram direcionadas separadamente sobre a flor rainha de cada estrutura de frutificação: gema de esporão, gema terminal de brindila e gema axilar de brindila. Flores de macieiras das cvs. Gala e Fuji provenientes de regiões de clima temperado foram mais desenvolvidas morfológicamente que flores de macieiras cultivadas sob condições subtropicais. Entre as estruturas da cv. Gala, flores terminais de brindilas na região de Caçador e esporões na região de Wooster, apresentaram, em geral, maior comprimento de pistilo e diâmetro de ovário. Os órgãos florais femininos de flores da cv. Fuji desenvolveram-se melhores sobre terminais de brindilas e esporões, em ambas regiões. A quantidade de grãos de pólen de flores de 'Gala', foi aproximadamente o dobro

comparado a 'Fuji'. No entanto, em Wooster, as flores de macieira apresentaram 30% e 65% a mais de grãos de pólen, das cultivares respectivamente. A receptividade do estigma foi maior na cv. Gala do que na Fuji em ambos os locais. Em Caçador, os estigmas apresentaram-se mais receptivos na abertura das flores, ou talvez, anteriormente a esta; e em Wooster, os estigmas alcançam a máxima receptividade entre as 24-48 horas após a antese. Para ambas as cultivares em Caçador, foram necessárias 48 horas sob uma temperatura do ar média de 17 °C ($\pm 3^{\circ}\text{C}$) e umidade relativa do ar de 70%, para que o tubo polínico mais longo atingisse a base do estilete. Em Wooster, o intervalo médio de crescimento, observado nos esporões das duas cultivares foi de 49 horas a uma temperatura média de 20°C e UR de 56%.

Palavras Chave: *Malus domestica* Borkh., morfologia floral, antese, receptividade estigmática, cinética do tubo polínico.

3.1 Introdução

Entre as espécies frutíferas de clima temperado de importância econômica no Brasil sensíveis a altas temperaturas, está a macieira (*Malus domestica* Borkh.). A macieira possui uma ampla variabilidade genética, o que permite o seu cultivo em escala comercial mesmo em condições de clima temperado quente ou subtropical, sendo que o seu cultivo é geralmente limitado entre as latitudes 25° e 45°. Porém, seu cultivo pode ser facilitado fora desta faixa se as condições forem favoravelmente quentes durante o verão em altas latitudes por estarem próximas as massas de água ou se as temperaturas de invernos forem baixas em regiões de baixa latitude (PALMER et al., 2003).

Temperaturas elevadas durante a floração da macieira podem influenciar negativamente a frutificação efetiva, ocasionar irregularidades na produtividade e no tamanho dos frutos. Após a polinização, a taxa de crescimento do tubo polínico, a receptividade do estigma e viabilidade dos óvulos são dependentes da temperatura (PALMER et al., 2003). De acordo com Kosai et al. (2004), em condições de altas temperaturas, muitas vezes a baixa frutificação em pessegueiro é atribuída ao desenvolvimento errático das flores devido à insuficiência de frio. Os mesmos autores destacam que, as altas temperaturas que ocorrem após a o tratamento de quebra de dormência podem estar envolvidas com o desenvolvimento anormal de órgãos reprodutivos, e consequentemente com as baixas frutificações, sendo isto relatado também em outras espécies de frutos de caroço.

Muito embora a resistência ao estresse térmico não tenha tido a devida atenção por parte do melhoramento genético (HEDHLY et al., 2003), alguns trabalhos, comparando genótipos com diferentes tolerâncias ao estresse térmico, demonstram que muitas espécies são susceptíveis a altas temperaturas, particularmente na fase reprodutiva (HALL, 1992; PARK et al., 1998). Este efeito sobre a fase reprodutiva pode ocorrer em diversos níveis, tanto na masculina, no desenvolvimento do grão de pólen, na polinização, na germinação do grão de pólen e no crescimento do tubo polínico no pistilo da flor, como na parte feminina, incluindo a viabilidade dos óvulos, a fecundação e a frutificação (HEDHLY et al., 2003).

Informações sobre efeito da temperatura na pré-floração e floração em espécies frutíferas de clima temperado são escassas, e por vezes contraditórias. Em cerejeira (*Prunus avium*), estudos realizados com plantas cultivadas em vasos demonstram que a frutificação reduz drasticamente (29%) em temperaturas a partir de 20°C, sendo praticamente nula (2%) quando submetidas a 25°C, se comparadas à média de 50% a 15°C (BEPPU et al., 1997). Em damasqueiro (*P. armeniaca*), o aumento da temperatura em 3°C, na pré-floração, pode antecipar em até uma semana a floração desta espécie, além de causar danos irreversíveis às flores, tais como pistilos menores do que o normal, resultando em uma redução da frutificação e, conseqüentemente, da produção (GARCÍA; ROMERO, 2002; RODRIGO; HERRERO, 2002).

Estudos em diferentes espécies também mostram que a temperatura afeta a germinação de pólen *in vitro* (CEROVIC; RUZIC, 1992) e *in vivo* (ANEJA et al., 1992). Entretanto, as temperaturas variam entre espécies (ABDUL-BAKI; STOMMEL, 1995; MCKEE; RICHARDS, 1998). Na pereira, Sanzol et al. (2003b) citam que em regiões de clima frio o fator limitante atuando no período efetivo de polinização é o lento crescimento do tubo polínico. Mas, em regiões de clima com temperatura mais elevada, eles identificaram que o fator limitante não foi o desenvolvimento do tubo polínico e nem a degeneração do óvulo, mas sim o período de receptividade estigmática.

Entretanto, em se tratando da parte feminina da flor, a maioria dos estudos sobre o efeito da temperatura se concentra em analisar o efeito na viabilidade e longevidade dos óvulos, enquanto que o efeito sobre o estigma e pistilo tem recebido menos atenção, assim como a interação com o gametófito masculino. Como regra geral, baixas temperaturas durante florescimento diminuem o crescimento do tubo

polínico, porém aumentam o período de polinização efetiva através extensão da viabilidade do óvulo (TROMP; BORSBOOM, 1994). No entanto, temperaturas muito baixas podem diminuir este período se a longevidade dos óvulos não superar o baixo crescimento do tubo polínico. Altas temperaturas aumentam o crescimento do tubo polínico, mas diminuem o período de polinização efetiva através da rápida senescência dos estigmas e óvulos (BURGOS et al., 1991; EGEA et al., 1991; DENNIS, 2003). Apesar do claro efeito da temperatura sobre vários aspectos relacionados a polinização, cinética do tubo polínico e fertilização do óvulo, a qualidade da flor (tamanho, cor, relação folha/frutos, estado nutricional) sob as mesmas condições ambientais podem apresentar diferentes efeitos sobre estes (SANZOL; HERRERO, 2001). Além disso, Yoder et al. (2009) observaram que a taxa de crescimento do tubo polínico é também dependente das reservas da planta que são mobilizadas às flores e da fotossíntese realizada por estas.

A qualidade da flor é definida pela capacidade da flor tornar-se fruto (WILLIAMS, 1965). No entanto, vários fatores estão envolvidos durante o processo da formação e da qualidade da flor de frutíferas de clima temperado, tais como cultivar, adaptação, acúmulo de frio (OUKABLI et al., 2003); condições climáticas ocorridas da diferenciação à antese (TROMP, 1984); aspecto nutricional e época de adubações (NACHTIGALL, 2000).

As características ligadas ao ramo onde as flores se desenvolvem, como carboidratos, fitohormônios, nutrientes, comprimento e idade, também podem influenciar os processos de fertilização, frutificação efetiva e a qualidade dos frutos (ROM; BARRITT, 1987). Da mesma forma, a posição e o tipo da estrutura de frutificação (gemas fracas ou fortes de esporões e brindilas) também são outros fatores que atuam sobre a fertilização e formação dos frutos (MADAIL et al., 2012). Estruturas localizadas mais no ápice dos ramos recebem maior incidência luminosa do que as estruturas localizadas no interior da copa (ROM; BARRITT, 1987; NACHTIGALL, 2000). Esta disposição pode influenciar na capacidade fotossintética e, por conseguinte, no acúmulo de fotoassimilados.

A relação existente entre os diferentes tipos de estruturas de frutificação da macieira com a produção e a qualidade final dos frutos já vem sendo estudada (HISSANO et al., 1990; NACHTIGALL, 2000; MADAIL, 2008), no entanto, pouco se conhece a respeito da biologia e qualidade floral destas estruturas. O conhecimento da biologia floral nas diferentes estruturas frutíferas da planta, como também, da adaptação dessas estruturas dentro da planta sob condições ideais e/ou extremas de

cultivo, poderá subsidiar o planejamento de práticas culturais que melhor se adequariam a cada sistema produtivo, cultivar e local, através da seleção das estruturas que apresentam alto potencial produtivo. Neste sentido, este trabalho objetivou estudar e caracterizar a biologia floral e a morfologia dos órgãos reprodutores de flores de macieira nas diferentes estruturas reprodutivas da planta sob as condições climáticas do Sul do Brasil. Como base de comparação dos resultados, foi avaliado o comportamento dessas mesmas variáveis numa região de clima temperado dos Estados Unidos, a qual, apresenta condições ótimas para o cultivo da macieira.

3.2 Material e Métodos

3.2.1 Descrição do local e material vegetal

O estudo comparativo foi conduzido em dois locais distintos, porém ambas regiões apresentam condições climáticas favoráveis para o cultivo da macieira – no Sul do Brasil e meio-oeste norte dos Estados Unidos.

O estudo experimental realizado no sul do Brasil, foi conduzido na Estação Experimental de Caçador/EPAGRI, em Caçador, SC (latitude 26°50'S, longitude 50°58'W e altitude de 950m) durante a safra de 2011/2012 e 2013/14. O clima dessa região caracteriza-se como temperado constantemente úmido, com verão ameno, conforme a classificação de Köppen, do tipo “Cfb”. O solo do pomar em estudo é classificado como Nitossolo Bruno distrófico (EMBRAPA, 2006). A temperatura média anual é de 16,6 °C, a média da precipitação pluvial anual é de 1670 mm e a umidade relativa do ar média é de 78%. O acúmulo médio de frio durante o período de outono e inverno, segundo modelo Carolina do Norte Modificado (EBERT et al., 1986), é de 1058 unidades de frio (UF), de acordo com a média histórica de 1973 a 2010 (CIRAM/EPAGRI).

O outro local onde o experimento foi conduzido pertence a unidade experimental da OARDC/OSU (Ohio Agricultural Research and Developmental Center/Ohio State University), em Wooster, OH, EUA, (latitude 40°44'N, longitude 81°54'W e altitude de 356m), durante a safra de 2013. O clima dessa região caracteriza-se como continental úmido, com quatro estações bem definidas: verões muito quentes e úmidos e invernos frios, conforme a classificação de Köppen, do tipo “Dfa”. A temperatura média anual é de 9,7 °C, a média da

precipitação pluvial anual é de 965 mm e a umidade relativa do ar é de 76 %. O acúmulo médio de frio, segundo modelo Carolina do Norte Modificado, durante o período de outono e inverno, em 2012/13, foi de 1822 unidades de frio.

As cultivares estudadas, em ambos os locais foram Gala e Fuji. Em ambos os locais, as plantas apresentavam em torno de nove anos de idade, e estavam enxertadas sobre o porta-enxerto M9. Ambos os pomares utilizados apresentavam densidade de plantio de 2500 plantas ha⁻¹, sendo as plantas conduzidas no sistema em líder central. A condução e as práticas de manejo do pomar foram conforme as recomendações técnicas da cultura para cada local, no entanto, escolheu-se pomares que fossem bastante similares entre si. Devido aos invernos amenos e ao baixo acúmulo de unidade de frio na região de Caçador, foi realizado o tratamento de quebra de dormência (QD) nos dois anos de estudos para auxiliar na superação da dormência e uniformização da brotação e florescimento. O produto aplicado foi a mistura de cianamida hidrogenada (Dormex®) e óleo mineral (0,7% + 3,5%, respectivamente). A época de aplicação foi determinada em função da disponibilidade de frio durante o inverno, sendo geralmente aplicado em torno do estágio de ponta de prata. Portanto, conforme esta recomendação, os tratamentos de QD na área estudada em Caçador, foram aplicados em 2/9/2011 e 6/9/2013, quando já haviam sido acumuladas 935 e 968 unidades de frio, respectivamente.

Todas as variáveis estudadas foram avaliadas separadamente sobre as diferentes estruturas de frutificação (brindilas e esporões): 1) gema de esporão; 2) gema terminal de brindila; 3) gema axilar de brindila. Todas as avaliações foram padronizadas sobre a flor terminal (flor rainha) de cada inflorescência quando as mesmas se encontravam em estágio de balão floral (Figura 3.1)



Figura 3.1 Inflorescência da macieira (*Malus domestica* Borkh.). Flor rainha (central) em estágio de balão.

3.2.2 Variáveis avaliadas

3.2.2.1 Comprimento e massa fresca do pistilo e diâmetro do ovário

Para as avaliações morfológicas de massa fresca e comprimento do pistilo e diâmetro do ovário, os botões florais foram coletados nas diferentes estruturas, acondicionados em caixas térmicas e transportados imediatamente até o laboratório para as devidas medidas. Com auxílio de um bisturi, as flores foram emasculadas, as anteras (esporângios) destacadas, e o pistilo das flores pesados em balança analítica. Com uma régua de escala milimétrica foram medidos o diâmetro do ovário e o comprimento do pistilo (Figura 3.2). Para esta coleta, foram escolhidas 10 plantas como repetições, sendo que, em cada planta foram coletadas em média dez flores rainhas de cada estrutura.

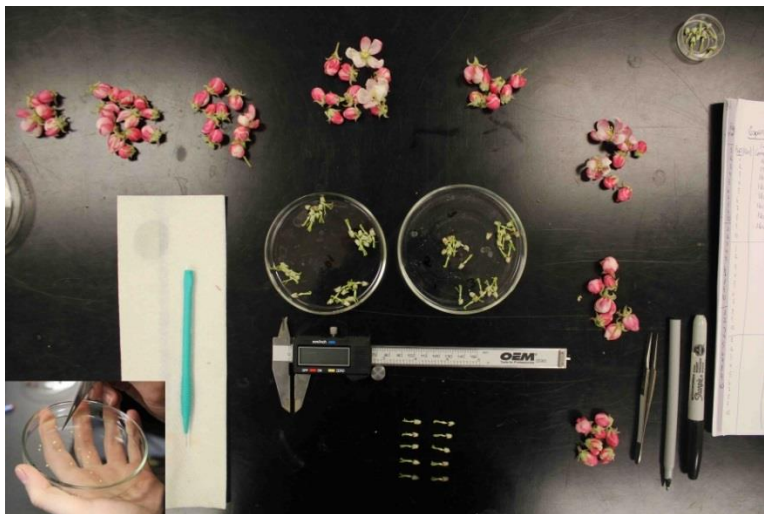


Figura 3.2 Método da avaliação morfológica das flores de macieira. Caçador, SC, BRA e Wooster, OH, EUA, 2010-2014.

3.2.2.2 Número de anteras por flor e grãos de pólen por antera ou flor

Para contagem do número de anteras por flor, foram utilizadas as anteras destacadas acima, seguindo o mesmo número de repetições. Para a contagem do número de grãos de pólen por antera ou flor, cinquenta anteras foram deixadas para secar por dois dias, em tubos Eppendorf com capacidade para 1,0 mL. Após a deiscência, foi adicionado uma solução de 0,5mL de ác. láctico a 85% em cada eppendorf. Para a contagem, as anteras contidas na solução de cada eppendorf foram trituradas utilizando a ponta oposta das cerdas de pincel n°2; e uma alíquota de 0,1mL da suspensão de cada amostra foi retirada, pipetada sobre uma câmara de Neubauer e fixada por uma lamínula. A contagem foi realizada em microscópio óptico, conforme metodologia descrita por (FAORO, 2009), sendo considerados os cinco campos principais. Cada repetição (10) foi composta pela leitura média de duas lâminas. O número de grãos de pólen por flor foi calculado pela seguinte fórmula: $N_{pf} = (\bar{\Sigma}L \cdot 1/a \cdot (vs/vc)) \cdot N_{af}$, onde: N_{pf} = número médio de grãos de pólen por flor; $\bar{\Sigma}L$ = média dos cinco campos do hemacitômetro; a = número de anteras trituradas na solução original vs (= 50) vs = volume da solução original de ácido láctico, em mm^3 (=

$500\text{mm}^3 = 0,5\text{ml}$); vc = volume do campo avaliado da câmara de Newbauer, em mm^3 ($= 0,1\text{mm}^3$), Naf = número de anteras por flor.

3.2.2.3 Germinação *in vitro* dos grãos de pólen

Para o teste de germinação *in vitro* dos grãos de pólen, foram coletadas anteras de cem flores em estágio de balão floral, provenientes das diferentes estruturas, e posicionadas em caixas de papel e matidas à temperatura de $20\pm 5^\circ\text{C}$, em torno de 72 horas para a liberação do grão de pólen. Foi preparado um meio de cultura contendo 15% de sacarose + 1% de Agar + 0,04% de Boro, dissolvidos em água destilada. Dois blocos de aproximadamente $5,25\text{cm}^2$ ($1,5\text{cm} \times 3,5\text{cm}$) e 1mm de espessura de meio de cultura foram dispostos sobre uma lâmina e o pólen aspergido sobre os mesmos. Em seguida, as lâminas foram incubadas em câmara úmida simulada (duas lâminas por placa de Petri contendo papel absorvente umedecido) e levadas em estufa tipo BOD a $26\pm 0,5^\circ\text{C}$, por um período entre quatro à cinco horas. Para os grãos de pólen provenientes da região de Wooster, OH, EUA, foram necessárias oito horas de incubação ($26\pm 0,5^\circ\text{C}$) para se obter o máximo de germinação. A contagem da percentagem de grãos de pólen germinados foi realizada sob microscópio estereoscópio binocular. Cem grãos de pólen foram contados em cada bloco da lâmina, e somente grãos com comprimento do tubo polínico igual ou superior ao diâmetro do próprio grão de pólen foi considerado como germinado. Utilizou-se a média de dois blocos sobre cada lâmina para cada repetição, totalizando dez repetições.

3.2.2.4 Cinética dos tubos polínicos no pistilo

Para acompanhar o crescimento do tubo polínico, flores na região de Caçador, em estágio de balão floral, foram emasculadas e imediatamente polinizadas com pólen proveniente do mesmo ciclo, ‘Gala’ x ‘Fuji’ e vice e versa, e com viabilidade testada. Após 3, 6, 12, 24 e 48 horas para ‘Fuji’ e 12, 24 e 48 horas para ‘Gala’ no ciclo de 2011/12, e após 12, 24, 36, 48 e 60 para ‘Fuji’ e ‘Gala’ no ciclo de 2013/14, uma amostra de 15 flores foi coletada e fixada numa solução FAA [formaldeído : ácido acético : etanol 70% (10:5:85, v/v)] por 24-48hs em temperatura ambiente. Em Wooster, no ciclo de 2013, as coletas foram às 6, 12, 24 e 48 horas após polinização. Em seguida, estas amostras foram transferidas para frascos com etanol 70% para

conservação até a observação das mesmas. A cinética do tubo polínico ao longo do pistilo foi analisada por microscopia de fluorescência. Os pistilos fixados foram submersos em solução de NaOH 10M por 15-18 horas em temperatura ambiente. Após tratamento de amolecimento dos tecidos, os mesmos foram lavados em água destilada, preparados sobre lâminas contendo 0,2 mL de 0,001mg/ml de Aniline Blue Fluorochrome (Biosupplies Australia Pty., Ltd., Parkville, VIC, Australia) em 0.1M K_2HPO_4 pH 10, e mantidos sob escuro por 12 horas, com o objetivo de colorir a calose. As amostras coradas foram observadas sob luz ultravioleta (450 nm) em microscópio epifluorescente Leica DM IRB acoplado a uma câmera digital Q Imaging Retiga 2000 (Figura 3.3).

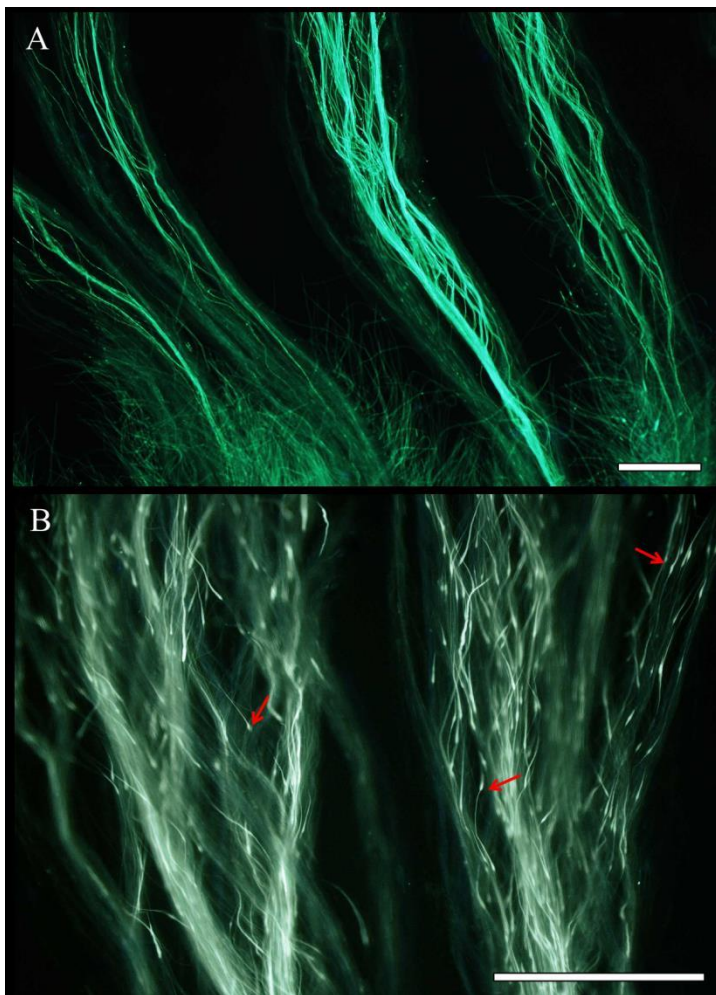


Figura 3.3 A: Crescimento do tubo polínico ao longo dos estiletes de flores de macieira observado sob microscopia de fluorescência. B: Destaque para os pontos de calose (setas), os quais se depositam na parede do tubo polínico em forma de tampões em diferentes intervalos durante o crescimento dos tubos. Barra: 500 μ m.

Foi considerado o crescimento médio observado nos cinco estiletes por flor do tubo polínico mais longo, sendo que o ranqueamento

foi dado em função a percentagem de crescimento (1% - grão de pólen recém germinado a 100% - tubo polínico na base do estilete) conforme Figura 3.4.

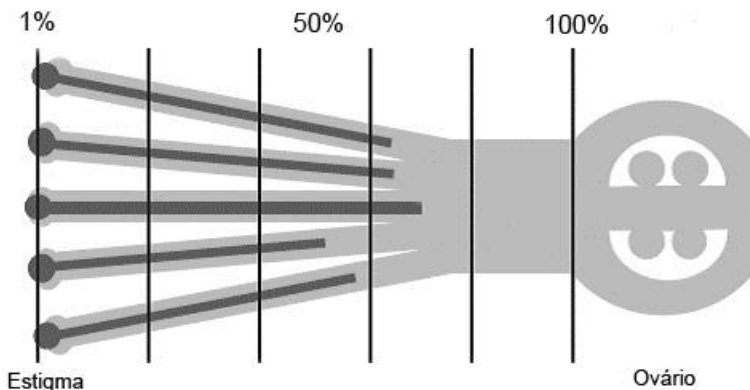


Figura 3.4 Desenho esquemático do método de avaliação do crescimento do tubo polínico, numa escala de 1% (grão de pólen recém germinado) à 100% (tubo polínico na base do estilete) (ADACHI et al. (2009) com modificações).

3.2.2.5 Receptividade do estigma

A receptividade do estigma ao longo do tempo foi observada, em Caçador, às 0, 24, 48 e 72 horas após antese simulada (emasculação dos botões florais), em ambas cultivares. No ciclo de 2013/14, devido as baixas temperaturas observadas, foi adicionado um tempo a mais de coleta, as 96 horas. Em Wooster, os tempos observados foram 0, 24, 48, 72 e 96 horas após antese simulada. Após a emasculação e conforme o tempo determinado, os estigmas de aproximadamente 15 flores foram polinizados, coletados após 24 hrs da polinização e fixados em solução FAA. A avaliação dessa variável foi em microscopia de fluorescência. Portanto o método de polinização e o preparo das amostras foram conforme citados no item 3.2.2.4. Neste caso contou-se o número de grãos de pólen germinados no estigma da flor. Da mesma forma, foi considerado o número médio observado nos cinco estigmas de cada flor.

A receptividade do estigma e o crescimento do tubo polínico foi avaliado em todas as estruturas da cv. Gala (esporões e axilares e

terminais de brindilas), na região de Caçador, nos ciclos de 2011/12 e 2013/14. Em 2011, apenas a cinética do tubo polínico foi avaliada em todas as estruturas da cv. Fuji. As análises de receptividade do estigma e crescimento do tubo polínico das flores da cv. Fuji foram realizadas somente sobre esporões no ano de 2013, devido ao baixo número de plantas e a baixa presença de brindilas nas mesmas, neste ano. Para a região de Wooster, ambas as variáveis foram avaliadas sobre os esporões de ambas cultivares.

3.2.3 Monitoramento Climático

O monitoramento climático foi realizado através das seguintes variáveis: temperatura do ar média, precipitação pluviométrica e umidade relativa do ar (UR). Os dados foram obtidos através da estação meteorológica da Epagri/CIRAM (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina/ Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina) para a região de Caçador/Brasil; e através do OARDC Weather System para a região de Wooster/EUA.

3.2.4 Análise Estatística

Os locais e as cultivares foram estudados separadamente, não sendo, desta forma, considerados fontes de variação.

Na região de Caçador, com exceção das variáveis cinética do tubo polínico e receptividade do estigma, as quais foram estudadas separadamente nos anos, para todas as demais variáveis foi considerado um esquema fatorial (3x2), com três tipos de estrutura de frutificação e dois anos de avaliação. Para a região de Wooster, o tipo de estrutura foi o único fator de tratamento estudado.

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância (ANOVA), e quando verificada significância, procedeu-se à comparação de médias, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Em relação a cinética do tubo polínico foi efetuada análise de regressão empregando-se a equação que melhor ajustou-se aos dados. Para análise da variância os dados expressos de contagem e porcentagem foram transformados em $(x+1)^{1/2}$ e $\arcsen(x/100)^{1/2}$, respectivamente.

3.3 Resultados e Discussão

Na Figura 3.5 estão demonstrados as variáveis climáticas de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa do ar (%) e precipitação (mm) registradas durante meses de agosto, setembro e outubro de 2011 e 2013 na região de Caçador, SC, BR, e março, abril e maio de 2013 na região de Wooster, OH, EUA, bem como as datas médias dos principais eventos (tratamento de quebra de dormência, início da brotação e início do florescimento).

As avaliações morfológicas da flor, cinética do tubo polínico e receptividade do estigma foram realizados nos meses de Outubro e Maio, na região de Caçador e Wooster, respectivamente.

Em 2011, na região de Caçador, houve sincronia dos estádios fenológicos entre as estruturas e cultivares, portanto as condições climáticas foram as mesmas para todas as variáveis avaliadas. Em 2013, as estruturas apresentaram comportamentos fenológicos distintos entre si (melhor discutido no Capítulo 4), portanto, as avaliações foram realizadas respeitando o percurso natural de cada estrutura.

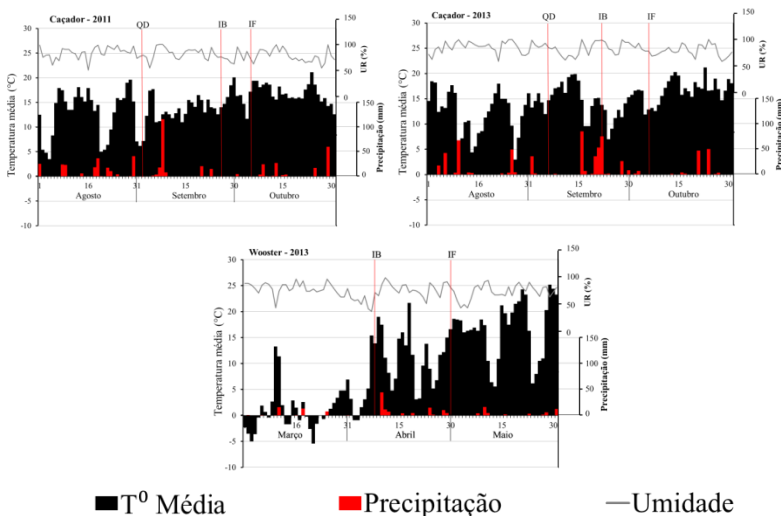


Figura 3.5 Média da temperatura ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa do ar (%) e precipitação (mm) durante os meses de agosto, setembro e outubro de 2011 e 2013 na região de Caçador, SC, BR, e março, abril e maio de 2013 na região de Wooster, OH, EUA. QD: tratamento de quebra de dormência; IB: data média do início da brotação; IF: data média do início do florescimento.

3.3.1 Órgãos florais reprodutivos femininos

Para a avaliação morfológica das flores, as mesmas foram coletadas quando as plantas apresentavam no mínimo 50% dos cachos florais com a flor rainha no estágio de balão (Figura 3.1). Em Caçador, esta fase ocorreu entre os dias 3-4 de outubro (30 à 32 DAQD – dias após a quebra de dormência), no ano 2011, para todas as estruturas e cultivares, pois as mesmas apresentaram similaridade temporal nos estádios fenológicos de florescimento, principalmente. Em 2013, a coleta deu-se entre os dias 5 à 11 de outubro (29 à 35 DAQD), na sequência: esporões, axilares e terminais; devido a diferença fenológica observada nas estruturas de ambas cultivares (Ver Capítulo 4). Em Wooster, as coletas foram entre 29 de abril e 2 de maio/2013, Gala e Fuji, para todas as estruturas.

Nas Tabela 3.1, Tabela 3.2, Tabela 3.3, Tabela 3.4, Tabela 3.5 e Tabela 3.6 é possível observar que as variáveis de medidas relacionadas

aos órgãos reprodutivos femininos da flor (ovário e pistilo), de ambas cultivares e independente da estrutura, foram em geral superiores no ano de 2013 em relação a 2011, na região de Caçador. No entanto, apesar das regiões serem consideradas como fatores isolados, observou-se que as flores provenientes da região de Wooster apresentaram-se ainda maiores que as da região de Caçador, em ambos os anos avaliados.

Sob as condições climáticas de Caçador, flores de gemas axilares da cv. Gala foram menores se comparadas as demais estruturas de frutificação, ou seja, com menor massa média fresca e comprimento de pistilo e diâmetro de ovário. A massa fresca média do pistilo não diferiu entre as flores terminais de brindila e de esporões para ambos os anos, porém o diâmetro de ovário foi maior em flores terminais. O comprimento do pistilo interagiu entre as estruturas e os anos, sendo que o pistilo de flores terminais foi estatisticamente mais longo entre as estruturas em 2013, e similar as de esporões em 2011. Na região norte americana, flores provenientes de esporões apresentaram superioridade sobre as demais. Com exceção da massa fresca, que foi menor para os pistilos de flores axilares, o comprimento do pistilo e o diâmetro do ovário foram similares entre flores axilares e terminais de brindilas (Tabela 3.1, Tabela 3.2, Tabela 3.3).

Tabela 3.1 Massa fresca média (mg) do pistilo de flores de diferentes estruturas de frutificação da macieira ‘Gala’, no ciclo de 2011/12 e 2013/14 em Caçador, SC, BR, e ciclo 2013 em Wooster, OH, EUA.

Estrutura	Massa fresca (mg)		
	Caçador		Wooster
	2011/12	2013/14	2013
Axilar	15,5 b		22,4 c
Esporão	25,0 a		38,2 a
Terminal	25,0 a		27,6 b
Média	17,0 B	26,7 A	29,4
Média Geral	21,8		
F(A)	841,0**		-
F(E)	361,0**		110,5**
F(AxE)	ns		-
CV (%)	5,9		8,3

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5% de significância. ns = não significativo; ** = significativo a 1% de probabilidade de erro.

Tabela 3.2 Comprimento médio (mm) do pistilo de flores de diferentes estruturas de frutificação da macieira ‘Gala’, no ciclo de 2011/12 e 2013/14 em Caçador, SC, BR, e ciclo 2013 em Wooster, OH, EUA.

Estrutura	Comprimento Pistilo (mm)		
	Caçador		Wooster
	2011/12	2013/14	2013
Axilar	11,8 bB	12,9 cA	14,5 b
Esporão	12,9 aB	13,5 bA	15,7 a
Terminal	12,8 aB	14,8 aA	14,1 b
Média	12,5 B	13,7 A	
Média Geral	13,1		14,8
F(A)	89,5**		-
F(E)	42,5**		10,8**
F(AxE)	9,7**		-
CV (%)	3,8		5,5

Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5% de significância. ** = significativo a 1% de probabilidade de erro.

Tabela 3.3 Diâmetro médio do ovário (mm) de flores de diferentes estruturas de frutificação da macieira ‘Gala’, no ciclo de 2011/12 e 2013/14 em Caçador, SC, BR e ciclo 2013 em Wooster, OH, EUA.

Estrutura	Diâmetro Ovário (mm)		
	Caçador		Wooster
	2011/12	2013/14	2013
Axilar	2,8 c		3,1 b
Esporão	3,1 b		3,6 a
Terminal	3,4 a		3,3 b
Média	3,1	3,1	
Média Geral	3,0		3,31
F(A)	ns		-
F(E)	73,0**		18,3**
F(AxE)	ns		-
CV (%)	4,9		5,8

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5% de significância. ns = não significativo; ** = significativo a 1% de probabilidade de erro.

Houve interação entre os fatores “Estruturas” e “Ano” para as variáveis morfológicas de flores da cultivar Fuji. No ano de 2011, observou-se flores de esporões com maior desenvolvimento que as demais estruturas; flores axilares e terminais de brindilas apresentaram as mesmas características entre si, com exceção do diâmetro do ovário das axilares que também não diferiu das flores de esporões. Já em 2013, flores axilares foram inferiores às demais em relação ao diâmetro e massa fresca do ovário; e flores terminais e flores de esporões não diferiram entre si. Pistilos de flores terminais foram mais longos que esporões e axilares. Para esta cultivar, flores de esporões e terminais apresentaram melhor desenvolvimento dos órgãos florais femininos na região de Wooster (Tabela 3.4, Tabela 3.5, Tabela 3.6). O diâmetro médio do ovário, observado em ambas cvs., nesta região (3,3 mm), foi similar a média encontrada por Buszard e Schwabe (1995) em ‘Cox’s Orange Pippin’ na Inglaterra, o que de fato demonstra a superioridade desta variável em plantas cultivadas em zonas ideais de cultivo.

Tabela 3.4 Massa fresca média (mg) do pistilo de flores de diferentes estruturas de frutificação da macieira ‘Fuji’, no ciclo de 2011/12 e 2013/14 em Caçador, SC, BR e ciclo 2013 em Wooster, OH, EUA.

Estrutura	Massa fresca (mg)		
	Caçador		Wooster
	2011/12	2013/14	2013
Axilar	12,3 bB	15,6 bA	23,9 c
Esporão	14,6 aB	22,4 aA	33,1 a
Terminal	12,2 bB	22,8 aA	30,7 b
Média	13,0 B	20,3 A	29,2
Média Geral	16,6		
F(A)	463,5**		-
F(E)	67,3**		66,2**
F(AxE)	39,1**		-
CV (%)	7,9		6,3

Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5% de significância. ** = significativo a 1% de probabilidade de erro.

Tabela 3.5 Comprimento médio (mm) do pistilo de flores de diferentes estruturas de frutificação da macieira ‘Fuji’, no ciclo de 2011/12 e 2013/14 em Caçador, SC, BR e ciclo 2013 em Wooster, OH, EUA.

Estrutura	Comprimento Pistilo (mm)		
	Caçador		Wooster
	2011/12	2013/14	2013
Axilar	10,6 bB	11,0 bA	13,1 b
Esporão	11,3 aB	11,9 cA	14,6 a
Terminal	10,7 bB	12,8 aA	14,1 a
Média	10,9 B	11,9 A	
Média Geral	11,4		13,9
F(A)	82,2**		-
F(E)	26,5**		30,4**
F(AxE)	21,2**		-
CV (%)	3,9		3,0

Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5% de significância. ** = significativo a 1% de probabilidade de erro.

Tabela 3.6 Diâmetro médio do ovário (mm) de flores de diferentes estruturas de frutificação da macieira ‘Fuji’, no ciclo de 2011/12 e 2013/14 em Caçador, SC, BR e ciclo 2013 em Wooster, OH, EUA.

Estrutura	Diâmetro Ovário (mm)		
	Caçador		Wooster
	2011/12	2013/14	2013
Axilar	2,5 abA	2,4 bA	3,0 b
Esporão	2,6 aA	2,7 aA	3,6 a
Terminal	2,3 bB	2,9 aA	3,5 a
Média	2,5 B	2,7 A	
Média Geral	2,6		3,4
F(A)	22,6**		-
F(E)	13,0**		55,2**
F(AxE)	21,1**		-
CV (%)	6,3		4,1

Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5% de significância. ** = significativo a 1% de probabilidade de erro.

Portanto, a massa fresca e comprimento do pistilo e o diâmetro do ovário da cv. Gala na região de Caçador foram em média 22 mg, 13 mm e 3,0 mm, respectivamente. Sob as condições de Wooster, estes valores foram 29 mg, 15 mm e 3,3 mm. A massa fresca e comprimento do pistilo e o diâmetro do ovário da cv. Fuji na região de Caçador foram em média 17 mg, 11 mm e 2,6 mm, respectivamente. Sob as condições de Wooster, estes valores foram 29 mg, 14 mm e 3,4 mm.

Para ambas cultivares, e entre as variáveis morfológicas avaliadas, a massa fresca do pistilo parece ser a variável mais sensível as condições climáticas do ano.

3.3.1 Órgãos florais reprodutivos masculinos

Diferentemente dos órgãos florais femininos, o ano de 2013, na região de Caçador, propiciou menor desenvolvimento dos órgãos florais masculinos em questão (número de anteras e grãos de pólen), principalmente na cv. Gala.

O número médio de anteras por flor da cv. Gala apresentou interação significativa entre ano e estrutura de frutificação, sendo que somente as gemas axilares de brindilas foram iguais nos anos avaliados. Flores da 'Gala' apresentaram, em média, o mesmo número de anteras na região de Wooster (19,5), ou seja, não houve diferença significativa entre as estruturas (Tabela 3.7).

Tabela 3.7 Número médio de anteras por flor de diferentes estruturas de frutificação da macieira ‘Gala’, no ciclo de 2011/12 e 2013/14 em Caçador, SC, BR e ciclo 2013 em Wooster, OH, EUA.

Estrutura	Número de anteras por flor		
	Caçador		Wooster ^{ns}
	2011/12	2013/14	2013
Axilar	18,2 bA	18,2 aA	19,2
Esporão	18,6 abA	17,2 bB	19,8
Terminal	19,0 aA	18,1 aB	19,6
Média	18,6 A	17,9 B	19,5
Média Geral	18,2		
F(A)	18,1**		-
F (E)	5,6**		ns
F(AxE)	5,5**		-
CV (%)	3,7		2,8

Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5% de significância. ns = não significativo; ** = significativo a 1% de probabilidade de erro.

O número de anteras das flores da cv. Fuji comportou-se de maneira similar nos dois anos, porém as três estruturas estudadas diferiram entre si. Entre as estruturas, nos dois locais estudados, flores axilares foram as que apresentaram a menor quantidade de anteras por flor (18,3 em Caçador e 19,0 anteras/flor em Wooster). Flores de esporões se destacaram com maior número na região de Caçador, e não diferiram das flores terminais em Wooster (Tabela 3.8).

Tabela 3.8 Número médio de anteras por flor de diferentes estruturas de frutificação da macieira ‘Fuji’, no ciclo de 2011/12 e 2013/14 em Caçador, SC, BR e ciclo 2013 em Wooster, OH, EUA.

Estrutura	Número de anteras por flor		
	Caçador		Wooster
	2011/12	2013/14	2013
Axilar	18,3 c		19,0 b
Esporão	19,4 a		20,0 a
Terminal	18,9 b		20,0 a
Média	18,9	18,8	19,5
Média Geral	18,9		
F(A)	ns		-
F(E)	19,7**		16,4**
F(AxE)	ns		-
CV (%)	2,8		1,9

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5% de significância. ns = não significativo; ** = significativo a 1% de probabilidade de erro.

Independente da estrutura observada e o ano em questão, a média de anteras por flor encontrada na região de Caçador foi de 18,2 anteras por flor de ‘Gala’ (18,6 em 2011 e 17,9 em 2013) e 19 de ‘Fuji’ (Tabela 3.7 e Tabela 3.8). Segundo Dall’Orto et al. (1985), o número médio de anteras por flor de macieiras cultivadas na região de São Paulo, em 1982 e 1983, foi de 19,7 em ‘Gala’ e 18,5 em ‘Fuji’. Albuquerque Jr. et al. (2010) observaram 19,8 e 20 anteras por flor (‘Gala’ e ‘Fuji’ respectivamente) na região de Caçador no ano de 2005. Conforme observado no Capítulo 2, as anteras são formadas a partir de fevereiro (aproximadamente 100 e 140 DAPF, ‘Fuji’ e ‘Gala’, respectivamente), primeiramente na flor terminal (rainha), até meados de maio. As condições deste período, seja climática, fitossanitária ou mesmo de manejo, podem ter influenciado na variação do número de anteras por flor observado pelos diferentes autores.

A diferença entre as estruturas em relação ao número de grãos de pólen por antera foi similar em relação aos grãos de pólen por flor. Para Knowlton (1935), uma cultivar que produz menos de quatro mil grãos de pólen por antera não pode ser considerada como boa polinizadora. Neste trabalho, apesar de ambas cultivares estudadas serem consideradas como cultivares produtoras de grande importância

econômica, observa-se que a cv. Fuji não foi boa produtora de grãos de pólen, pois independente da estrutura, e mesmo a cultivar não sendo fonte de variação, a quantidade de grãos de pólen de flores de ‘Gala’, média de dois anos, foi aproximadamente o dobro comparado à ‘Fuji’, 95.829 e 51.554 grãos de pólen por flor, respectivamente (5.219 e 2.743 grãos de pólen por antera) (Tabela 3.9, Tabela 3.10). O resultado observado foi bem acima do encontrado por Dall’Orto et al. (1985) na região de São Paulo em dois anos de estudos com as mesmas cultivares (74.860 e 36.445 grãos de pólen por flor, ‘Gala’ e ‘Fuji’ respectivamente). A quantidade de pólen por flor observada por Albuquerque Jr. et al. (2010) na cv. Gala foi similar a encontrada neste trabalho (101.770), e a quantidade observada na cv. Fuji foi bem maior (99.980). A maior quantidade de grãos de pólen da cv. ‘Gala’ em Caçador, e a maior quantidade de grãos de pólen da cv. Fuji em Wooster, demonstra que em regiões mais quentes, as cultivares com menor exigência em frio hibernal produzem maior quantidade de pólen (PETRI, 2006), e vice e versa. Porém, a mesma hipótese não é possível aplicar para as estruturas de frutificação que apresentam menor exigência em frio, como os esporões, os quais apresentaram baixa produção de grãos de pólen comparado às demais estruturas.

Tabela 3.9 Número médio de grãos de pólen por antera de flores de diferentes estruturas de frutificação da macieira ‘Gala’, no ciclo de 2011/12 e 2013/14 em Caçador, SC, BR e ciclo 2013 em Wooster, OH, EUA.

Estrutura	Grãos de pólen por antera		
	Caçador		Wooster
	2011/12	2013/14	2013
Axilar	5.446 bA	5.193 aA	6.169 b
Esporão	5.543 bA	2.927 bB	7.150 a
Terminal	7.045 aA	5.158 aB	7.269 a
Média	6.011	4.426 B	
	A		6.862
Média Geral	5.219		
F(A)	167,7**		-
F (E)	82,1**		8,1**
F(AxE)	38,3**		-
CV (%)	4,7		4,9

Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5% de significância. ** = significativo a 1% de probabilidade de erro.

Tabela 3.10 Número médio de grãos de pólen por antera de flores de diferentes estruturas de frutificação da macieira ‘Fuji’, no ciclo de 2011/12 e 2013/14 em Caçador, SC, BR e ciclo 2013 em Wooster, OH, EUA.

Estrutura	Grãos de pólen por antera		
	Caçador		Wooster
	2011/12	2013/14	2013
Axilar	3.156 bA	2.360 aB	5.692 b
Esporão	2.608 bA	1.150 bB	9.188 a
Terminal	4.717 aA	2.462 aB	8.324 a
Média	3.494 A	1.991 B	7.735
Média Geral	2.743		
F(A)	129,7**		-
F(E)	56,4**		47,5**
F(AxE)	7,4**		-
CV (%)	9,8		5,6

Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5% de significância. ** = significativo a 1% de probabilidade de erro.

Em relação aos anos estudados, houve uma redução considerável na produção de grãos de pólen no ano de 2013, em comparação com 2011, em ambas as cultivares. Nem sempre o maior ou menor número de anteras é indicativo de maior ou menor quantidade de grãos de pólen por flor. A produção de grãos de pólen em flores de esporões e terminais foram as que sofreram maiores alterações entre os anos estudados na região de Caçador para as duas cultivares; na cv. Gala em 2013, houve redução de aproximadamente 50% e 30%, respectivamente, e na cv. Fuji de 50% em ambas estruturas. Além da menor quantidade de grãos de pólen naquele ano, foi observado que as anteras apresentavam menor tamanho comparado as anteras obtidas no ano de 2011. Segundo Knowlton (1935) e Petri et al. (1975), a quantidade de grãos de pólen pode variar de um ano para outro e entre cultivares, pois as condições ambientais têm grande influência na formação desse tipo de órgão floral. Os sacos polínicos (grãos de pólen) e os óvulos são os últimos órgãos formados na flor (TAIZ; ZEIGER, 2004), e estão em fase final de formação mesmo antes da abertura das flores (TROMP, 2005). Num estudo com flores de macieira cv. Starking em uma região da África do sul, Bergh (1985) observou o início do desenvolvimento do saco polínico (microsporângios) coincidindo com

inchamento das gemas, sendo que a divisão das anteras em quatro sacos polínicos ocorreu durante o estágio D2 (1,3 cm de ponta verde com aparecimento das primeiras folhas). Segundo o mesmo autor, primórdios de óvulos são formados a partir do estágio de ponta verde (C) até a antese (21 dias antes da antese), ou então, segundo Costa Tura e Mackenzie (1990) quando a gema atinge o estágio D2. Qualquer stress, seja este físico ou ambiental, que a planta venha a sofrer durante este período, poderá prejudicar a formação do grão de pólen, bem como, de óvulos.

Tabela 3.11 Número médio de grãos de pólen por flor de flores de diferentes estruturas de frutificação da macieira ‘Gala’, no ciclo de 2011/12 e 2013/14 em Caçador, SC, BR e ciclo 2013 em Wooster, OH, EUA.

Estrutura	Grãos de pólen por flor		
	Caçador		Wooster
	2011/12	2013/14	2013
Axilar	99.172 bA	94.668 aA	118.136 b
Esporão	102.989 bA	50.374 bB	141.212 a
Terminal	134.000 aA	93.772 aB	142.549 a
Média	112.053 A	79.605 B	133.965
Média Geral	95.829		
F(A)	209,8**		-
F(E)	96,9**		11,2**
F(AxE)	48,3**		-
CV (%)	4,7		4,9

Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5% de significância. ** = significativo a 1% de probabilidade de erro.

Tabela 3.12 Número médio de grãos de pólen por flor de flores de diferentes estruturas de frutificação da macieira ‘Fuji’, no ciclo de 2011/12 e 2013/14 em Caçador, SC, BR e ciclo 2013 em Wooster, OH, EUA.

Estrutura	Grãos de pólen por flor		
	Caçador		Wooster
	2011/12	2013/14	2013
Axilar	58.515 bA	42.645 aB	108.261 b
Esporão	50.750 bA	22.138 bB	183.392 a
Terminal	88.352 aA	46.926 aB	162.734 a
Média	65.872 A	37.236 B	
Média Geral	51.554		151.463
F(A)	132,6**		-
F(E)	52,1**		56,1**
F(AxE)	6,5**		-
CV (%)	9,8		5,6

Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5% de significância. ** = significativo a 1% de probabilidade de erro.

Para Petri et al. (1975), o número de grãos de pólen por antera, de diversas cultivares de macieira, na região produtora de Fraiburgo, SC, manteve-se entre dois e três mil. Estes valores foram considerados muito baixos em comparação com os obtidos nos Estados Unidos e Japão, que oscilam entre cinco e dez mil grãos de pólen por antera. A diferença encontrada de região para região, pode ser constatado neste trabalho, principalmente em relação a cv. Fuji, em que flores provenientes de macieira cultivadas na região de Wooster nos Estados Unidos apresentaram aproximadamente 30% e 65% a mais de grãos de pólen em relação a região de Caçador, ‘Gala’ e ‘Fuji’, respectivamente.

Conforme a Figura 3.5, em Caçador, no ano de 2011, as temperaturas registradas a partir de setembro até início do florescimento (6 de outubro) demonstraram-se linearmente crescentes. No entanto, em 2013, as temperaturas do ar oscilaram durante este período. A temperatura média diária entre período compreendido entre o tratamento de quebra de dormência até uma semana antes do início da brotação (6 à 22 de setembro) apresentou-se maior comparado com o ano 2011. A partir daí, houve uma queda acentuada na temperatura, e um aumento lento e gradativo até o início do florescimento. Na região de Wooster, houve um rápido aumento da temperatura média uma semana antes do início da brotação, seguindo de consideráveis oscilações até o início do florescimento. As maiores quantidades de grãos pólen por flor

encontradas, poderiam estar relacionados com a melhor adaptação climática das cultivares ou estruturas frutíferas nas condições onde se efetuou este estudo.

Entretanto, com base neste estudo, é difícil afirmar que somente este fator seja responsável pelo aumento da quantidade de grão de pólen produzido, uma vez que se observa que é possível que ocorra uma interação entre diversos fatores (ano, local, clima, cultivares). Temperaturas baixas durante o processo de microsporogênese podem afetar a formação do grão de pólen (WHELAN et al., 1966; WHELAN; HORNBY, 1969; CITADIN et al., 2002). Portanto, um estudo isolado e mais aprofundado de cada fator, associado ao processo de formação do grão de pólen, torna-se necessário para o entendimento de tais diferenças.

Dados sobre a viabilidade e o desenvolvimento fisiológico de grãos de pólen são fundamentais para os estudos da biologia reprodutiva e do melhoramento genético da macieira, pois asseguram maior sucesso nos cruzamentos. Os resultados obtidos demonstram que ambos, cultivares e locais estudados, produziram pólen com boa capacidade germinativa. A taxa média de germinação em ambos os anos e locais foi maior que 50% em todos os tipos de estruturas e cultivares, situando-se acima dos 30% que é citado por diversos autores como suficiente para assegurar boa fertilização e boa frutificação efetiva (MACDANIELS; HEINICKE, 1929; KNOWLTON, 1935; KEULEMANS et al., 1994). Por outro lado, a análise de variância mostrou diferenças significativas na taxa de germinação do pólen entre as interações estudadas (estrutura x ano). Apesar da menor quantidade de grãos de pólen produzida, a taxa média germinativa em 2013/14 foi em aproximadamente 10% maior que 2011/12 na região de Caçador para as duas cultivares; sendo que, este aumento (de aproximadamente 20% para ‘Gala’ e 13% para ‘Fuji’) foi apenas observado em grãos de pólen provenientes de flores de brindila (terminais ou axilares) (Tabela 3.13, Tabela 3.14). Em ambas as cultivares, o ano de 2013/14 parece ter afetado de certa forma, porém não insuficiente, a taxa de germinação dos grãos de pólen dos esporões das cultivares estudadas. Em 2013/14, houve um avanço nos estádios fenológicos das gemas de esporões, de ambas cultivares, em comparação às gemas terminais e axilares de brindilas (ver Capítulo 4). Essa antecipação, associada às baixas temperaturas registradas durante o início do florescimento dessa estrutura, poderia ter ocasionado o desenvolvimento incompleto de alguns grãos de pólen, e consequentemente, afetado parte da capacidade germinativa.

A taxa de germinação dos grãos de pólen de ambas cultivares, encontrada neste trabalho, (média de 63%) situa-se dentro da faixa de 60% encontrada por Albuquerque Jr. et al. (2010) de plantas de macieira ‘Gala’ e Fuji da mesma região de Caçador, em 2005.

Observa-se um aumento de 10% na taxa de germinação, de ambas cultivares, na região de Wooster em comparação à região de Caçador; sendo que naquela região apenas os esporões da cv. Gala apresentaram maior germinação comparado as demais estruturas, não havendo diferença significativa na cv. Fuji (Tabela 3.13, Tabela 3.14). É importante ressaltar que, os grãos de pólen das flores de macieira ‘Gala’ e ‘Fuji’ desta região precisaram de oito horas de incubação ($26 \pm 0,5^\circ\text{C}$) para alcançarem a máxima germinação, diferentemente dos grãos de pólen de flores de Caçador, onde quatro/cinco horas de incubação foram suficientes.

Tabela 3.13 Taxa de germinação de grãos de pólen (%) de flores de diferentes estruturas de frutificação da macieira ‘Gala’ no ciclo de 2011/12 e 2013/14 em Caçador, SC, BR e ciclo 2013 em Wooster, OH, EUA.

Estrutura	Germinação (%)		
	Caçador		Wooster
	2011/12	2013/14	2013
Axilar	53,8 bB	72,5 aA	69,7 b
Esporão	63,5 aA	58,6 bB	77,0 a
Terminal	57,7 bB	75,4 aA	71,1 b
Média	58,3 B	68,8 A	72,6
Média Geral	63,6		
F(A)	54,0**		-
F(E)	4,2*		43,6**
F(AxE)	30,7**		-
CV (%)	4,6		1,4

Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5% de significância. ** = significativo a 1% de probabilidade de erro; * = significativo a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 3.14 Taxa de germinação de grãos de pólen (%) de flores de diferentes estruturas de frutificação da macieira ‘Fuji’ no ciclo de 2011/12 e 2013/14 em Caçador, SC, BR e ciclo 2013 em Wooster, OH, EUA.

Estrutura	Germinação (%)		
	Caçador		Wooster ^{ns}
	2011/12	2013/14	2013
Axilar	54,9 aB	65,0 aA	68,7
Esporão	61,4 aA	58,3 bA	73,5
Terminal	59,4 aB	75,5 aA	71,1
Média	58,6 B	66,3 A	71,1
Média Geral	62,5		
F(A)	21,8**		-
F(E)	8,3**		ns
F(AxE)	11,9**		-
CV (%)	5,2		3,0

Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5% de significância. ns = não significativo; ** = significativo a 1% de probabilidade de erro.

3.3.2 Receptividade do estigma e cinética do tubo polínico

3.3.2.1 Receptividade do estigma

De acordo com as Figura 3.6 e Figura 3.8, as estruturas de frutificação da cv. Gala apresentaram diferentes comportamentos nos anos avaliados na região de Caçador.

Observa-se uma queda acentuada, de mais de 50%, na quantidade média de grãos de pólen germinados nos estigmas das flores, de todas as estruturas da cv. Gala, nas primeiras 24 horas após a antese, em 2011. No momento em que ocorre a antese, os grãos de pólen germinaram abundantemente nos estigmas de flores terminais (158 grãos), comparado com o menor número de grãos germinados em flores de esporões e axilares (107 e 60 grãos, respectivamente). No entanto, quando a polinização foi realizada em flores que já estavam abertas por dois dias (48 horas), a capacidade germinativa dos estigmas foi similar em todas as estruturas (média de 40 grãos de pólen por estigma). Com exceção das flores terminais, as quais apresentaram significativo declínio no número de grãos germinados das 24 às 72 HAA, não foi

observada diferença significativa na receptividade dos estigmas das demais estruturas neste período. Estigmas de flores axilares apresentaram baixa capacidade germinativa inicial (da antese às 24 horas após). No entanto, essa capacidade é mantida junto às demais estruturas às 48 horas e 72 HAA (Figura 3.6; Figura 3.7).

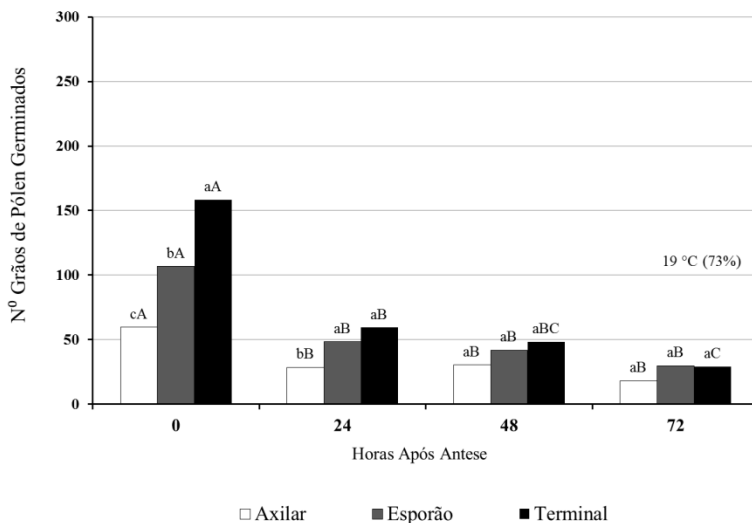


Figura 3.6 Receptividade do estigma através do número de grãos de pólen germinados no estigma de flores da macieira cv. Gala, provenientes de diferentes estruturas de frutificação, polinizadas às 0, 24, 48 e 72 horas após antese simulada no ciclo de 2011/12 na região de Caçador, SC, BR. Temperatura média e umidade relativa do ar registradas da antese até 72 horas após. Médias seguidas de mesma letra, minúscula entre estruturas para a mesma hora e maiúsculas entre as horas para a mesma estrutura, não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5% de significância.

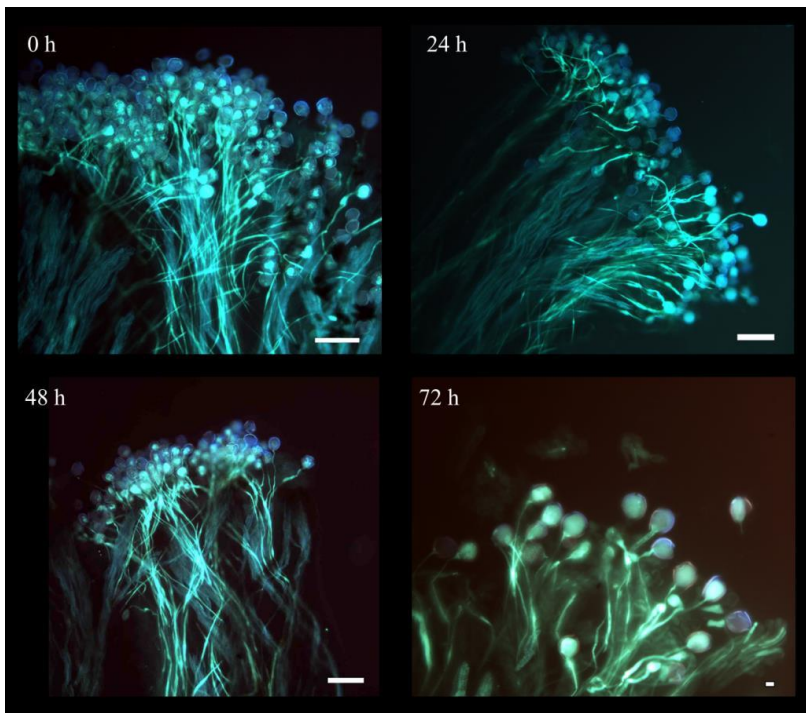


Figura 3.7 Desempenho germinativo dos grãos de pólen sobre os estigmas de flores terminais de brindilas da macieira cv. Gala às 0, 24, 48 e 72 horas após antese simulada, em Caçador, SC, BR, no ano de 2011. Barra: 100 μ m.

Em 2013, o número máximo de grãos de pólen germinados (na antese), observados nos estigmas das flores de macieira ‘Gala’ (média de esporão, axilar e terminal), foi similar à 2011 (100 e 108, respectivamente), e muito próximo ao encontrado por Losada e Herrero (2013) em flores de ‘Golden Delicious’ na Espanha (125 grãos de pólen). No entanto, a habilidade dos estigmas em promover a germinação do grão de pólen foi melhor, pois observa-se que a senescência dos estigmas das estruturas foi mais lenta e gradual, da antese ao quarto dia após a abertura das flores (Figura 3.8). Enquanto a receptividade máxima em 2011 durou apenas um dia para todas as estruturas, em 2013 a duração foi em torno de dois dias. Flores de esporões mantiveram-se significativamente mais receptivas que as

demais estruturas nos cinco diferentes tempos de avaliações após a antese. A receptividade de flores terminais e axilares foi similar no decorrer dos dias. Devido a diferença dos estádios fenológicos entre as estruturas, ocorrido em 2013, a temperatura do ar registrada durante as 96 HAA foi diferente entre as estruturas. As primeiras flores a atingirem o estágio de botão floral foram as de esporões (5/Outubro/13), sendo que somente três à quatro dias após, as flores axilares e terminais de brindilas alcançaram este estágio. As baixas temperaturas registradas durante as avaliações de receptividade de flores de esporões demonstram o claro efeito das mesmas sobre a longevidade dos estigmas nesta estrutura (Figura 3.8).

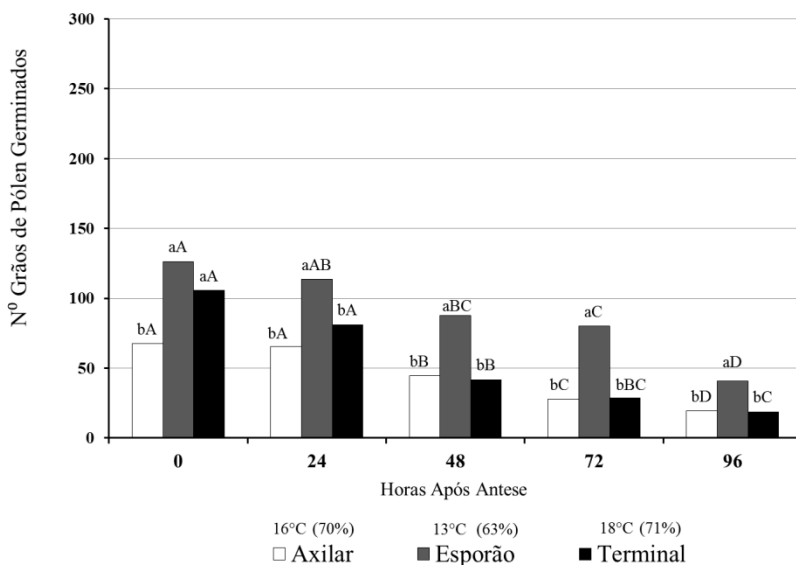


Figura 3.8 Receptividade do estigma através do número de grãos de pólen germinados no estigma de flores da macieira cv. Gala, provenientes de diferentes estruturas de frutificação, polinizadas às 0, 24, 48, 72 e 96 horas após antese simulada no ciclo de 2013/14 na região de Caçador, SC, BR. Temperatura média e umidade relativa do ar registradas da antese até 96 horas após, para cada estrutura de frutificação. Médias seguidas de mesma letra, minúscula entre estruturas para a mesma hora e maiúsculas entre as horas para a mesma estrutura, não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5% de significância.

O número de grãos de pólen germinados em estigmas de flores de esporões da cv. Gala na região de Wooster, foi surpreendentemente maior que em Caçador, mesmo em 2011 onde as temperaturas médias foram similares (17°C e 18°C), porém a umidade relativa do ar menor. Enquanto que, a máxima capacidade receptiva dos estigmas, de todas as estruturas, deu-se no momento da antese na região de Caçador, a performance dos estigmas de flores de esporões na região de Wooster foi diferente. Na antese, apenas 84 grãos por estigma haviam germinados. A máxima capacidade germinativa foi atingida entre as 24-48 HAA, com 299 grãos de pólen germinados as 48 HAA. Entre os tempos avaliados, os estigmas mantiveram a máxima viabilidade das 24 às 96 HAA (por quatro dias). Esse fato é vantajoso, pois sob condições adversas o estigma demonstra habilidade de permanecer receptivo por mais tempo (Figura 3.9).

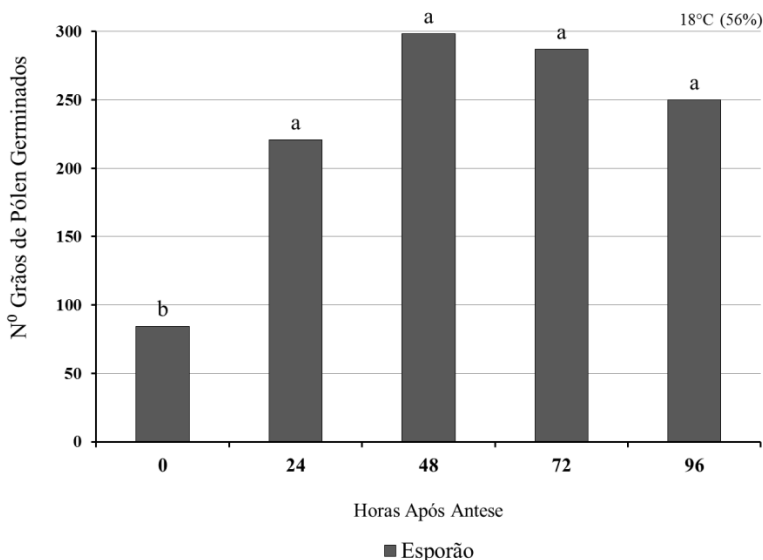


Figura 3.9 Receptividade do estigma através do número de grãos de pólen germinados no estigma de flores da macieira cv. Gala, provenientes de esporões, polinizadas às 0, 24, 48, 72 e 96 horas após antese simulada no ciclo de 2013 na região de Wooster, OH, EUA. Temperatura média e umidade relativa do ar registradas da antese até 96 horas após. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5% de significância.

Estigmas de flores da cv. Fuji em Caçador foram menos receptivos que de flores da ‘Gala’ em 2013, porém com desempenho estigmático semelhante, ou seja, a capacidade máxima de germinação foi observada no momento da antese (80 grãos de pólen germinados) com duração de apenas um dia (Figura 3.6, Figura 3.8, Figura 3.10). Observa-se um declínio de mais de 50% da capacidade do estigma em favorecer a germinação do grão de pólen nas 48 HAA (Figura 3.10).

A capacidade máxima germinativa de flores de esporões da cv. Fuji na região de Wooster deu-se com 253 grãos de pólen germinados, e da mesma forma que em Caçador, foi menor que observada para a cv. Gala (300) nesta região. A maturação completa do estigma, ou seja, onde foi encontrada o número máximo de grãos de pólen germinando no estigma, foi semelhante a cv. Gala, entre as 24-48 HAA, porém com duração de aproximadamente três dias. A senescência nesta cultivar, tendeu ser mais rápida a partir das 48 horas da antese, ou seja, a germinação diminui significativamente neste tempo (Figura 3.11).

Yoder et al. (2008), sob as condições dos Estados Unidos, observaram que a receptividade do estigma à germinação do pólen continuou por sete dias após o pleno florescimento de macieira ‘Gala’; sendo que, da mesma forma como encontrado neste trabalho, a receptividade ótima do estigma também não ocorreu na antese, mas dois à três dias após o florescimento. Em vista disso, algumas técnicas de manejo devem ser evitadas em certas situações. Por exemplo, a baixa receptividade observada nas flores de macieira da região de Caçador, comparadas a região norte americana, demonstra que o raleio de floração nesse local não seria recomendável.

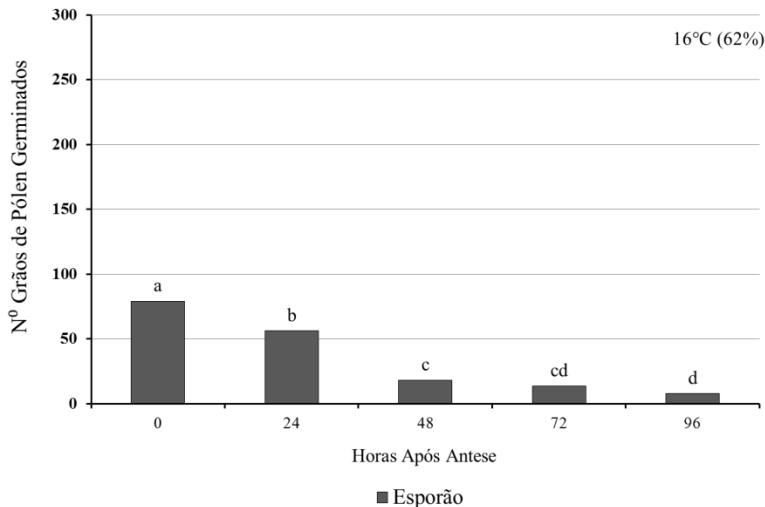


Figura 3.10 Receptividade do estigma através do número de grãos de pólen germinados no estigma de flores da maçeira cv. Fuji, provenientes de esporões, polinizadas às 0, 24, 48, 72 e 96 horas após antese simulada no ciclo de 2013/14 na região de Caçador, SC, BR. Médias seguidas de mesma letra, minúscula entre estruturas para a mesma hora e maiúsculas entre as horas para a mesma estrutura, não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5% de significância.

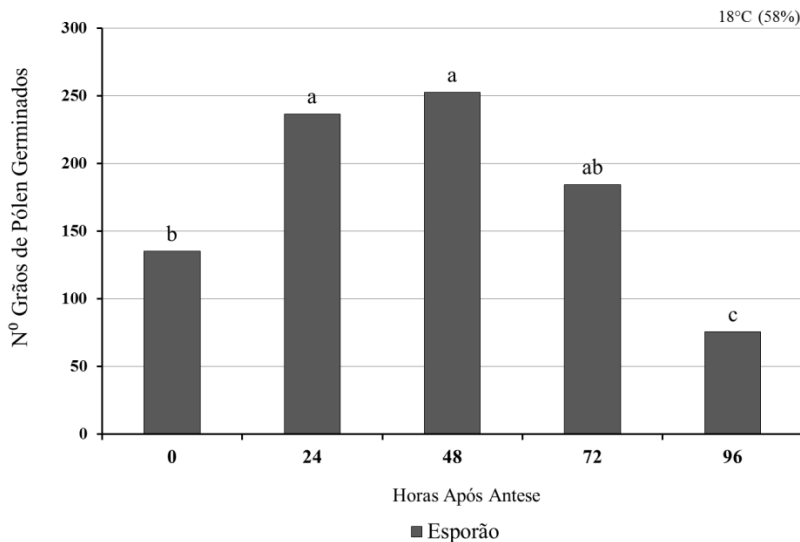


Figura 3.11 Receptividade do estigma através do número de grãos de pólen germinados no estigma de flores da macieira cv. Fuji, provenientes de esporões, polinizadas às 0, 24, 48, 72 e 96 horas após antese simulada no ciclo de 2013 na região de Wooster, OH, EUA. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5% de significância.

Estigmas de flores de macieira são do tipo úmido (HESLÓP-HARRISON; SHIVANNA, 1977), e segundo Losada e Herrero (2012, 2013) as mesmas adquirem a capacidade de sustentar a germinação do pólen próximo à abertura da flor, estando totalmente receptivas na antese. Para todas as estruturas, anos, locais e cultivares, os estigmas apresentaram-se receptivos na abertura da flor, porém a máxima receptividade variou entre os locais estudados. Sob as condições ambientais de Caçador, ambas cultivares, apresentaram máxima capacidade germinativa no momento da antese, dentro dos tempos estudados. A observação da receptividade neste trabalho deu-se início quando as flores estavam em estágio de balão muito próximo a antese. Por isso, seria interessante o acompanhamento dos estigmas em estádios fenológicos inferiores à este, para de fato, estabelecer a época exata em que os estigmas alcançam a capacidade máxima de germinação.

Losada e Herrero (2013) também observaram diferenças na máxima capacidade germinativa entre flores terminais e laterais dentro

da mesma inflorescência. Os mesmos autores, não encontraram relação entre a receptividade estigmática e a superfície estigmática; no entanto, a maior capacidade receptiva foi relacionada com o melhor desenvolvimento do gineceu (maior massa fresca) das flores durante os três primeiros dias após a antese. A massa fresca do pistilo encontrada entre flores de diferentes estruturas neste trabalho, não demonstra claramente este efeito.

A duração da receptividade do estigma varia de ano para ano, entre cultivares da mesma espécie (ORTEGA et al., 2004), ou mesmo entre um mesmo genótipo (SANZOL et al., 2003a; CASTRO et al., 2008). Em pessegueiros, variabilidades entre flores de uma mesma cultivar, sob temperaturas constantes, são observadas regularmente (HEDHLY et al., 2005a), demonstrando que algumas flores são mais receptivas que outras. Fatores ambientais, como temperatura e umidade, também podem afetar a duração da receptividade (RAMÍREZ; DAVENPORT, 2013). Neste trabalho, mesmo não sendo testados diferentes níveis de temperatura, ficou evidente que a receptividade do estigma é susceptível a oscilação de temperatura, corroborando com outros autores e espécies (HEDHLY et al., 2003; HEDHLY et al., 2005a; LORA et al., 2010); sendo a mesma, forte candidata vulnerável às mudanças climáticas; uma vez que o curto período da receptividade estigmática poderia interferir na produção final de frutos em condições ambientais adversas.

3.3.2.2 Cinética do tubo polínico

O crescimento do tubo polínico nas flores das diferentes estruturas de frutificação comportou-se de maneira distinta em cada ciclo e local estudado. Provavelmente, esta diferença esteve associada as condições climáticas, principalmente a temperatura do ar, ocorrida durante a primavera e a execução do trabalho (Figura 3.5). Para facilitar o entendimento sobre as diferenças observadas, a média da temperatura horária do ar, ocorrida entre a polinização e coleta das flores, foi registrada e está demonstrada na Tabela 3.15. As respostas cúbicas das estruturas foram observadas justamente quando a variação na temperatura, entre os intervalos de coleta, foi maior (Tabela 3.15).

Tabela 3.15 Média das temperaturas horárias (°C) registradas no intervalo entre a polinização e as diferentes coletas dos estigmas das flores provenientes de diferentes estruturas de frutificação da macieira ‘Gala’ e ‘Fuji’, e a média da umidade relativa do ar (UR%) entre a polinização à última coleta; no ciclo de 2011/12 e 2013/14 em Caçador, SC, BR e ciclo 2013 em Wooster, OH, EUA. HAP: horas após polinização.

‘GALA’							
Coleta HAP	Caçador			Caçador			Wooster
	2011 (°C)			2013 (°C)			2013
	Axilar	Esporão	Terminal	Axilar	Esporão	Terminal	Esporão
6	-	-	-	-	-	-	20
12	21	-	-	17	16	20	23
24	19	-	-	13	10	16	15
36	-	-	-	18	16	20	-
48	20	-	-	14	11	17	18
60	-	-	-	20	17	22	-
Média	20°	-	-	16°	14°	19°	19°
UR	(76%)	-	-	(67%)	(60%)	(69%)	(52%)
‘FUJI’							
Coleta HAP	Caçador			Caçador			Wooster
	2011 (°C)			2013 (°C)			2013
	Axilar	Esporão	Terminal	Esporão			Esporão
3	-	17	-	-	-	-	-
6	-	17	-	-	-	-	22
12	-	21	-	-	16	-	24
24	-	16	-	-	10	-	15
36	-	-	-	-	16	-	-
48	-	18	-	-	11	-	18
60	-	-	-	-	17	-	-
Média	-	18°	-	-	14°	-	20°
UR	-	(69%)	-	-	(60%)	-	(59%)

No ano de 2011 na região de Caçador, o intervalo necessário para que os tubos polínicos alcançassem a base do estilete das flores, a partir da polinização, foi em média mais curto que em 2013, para todas as estruturas e cultivares. A temperatura média observada durante as avaliações neste ano foi em média 4 °C mais alta (Tabela 3.15). Novamente, devido a sincronia fenológica entre as estruturas e cultivares, as avaliações para esta variável foram realizadas no mesmo período, diferentemente de 2013/14.

Sob a mesma condição climática de 2011 em Caçador, foi possível observar através da equação ajustada que o tubo polínico havia alcançado a base do estilete em 27, 29 e 45 horas após polinização nas flores provenientes das gemas terminais de brindilas, axilares de brindilas e esporões da ‘Gala’, respectivamente; média geral de 34

horas. A média da temperatura do ar neste intervalo foi de 20 °C (UR 76%) (Figura 3.12, Tabela 3.15).

Em 2013, O crescimento do tubo polínico de flores axilares levou em torno de 54 horas a uma temperatura média de 16 °C, de terminais 58 horas (19 °C) e de esporões 61 horas (14 °C). A média geral do intervalo de crescimento, para este ano, deu-se em torno de 58 horas a uma temperatura média de 16 °C e umidade relativa do ar de 66% (Figura 3.12, Tabela 3.15).

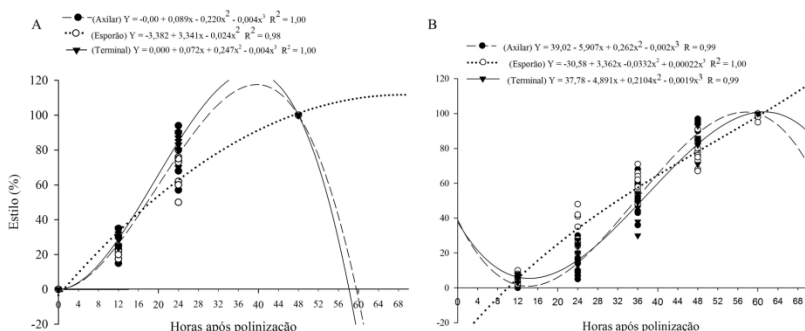


Figura 3.12 Regressão linear com equação de ajuste do crescimento médio dos tubos polínicos no estilete de flores da macieira cv. Gala provenientes de diferentes estruturas de frutificação dos ciclos de A: 2011/12 e B: 2013/14 na região de Caçador, SC, BR. Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade de erro.

Para a cv. Fuji em 2011, na região de Caçador, foram necessárias 35 horas para o tubo polínico penetrar a região do estigma e alcançar a base do estilete em flores terminais de brindilas, e em torno de 48 horas em flores axilares e de esporões; em média 44 horas para todas as flores. A média da temperatura do ar neste intervalo foi de 18 °C (UR 82%) (Figura 3.13, Tabela 3.15). Em 2013, apenas flores de esporões foram avaliadas. A temperatura média foi mais baixa que em 2011, de aproximadamente 14 °C (UR 60%) e o crescimento deu-se em torno 59 horas (Figura 3.13, Tabela 3.15); muito similar aos esporões da cv. Gala no ano de 2013.

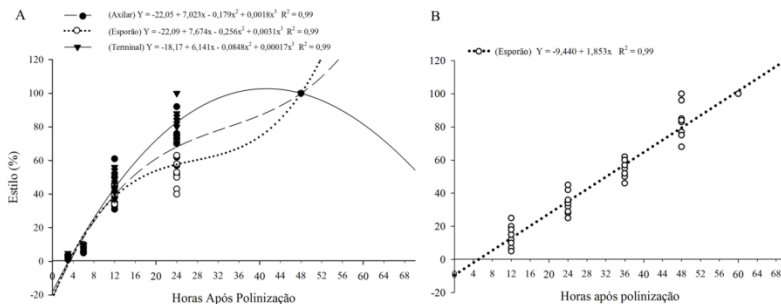


Figura 3.13 Regressão linear com equação de ajuste do crescimento médio dos tubos polínicos no estilete de flores da macieira cv. Fuji provenientes de diferentes estruturas de frutificação dos ciclos de A: 2011/12 e B: 2013/14 na região de Caçador, SC, BR. Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade de erro.

Na região de Wooster, o intervalo de crescimento do tubo polínico ao longo do estilete na cv. Gala e cv. Fuji foi similar (49 e 48 horas, respectivamente). A temperatura média entre os intervalos de ambas cultivares foi em torno de 20°C (UR 52 e 59%, respectivamente) (Figura 3.14, Tabela 3.15).

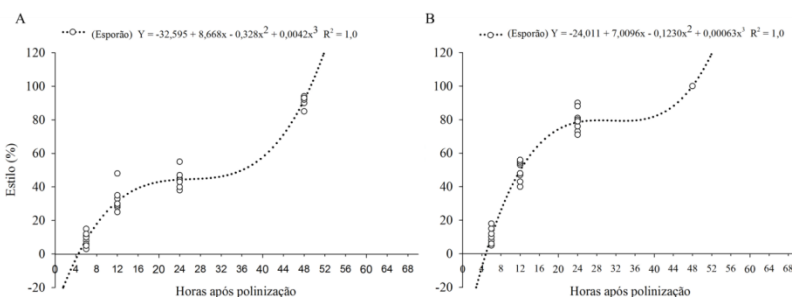


Figura 3.14 Regressão polinomial com equação de ajuste do crescimento médio dos tubos polínicos no estilete de flores da macieira cv. A: Gala e B: Fuji provenientes de esporões do ciclo de 2013 na região de Wooster, OH, EUA. Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade de erro.

Para ambas cultivares em 2011, ano em que todas as estruturas estiveram submetidas as condições climáticas de temperatura (20 °C), exatamente no mesmo período, observou-se que o crescimento do tubo polínico (média de 32 horas) das flores terminais de brindilas foi mais rápido em comparação com as demais estruturas; além da melhor receptividade dos estigmas na sua capacidade máxima de flores da cv. Gala. Apesar do claro efeito da temperatura sobre vários aspectos relacionados a polinização e fertilização do óvulo, a qualidade da flor (tamanho, relação folha/frutos, estado nutricional) segundo Sanzol e Herrero (2001), pode apresentar efeito positivo sobre o período efetivo de polinização, ou seja, sobre a receptividade estigmática, o crescimento do tubo polínico e a longevidade dos óvulos, sob as mesmas condições ambientais. Além disso, Yoder et al. (2009) observaram que a taxa de crescimento do tubo polínico é também dependente das reservas da planta que são mobilizadas às flores e da fotossíntese realizada por estas. O fato de que flores terminais de brindilas, estudadas neste trabalho, foram em geral, morfológicamente maiores que as demais estruturas, pode dar suporte à melhor eficácia dessas flores no processo de polinização, ou seja, maior taxa de crescimento do tubo polínico e melhor receptividade; talvez devido a melhor alocação dos recursos de reservas para este tipo de estrutura.

Considerando a média de todas as estruturas das cultivares Gala e Fuji no ano de 2011 e 2013, sob as condições climáticas da região de Caçador, foram necessárias 48 horas sob uma temperatura do ar média de 17 °C (± 3 °C) e umidade relativa do ar de 70%, para que o tubo polínico mais longo atingisse a base do estilete. Em Wooster, o intervalo médio de crescimento, observado nos esporões das duas cultivares foi de 49 horas a uma temperatura média de 20 °C e UR de 56%. Apesar das avaliações serem conduzidas sob as condições ambientais de cada local, os valores encontrados foram muito próximos da literatura. Segundo Williams (1965, 1970), Williams e Wilson (1970), sob uma temperatura média diária de 15°C, é preciso dois dias para que o tubo polínico alcance os óvulos, 4 dias sob 13 °C e 8 dias sob temperatura média de 9 °C. Yoder et al. (2009) observaram que 72 horas foram necessárias para os tubos polínicos crescerem ao longo do estilete em temperaturas de 13/2 °C (diurna/noturna), enquanto aproximadamente 36 ou 48 horas foram suficientes para o crescimento em regimes de temperaturas de 18/4 °C ou 24/7 °C, respectivamente.

A frutificação efetiva é dependente da interação de diversos fatores. Como já foi discutido, as condições climáticas, principalmente a temperatura, durante o processo de florescimento, polinização e

fertilização exercem papel fundamental na fixação do fruto. Entretanto, a intensidade de floração e disponibilidade de carboidratos, qualidade morfológica da flor, a quantidade e qualidade do pólen, o período efetivo de polinização (receptividade do estigma versus viabilidade do óvulo) combinação variedade produtora e polinizadora, eficiência dos insetos polinizadores, entre outros, estão estreitamente relacionados à frutificação. Por este motivo, fica evidente a necessidade de se conhecer primeiramente cada um desses eventos isolados, para então, compreender a interação dos mesmos. De posse desta informação, e sob condições adversas à frutificação, seria possível a tomada de medidas preventivas nos setores mais sensíveis à estas, evitando, portanto, a ocorrência de baixas produções.

3.4 Conclusões

Flores de macieira das cultivares Gala e Fuji provenientes de regiões de clima temperado foram mais desenvolvidas morfológicamente que flores de macieiras cultivadas sob condições subtropicais. Entre as estruturas de frutificação da cv. Gala, flores terminais de brindilas apresentaram, em geral, maior comprimento de pistilo e diâmetro de ovário na região de Caçador. Enquanto, para a região de Wooster, as flores de esporões foram superiores. Já para a cv. Fuji, os órgãos florais femininos desenvolveram-se melhor sobre terminais de brindilas e esporões, em ambas regiões.

A quantidade de grãos de pólen de flores de ‘Gala’, foi aproximadamente o dobro comparado a ‘Fuji’. No entanto, as condições climáticas de Wooster, favoreceram maior produção de grãos de pólen, em ambas as cultivares, em comparação a região de Caçador.

Sob as condições ambientais da região brasileira em estudo, estigmas apresentaram-se mais receptivos na abertura das flores, ou talvez, anteriormente a esta. Diferentemente da região americana, onde os estigmas alcançam a máxima receptividade após a abertura das flores. A temperatura pareceu ser mais importante na receptividade estigmática do que a estrutura de frutificação em si para a cv. Gala, na região de Caçador. No entanto, sob as mesmas condições, flores terminais apresentaram-se mais receptivas que as demais estruturas, nos dois primeiros dias após a antese. A receptividade do estigma foi maior na cv Gala do que na Fuji em ambos locais.

A taxa de crescimento do tubo polínico foi mais rápida em flores terminais de brindilas em ambas cultivares, sob a mesma condição

climática, no entanto, a temperatura do ar foi o principal responsável pelas respostas das estruturas.

CAPÍTULO 4

CARACTERIZAÇÃO DA FENOLOGIA, PRODUÇÃO E QUALIDADE DE FRUTOS DE MACIEIRA CULTIVARES GALA E FUJI SOB DIFERENTES ESTRUTURAS FRUTÍFERAS

CAPÍTULO 4 – CARACTERIZAÇÃO DA FENOLOGIA, PRODUÇÃO E QUALIDADE DE FRUTOS DAS CULTIVARES DE MACIEIRA GALA E FUJI SOB DIFERENTES ESTRUTURAS FRUTÍFERAS

RESUMO

A macieira (*Malus domestica* Borkh.) apresenta duas fases que caracterizam seu ciclo anual: a de repouso hibernar (dormência) e a de crescimento vegetativo e reprodutivo. As condições climáticas exercem forte influência sobre os estádios fenológicos iniciais da planta e sobre o crescimento e a maturação dos frutos. A importância em se conhecer a influência das condições climáticas sobre os processos reprodutivos e desenvolver tecnologias que minimizem os possíveis efeitos aumenta à medida que as projeções de aquecimento global tornam-se preocupantes. O objetivo deste trabalho foi caracterizar o comportamento dos principais eventos fenológicos da macieira, da brotação à colheita nas diferentes estruturas de frutificação da macieira, sob as condições climáticas do Sul do Brasil. O estudo experimental foi conduzido na Estação Experimental de Caçador/EPAGRI, em Caçador, SC (26°50'S, 50°58'W, altitude 950m) durante os ciclos de 2011/12 e 2013/14. As cultivares estudadas foram Gala e Fuji com nove anos de idade. Todas as variáveis estudadas foram direcionadas separadamente sobre cada estrutura de frutificação: gema de esporão, gema terminal de brindila e gema axilar de brindila. Para o desenvolvimento fenológico, foram avaliados os principais estádios do desenvolvimento fenológico (C-J), as datas e a exigência térmica dos principais eventos fenológicos compreendidos entre a brotação à colheita. Para o desenvolvimento produtivo, foram avaliados a frutificação efetiva, distribuição dos frutos nas inflorescências, número de frutos, massa fresca dos frutos, diâmetro dos frutos, relação C/D e número de sementes. As diferenças encontradas no início de brotação e florescimento entre as estruturas dependeram grandemente das condições climáticas do ano em questão. Sob condições de altas temperaturas após o tratamento de quebra de dormência, houve maior sincronia fenológica entre as estruturas, e vice versa. Na cv. Gala, terminais de brindilas proporcionaram melhor pegamento dos frutos e maior capacidade de fixar um número maior de frutos por inflorescência em relação as demais estruturas. Gemas axilares e gemas de esporões apresentaram baixas taxas de frutificação. Para a 'Fuji', terminais de brindilas e esporões foram mais homogêneos em relação ao ano, com boa capacidade de frutificação. Além da baixa

frutificação efetiva, gemas axilares de ambas cultivares apresentaram frutos com baixa qualidade morfológica (massa fresca e diâmetro de fruto). Frutos provenientes de terminais de brindilas tendem ser mais arredondados e com maior massa fresca do que frutos das axilares e dos esporões, em ambas cultivares.

Palavras Chave: *Malus domestica* Borkh., graus-dias, brotação, florescimento, qualidade do fruto.

4.1 Introdução

A macieira (*Malus domestica* Borkh.) apresenta duas fases que caracterizam seu ciclo anual: a de repouso hibernar (dormência) e a de crescimento vegetativo/reprodutivo. A temperatura é o principal fator relacionado com a dormência, sendo que temperaturas baixas são particularmente importantes. A evolução dos estádios fenológicos da macieira, durante a fase vegetativa, início da brotação, plena floração, desenvolvimento e maturação dos frutos, além de produtividade e qualidade da produção, podem ser observados visualmente e são influenciados pelas condições climáticas (PETRI et al., 2012).

Os fatores inerentes à planta, como cultivar e porta-enxerto, também influenciam a dinâmica destas evoluções (OLIVEIRA et al., 2011). O tipo de estrutura de frutificação, correlacionado com a sua área foliar, influencia na formação dos frutos e são importantes parâmetros na evolução fenológica (MADAIL, 2008; PETRI et al., 2012). Quando cultivada em regiões de inverno ameno, onde seu requerimento em frio não é satisfeito, a macieira apresenta uma série de anomalias em sua fenologia, referentes a brotação, floração, crescimento e desenvolvimento do fruto e da planta (SKINNER, 1964; SAURE, 1985; GHARIANI; STEBBINS, 1994; PETRI et al., 1996).

No início da primavera as gemas passam por uma série de sucessivos estádios fenológicos, sendo a sua caracterização importante sob o ponto de vista prático para a realização de determinadas práticas culturais, como o raleio e o controle fitossanitário. Estas mudanças fenológicas têm sido intensamente estudadas e classificadas de acordo com o seu desenvolvimento, desde a dormência até a frutificação. Vários estudos provam que as condições climáticas exercem forte influência sobre os estádios fenológicos iniciais e sobre o crescimento e a maturação dos frutos (AUSTIN et al., 1999; AUSTIN; HALL, 2001; CHMIELEWSKI et al., 2004; GUÉDON; LEGAVE, 2008), demonstrando que as correlações existentes entre os mesmos

possibilitariam a previsão de evolução de cada estádio através do ajuste e uso de equações matemáticas. O estudo dos índices de variabilidade da evolução dos estádios fenológicos de floração também são importantes, pois podem indicar a regularidade reprodutiva das cultivares permitindo identificar cultivares com coincidência de floração, permitindo a recomendação de polinizadoras (PETRI et al., 2012).

Do mesmo modo, o processo de frutificação, em espécies frutíferas tipicamente de clima temperado, é também altamente influenciável pelas condições climáticas, que contribuem para produzir frutificações erráticas. Sabe-se que tanto as baixas (MCLAREN et al., 1996) quanto as altas temperaturas (BURGOS et al., 1991; BEPPU et al., 1997; MCKEE; RICHARDS, 1998) podem influenciar de forma negativa na frutificação de fruteiras temperadas.

Um retardo na floração implica na redução do diâmetro dos frutos, sendo que, quanto mais tarde ocorrer o desenvolvimento fenológico, menores serão as frutas na época da colheita. A área foliar, a composição química (carboidratos, nutrientes, etc) e idade e posição das estruturas frutíferas podem influenciar no desenvolvimento e na qualidade do fruto (ROM e BARRITT, 1987; NACHTIGALL, 2000).

A metodologia de correlações entre unidades de frio e data de floração permite prever com antecedência as datas de floração (LEGAVE et al., 2008), e conseqüentemente poderia estimar a data de maturação (AUSTIN; HALL, 2001). Essas estimativas de crescimento e desenvolvimento dos frutos, são fundamentais em regiões com condições de inverno ameno, pois estão relacionadas não somente ao calibre dos frutos, mas também com as alterações que as condições ambientais possam impor quanto aos aspectos visuais, principalmente a forma (PETRI et al., 2012).

Além das considerações a respeito da influência da temperatura sobre os processos reprodutivos, é imprescindível relatar que a macieira quando cultivada em regiões de inverno ameno ou quando são utilizados porta-enxertos vigorosos tem seu crescimento vegetativo favorecido. Conforme Privé et al. (2004), o crescimento vigoroso dos ramos reduz a produtividade e qualidade do fruto por incrementar a quantidade endógena de giberelinas e diminuir a penetração de luz.

A importância em se conhecer a influência das condições climáticas sobre os processos reprodutivos e, assim possibilitar o desenvolvimento de tecnologias que minimizem os possíveis efeitos, aumenta à medida que as projeções de aquecimento global são cada vez mais alarmantes, pois, conforme já mencionado, este aumento da

temperatura tem influência sobre as plantas, induzindo mudanças em diversos setores, como na época de floração (PARMESAN; YOHE, 2003; ROOT et al., 2003; CHMIELEWSKI et al., 2004; FUJISAWA; KOBAYASHI, 2010); no crescimento, maturação e, conseqüentemente, qualidade pós-colheita dos frutos (WARRINGTON et al., 1999); na fotossíntese e eficiência produtiva da planta pelo aumento elevado de CO₂ (HAN et al., 2012), entre outros.

O crescimento da maçã apresenta duas fases distintas, primeiramente, uma fase exponencial de divisão celular, que ocorre até 35-45 dias após a antese, seguida da fase de expansão celular, que ocorre a partir desta até a maturação comercial do fruto (PRATT, 1988). Temperaturas mais altas nesta fase são fundamentais para o aumento da taxa de crescimento dos frutos (GREEN, 1981; LAKSO et al., 1995; AUSTIN et al., 1999; WARRINGTON et al., 1999).

Este capítulo busca avaliar o efeito do fator ano e estrutura sobre a fenologia, produção e qualidade dos frutos da macieira cultivares Gala e Fuji, em razão da grande influência da temperatura sobre os processos metabólicos e fisiológicos na produção e qualidade de frutos para as frutíferas de clima temperado. Estudos relacionados à compreensão dos mecanismos envolvidos na expressão destes processos são imprescindíveis ao sistema de produção frutícola, sobretudo em regiões de clima temperado quente e subtropical, com insuficiência de frio hibernar e grande amplitude térmica durante a floração, a exemplo das condições climáticas do Sul do Brasil. No entanto, os efeitos da variabilidade climática sobre o tipo de estrutura de frutificação são ainda pouco conhecidos. Assim, torna-se de grande importância o estudo neste sentido, o que poderia contribuir para dar alternativas de manejo e ajudar a minimizar este problema, possibilitando que o cultivo de macieira não seja inviabilizado em algumas regiões. O objetivo deste trabalho foi caracterizar o comportamento dos principais eventos fenológicos da macieira, da brotação à colheita, nas diferentes estruturas de frutificação, sob as condições climáticas do sul do Brasil.

4.2 Material e Métodos

4.2.1 Descrição do local e material vegetal

O estudo experimental foi conduzido na Estação Experimental de Caçador/EPAGRI, em Caçador, SC (latitude 26°50'S, longitude 50°58'W e altitude de 950 m) durante os ciclos de 2011/2012 e 2013/14. O clima dessa região caracteriza-se como temperado constantemente

úmido, com verão ameno, conforme a classificação de Köppen, do tipo “Cfb”. O solo do pomar em estudo é classificado como Nitossolo Bruno distrófico (EMBRAPA, 2006). A média da precipitação pluvial anual é de 1670 mm e a umidade relativa do ar média é de 78% (CIRAM/EPAGRI). O acúmulo médio de frio durante o período de outono e inverno, segundo modelo Carolina do Norte Modificado (EBERT et al., 1986), é de 1058 unidades de frio (UF), de acordo com a média histórica de 1973 a 2010.

As cultivares estudadas foram Gala e Fuji, com nove anos de idade enxertadas sobre o porta-enxerto M9. O pomar utilizado apresenta densidade de plantio de 2500 plantas ha⁻¹, com espaçamento de 4m entre linhas e 1m entre plantas, sendo as plantas conduzidas no sistema em líder central tutoradas com sistema tipo espaldeira. As cultivares estão intercaladas entre filas, constituindo um esquema de polinização cruzada entre as mesmas.

A condução e as práticas de manejo do pomar foram as mesmas nos diferentes anos, e conforme as recomendações técnicas da PIM (Produção Integrada de Maçã), como recomendações de adubação, produtos fitossanitários (de uso permitido) e demais práticas de manejo. O raleio foi realizado manualmente em ambas as cultivares quando os frutos atingiram 10 mm de diâmetro, e foi adotado o critério de um a dois frutos por estrutura; dependendo da condição nutricional da estrutura.

Para auxiliar na superação da dormência e uniformização da brotação e florescimento foi realizado o tratamento de quebra de dormência (QD) nos dois anos de estudos. O produto aplicado foi a mistura de cianamida hidrogenada (Dormex®) e óleo mineral (0,7% + 3,5%, respectivamente). A época de aplicação foi determinada em função da disponibilidade de frio durante o inverno, sendo geralmente aplicado em torno do estágio de ponta de prata. Portanto, conforme esta recomendação, os tratamentos de QD na área estudada em Caçador, foram aplicados em 2/9/2011 e 6/9/2013, quando já haviam sido acumuladas 935 e 968 unidades de frio, respectivamente, segundo modelo Carolina do Norte modificado (EBERT et al., 1986).

Todas as variáveis estudadas foram avaliadas separadamente sobre as diferentes estruturas de frutificação (brindilas – 25-35 cm e esporões): 1) gema de esporão; 2) gema terminal de brindila; 3) gema axilar de brindila.

4.2.2 Avaliação Fenológica

O desenvolvimento fenológico foi avaliado em intervalos de três dias, segundo descrição de Fleckinger (1953) (Figura 4.1) a partir do estágio de gemas com ponta verde (C) até frutos com 10mm de diâmetro (J). Foram selecionadas 10 plantas, sendo que em cada planta foram observados dez estruturas de cada tratamento.

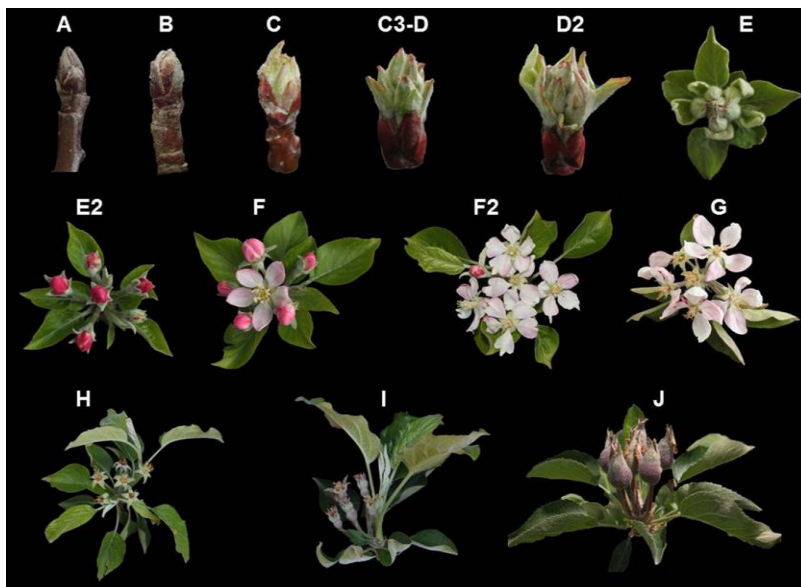


Figura 4.1 Estádios fenológicos da macieira, segundo Fleckinger (1953) com modificações. (A): gema dormente; (B) gema inchada - ponta de prata; (C) ponta verde; (C3-D) 1,3 cm verde; (D2) 1,3cm verde com folhas; (E) botão verde; (E2) botão rosado; (F) início da floração; (F2) plena floração; (G) final da floração; (H) queda de pétalas; (I) frutificação efetiva; (J) frutos verdes com 10mm de diâmetro.

A partir dos dados fenológicos foi possível avaliar, para as diferentes estruturas de frutificação, o tempo médio em dias da duração de cada fase fenológica (C-J); o início da brotação (50% das gemas reprodutivas com 1.3 cm de ponta verde - C3); início do florescimento (10% das flores abertas - 10% das gemas em F); pleno florescimento (70% das flores abertas - 70% das gemas em F2); final do florescimento (90% das gemas em G ou 100% em F2), intervalo total de florescimento

(F-G); e e quando os frutos estavam com 10 mm de diâmetro (50% do estágio J). Foi observado a data de ocorrência dos eventos e os dias decorridos a partir da data de aplicação dos produtos para a quebra de dormência (dias após quebra de dormência - DAQD) para cada ano.

Foi também avaliado o somatório total de dias entre o tratamento de QD à colheita, brotação à colheita e final do florescimento à colheita; em cada ano e para cada cultivar,

4.2.3 Avaliação da Produtividade

Quatro ramos por planta foram previamente selecionados durante a plena floração, e as gemas floríferas marcadas separadamente por estrutura de frutificação. A partir do estágio I, foram avaliadas a frutificação efetiva, mensurada através da relação entre o número de frutos fixados pelo número de inflorescências, e a distribuição média (%) das inflorescências com 0, 1, 2, 3 e 4 ou mais frutos, para cada tipo de estrutura de frutificação.

Para os componentes de produção, todos os frutos da planta foram colhidos separadamente por estrutura. Foi realizado a contagem de frutos por estrutura (expressos em número e em %), pesados e analisado a massa média do fruto (g). Deste total, foram amostrados 20 frutos por repetição, separadamente por estrutura, de ambas cultivares e ciclos avaliados, para determinação dos valores médios de comprimento e diâmetro dos frutos, expressos em mm. O formato dos frutos foi avaliado através da relação entre as dimensões comprimento médio e diâmetro dos frutos (comprimento/diâmetro dos frutos). Estas amostras também foram utilizadas para estimativa do número médio de sementes por fruto.

4.2.4 Monitoramento Climático

O monitoramento climático foi realizado através das seguintes variáveis: temperatura do ar média, máxima e mínima, precipitação pluviométrica, umidade relativa do ar. Esses dados foram obtidos da estação meteorológica da Epagri/CIRAM (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina/ Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina) situada a 1,7 km do pomar em estudo.

Com os dados de temperatura máxima e mínima do ar do dia, calculou-se o Acúmulo Térmico, expresso em GDD (growing degree-

days), a partir da data do tratamento de quebra de dormência realizada em cada ano, para cada um dos principais eventos fenológicos em cada estrutura de frutificação: início da brotação; início, pleno e final do florescimento e frutos com 10 mm de diâmetro. Foi também avaliado o acúmulo térmico total entre o tratamento de quebra de dormência à colheita, brotação à colheita e final do florescimento à colheita, em cada ano e cultivar.

Para tanto, foi utilizado o sistema agrometeorológico SISAGRO II (PEREIRA et al., 2004). A temperatura mínima basal utilizada (energia mínima que aciona os dispositivos metabólicos da planta, somente estados energéticos acima deste limite são propícios ao crescimento e desenvolvimento do vegetal), para o caso da macieira, foi de 4,5°C, que é a temperatura mínima necessária para o desenvolvimento das gemas de frutíferas temperadas, segundo richardson et al. (1975). E a temperatura máxima basal (nível energético máximo, acima do qual a planta paralisa suas atividades metabólicas), foi utilizado o valor de 30°C.

Para mensurar a quantidade de frio acumulado, foi considerado o número de unidades de frio calculadas através do Modelo Carolina do Norte Modificado (EBERT et al., 1986), utilizando também o programa computacional SISAGRO II.

4.2.5 Análise Estatística

Para as avaliações de fenologia, produção e qualidade dos frutos foi utilizado delineamento experimental em blocos causalizados, com dez repetições seguindo arranjo fatorial 3x2 entre os fatores ‘tipos de estruturas de frutificação’ (gemas de esporões, axilares e terminais de brindilas) e ‘Ano’ (2011/12 e 2013/14). Cada bloco foi constituído por uma planta, sendo que, dentro de cada planta foram separados os tipos de estruturas de frutificação.

Para análise da variância os dados expressos de contagem e percentagem foram transformados em $(x+1)^{1/2}$ e $\arcsen(x/100)^{1/2}$, respectivamente. Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância (ANOVA), e quando verificada significância, procedeu-se à comparação de médias, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro, sendo considerados as estruturas estudadas e os anos como fatoriais. É importante relatar que o fator cultivar foi estudado separadamente, não sendo considerado como fonte de variação.

4.3 Resultados e Discussão

O comportamento climático (temperatura do ar máxima, mínima e média, umidade relativa do ar, precipitação e as unidades de frio) observado no período compreendido entre o mês de abril à março, de 2011/12 e 2013/14, estão apresentados nas Figura 4.2, APÊNDICE A e APÊNDICE B. De acordo com a Figura 4.2 e APÊNDICE A, observa-se que, em geral, o ciclo de 2013/14 apresentou-se mais quente, mais chuvoso e mais úmido que o ciclo de 2011/12. Ambos ciclos, apresentaram o somatório de unidades de frio maior que a média histórica (1058 UF - série 1973-2013), sendo que, o acúmulo foi ligeiramente maior no ciclo de 2013/14 (1137 UF) que em relação a 2011/12 (1070 UF) (APÊNDICE B).

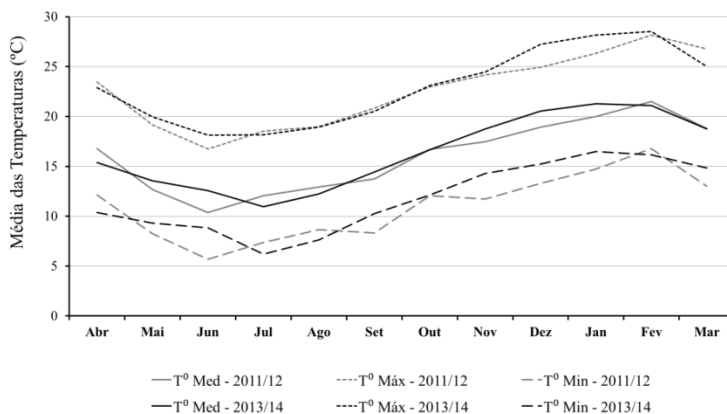


Figura 4.2 Médias mensais das temperaturas máximas, mínimas e médias do ar (°C) durante o ciclo vegetativo e reprodutivo da macieira nos anos 2011/12 e 2013/14 na região de Caçador, SC. Caçador, SC, ciclos 2011/12 e 2013/14.

4.3.1 Desenvolvimento fenológico (C-J) das estruturas de frutificação

A duração média em dias dos estádios fenológicos (segundo FLECKINGER (1953) - C à I) por estrutura de frutificação das

cultivares Gala e Fuji, observados durante os anos de 2011 e 2013, está demonstrado na Figura 4.3 e Figura 4.4 e nos APÊNDICES C e D.

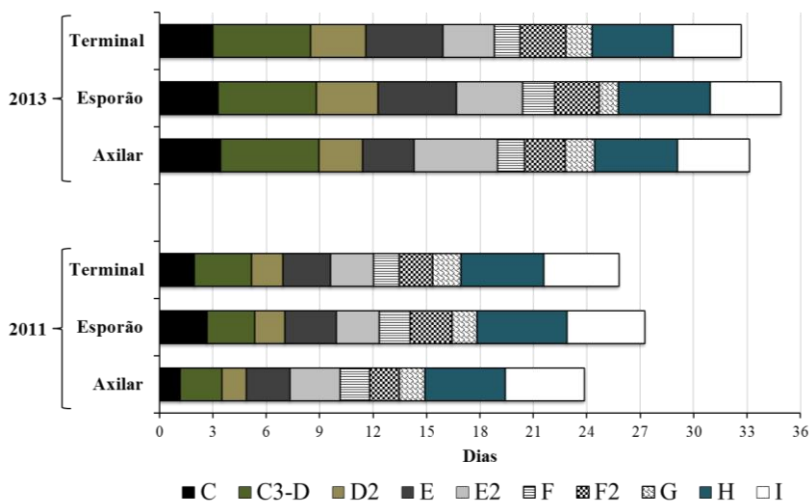


Figura 4.3 Duração média em dias dos diferentes estádios fenológicos da macieira cv. Gala por estrutura de frutificação, durante os ciclos de 2011/12 e 2013/14. (C) pontas verdes, (C3-D) 1,3 cm ponta verde, (D2) 1,3 cm verde com folhas, (E) botão verde, (E2) botão rosado, (F) início da floração, (F2) plena floração, (G) final da floração, (H) queda de pétalas, (I) frutificação efetiva. Caçador, SC, ciclos 2011/12 e 2013/14.

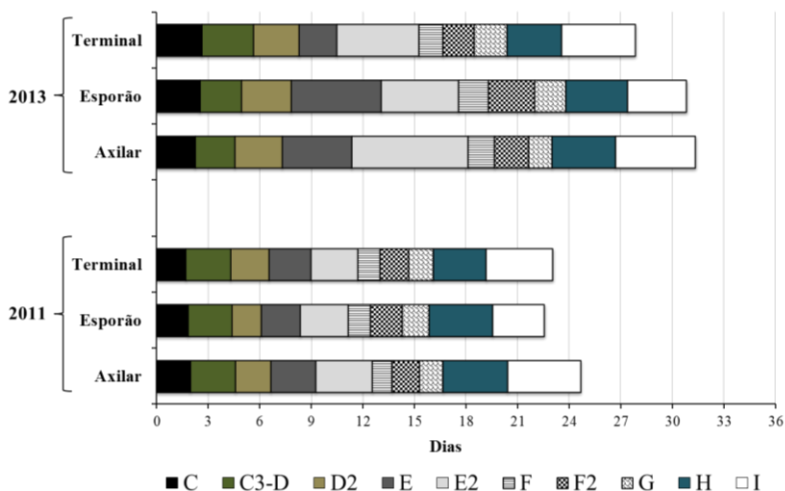


Figura 4.4 Duração média em dias dos diferentes estádios fenológicos da macieira cv. Fuji por estrutura de frutificação, durante os ciclos de 2011/12 e 2013/14. (C) pontas verdes, (C3-D) 1,3 cm ponta verde, (D2) 1,3 cm verde com folhas, (E) botão verde, (E2) botão rosado, (F) início da floração, (F2) plena floração, (G) final da floração, (H) queda de pétalas, (I) frutificação efetiva. Caçador, SC, ciclos 2011/12 e 2013/14.

Considerando todas as estruturas, houve um encurtamento de aproximadamente oito e sete dias, cvs. Gala e Fuji respectivamente, na duração total dos estádios de ponta verde (C) à frutificação efetiva (I), no ano de 2011, comparado à 2013 (Tabela 4.1). Em geral, esta diferença foi mais expressiva nos estádios fenológicos iniciais (de C à E2) (APÊNDICE C).

da brotação ao início do florescimento (C3-F), em ambas cultivares, foi mais baixa em 2013 do que em 2011 (diferença aproximada de 2,4°C) (Figura 4.5, Figura 4.6); sendo, possivelmente, o fator responsável pelo atraso, de aproximadamente 50%, no desenvolvimento fenológico dos estádios iniciais em 2013.

Durante o período de 1995-2000, e nesta mesma região de estudo, PUTTI e PETRI (2002) observaram os estádios fenológicos de três cultivares, e relataram que a média de duração dos estádios de ponta de prata (B/C) à frutos verdes (J) variou de 31 a 44 dias na cv. Gala, e 29 a 39 dias na cv. Fuji. Os mesmos autores concluíram que a amplitude dos estádios, ou seja a duração de cada estádio, não apresentou

correlação com os índices bioclimáticos de Σ GDD e unidades de frio; no entanto a variação demonstrada nos anos avaliados pode ter sido influenciada por fatores ambientais e/ou fisiológicos da planta.

O cultivo da macieira cv. Condessa (Gala x M-41) no Vale de São Francisco, região nordeste e semiárida do Brasil, demonstra a grande influência das condições ambientais sobre a fenologia da cultura (OLIVEIRA et al., 2013). Sob estas condições, a duração do período compreendido entre o estágio de ponta verde (B/C) ao estágio de frutificação efetiva (I), para esta cultivar, foi em torno de 23 dias em dois anos de avaliação. Essa duração foi similar ao mesmo período observado nas gemas axilares da cv. Gala em 2011, e não muito abaixo da média daquele ano (26 dias).

Em relação as estruturas de frutificação, a duração total em dias, das gemas de esporões da ‘Gala’, foi estatisticamente mais longa, em ambos os anos, comparadas às gemas axilares e terminais de brindilas (Tabela 4.1, Figura 4.3). No caso da cv. Fuji, o acréscimo de dias foi observado em gemas axilares em 2011, e apesar de não diferir dos esporões em 2013, foi em 3,5 dias mais longo que as terminais de brindilas (Tabela 4.1, Figura 4.4). No entanto, ao observar os estádios isoladamente, é possível distinguir quais são os estádios que mais sofreram influência das condições climáticas referentes a cada ano.

Tabela 4.1 Duração total média (dias) dos estádios fenológicos de C-J (de acordo com Fleckinger (1953)) e duração média (dias) do florescimento (F à G) por estrutura de frutificação da cv. Gala. (C) pontas verdes, J (frutos com 10 mm), (F) início da floração, (G) final da floração. Caçador, SC, ciclos 2011/12 e 2013/14.

Estrutura	C-J (dias)				F-G (dias)			
	Gala		Fuji		Gala		Fuji	
	2011	2013	2011	2013	2011	2013	2011	2013
Axilar	23,8 cB	33,0 bA	24,7 aB	31,4 aA	4,8 bB	5,5 aA	4,5 b	
Esporão	27,2 aB	34,9 aA	22,6 bB	30,8 aA	5,5 aA	5,4 aA	5,5 a	
Terminal	25,8 bB	32,6 bA	23,1 bB	27,9 bA	4,9 bB	5,5 aA	4,8 b	
Média	25,6 B	33,5 A	23,4 B	30,0 A	5,0 B	5,4 A	4,4 B	5,4 A
F(A)	899,1**		332,12**		7,6**		41,6**	
F(E)	33,6**		16,7**		ns		13,1**	
F(AxE)	7,1**		7,8**		3,2*		ns	
CV (%)	3,5		5,2		10,4		12,6	

Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5% de significância. ns = não significativo; ** = significativo a 1% de probabilidade de erro; * = significativo a 5% de probabilidade de erro.

O tempo de florescimento (início ao fim) de uma determinada gema pode demonstrar sua maior ou menor habilidade em segurar frutos. Vários são os fatores que influenciam na senescência da flor e no período efetivo de polinização, os quais podem ser agrupados em temperatura, qualidade da flor e tratamentos químicos (SANZOL; HERRERO, 2001). O intervalo de florescimento, de (F) à (G), da inflorescência das cultivares Gala e Fuji durou, em média, 5,0 e 4,4 dias em 2011, respectivamente, e 5,4 dias, para ambas cultivares, em 2013, sendo que, a diferença foi, principalmente, devido ao aumento de aproximadamente 20% no período do pleno florescimento (F2), em 2013, em ambas cultivares (Tabela 4.1, APÊNDICE C). Entre as estruturas, em 2011, os esporões de ‘Gala’ apresentaram, em geral, maior duração entre o início e fim do florescimento. Em 2013, os mesmos não diferiram entre as demais, apresentando mesmo intervalo de florescimento; no entanto, observa-se que devido a algum fator, seja climático ou fisiológico, as flores dos esporões entraram em senescência mais rapidamente (período compreendido entre F2-G) em comparação as demais estruturas neste específico ano. O pleno florescimento (F2) de uma gema axilar de brindila foi o mais curto entre as estruturas, especialmente em 2011 (Tabela 4.1, Figura 4.3, APÊNDICE C). Para a cv. Fuji, em ambos anos, o maior período de florescimento foi observado em gemas de esporões, principalmente o período de pleno florescimento (F2) (Tabela 4.1, Figura 4.4, APÊNDICE D), demonstrando maior estabilidade, durabilidade das flores e maior garantia de polinização e frutificação. Ao observar as inflorescências, individualmente, de esporões de diversas cultivares, incluindo ‘Gala’ e ‘Fuji’, durante dois anos na região noroeste dos Estados Unidos, Racsko e Miller (2010) observaram que o período de florescimento das cultivares Gala e Fuji, considerado a partir da abertura da primeira flor à abertura da última flor dentro da inflorescência, foi de oito e nove dias, em 2007, e 13 e 14 dias, respectivamente, em 2008. Essa diferença no comprimento foi atribuída as condições climáticas, pois em 2007 houve um aumento expressivo de temperaturas a partir de março, resultando em altas temperaturas durante o florescimento (média de 15,8 °C). A temperatura média em 2008, durante o período do florescimento, ficou em torno de 13,3 °C. Estes mesmos autores, juntamente com Blasse e Hofmann (1992), não encontraram diferenças no período de florescimento entres as cultivares estudadas, porém houve forte influência da temperatura na determinação deste.

A transição do estágio de queda de pétalas para o estágio de frutificação (H), período em qual ocorre a abscisão de flores que não foram fertilizadas, não apresentou diferença estatística entre as estruturas de frutificação da ‘Gala’ (aproximadamente 5 dias) (APÊNDICE C, Figura 4.3). Para esta cultivar, esta fase parece ser mais dependente do processo pós fertilização do que do ambiente. Para a cv. Fuji, este processo pareceu ser mais rápido em gemas terminais de brindilas (Figura 4.4, APÊNDICE D).

Da frutificação efetiva ao estágio de frutos com 10 mm (estádio D), período de intensa divisão celular, foram necessários em média quatro dias, para todas as estruturas da ‘Gala’, sendo que em 2011 esse período foi estatisticamente mais longo que em 2013 (APÊNDICE C, Figura 4.3). Gemas axilares de brindilas da cv. Fuji apresentaram lento crescimento dos frutos entre o período da frutificação à frutos com 10mm de diâmetro, ou seja, este período foi maior entre as demais estruturas. A transição mais rápida ocorreu nas gemas de esporões, seguidas das terminais (APÊNDICE D, Figura 4.4).

Com exceção dos estádios (C), (E) e (E2), nos quais as características do comportamento das estruturas de frutificação foram variáveis e dependentes do ano, a diferença encontrada entre as estruturas nos demais estádios fenológicos, parece seguir um padrão mais estável em ambas cultivares, onde a influência do fator ano atua de forma balanceada sobre as mesmas.

Até o momento foi observado a duração média de cada estágio fenológico das gemas individualmente. A variação no início de cada estágio, no entanto, depende da homogeneidade de brotação dentro da planta. Os invernos das regiões do Sul do Brasil são caracterizados por temperaturas amenas e, muitas vezes, com grandes oscilações, típicas de inverno subtropical. O acúmulo de frio hibernal nessas regiões é insuficiente, e em algumas situações, variáveis entre os anos. Tais condições tendem a maximizar a heterogeneidade da brotação, induzindo a ocorrência simultânea de vários estádios fenológicos em uma mesma planta.

4.3.2 Desenvolvimento fenológico das plantas em relação as estruturas de frutificação

As datas e a extensão dos principais eventos fenológicos (quebra de dormência, início da brotação, início do florescimento, plena floração, final do florescimento, frutos com 10mm de diâmetro e colheita), das cultivares Gala e Fuji nos ciclos de 2011/12 e 2013/14,

bem como a temperatura média registrada neste período, estão apresentados na Figura 4.5 e Figura 4.6. Como o tratamento de quebra de dormência é considerada uma prática habitual e necessária para as condições climáticas do Sul do Brasil, os dias foram contados a partir do tratamento de quebra de dormência para todos os anos e cultivares.

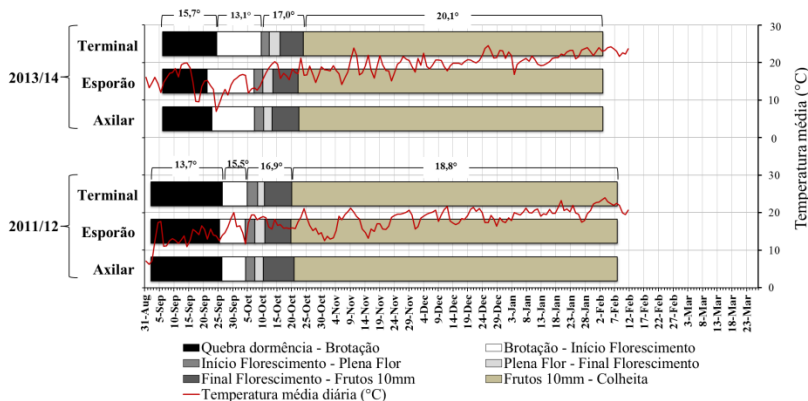


Figura 4.5 Data média e duração dos principais eventos fenológicos ocorridos da quebra de dormência até a colheita dos frutos de macieira cv. Gala nas diferentes estruturas de frutificação e temperatura média diária (°C) observada da quebra de dormência à colheita, durante os ciclos de 2011/12 e 2013/14. Caçador, SC, ciclos 2011/12 e 2013/14.

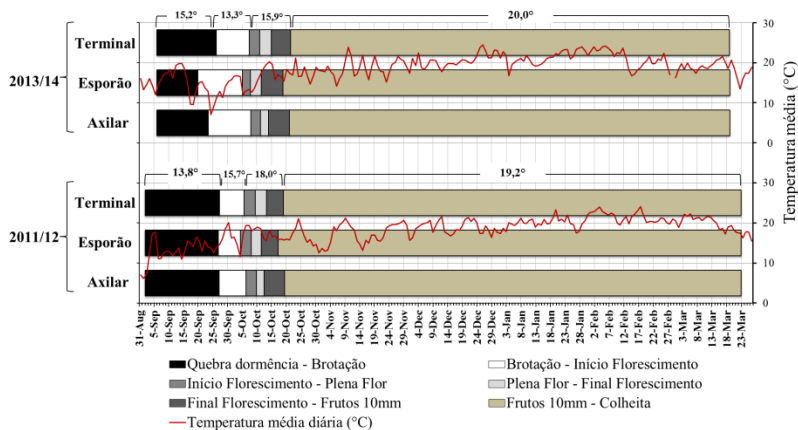


Figura 4.6 Data média e duração dos principais eventos fenológicos ocorridos da quebra de dormência até a colheita dos frutos de macieira cv. Fuji nas diferentes estruturas de frutificação e temperatura média diária (°C) observada da quebra de dormência à colheita, durante os ciclos de 2011/12 e 2013/14. Caçador, SC, ciclos 2011/12 e 2013/14.

Levando em consideração as datas do ano, em 2013, a brotação de todas as estruturas da ‘Gala’ foi antecipada em média 3 dias, e da ‘Fuji’ em 4 dias, em relação a 2011, mesmo havendo uma diferença de 4 dias na data do tratamento de QD entre os dois ciclos (2/9 em 2011 e 6/9 em 2013) (Figura 4.5, Figura 4.6). No ano de 2011, o início da brotação foi padronizado em todas as estruturas em ambas cultivares. Já em 2013, o comportamento da brotação foi diferenciado entre os fatores; os esporões foram as primeiras estruturas a atingir 50% do estágio C3, seguido das axilares, e estas, das terminais (Tabela 4.2). A diferença na cv. Fuji foi mais pronunciada que na ‘Gala’, sendo a diferença de 3 dias entre cada estrutura (esporão, axilar e terminal) (Tabela 4.3). A ‘Gala’ apresentou dois e um dia de diferenças, sucessivamente (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 Intervalo, em dias, entre o tratamento de quebra de dormência (DAQD) ao início da brotação (IB), início do florescimento (IF), pleno florescimento (PF), final do florescimento (FF) e frutos com 10mm, das diferentes estruturas de frutificação da cv. Gala. Caçador, SC, ciclos 2011/12 e 2013/14.

Estrutura/ Ano	IB		IF		PF		FF		F10	
	11	13	11	13	11	13	11	13	11	13
Axilar	24 aA	17 bB	32 aA	31 bB	35 bA	34 bB	38 aA	37 bB	49 aA	46bB
Esporão	23 aA	15 cB	32 aA	31 bB	35 bA	34 bB	39 aA	38 bB	48 aA	46bB
Terminal	24 aA	18 aB	33 aA	34 aA	36 aA	36 aA	39 aB	40 aA	48 aA	48aA
Média	24 A	17 B	32	32	36 A	35 B	39 A	38 B	48 A	47 B
F(A)	669,5**		ns		32,8**		2,9**		18,9**	
F(E)	19,0**		23,7**		61,2**		27,4**		4,1*	
F(AxE)	5,4**		8,3**		9,0**		20,4**		5,3**	
CV (%)	5,3		2,4		1,4		1,8		2,4	

Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5% de significância. ns = não significativo; ** = significativo a 1% de probabilidade de erro; * = significativo a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 4.3 Intervalo, em dias, entre o tratamento de quebra de dormência (DAQD) do início da brotação (IB), início do florescimento (IF), pleno florescimento (PF), final do florescimento (FF) e frutos com 10mm, das diferentes estruturas de frutificação da cv. Fuji. Caçador, SC, ciclos 2011/12 e 2013/14.

Estrutura/ Ano	IB		IF		PF		FF		F10	
	11	13	11	13	11	13	11	13	11	13
Axilar	25 aA	17 bB	33 a	31 b	37 a	34 b	39 a	37 b	46 a	44 b
Esporão	25 aA	14 cB	31 b	31 b	34 b	37 b	37 b	40 a	46 a	46 a
Terminal	25 aA	20 aB	33 a	33 a	37 a	37 a	40 a	40 a	46 a	46 a
Média	25 A	17 B	34 A	31 B	37 A	34 B	40 A	37 B	47 A	45 B
F(A)	371,8**		155,5**		144,0**		75,5**		58,2**	
F(E)	21,7**		42,3**		40,5**		20,3**		28,8**	
F(AxE)	17,9**		ns		ns		ns		ns	
CV (%)	7,6		2,7		2,8		3,4		2,4	

Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5% de significância. ns = não significativo; ** = significativo a 1% de probabilidade de erro; * = significativo a 5% de probabilidade de erro.

Em 2011, após a quebra de dormência, foram necessários em torno de 24 e 25 dias para as gemas de ‘Gala’ e ‘Fuji’, respectivamente, iniciarem a brotação, sendo que em 2013 esse período foi reduzido para 17 dias em ambas cultivares (Tabela 4.2, Tabela 4.3). Ao verificar-se a

soma térmica acumulada a partir do tratamento de quebra de dormência até o início da brotação, notou-se que em 2011 a exigência térmica, das cultivares Gala e Fuji, foi em torno de 37 e 49 GDD a mais que em 2013, respectivamente (Tabela 4.4, Tabela 4.5). Se o tratamento de quebra de dormência, em 2013, fosse realizado na data 2/setembro (mesma data do tratamento aplicado em 2011), o acúmulo térmico teria sido em torno de 246 e 248 GDD, para ‘Gala’ e ‘Fuji’, muito similar aos 239 e 253 GDD acumulados em 2011. Portanto, apesar de haver diferença estatística entre os anos, faz-se necessário estabelecer faixas de limites térmicos, ou intervalos, na previsão da brotação de acordo com o acúmulo térmico. Tal condição, foi observada também por Cardoso (2011), o qual durante sete anos avaliou o comportamento fenológico de ‘Royal Gala’ e ‘Fuji Suprema’ em seis diferentes locais, e observou na ‘Gala’ um acúmulo médio de 212 ± 35 GDD (T° base de 4,5) desde o tratamento de quebra de dormência ao estágio de ponta verde; e para a ‘Fuji’ um valor de 234 ± 40 . Portanto, os resultados encontrados neste trabalho situam-se dentro do limite de variação observado por este autor.

Tabela 4.4 Acúmulo térmico (Σ GDD) a partir do tratamento de quebra de dormência ao do início do florescimento (IF), pleno florescimento (PF), final do florescimento (FF), frutos com 10mm de diâmetro (F10), das diferentes estruturas de frutificação da cv. Gala. Caçador, SC, ciclos 2011/12 e 2013/14.

Estrutura/ Ano	Σ GDD											
	IB		IF		PF		FF		F10			
	11	13	11	13	11	13	11	13	11/12	13/14		
Axilar	223 a		346 bA	346 bA	393 bA	383 bB	436 aA	427 bB	569 aA	552 bB		
Esporão	211 b		343 bA	345 bA	394 bA	378 bB	442 aA	432 bB	557 aA	548 bA		
Terminal	229 a		353 aB	370 aA	407 aA	412 aA	442 aB	465 aA	561 aA	574 aA		
Média	239A	202B	348 B	354 A	398 A	391 B	440	441	562	558		
F(A)	205,8**		7,4**		14,3**		ns		ns			
F(E)	16,9**		25,1**		63,1**		25,4**		4,4*			
F(AxE)	Ns		6,1**		10,2**		17,0**		4,4*			
CV (%)	4,5		2,5		1,9		2,3		2,9			

Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5% de significância. ns = não significativo; ** = significativo a 1% de probabilidade de erro; * = significativo a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 4.5 Acúmulo térmico (Σ GDD) a partir do tratamento de quebra de dormência ao início do florescimento (IF), pleno florescimento (PF), final do florescimento (FF), frutos com 10mm de diâmetro (F10), das diferentes estruturas de frutificação da cv. Fuji. Caçador, SC, ciclos 2011/12 e 2013/14.

Estrutura/ Ano	Σ GDD									
	IB		IF		PF		FF		F10	
	11	13	11	13	11	13	11	13	11	13
Axilar	254 aA	208 bB	366 a		414 a		464 abA	436 bB	545 a	
Esporão	251 aA	176 cB	338 c		377 b		453 bA	396 aB	514 b	
Terminal	255 aA	227 aB	357 b		407 a		475 aA	451 bB	544 a	
Média	253 A	204 B	365 A	342 B	419 A	379 B	464 A	428 B	545 A	525 B
F(A)	197,7**		72,9**		107,9**		57,7**		28,6**	
F(E)	20,7**		39,7**		34,9**		22,4**		29,8**	
F (AxE)	15,1**		ns		ns		4,6*		ns	
CV (%)	6,0		2,9		3,7		4,1		2,7	

Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5% de significância. ns = não significativo; ** = significativo a 1% de probabilidade de erro; * = significativo a 5% de probabilidade de erro.

Observou-se que os esporões de ‘Gala’ necessitaram de menor acúmulo térmico em ambos anos para brotarem, diferindo estatisticamente de axilares e terminais de brindilas (Tabela 4.4). As estruturas de frutificação da cv. Fuji foi instável em relação ao ano. Em 2011, todas as estruturas iniciaram a brotação com o mesmo acúmulo de GDD, diferentemente de 2013, em que gemas de esporões brotaram com 177 GDD, axilares com 208 GDD e terminais com 227 GDD (Tabela 4.5).

O início do florescimento da cv. Gala em 2011 ocorreu-se no dia 4 de outubro nas gemas axilares de brindilas e nos esporões, e em 5/out nas gemas terminais de brindilas, em média 32 dias após a quebra de dormência. Em 2013, a sequência do início do florescimento foi similar a 2011, porém significativo entre o grupo dos esporões e axilares (7/out) com e terminais (10/out) (Figura 4.5 e Tabela 4.2). De fato, o acúmulo térmico necessário, acumulado a partir do tratamento de QD, para gemas axilares de brindilas e esporões foi menor que para gemas terminais de brindilas. E, apesar da brotação em 2011 ter ocorrido alguns dias mais tardiamente que em 2013, foram necessários, em média, os mesmos 32 DAQD para as primeiras gemas entrarem em processo de florescimento, sendo que, o acúmulo térmico, mesmo sendo estatisticamente significativo, devidos as gemas terminais, foi semelhante em ambos os anos, de 348 e 354 GDD (Tabela 4.4). Em

relação a ‘Fuji’, em 2011 foram necessários 34 DAQD (Σ GDD de 365) para o início do florescimento, e em 2013 foram 31 DAQD (Σ GDD de 342), sendo que a sequência do florescimento entre as estruturas não apresentou interação entre os anos, na diferença média de dois dias entre os esporões e as terminais e axilares de brindilas. Porém, o acúmulo térmico necessário para o início ao florescimento, foi maior em axilares, seguido das terminais e, então, esporões (Tabela 4.3, Tabela 4.5, Figura 4.6). Mesmo nos anos em que a brotação é uniforme entre as estruturas, em relação a data e acúmulo térmico, a sequência e a exigência térmica para o florescimento, desta cultivar, difere entre as mesmas.

Segundo Soltész (2003), vários são os fatores que afetam na fenologia das plantas de macieira, entre eles citam-se o tipo de porta enxerto, condução e arqueamento, condições ambientais e o tipo de estrutura de frutificação. A sequência de florescimento entre as estruturas, observada pelo autor, segue na seguinte ordem crescente de abertura das flores: esporões mais velhos, esporões mais novos, terminal de brindilas e axilares de brindilas. O mesmo autor, afirma que essa sequência é a mesma ocorrida durante a brotação, e que as cultivares diferem na data de florescimento entre esporões e gemas axilares de brindilas, quanto mais longa for a brindila mais cedo será o florescimento de gemas axilares. Neste trabalho, as brindilas estudadas foram padronizadas entre 25-35cm, não havendo restrição quanto ao tamanho. No entanto, observou-se que gemas de esporões e axilares de brindilas da ‘Gala’, apresentaram similaridade no início do florescimento, enquanto para a cv. Fuji diferiram entre si. Os resultados obtidos deste trabalho não corroboram com o autor (SOLTÉSZ, 2003), pois a resposta das diferentes estruturas ao início da brotação e do florescimento de ambas cultivares foi influenciada pelo ano. É importante salientar que a controvérsia dos resultados obtidos entre este trabalho e por Soltész (2003) são de extrema importância, uma vez que, revela algumas das diferenças do comportamento fenológico da macieira quando cultivada em regiões consideradas limitantes para a cultura.

De acordo com as condições climáticas observadas nos dois anos de avaliações, a média da temperatura média do ar registrada a partir da quebra de dormência até a brotação, no ano de 2011 e 2013, foi de aproximadamente 14 °C e 16 °C, respectivamente. O mesmo ocorreu com as temperaturas mínimas, as quais foram mais baixas durante o mês de setembro no ano 2011 (Figura 4.2). Durante o período compreendido entre o início da brotação ao início do florescimento, as temperaturas médias se inverteram, sendo que em 2011, a média (de ambas cultivares) foi em torno de 15,5 °C e em 2013 foi em 13,7 °C (Figura

4.5, Figura 4.6). Apesar de ter ocorrido um maior acúmulo de chuvas no mês de setembro do ano de 2013, os processos fenológicos de brotação e florescimento parecem ser mais influenciados pela temperatura do que pela precipitação (APÊNDICE A). Portanto, o aumento de temperatura observado durante os dias que sucederam o tratamento de quebra de dormência em 2013, acelerou a brotação, enquanto que, a ocorrência de temperaturas mais baixas durante a fase inicial do desenvolvimento das gemas até o início do florescimento neste mesmo ano, proporcionou prolongamento do período, e consequentemente, atraso no florescimento.

Em anos, quando a temperatura do ar se mantém elevada entre o período da brotação ao início do florescimento, não se observou diferenças marcantes, em dias, entre as estruturas de frutificação da cv. Gala, para os eventos que precedem a brotação, ou seja, há uma maior sincronia fenológica entre todas as estruturas floríferas da planta. No entanto, as diferenças entre as estruturas serão mais acentuadas em anos em que a temperatura do ar, durante este período, se mantenha baixa, talvez devido ao acúmulo térmico satisfatório para cada evento ser mais gradual, estimulando o desenvolvimento fenológico primeiramente nas estruturas de menor exigência térmica, os esporões e axilares de brindilas (Figura 4.5).

Para a cv. Fuji, as fenofases, observadas após a brotação, seguiram o mesmo padrão entre as estruturas de frutificação independente das condições climáticas do ano, ou seja, não houve influência do ano sobre a diferença das mesmas. Para esta cultivar, os esporões são mais precoces que ambas as terminais e axilares de brindilas (Figura 4.6). Sob as condições climáticas ocorridas em 2013, onde as temperaturas apresentaram-se mais baixas a partir da brotação, essa precocidade evolutiva de gemas de esporões apresentam certa desvantagem em relação a qualidade morfológica dos órgãos masculinos da flor (Capítulo 3), pois o desenvolvimento destes demonstrou ser influenciado pelas condições climáticas daquele ano.

A prática de raleio da cultura da macieira tem como finalidade melhorar o tamanho e a qualidade dos frutos, além de evitar a alternância de produção pela retirada da carga excessiva de frutos antes da indução floral para o ano seguinte. O raleio pode ser realizado em diferentes épocas entre a plena floração à frutos com 20mm de diâmetro, sendo geralmente praticado quando os frutos atingem 10mm de diâmetro. Foram necessários 48 DAQD, em 2011, e 47 DAQD, em 2013, para 'Gala' apresentar frutos com 10mm de diâmetro. Em 2011,

as estruturas não diferiram entre si, porém em 2013, gemas terminais de brindilas precisaram de um acréscimo de dois dias comparado às demais (Tabela 4.2). A soma térmica deu-se de forma similar aos DAQD (Tabela 4.4). Em relação a cv. Fuji, mesmo havendo diferença entre os anos, terminais e axilares de brindilas foram dois dias superiores aos esporões, e da mesma forma que a cv. Gala; a soma térmica das estruturas seguiu o mesmo padrão dos DAQD (Tabela 4.3, Tabela 4.5).

Embora o ano de 2013 tenha propiciado maior durabilidade de florescimento das inflorescências em si (Tabela 4.1), o período de florescimento (início à fim), em média, foi similar nos anos de avaliação. Em geral, a ‘Gala’ apresentou um período de florescimento de seis dias, enquanto para a ‘Fuji’, este período foi de aproximadamente sete dias. As estruturas da cv. Gala apresentaram o mesmo intervalo em dias entre si. Já para a cv. Fuji, o período entre o início do florescimento à senescência das flores nas axilares foi o mais rápido, sendo estatisticamente menor que as terminais de brindilas (Tabela 4.6).

Tabela 4.6 Intervalo médio (dias) entre início e final do florescimento (IMF), nas diferentes estrutura de frutificação das cvs. Gala e Fuji. Caçador, SC, ciclos 2011/12 e 2013/14.

Estrutura	IMF (dias)			
	‘Gala’		‘Fuji’	
	11/12	13/14	11/12	13/14
Axilar	6,0		6,1	b
Esporão	6,6		6,8	ab
Terminal	6,1		7,6	a
Média	6,2		6,8	
F(A)	ns		ns	
F(E)	ns		6,4*	
F(AxE)	ns		ns	
CV (%)	15,9		19,5	

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5% de significância. ns = não significativo; * = significativo a 5% de probabilidade de erro.

Levando em consideração o intervalo de florescimento do ano, intercalando o início do florescimento da primeira estrutura ao final do florescimento da última estrutura, o período total de florescimento das duas cultivares foi dois dias mais longo em 2013. Para a ‘Gala’ foi em

torno de sete dias em 2011 e nove em 2013, e para a ‘Fuji’ foi oito dias em 2011 e dez dias em 2013 (Figura 4.5 e Figura 4.6). O maior prolongamento deste período em 2013, deu-se devido a menor sincronia entre o início e final do florescimento de cada estrutura (Tabela 4.2, Tabela 4.3), e esta variabilidade tornou-se mais expressiva devido as condições climáticas, sendo que a temperatura média do ar desse período foi menor, em média aproximada de 16,5 °C (média das máx. de 23 °C e média das mín. de 12 °C), que em relação a 2011 (média de 18,3 °C, com média das máx. de 26 °C e média das mín. de 13 °C). O período de florescimento mais concentrado torna-se vantajoso pela melhor uniformidade de maturação, menor necessidade de mão de obra, maior eficiência de raleantes. No entanto, a probabilidade de que flores sejam polinizadas em períodos de florescimento mais longos torna-se maior, com maior garantia de frutificação, principalmente em condições climáticas adversas, como períodos chuvosos, nublados ou frios que prejudicam o trabalho das abelhas, ou então, a ocorrência de geadas tardias.

Considerando o período entre o final do florescimento à colheita, ou seja, o crescimento do fruto a partir da fertilização do óvulo até o momento da colheita, houve um encurtamento de oito dias no ciclo de 2013/14 em relação ao ciclo de 2011/12 para a cv. Gala. A cv. Fuji também teve seu período (FF-CO) reduzido, porém em seis dias (Tabela 4.7). O aceleração deste período pode estar associado as maiores temperaturas máximas, mínimas e médias do ar observada em 2013/14 (Figura 4.2). A média das temperaturas médias diárias do ar observada neste período foi de 20,1 °C em 2013/14 contra os 18,8 °C de 2011/12 no ciclo da ‘Gala’, e 20,1 °C em 2013/14 contra 19,2 °C de 2011/12 no ciclo da ‘Fuji’ (Figura 4.5, Figura 4.6). Seja, com base em apenas dois anos estudados, observa-se que o aumento de 1 °C na temperatura média diária a partir da metade de Outubro, levou, em média, um decréscimo de uma semana no ciclo total de ambas cultivares.

Tabela 4.7 Intervalo médio (dias) entre o final do florescimento à colheita (FF-CO) e início da brotação à colheita (IB-CO) das cultivares Gala e Fuji. Caçador, SC, ciclos 2011/12 e 2013/14.

Ciclo	Σ Dias			
	‘Gala’		‘Fuji’	
	FF-CO	IB-CO	FF-CO	IB-CO
2011/12	120	135	163	178
2013/14	112	133	157	177
Média	116	134	160	178

A duração do ciclo produtivo das cultivares Gala e Fuji, da brotação ao início da colheita, em ambos os anos, foi bastante parecido. A ‘Gala’ apresentou uma média de 135 dias em 2011/12 e 133 dias em 2013/14; enquanto a ‘Fuji’ teve um ciclo total de 178 e 177 dias, respectivamente (Tabela 4.7). Isto demonstra que, mesmo havendo variabilidade entre os períodos avaliados separadamente, houve uma compensação dos mesmos, fazendo com que o período total de crescimento entre a brotação a colheita se nivelasse. Entretanto, o estudo individual de cada período é de extrema importância, pois pode fornecer evidências diretas e informações específicas sobre quais eventos são mais sensíveis sob determinadas situações, como por exemplo, variações e mudanças climáticas.

De acordo com a Tabela 4.8, houve uma redução média de oito dias no ciclo compreendido entre a quebra de dormência à colheita no ano de 2013/14 em ambas as cultivares. No entanto, o somatório dos graus dias durante todo este período foram muito similares entre os anos, principalmente na cv. Fuji (Tabela 4.8, Figura 4.7, Figura 4.8).

Tabela 4.8 Acúmulo térmico (Σ GDD) e duração total do ciclo, a partir do tratamento de quebra de dormência à colheita, das cultivares Gala e Fuji durante os ciclos de 2011/12 e 2013/14.

Ciclo	‘Gala’		‘Fuji’	
	Dias	Σ GDD	Dias	Σ GDD
2011/12	159	2207	203	2957
2013/14	150	2247	195	2984
Média	155	2227	199	2971

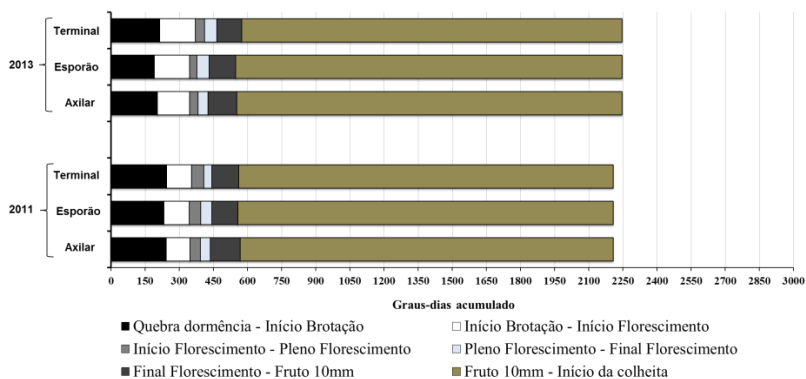


Figura 4.7 Acúmulo térmico médio (Σ GDD) a partir do tratamento de quebra de dormência ao início do florescimento, pleno florescimento, final do florescimento, frutos com 10mm de diâmetro e colheita, das diferentes estruturas de frutificação da cv. Gala. Caçador, SC, ciclos 2011/12 e 2013/14.

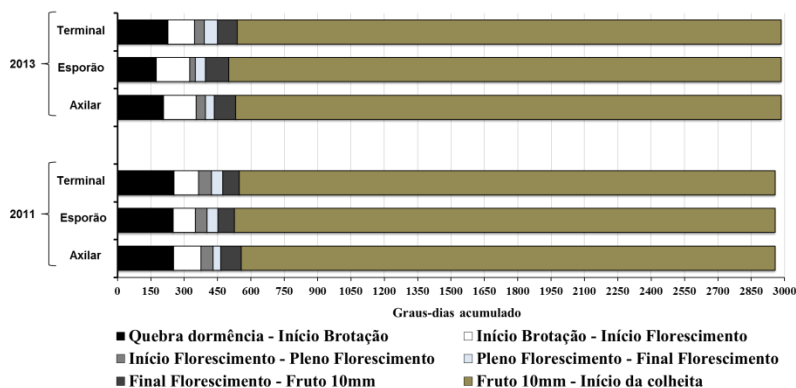


Figura 4.8 Acúmulo térmico médio (Σ GDD) a partir do tratamento de quebra de dormência ao início do florescimento, pleno florescimento, final do florescimento, frutos com 10mm de diâmetro e colheita, das diferentes estruturas de frutificação da cv. Fuji. Caçador, SC, ciclos 2011/12 e 2013/14.

Resumindo, foram necessárias em média 17 à 24 DAQD para o início da brotação, 32 DAQD para o início do florescimento e 47 DAQD para a prática do raleio, para ambas cultivares. Do início da brotação até a colheita, foram necessárias 134 dias para a cv. Gala e 178 dias para a 'Fuji'. Ou então, um acúmulo térmico de 2227 Σ GDD e 2971 Σ GDD, respectivamente, a partir do tratamento de quebra de dormência.

De acordo com Elloumi et al. (2013) e Legave et al. (2013), algumas plantas frutíferas cultivadas em áreas consideravelmente mais quentes do que seu habitat natural demonstram certo atraso no florescimento. GUO et al. (2013) associam o atraso ou antecipação de florescimento ao impacto das mudanças climáticas sobre a dormência das plantas. Deve-se ressaltar que em ambos anos, 2011 e 2013, o somatório de frio acumulado durante o inverno neste local de estudo (Caçador, SC) foi elevado, situando-se acima da média histórica, que é de 1058 UF, para a região (APÊNDICE B). Para estes dois anos de avaliações, ficou claro que as temperaturas registradas após o tratamento da quebra de dormência parecem ser mais decisivas no estabelecimento do início da brotação e florescimento que apenas o acúmulo de unidades de frio.

A continuação desse trabalho no decorrer dos anos é fundamental para melhor entendimento do caso em questão, principalmente para entender a interação entre unidades de frio e calor, visto que, a grande variabilidade das condições climáticas brasileiras, principalmente durante o inverno, aumentaria ainda mais a possibilidade de acerto de previsões futuras sobre a fenologia das plantas de macieira. Anos com baixo acúmulo de frio podem resultar em desuniformidade de brotação e florescimento, causando variação no tamanho e maturação dos frutos com conseqüente redução quantitativa e qualitativa dos mesmos (LANG et al., 1987; PETRI et al., 2006; LUEDELING et al., 2009). No entanto, o aquecimento durante o período de saída da dormência aumentaria a taxa de acúmulo térmico, a qual compensaria o efeito de atraso nos estádios fenológicos, em particular o florescimento, causado pela redução de unidades de frio no inverno (RUIZ et al., 2007).

Mesmo que em ambos os anos o acúmulo de unidades de frio foram acima da média, o ano de 2013 acumulou 67 unidades a mais que o ano de 2011. Para a cv. Fuji, considerada cultivar de maior exigência em frio que a cv. Gala, o requerimento térmico da maioria dos eventos fenológicos neste ano foi menor que em 2011, bem como na média dos anos para todas as estruturas. Embora essa diferença tenha sido baixa, essa tendência de resposta das plantas corrobora com os resultados

encontrados por Albuquerque et al. (2008), em que em anos de baixo requerimento térmico dos estádios fenológicos foi observado em anos de maior acúmulo de frio, pois segundo Harrington et al. (2010) e Murray et al. (1989), o maior acúmulo térmico requerido pelos estádios compensaria a baixo acúmulo de frio decorrido do inverno. Já para Guo et al. (2013), os impactos, causados devido as mudanças climáticas, parecem influenciar mais nas taxas de aumento do acúmulo térmico do que variação de acúmulo de frio.

O índice bioclimático de soma térmica ou graus dias, acumulados a partir do tratamento químico de quebra de dormência, pareceu bastante apropriado para possíveis estudos de cálculo entre início e final de cada fenofase, e se haverá, ou não, considerável variação entre as estruturas frutíferas para os diferentes estádios fenológicos.

4.3.3 Comportamento produtivo das estruturas

A variável frutificação efetiva apresentou interação significativa entre estrutura e ano para a cv. Gala ($P > 0.05$). Independente da estrutura, a média da frutificação efetiva da ‘Gala’, no ciclo de 2013/14, foi maior que em 2011/12 (em mais de 50%). Concomitantemente, a performance do estigma de flores da cv. Gala (Capítulo 3) pareceu mais estável em 2013/14, o que poderia ter auxiliado na maior frutificação de modo geral. Em ambos os ciclos, as gemas terminais de brindilas da ‘Gala’ demonstraram melhor capacidade em segurar frutos. A frutificação de gemas axilares não diferiu dos esporões (Tabela 4.9).

Tabela 4.9 Frutificação efetiva (número médio de frutos por inflorescência) de diferentes estruturas de frutificação das macieiras ‘Gala’ e ‘Fuji’, nos ciclos 2011/2012 e 2013/14 em Caçador, SC, Brasil.

Estrutura	Frutificação efetiva			
	GALA		FUJI	
	2011/12	2013/14	2011/12	2013/2014
Axilar	0,1 bB	0,4 bA	1,0 bA	0,3 bB
Esporão	0,1 bA	0,2 bA	1,1 bB	2,0 aA
Terminal	0,6 a B	1,5 aA	1,7 aA	1,4 aA
Média	0,3 B	0,7 A	1,3	1,2
F(A)	29,1**			ns
F(E)	42,0**		19,4**	
F(AxE)	6,89**		10,9**	
CV (%)	69,32		44,08	

Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5% de significância. ns = não significativo; ** = significativo a 1% de probabilidade de erro.

A ‘Fuji’ apresentou alta frutificação efetiva em ambos os anos, porém variável entre as estruturas. Gemas de esporões variaram em relação ao ano, sendo que em 2013 apresentaram o maior número de frutos por inflorescência (2 frutos), não diferindo das gemas terminais de brindila. No entanto, em 2011, o pegamento de frutos das terminais de brindilas foi superior comparado aos demais. Em 2011, as gemas axilares apresentaram semelhante capacidade de frutificação aos esporões, sendo estatisticamente inferiores em 2013 (Tabela 4.9).

Segundo Lespinasse (1970), existe uma relação entre o tempo de florescimento e a frutificação. De acordo com o autor, quanto mais tardia a floração de uma estrutura, menor o número de frutos por inflorescência, devido a maior competição destes com os frutos já em desenvolvimento e brotações dentro da planta, que passam a crescer nesse momento, necessitando consumir fotoassimilados. Neste trabalho, foi observado que esporões tendem a apresentar florescimento antecipado em relação as brindilas em ambas cultivares e, no entanto, apresentaram as mais baixas percentagens de frutificação na cv. Gala, e foi similar às terminais de brindilas na cv. Fuji. A densidade de inflorescências, por estrutura de frutificação, dentro de uma planta não foi avaliado neste trabalho, a não ser pela quantidade de frutos. Portanto, é difícil concluir até que ponto o florescimento precoce dessas estruturas pode afetar a frutificação de outras, pois a mesma depende da quantidade de flores presentes.

Segundo Iuchi (1987), os ramos longos apresentam maior frutificação efetiva que ramos curtos, uma vez que aqueles possuem um maior aporte de reservas, que acaba por ser partilhado de maneira eficiente entre as gemas e frutos, propiciando maior frutificação. Em regiões de inverno ameno, a área foliar dos esporões tende a apresentar um menor desenvolvimento e o crescimento dos ramos novos é maior e por um período mais prolongado, o que aumenta substancialmente sua área foliar (PEREIRA; PETRI, 2006; MADAIL, 2008).

As folhas dos esporões que frutificam, proporcionam os carboidratos necessários para o crescimento inicial do fruto, a divisão celular e a frutificação efetiva até 20-40 dias após a floração. Após este período, as folhas dos esporões tornam-se inadequadas para manter a taxa de crescimento do fruto, tornando as folhas dos ramos do ano (futuras brindilas) responsáveis por manter esse crescimento e pelo armazenamento de carboidratos para o período de dormência (PEREIRA; PETRI, 2006). De fato, com exceção do ano de 2013 onde a frutificação em gemas terminais de brindilas foi similar aos esporões na 'Fuji', gemas terminais de brindilas demonstraram superioridade no pegamento de frutos, principalmente na cv. Gala, a qual apresentou, em geral, baixo número médio de frutos por inflorescência (Tabela 4.9). A baixa frutificação efetiva observada em esporões da cv. Gala, quando comparada as terminais de brindilas, foi também relatada por Madail et al. (2012), em 2006, na região de Caçador.

Na floração é o momento no qual a planta necessita utilizar as reservas acumuladas, sendo que, o crescimento vegetativo e o desenvolvimento reprodutivo (floração) competem entre si por carboidratos (fotoassimilados), e dependendo do balanço fonte/dreno esta competição pode afetar a frutificação. De acordo com Faust et al. (1995) e Naor et al. (2003) gemas vegetativas apresentam maior requerimento em frio quando comparadas a gemas floríferas. Em ambos os anos, foi observado que as gemas vegetativas da cv. Gala brotaram paralelamente as gemas floríferas, fato este não observado na cv. Fuji. Talvez, a baixa frutificação efetiva observada na cv. Gala pode ter decorrido pelo aumento de drenos e conseqüentemente, pela maior competição inicial desses drenos, folhas e flores, pelas reservas de carboidratos na planta. Relacionado a isto, a melhor alocação dos recursos às brindilas favoreceu as mesmas, as quais apresentaram maior frutificação efetiva, em comparação aos esporões. A maior exigência em frio da cv. Fuji, principalmente das gemas vegetativas, neste caso

favoreceu a melhor partição dos fotoassimilados às flores, favorecendo o melhor pegamento dos frutos.

No que se refere ao número de frutos por inflorescência, novamente observa-se maior percentagem de inflorescências com pelo menos um fruto em terminais de brindilas da ‘Gala’ em 2011 e 2013 (34% e 70%, respectivamente), sendo esta, a estrutura com maior frequência de inflorescências com um, dois e três frutos em ambos anos. Inflorescências com dois frutos foram observadas com maior frequência em gemas axilares do que em gemas de esporões, principalmente em 2013 (Figura 4.9).

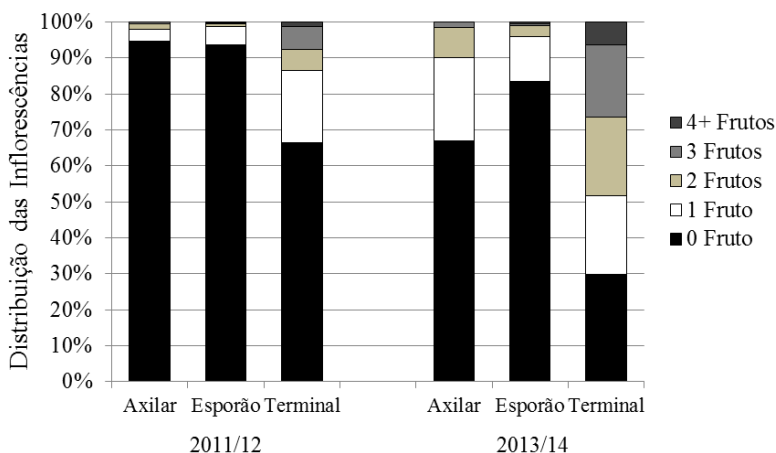


Figura 4.9 Distribuição das inflorescências com 0, 1, 2, 3 e 4 ou mais frutos da macieira ‘Gala’, nos ciclos 2011/2012 e 2013/14 em Caçador, SC, Brasil.

A cultivar Fuji mostrou melhor capacidade em produzir inflorescências com um número maior de frutos. Em ambos anos e independente das estruturas, em torno de 50% das inflorescências avaliadas apresentavam pelo menos um fruto. A distribuição das inflorescências com 1, 2, 3 e 4+ frutos foi mais homogênea em esporões e terminais de brindilas do que nas gemas axilares, ou seja, o mesmo fator que alterou a menor ou maior percentagem de uma classe, alterou na mesma proporção as demais. Gemas axilares apresentaram-se mais instáveis. Considerando apenas inflorescência axilares com frutos, essas inflorescências mostraram boa capacidade em frutificar apenas um ou dois frutos. A capacidade de gemas terminais de brindilas em produzir

inflorescências com 4 ou mais frutos permaneceu estável em ambos os anos, demonstrando melhor aporte de frutificação (Figura 4.10).

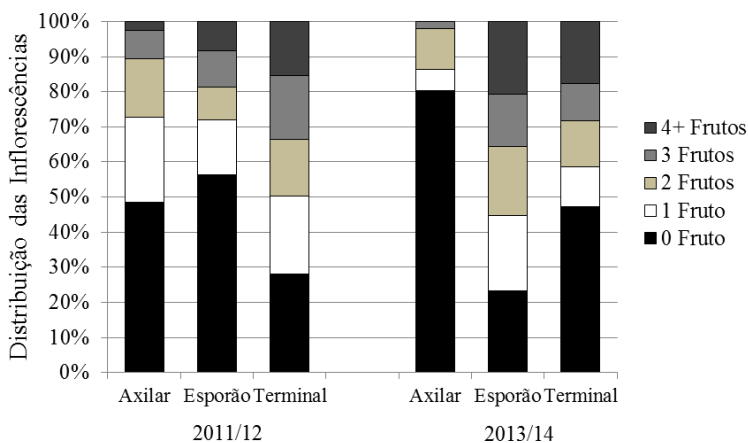


Figura 4.10 Distribuição das inflorescências com 0, 1, 2, 3 e 4 ou mais frutos da macieira 'Fuji', nos ciclos 2011/2012 e 2013/14 em Caçador, SC, Brasil.

A distribuição de produção de frutos na macieira pode demonstrar a densidade/quantidade de estruturas produtivas presentes, uma vez que esta é altamente dependente do manejo que é dado a planta, como por exemplo, poda, arqueamento, etc. No entanto, deve-se levar em conta que além do número de estruturas, a produção é altamente dependente da capacidade da estrutura em garantir a frutificação. A produção de frutos da 'Gala' foi 36% maior em 2013/14 (110 frutos por planta) do que em 2011/12 (74 frutos por planta), sendo que desta produção, 79 % dos frutos foram provenientes de esporões (Tabela 4.10).

A maior produção de 'Gala', em 2013/14, pode ser explicado pelo aumento de quase 40% na frutificação efetiva neste mesmo ano (Tabela 4.9). Apesar da maior produção, a massa média dos frutos também foi maior em 2013/14 (em 20,2 g). Os frutos de maior massa fresca foram provenientes de terminais de brindilas, seguido de esporões. Em 2011/12, plantas produziram a mesma quantidade de frutos em terminais de brindilas e esporões, porém a maior massa fresca média foi observada em terminais de brindilas, seguida de esporões

(Tabela 4.10). A representatividade de frutos axilares, bem como sua massa média, nas plantas de ‘Gala’ foram os mais baixos observados.

Tabela 4.10 Distribuição dos frutos colhidos por planta (número de frutos e representatividade - %) e massa média dos frutos (g fruto⁻¹), em relação as diferentes estruturas de frutificação da macieira ‘Gala’, nos ciclos 2011/2012 e 2013/14 em Caçador, SC, Brasil.

Estrutura	Frutos por planta		Massa média dos frutos (g fruto ⁻¹)	
	2011/12	2013/14	2011/12	2013/2014
Axilar	4,1 bA (7 %)	3,8 cA (3 %)	96,1 cA	101,1 cA
Esporão	35,3 aB (44 %)	85,6 aA (79 %)	119,0 bB	144,0 bA
Terminal	34,8 aA (49 %)	21,0 bB (18 %)	137,7 aB	155,9 aA
Total/Média	74,2	110,4	117,6 B	133,7 A
F(A)	4,6*		44,4**	
F(E)	91,4**		136,9**	
F(AxE)	18,7**		5,9**	
CV (%)	26,2		7,5	

Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5% de significância. ** = significativo a 1% de probabilidade de erro; * = significativo a 5% de probabilidade de erro.

A cultivar Fuji apresentou comportamento diferente da ‘Gala’, sendo que plantas em 2011/12 produziram ligeiramente uma maior quantidade de frutos, e estes com maior massa média. Os frutos colhidos em 2011/12 encontravam-se melhores distribuídos entre as estruturas, com uma considerável produção das axilares se comparado com 2013/14. Da mesma forma que a ‘Gala’, frutos mais pesados foram observados em terminais de brindilas nos dois ciclos estudados (Tabela 4.11).

Tabela 4.11 Distribuição dos frutos colhidos por planta (número de frutos e representatividade - %) e massa média dos frutos (g fruto^{-1}), em relação as diferentes estruturas de frutificação da macieira ‘Fuji’, nos ciclos 2011/2012 e 2013/14 em Caçador, SC, Brasil.

Estrutura	Frutos por planta		Massa média dos frutos (g fruto^{-1})	
	2011/12	2013/14	2011/12	2013/2014
Axilar	36,6 bA (22%)	6,0 cB (4%)	120,0 cA	91,2 cB
Esporão	78,3 aB (47%)	118,1 aA (79%)	148,6 bA	111,1 bB
Terminal	52,4 bA (31%)	27,3 bB (17%)	175,6 aA	130,8 aB
Total/Média	167,3 A	151,4 B	148,0 A	111,0 B
F(A)		13,5**		370,2**
F (E)		110,4**		204,6**
F(AxE)		27,6**		5,8**
CV (%)		17,9		5,8

Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5% de significância. ** = significativo a 1% de probabilidade de erro; * = significativo a 5% de probabilidade de erro.

Em ambas cultivares, a produção de esporões foi maior em 2013/14, considerando o número de frutos produzidos pelas estruturas (a quantificação das estruturas não foi contabilizado neste trabalho). Apesar das plantas receberem o mesmo tipo de manejo nos diferentes anos, deve-se ressaltar que a produção de estruturas depende de vários fatores relacionados ao ano anterior da produção, principalmente o clima. Altas temperaturas de verão estimulam o crescimento das brotações novas prejudicando a formação de esporões devido a maior competitividade por fotoassimilados e ao desbalanço hormonal (TROMP; BOERTJES, 1996). O baixo acúmulo de unidades de frio, a qual prejudica a progressão da dormência, influencia negativamente a ramificação e a formação da estrutura das plantas (COOK; JACOBS, 2000). A falta de brotação das gemas axilares antecipa a brotação de gemas terminais no ciclo vegetativo seguinte, estabelecendo forte dominância apical a qual limita a brotação das gemas axilares, comprometendo a formação de novas estruturas de frutificação e aumentando demasiadamente o desenvolvimento vegetativo.

Nas avaliações relacionadas ao crescimento dos frutos (diâmetro e relação comprimento/diâmetro), observa-se que houve diferença significativa para o fator estrutura e fator ano isoladamente para ambas cultivares. Em 2013/14, o diâmetro dos frutos da ‘Gala’ foi estatisticamente maior que em 2011/12, sendo que frutos de maior diâmetro foram observados em terminais de brindilas (Figura 4.11, Tabela 4.12). Para esta cultivar, observa-se que o diâmetro dos frutos provenientes das diferentes estruturas apresentaram a mesma tendência observada no diâmetro do ovário das flores, ou seja, frutos mais largos foram provenientes de flores com maior diâmetro de ovário (terminal de brindila), e vice e versa (Capítulo 1).



Figura 4.11 Frutos de maçã da cultivar Gala colhidas de diferentes estruturas de frutificação, durante safra 2011/12, Caçador, SC.

Já para a ‘Fuji’, o maior diâmetro foi observado no ciclo de 2011/12. Não houve diferença de calibre entre frutos da ‘Fuji’ produzidos em esporões e em terminais de brindilas, no entanto, houve uma tendência de maior tamanho nesta última. Em ambas cultivares, gemas axilares produziram frutos significativamente inferiores as demais estruturas, no entanto, ainda considerado como calibre médio dentro da cadeia produtiva da macieira (Tabela 4.12, Figura 4.12).

Tabela 4.12 Tamanho médio dos frutos (diâmetro e comprimento) (mm) de diferentes estruturas de frutificação da macieira ‘Gala’ e ‘Fuji’, nos ciclos 2011/2012 e 2013/14 em Caçador, SC, Brasil.

Estrutura	Tamanho médio de fruto							
	GALA				FUJI			
	Diâmetro (mm)		C/D		Diâmetro (mm)		C/D	
	11/12	13/14	11/12	13/14	11/12	13/14	11/12	13/14
Axilar	58,9 c		0,89 b		61,0 b		0,81 ab	
Esporão	64,3 b		0,90 ab		66,7 a		0,79 b	
Terminal	67,4 a		0,92 a		68,1 a		0,83 a	
Média	62B	65A	0,92A	0,89B	67,0A	63,5B	0,84A	0,79B
F(A)	41,3**		10,2**		5,5*		23,9**	
F (E)	197,6**		6,5**		8,5**		3,4*	
F(AxE)	ns		ns		ns		ns	
CV (%)	2,2		2,9		8,7		5,4	

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5% de significância. ns = não significativo; ** = significativo a 1% de probabilidade de erro; * = significativo a 5% de probabilidade de erro.

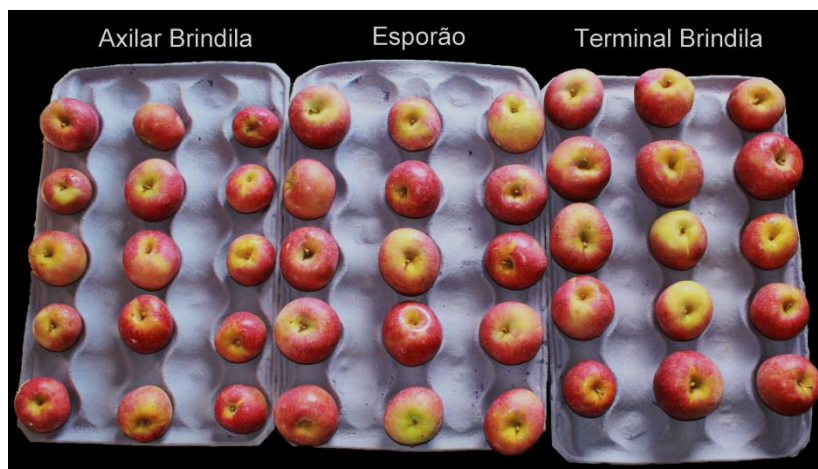


Figura 4.12 Frutos de maçã da cultivar Fuji colhidas de diferentes estruturas de frutificação, durante safra 2011/12, Caçador, SC.

A menor massa fresca média e o menor diâmetro dos frutos da cv. Fuji, observados no ciclo de 2013/14, podem ser devido ao atraso da prática de raleio neste ano, a qual foi realizada após dez dias do

recomendado (frutos com 10mm de diâmetro). Somado a este fator, a distribuição dos frutos por inflorescência, observado neste ano em particular, pode ter potencializado o efeito negativo sobre o crescimento dos frutos. De acordo com a Tabela 4.11, em 2013/14, 79% dos frutos foram provenientes de esporões, sendo que neste ano em particular, houve uma maior frequência de inflorescência com dois, três e quatro frutos (Figura 4.10). A maior presença de frutos por inflorescência poderia ter provocado uma maior competição por fotoassimilados, entre os mesmos, durante o crescimento inicial do fruto. Portanto, para esta cultivar, conclusões precisas sobre a qualidade morfológica do fruto poderão somente ser feitas num segundo ano de avaliação.

A relação comprimento/diâmetro dos frutos próxima a 1,0 indica que os frutos apresentam formato arredondado, enquanto que relações inferiores a 1,0 indicam que os frutos apresentam-se mais achatados, e maiores que 1,0, mais alongados. O formato do fruto varia muito entre as cultivares. Por exemplo, baixas temperaturas durante as primeiras semanas após o florescimento estimulam o crescimento da porção apical dos frutos da cv. Red Delicious, demonstrando uma alta relação C/D; em regiões mais quentes os frutos tendem a ser mais arredondados ou achatados (DENNIS, 2003). Tanto os frutos de ‘Gala’ como ‘Fuji’ apresentaram-se, em média, mais achatados no ciclo de 2013/14 do que em relação aos frutos colhidos no ciclo 2011/12. A média da temperatura do ar (máx., mín. e méd.), registrada em até 30 dias após o final do florescimento, foi em média um grau mais alta no ciclo de 2013/14, o que possivelmente pode ter induzido a frutos menos arredondados (Figura 4.2). Terminais de brindilas tendem a produzir frutos mais arredondados, principalmente na cv. Fuji; comparados as gemas axilares e esporões. Os resultados encontrados neste estudo corroboram com Nachtigall (2000) e Petri e Leite (2004), os quais observaram alta relação C/D dos frutos da cv. Fuji provenientes de gemas terminais e baixa relação em frutos de esporões.

O número médio de sementes por fruto foi variável em relação a estrutura e aos anos. Em média, frutos colhidos do ciclo de 2013/14 apresentaram maior número de sementes em ambas cultivares, especialmente na ‘Fuji’, com aproximadamente 2,3 sementes a mais que em 2011/12. Em 2011/12, os frutos provenientes das diferentes estruturas frutíferas da cv. Gala não diferiram entre si, no entanto em 2013/14 frutos axilares apresentaram o menor número de sementes. As estruturas de frutificação da ‘Fuji’ também foram dependentes do ano para essa variável. Em 2011/12, frutos axilares tiveram mais sementes que frutos de esporões e terminais de brindila, e em 2013/14, frutos

terminais apresentaram o maior número de sementes, porém não diferiram das axilares (Tabela 4.13).

Tabela 4.13 Número médio de sementes por fruto de diferentes estruturas de frutificação da macieira ‘Gala’ e ‘Fuji’, nos ciclos 2011/2012 e 2013/14 em Caçador, SC, Brasil.

Estrutura	Número de sementes por fruto			
	‘GALA’		‘FUJI’	
	2011/12	2013/14	2011/12	2013/14
Axilar	5,7 aA	6,0 bA	6,1 aB	7,7 abA
Esporão	5,4 aB	6,8 aA	5,3 bB	7,4 bA
Terminal	5,3 aB	7,2 aA	5,1 bB	8,1 aA
Média Geral	5,4 B	6,7 A	5,5 B	7,8 A
F(A)	54,2**		191,3**	
F(E)	ns		4,1*	
F(AxE)	7,6**		5,7**	
CV (%)	10,7		9,6	

Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5% de significância. ns = não significativo; ** = significativo a 1% de probabilidade de erro; * = significativo a 5% de probabilidade de erro.

Vários estudos demonstram alta relação entre tamanho do fruto e número de sementes férteis, ou seja, maior o número de sementes maior o tamanho de frutos (BRAMLAGE et al., 1990; BUCCHERI; VAIO, 2005; TROMP, 2005). Este fato, se deve a presença de hormônios nas sementes, principalmente citocininas e giberelinas, auxiliando na divisão e expansão celular, respectivamente, e na mobilização de nutrientes (GILLASPY et al., 1993; JACKSON, 2003). Na cv. Gala foi possível observar um aumento de diâmetro e massa fresca média nos frutos no ano em que houve maior presença de sementes, em destaque para as brindilas e esporões; no entanto, os frutos apresentaram-se mais achatados (menor relação C/D). Mesmo havendo uma quantidade superior de sementes nos frutos da cv. Fuji em 2013/14, os frutos foram menores que em 2011 em que a quantidade de sementes foi menor, no entanto, para esta cultivar não será feito maiores discussões, uma vez que o raleio foi realizado tardiamente. Portanto, é evidente que a presença de sementes é um fator auxiliar no tamanho dos frutos, em geral, desde que haja uma associação dos demais fatores responsáveis pelo crescimento do fruto, como raleio, temperatura, cultivar, e até mesmo o tipo de estrutura.

Os fatores mais importantes que controlam o crescimento e o tamanho do fruto são genético e climático. No entanto, a densidade de frutos, o número de sementes por fruto, a distribuição e posição dos frutos na planta, o suprimento nutricional, idade da planta e tipo de estrutura devem também ser considerados com fatores que podem alterar o tamanho do fruto no momento da colheita (ARGENTA, 2006). Segundo Coombe (1970), frutos das primeiras flores abertas ou de gemas terminais de brindilas são normalmente maiores na colheita, devido ao maior número de células do ovário antes mesmo da antese. Para Denne (1963), o tamanho da flor é positivamente relacionado com o diâmetro da estrutura frutífera, e as diferenças no tamanho das flores mantem-se do crescimento do fruto até a colheita, ou seja, há uma forte correlação positiva entre tamanho da flor e tamanho do fruto. No entanto, deve-se também considerar o maior aporte de nutrientes desse tipo de estrutura (IUCHI, 1987). A redução em média de uma semana no período compreendido entre final do florescimento até a colheita do ciclo de 2013/14, não afetou o crescimento do fruto da cv. 'Gala'; frutos apresentaram as maiores massas médias e diâmetros, mesmo com aumento de 70% na produção por planta, e maior número de sementes. De acordo com os resultados apresentados no Capítulo 3, a qualidade da flor, relacionada a sua morfologia feminina, foi também bem maior neste ciclo. Flores apresentaram maior massa fresca de pistilo, sendo o mesmo observado para as flores terminais de brindilas, de ambas as cultivares, as quais foram superiores na maioria das características analisadas, seguida dos esporões.

Segundo Austin et al. (1999), o período de 4-6 semanas após a polinização, exerce forte influência sobre o tamanho final do fruto, pois evidências anatômicas e fisiológicas sugerem que a taxa de crescimento do fruto durante este período, principalmente a taxa de divisão celular, é o fator determinante no tamanho final do mesmo. E, de acordo com Warrington et al. (1999), esta é a fase mais sensível as temperaturas, sendo que temperaturas altas nesta fase aumenta significativamente a taxa de crescimento dos frutos. As temperaturas deste período, em 2013, foram mais altas do que as registradas em 2011, o que de fato pode ter influenciado no maior tamanho (massa fresca média e diâmetro) dos frutos de 'Gala' em 2013.

Considerando que, temperaturas mais elevadas durante os 40DAPF sejam responsáveis pelo aumento no tamanho do fruto, em casos onde haja um atraso na brotação e no florescimento, esse efeito parece contraditório. As temperaturas após o pleno florescimento tenderiam a estarem mais elevadas, o que proporcionaria maior

crescimento do fruto; no entanto, pela lógica, as mesmas seriam muito mais elevadas a partir deste período até o momento da colheita, o que levaria a redução do ciclo devido a rápida maturação do fruto, e que consequentemente afetaria no tamanho final do fruto. Portanto, haveria uma anulação do efeito da temperatura sobre o crescimento dos frutos.

O aumento de 1 °C na temperatura média a partir do estágio J (frutos com 10 mm de diâmetro) levou, em média, um decréscimo de uma semana no período entre o final do florescimento à colheita no ciclo de 2013/14, de ambas cultivares, porém essa redução não foi suficiente para afetar o tamanho final do fruto; provavelmente devido à outros fatores positivos ocorridos neste ano, como por exemplo, temperaturas de pós-florescimento mais altas que em 2011/12 (até aproximadamente 40 DAPF) e o maior número de sementes nos frutos.

Se frutos de gemas que florescem mais precocemente apresentam maiores taxas de crescimento inicial do que frutos de flores tardias, devido ao maior aporte de nutrientes e fotoassimilados neste período e a menor concorrência destes com as brotações vegetativas (ABBOTT, 1984), seria válido assumir que o avanço no florescimento de determinadas estruturas resultaria em frutos maiores no momento da colheita (OLSEN; MARTIN, 1980; AUSTIN et al., 1999). Gemas de esporões tendem a se diferenciar e florescer antes de gemas terminais e axilares de brindilas, no entanto, em ambas cultivares não foi observado aumento no tamanho dos frutos, massa fresca ou diâmetro.

Na revisão feita por Costes et al. (2006), vários autores relatam que frutos axilares são indesejáveis devido ao baixo potencial de crescimento, comparado aos frutos de esporões ou terminais brindilas. Além da baixa frutificação dessas estruturas na cv. Gala, frutos provenientes de axilares de brindilas apresentaram-se de menor qualidade morfológica, provavelmente com menor aceitação no mercado. Já para a cv. Fuji, a alta frutificação apresentada por gemas de esporões e terminais de brindilas, associada ao melhor calibre dos frutos, faz-se desnecessário a presença de frutos axilares.

4.4 Conclusões

A duração dos estádio fenológicos iniciais (C-J) das inflorescências, individualmente, nas estruturas parece ser mais dependente das temperaturas do ar, do que a estrutura ou cultivar em si. As diferenças encontradas no início de brotação e florescimento entre as estruturas dependeram das condições climáticas do ano em questão. Sob

condições de altas temperaturas após o tratamento de quebra de dormência ou brotação, houve maior sincronia fenológica entre as estruturas.

Gemas de esporões necessitam de menor acúmulo térmico para brotarem, principalmente esporões de ‘Gala’. Como regra geral, gemas terminais de brindilas da ‘Gala’ e axilares da ‘Fuji’ necessitam de maior acúmulo térmico (somado a partir do tratamento de quebra de dormência), que gemas de esporões para dar início ao florescimento.

Sob as condições climáticas de Caçador, SC, a cultivar Fuji pareceu ser mais estável produtivamente que a cv. Gala. Na cv. Gala, gemas terminais de brindilas proporcionaram melhor pegamento dos frutos e maior capacidade de fixar um número maior de frutos por inflorescência, em relação as demais estruturas. As gemas axilares e esporões apresentaram baixas taxas de frutificação. Para a ‘Fuji’, terminais de brindilas e esporões foram mais homogêneos em relação ao ano, com boa capacidade de frutificação.

Além da baixa frutificação efetiva, gemas axilares de ambas as cultivares apresentaram frutos com baixa qualidade morfológica (massa fresca e diâmetro de fruto). Frutos provenientes de terminais de brindilas tenderam ser mais arredondados e com maior massa fresca do que frutos das axilares e dos esporões, em ambas cultivares.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A obtenção de altas produtividades de maçãs ainda é um problema em regiões subtropicais, principalmente em regiões onde as condições climáticas, de cada ano, são variáveis. A escassez de estudos nestas regiões impossibilita confirmar cientificamente o envolvimento indireto das condições climáticas sobre o desenvolvimento floral e produtivo da cultura, baseando-se apenas na formulação de hipóteses.

Em regiões onde há baixo acúmulo de frio, geralmente, há a ocorrência de brotações tardias, erráticas e deficientes, floração desuniforme, indução de dominância apical e excesso de vigor. Essas condições acabam acarretando em atraso e maior variabilidade da iniciação floral em estruturas do tipo brindilas. Na comparação do desenvolvimento floral de esporões, da cv. Fuji, em dois locais distintos, porém com condições climáticas favoráveis para o cultivo da macieira, observou-se que a formação floral em Caçador ocorreu em um intervalo menor de tempo. Nesta região, a diminuição das temperaturas no outono é mais gradativa e não tão intensa como observado na região de Berlin Heights, nos Estados Unidos.

A quantidade de frio acumulado durante o inverno é, na maioria dos casos, insuficiente. Uma hipótese que poderia ser melhor explorada, é que temperaturas elevadas durante o outono, manteria a planta com crescimento prolongado, fazendo com que as mesmas, ao invés de acumularem energia para entrada de inverno, gastam na manutenção contínua do crescimento de brotos e ramos. Desta forma, a formação final dos órgãos reprodutores florais, poderia ser prejudicada devido ao estresse nutricional, devido a mudança do transporte de fotoassimilados para outras regiões da planta. Do mesmo modo, períodos com temperaturas relativamente altas durante o período de repouso das plantas (sem atividade fotossintética), poderiam provocar o aumento da taxa respiratória e exaurir as reservas de carboidratos (mobilização dos açúcares solúveis) em níveis insatisfatórios para suprir as necessidades das gemas florais na formação de seus órgãos reprodutores e na retomada do crescimento (na primavera) e subsequente floração. Associada a estas condições, a precocidade da formação floral nestes casos, agravaria ainda mais o desenvolvimento final da inflorescência, devido a alteração do balanço metabólico da planta, resultando em flores de menor qualidade morfológica, como foi observado neste região.

De um outro ponto de vista, espera-se que a formação mais precoce da gema floral resulte em tempo adicional para a maturação e

crescimento de órgãos florais (gineceu e androceu), o que possivelmente, levaria a um aumento no tamanho de fruto na próxima safra, no entanto, isso não é observado nas condições brasileiras. Pois, a formação de flores de esporões, bem como a brotação e o florescimento, são antecipados em relação as demais estruturas de frutificação, e no entanto a qualidade do fruto destes foi muitas vezes inferior a frutos de terminais de brindilas, as quais apresentam iniciação e diferenciação floral mais tardiamente.

Por estes motivos, os estudos fenológicos tornam-se importantes para a compreensão da dinâmica entre a planta, as estruturas e as condições ambientais. As diferenças encontradas no início de brotação e florescimento entre os anos e as estruturas de frutificação, demonstram a forte influência do clima sobre a fenologia. A sincronia fenológica destas estruturas foram decorrentes das temperaturas mais elevadas durante a pré e pós brotação. Em condições de baixas temperaturas no período compreendido entre brotação e florescimento, brindilas tendem a florescer mais tardiamente que esporões. Associada a baixa receptividade estigmática das cultivares estudadas neste trabalho, na região de Caçador, essa heterogeneidade torna-se vantajosa se caso algum fator climático ou biológico ocorra durante este período, devido ao aumento da probabilidade de frutificação, pois sabe-se que quanto mais avançado for o estágio fenológico da gema, maior será o dano ocasionado.

A formação dos órgãos florais reprodutores é dependente das condições climáticas durante a primavera; no entanto, a qualidade morfológica da flor é dependente das condições ambientais durante o período de diferenciação floral. Neste trabalho, o ambiente exerceu notável efeito sobre a qualidade da flor, sendo que, o cultivo da macieira em regiões de clima temperado propiciam flores de maior tamanho, com maior abundância de grãos de pólen, e melhor capacidade germinativa. As estruturas comportaram-se de maneira distinta em cada região. Sob uma mesma condição ambiental, flores de gemas terminais de brindilas apresentaram, em geral, melhor qualidade morfológica dos órgãos reprodutivos femininos e masculino, para a região de Caçador.

Em relação aos dois anos de avaliações na região de Caçador, a cv. Gala, a qual é menos exigente em frio comparada a 'Fuji', tendeu ser mais sensível às condições ambientais do que a cv. Fuji, a qual demonstrou-se mais estável produtivamente. A receptividade do estigma tendeu ser maior na cv. Gala do que na Fuji em ambos locais, principalmente na região de Wooster; porém sob as condições

ambientais do sul do Brasil, a frutificação efetiva tendeu ser maior na cv. Fuji.

Portanto, sob as condições climáticas de Caçador, SC, o favorecimento de brindilas na cv. Gala, seja através de podas, arqueamento ou outras técnicas específicas, deve ser preconizado quando se deseja garantir boa frutificação efetiva, altas produtividades e frutos de melhor calibre. Na cv. Fuji, apesar de terminais apresentarem os melhores frutos, a frutificação dos esporões tendeu ser mais estável durante os anos. Para esta cultivar, ambas estruturas podem ser preconizadas.

Apesar dos anos estudados não demonstrarem grandes anormalidades climáticas, as temperaturas inseriram-se como elemento climático de maior relevância nas principais fases de desenvolvimento de plantas da macieira, apresentando efeitos diretos e indiretos sobre a diferenciação floral, qualidade morfológica da flor, fenologia e produção. Caso as previsões climáticas se concretizem e haja uma redução do ciclo fenológico da macieira, ou mesmo uma redução no período de diferenciação das gemas, principalmente nas zonas limitantes do cultivo, o conhecimento do comportamento detalhado de cada estrutura frutífera será fundamental na determinação de quais períodos serão mais afetados, e quais estruturas serão mais sensíveis. Desta forma, será possível adotar técnicas de manejo que venham a minimizar maiores perdas e otimizar a produtividade.

Por isso, o registro do comportamento fenológico proporciona uma valiosa fonte documentada dos processos biológicos nas plantas, além do entendimento da interação planta x ambiente. Considerando a importância das variáveis ambientais, as quais foram observadas neste trabalho, a fenologia passa a ser usada como uma importante ferramenta para o acompanhamento das mudanças climáticas, bem como um modelo para prever futuras alterações ambientais.

O principal objetivo deste trabalho foi trazer informações sobre as reais condições à campo do comportamento da macieira sob as duas regiões avaliadas. Em cima desta caracterização, foi possível observar os pontos mais sensíveis que a cultura apresenta no sul do Brasil, e que necessitam ser melhorados, abrindo caminho pra diversas linhas de pesquisas. Portanto, a continuação do mesmo, ou parte dele, ao longo do tempo, seria de fundamental interesse, não só por parte de pesquisadores e produtores locais, mas também acrescentaria muito à pesquisa técnico/científico mundial, gerando informações e conhecimentos para o melhoramento da cultura da macieira.

6. REFERÊNCIAS

- ABBOTT, D. L. The role of budscales in the morphogenesis of the apple fruit bud. In: **Physiology of tree crops**. LUCKWILL, L. C.; CUTTING, C. V. New York: Academic, 1970. p. 65-80.
- ABBOTT, D. L. **Fruit bud formation in Cox's Orange Pippin**. Long Ashton Research Station Annual Report, 1976-1977. 1977. p. 167-176.
- ABBOTT, D. L. **The apple tree-physiology and management**. London: Grower Books. 1984. 90 p.
- ABDUL-BAKI, A. A.; STOMMEL, J. R. Pollen viability and fruit set of tomato genotypes under optimum- and high-temperature regimes. **HortScience**, v. 30, n. 1, p. 115-117, 1995.
- ABELES, F. B.; LIGHTNER, G. W. Optimal harvest date equations for West Virginia apples. **HortScience**, v. 19, n. 3, p. 429-430, 1984.
- ADACHI, Y.; KOMORI, S.; HOSHIKAWA, Y.; TANAKA, N.; ABE, K.; BESSHO, H.; WATANABE, M.; SUZUKI, A. Characteristics of fruiting and pollen tube growth of apple autotetraploid cultivars showing self-compatibility. **Journal of the Japanese Society for Horticultural Science**, v. 78, n. 4, p. 402-409, 2009.
- ADIL, O. S.; RAHIM, A.; ELAMIN, O. M.; BANGERTH, F. K. Effects of growth retardants, paclobutrazol (PBZ) and prohexadione-ca on floral induction of regular bearing mango (*Mangifera indica* L.) cultivars during off-season. **Journal of Agricultural & Biological Science**, v. 6, n. 3, 2011.
- ALBUQUERQUE JUNIOR, C. L.; DENARDI, F.; DANTAS, A. C. M.; NODARI, R. O. Número de anteras por flor, grãos de pólen por antera e capacidade germinativa do pólen de diferentes cultivares de macieiras. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 4, p. 1255-1260, 2010.
- ALBURQUERQUE, N.; GÁRCIA-MONTIEL, F.; CARRILLO, A.; BURGOS, L. Chilling and heat requirements of sweet cherry cultivars and the relationship between altitude and the probability of satisfying

the chill requirements. **Environmental and Experimental Botany**, v. 64, n. 2, p. 162-170, 2008.

ANEJA, M.; GIANFAGNA, T.; NG, E.; BADILLA, I. Carbon dioxide and temperature influence pollen germination and fruit set in cocoa. **HortScience**, v. 27, n. 9, p. 1038, 1992.

ARAKI, T. Transition from vegetative to reproductive phase. **Current Opinion in Plant Biology** **Current Opinion in Plant Biology**, v. 4, n. 1, p. 63-68, 2001.

ARGENTA, L. C. Fisiologia pós-colheita: Maturação, colheita e armazenagem dos frutos. In: **A cultura da macieira**. EPAGRI. Florianópolis, SC: Epagri, 2006. p. 691-732.

ARMAS-REYES, R.; CÁRDENAS-SOLORIO, E.; RODRIGUEZ-ALCÁZAR, J. Conexión vascular y otros factores que influyen en la caída de yemas florales de chacabano. **Revista Chapingo**, v. 12, n. 1, p. 33-39, 2006.

ASCHAN, G.; PFANZ, H.; VODNIK, D.; BATIČ, F. Photosynthetic performance of vegetative and reproductive structures of green hellebore (*Helleborus viridis* L. agg.). **Photosynthetica**, v. 43, n. 1, p. 55-64, 2005. DOI: 10.1007/s11099-005-5064-x.

ASHCROFT, G. L.; RICHARDSON, E. A.; SEELEY, S. D. A statistical model of determining a chill unit and growing degree hour requirements for delicious fruit trees. **HortScience**, v. 12, n. 4, p. 347-349, 1977.

ATAURI, I. G. C.; BRISSON, N.; BACULAT, B.; SEGUIN, B.; LEGAVE, J. M.; CALLEJA, M.; FARRERA, I.; GUEDON, Y. Analysis of the flowering time in apple and pear and bud break in vine, in relation to global warming in France. **Acta Horticulturae**, n. 872, p. 61, 2010.

ATKINS, T. A.; MORGAN, E. R. Modelling the effects of possible climate change scenarios on the phenology of New Zealand fruit crops. **Acta Horticulturae**, v. 276, p. 201-208, 1990.

ATKINSON, C. J.; TAYLOR, L. The influence of autumn temperature on flowering time and cropping of *Pyrus Communis* cv. Conference. **The Journal of Horticultural Science**, v. 69, n. 6, p. 1067, 1994.

AUSTIN, P. T.; HALL, A. J. Temperature impacts on development of apple fruits. In: **The Effects of Climate Change and Variation in New Zealand - An Assessment Using the CLIMFACTS System**. R.A. WARRICK; G.J. KENNY; J.J. HARMAN. Hamilton: International Global Change Institute (IGCI), The University of Waikato, 2001. p. 47-56.

AUSTIN, P. T.; HALL, A. J.; GANDAR, P. W.; WARRINGTON, I. J.; FULTON, T. A.; HALLIGAN, E. A. A compartment model of the effect of early-season temperatures on potential size and growth of Delicious apple fruits. **Annals of Botany**, v. 83, n. 2, p. 129-143, 1999.

BALLARD, J. K.; PROEBSTING, E. L.; TUKEY, R. B. **Critical temperatures for blossoms buds : apples**. Pullman: Washington State University. 1981.

BANGERTH, F. A more holistic view on the hormonal interactions among different organs in a fruit tree. **Acta Horticulturae**, v. 1, n. 671, p. 25-36, 2005.

BANGERTH, F. Flower induction in perennial fruit trees: still an enigma? **Acta Horticulturae**, n. 727, p. 177-196, 2006.

BANGERTH, F.; LI, C.-J.; GRUBER, J. Mutual interaction of auxin and cytokinins in regulating correlative dominance. **Plant Growth Regulation**, v. 32, n. 2/3, p. 205-217, 2000.

BANGERTH, F.; SCHRÖDER, M. Strong synergistic effects of gibberellins with the synthetic cytokinin N-(2-chloro-4-pyridyl)-N-phenylurea on parthenocarpic fruit set and some other fruit characteristics of apple. **Plant Growth Regulation**, v. 15, n. 3, p. 293-302, 1994. DOI: 10.1007/BF00029902.

BANGERTH, K. F. Floral induction in mature, perennial angiosperm fruit trees: Similarities and discrepancies with annual/biennial plants and

the involvement of plant hormones. **Scientia Horticulturae**, v. 122, n. 2, p. 153-163, 2009. DOI: 10.1016/j.scienta.2009.06.014.

BATJER, L. P.; THOMPSON, A. H. Effect of boric acid spray applied during bloom upon the set of pear fruits. **American Society for Horticultural Science**, v. 53, n. 2, p. 141-142, 1949.

BENKO, B. Morphological differentiation of flower buds in Apple-Trees. **Biologia Plantarum**, v. 9, n. 4, p. 263-269, 1967.

BEPPU, K.; OKAMOTO, S.; SUGIYAMA, A.; KATAOKA, I. Effects of temperature on flower development and fruit set of 'Satohnishiki' sweet cherry. **Japanese Society for Horticultural Science**, v. 65, n. 4, p. 707-712, 1997.

BEPPU, K.; SUEHARA, T.; KATAOKA, I. Embryo sac development and fruit set of 'Satohnishiki' sweet cherry as affected by temperature, GA3, and paclobutrazol. **Engei Gakkai zasshi.**, v. 70, n. 2, p. 157, 2001.

BERGH, O. Morphogenesis of *Malus domestica* cv. Starking flower buds. **South African Journal of Plant and Soil**, v. 2, n. 4, p. 187-190, 1985. DOI: 10.1080/02571862.1985.10634167.

BERNAD, D.; SOCIAS, R. Characterization of Some Self-compatible Almonds. II. Flower Phenology and Morphology. **HortScience**, v. 30, n. 2, p. 321, 1995.

BERNIER, G. The role of cytokinins in the floral transition process revisited. **Flowering Newsletter**, v. 36, p. 3-9, 2003.

BLANPIED, G. D.; BEN-DAVID, S. A New York study of 'McIntosh' apple optimum harvest dates. **Journal of American Society for Horticultural Science**, v. 95, p. 151-154, 1970.

BLASSE, W.; HOFMANN, S. Phänologische untersuchungen an sorten von apfel, birne und quitte **Erwerbsobstbau**, v. 5, p. 140-144, 1992.

BLEICHER, J. Histórico da macieira. In: **A cultura da macieira**. EPAGRI. Florianópolis: EPAGRI, 2006. p. p. 29-36.

BONHOMME, M.; RAGEAU, R.; GENDRAUD, M. Influence of temperature on the dynamics of ATP, ADP and non-adenylic triphosphate nucleotides in vegetative and floral peach buds during dormancy. **Tree Physiology**, v. 20, p. 615-621, 2000.

BONHOMME, M.; REGEAU, R.; LACOINTE, A.; GENDRAUD, M. Influences of cold deprivation during dormancy on carbohydrate contents of vegetative and floral primordia and nearby structures of peach buds. **Scientia Horticulturae**, v. 105, n. 2, p. 223-240, 2005.

BOTTON, A.; ECCHER, G.; FORCATO, C.; FERRARINI, A.; BEGHELDO, M.; ZERMIANI, M.; MOSCATELLO, S.; BATTISTELLI, A.; VELASCO, R.; RUPERTI, B.; RAMINA, A. Signalling pathways mediating the induction of apple fruitlet abscission. **Plant Physiology**, v. 155, n. 1, p. 185-208, 2011. DOI: doi:10.1104/pp.110.165779.

BRAMLAGE, W. J.; WEIS, S. A.; GREENE, D. W. Observations on the relationships among seed number, fruit calcium, and senescent breakdown in apples. **HortScience**, v. 25, n. 3, p. 351-353, 1990.

BROWN, A. G. Apples. In: **Advances in modern fruit breeding**. JANICK, J.; MOORE, J. N. Lafayette: Purdue University Press, 1975. p. 3-37.

BUBAN, T. Flower development and formation of sexual organs. In: **Floral biology of temperate zone fruit trees and smallfruits**. NYÉKI, J. S., M. Budapest: Akadémiai Kiadó, 1996. p. 3-54.

BUBAN, T. Hormonal aspects of flower formation and fruit set. In: **Floral biology, pollination and fertilization in temperate zone fruit species and grape**. KOZMA, P.; NYEKI, J.; SOLTESZ, M.; SZABO, Z. Budapest: Akadémiai Kiadó, 2003. p. 3-24.

BUBAN, T.; FAUST, M. Flower bud induction in apple trees: internal control and differentiation. **Horticultural Reviews**, v. 4, p. 174-203, 1982. DOI: 10.1002/9781118060773.ch6.

BUCCHERI, M.; VAIO, C. D. Relationship among seed number, quality, and calcium content in apple fruits. **Journal of Plant Nutrition**, v. 27, n. 10, p. 1735-1746, 2005.

BURGOS, L.; EGEE, J.; DICENTA, F. Effective pollination period in apricot (*Prunus armeniaca* L.) varieties. **Annals Applied Biology**, v. 119, n. 3, p. 533-539, 1991.

BUSZARD, D.; SCHWABE, W. W. Effect of previous crop load on stigmatic morphology of apple flowers. **Journal of American Society for Horticultural Science**, v. 120, n. 4, p. 566-570, 1995.

BUTTROSE, M. S.; ALEXANDER, D. M. Promotion of floral initiation in 'Fuerte' avocado by low temperature and short daylength. **Scientia Horticulturae**, v. 8, p. 213-219, 1978.

CAIN, J. C. Effects of mechanical pruning of apple hedgerows with a slotting saw on light penetration and fruiting. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 96, p. 664-667, 1971.

CALLEJAS, R.; BANGERTH, F. Is auxin export of apple fruit an alternative signal for inhibition of flower bud induction? **Acta Horticulturae**, n. 463, p. 271-278, 1998.

CAMELATTO, D. Dormência em fruteiras de clima temperado. **Horti Sul**, v. 1, n. 3, p. 12-17, 1990.

CAMILO, A. P.; PEREIRA, A. J. Raleio de frutos. In: **A cultura da macieira**. EPAGRI. Florianópolis: EPAGRI, 2002. p. 419-461.

CANNELL, M. G. R.; SMITH, R. I. Climatic warming, spring budburst and frost damage on trees. **Journal of Applied Ecology**, v. 23, n. 1, 1986.

CARDOSO, L. S. **Modelagem aplicada à fenologia de macieiras "Royal Gala" e 'Fuji Suprema' em função do clima, na região de Vacaria, RS**. 2011. 182p. Tese (Doutorado em Fitotecnia - Agrometeorologia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

CARVALHO, R. I.; ZANETTE, F. Conteúdo de carboidratos em gemas e ramos de macieira durante o outono e inverno em regiões de baixa

ocorrência de frio. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, n. 2, p. 202-205, 2004.

CASTRO, S.; SILVEIRA, P.; NAVARRO, L. Effect of pollination on floral longevity and costs of delaying fertilization in the out-crossing *Polygala varvedae* (Polygalaceae). **Annals of Botany**, v. 102, p. 1043–1048, 2008.

CEROVIC, R.; RUZIC, D. Pollen tube growth in sour cherry *Prunus cerasus* L. at different temperatures. **Journal of Horticultural Science**, v. 67, n. 3, p. 333-340, 1992.

CHANG, H.; LIN, C. The application of cyanamide for termination of dormancy in 'Shyjou' persimmon with *in vitro* cutting test and field test. **Gartenbauwissenschaft**, v. 54, n. 1, p. 30-33, 1989.

CHARLESWORTH, D. Self-incompatibility in flowering plants. Evolution, diversity, and mechanisms. **Annals of Botany**, 314p., v. 105, n. 1, 2010. DOI: 10.1093/aob/mcp250.

CHMIELEWSKI, F.-M.; MÜLLER, A.; BRUNS, E. Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961-2000. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 121, n. 1-2, p. 69-78, 2004.

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, p. 61-66, 1998.

CITADIN, I.; RASEIRA, M. D. C. B.; HERTER, F. G.; SILVA, J. B. D.; QUEZADA, A. C.; SILVEIRA, C. A. P. Estádio da meiose do micrósporo como marcador do final da endodormência em pessegueiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, p. 23-28, 2002.

COOK, N.; JACOBS, G. Progression of apple (*Malus x domestica* Borkh.) bud dormancy in two mild winter climates. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 275, p. 233-236, 2000.

COOMBE, B. G. The development of fleshy fruit. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 27, p. 207-227, 1970.

COSTA, C.; STASSEN, P. J. C.; MUDZUNGA, J. Chemical rest breaking agents for the South Africa pome and stone fruit industry. **Acta Horticulturae**, v. 636, p. 295-324, 2004.

COSTA TURA, J.; MACKENZIE, K. A. D. Ovule and embryo sac development in *Malus pumila* L cv. Cox's Orange Pippin, from dormancy to blossom. **Annals of Botany**, v. 66, p. 443-450, 1990.

COSTES, E.; LAURI, P. E.; REGNARD, J. L. Analyzing fruit tree architecture: implications for tree management and fruit production. **Horticultural Reviews**, v. 32, p. 1-62, 2006.

COUVILLON, G. A. Temperature and stress effects on rest in fruit trees: a review. **Acta Horticulturae**, v. 395, p. 11-19, 1995.

DADPOUR, M. R.; GRIGORIAN, W.; NAZEMIEH, A.; VALIZADEH, M. Application of Epi-illumination light microscopy for study of floral ontogeny in fruit trees. **International Journal of Botany**, v. 4, n. 1, p. 49-55, 2008.

DADPOUR, M. R.; MOVAFEGHI, A.; GRIGORIAN, W.; OMIDI, Y. Determination of floral initiation in *Malus domestica*: a novel morphogenetic approach. **Biologia Plantarum**, v. 55, n. 2, p. 243-252, 2011.

DAG, A. Effect of temperature regime on pollen and the effective pollination of 'Kent' mango in Israel. **Scientia Horticulturae**, v. 86, n. 1, p. 1-11, 2000.

DALL'ORTO, F. A. C.; BARBOSA, W.; OJIMA, M.; CAMPOS, S. A. F. D. Análise do pólen em dezoito cultivares de macieira. **Bragantia**, v. 44, p. 421-427, 1985.

DANTAS, A. C. D. M.; PEIXOTO, M. L.; NODARI, R. O.; GUERRA, M. P. Viabilidade do pólen e desenvolvimento do tubo polínico em macieira (*Malus* spp.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 27, n. 3, p. 356-359, 2005.

DE JONG, M.; MARIANI, C.; VRIEZEN, W. H. The role of auxin and gibberellin in tomato fruit set. **Journal of Experimental Botany**, v. 60, n. 5, p. 1523-1532, 2009. DOI: 10.1093/jxb/erp094.

DENCKER, I.; HANSEN, P. Flower initiation and node development of axillary buds, growth partitioning, and bleeding sap production of young apple trees as affected by fertigation. **The Journal of Horticultural Science**, v. 69, n. 5, p. 869, 1994.

DENNE, M. P. Fruit development and some tree factors affecting it. **New Zealand Journal of Botany**, v. 1, p. 265-294, 1963.

DENNIS, F. G. J. Fruit set. In: **The fruit physiology: growth e development: a comprehensive manual for regulating deciduous tree fruit growth and development**. MAIB, K. M. Yakima, Washington: Washington State Fruit Comission, 1996. p. 109-116.

DENNIS, J. F. G. Flowering, pollination and fruit set and development. In: **Apples, botany, production and uses**. FERREE, D. C.; WARRINGTON, I. J. Wallingford, VK, 2003. p. 156 – 166.

DUSSI, M. C.; SOSA, D.; CALVO, G. Effects of ReTain on fruit maturity and fruit set of pear cultivars Williams and Packham's Triumph. **Acta Horticulturae** v. 596, p. 767-771, 2002.

EBERT, A.; PETRI, J. L.; BENDER, R. J.; BRAGA, H. J. First experiences with chill units models is Southern Brazil. **Acta Horticulturae**, v. 184, p. 9-96, 1986.

EGEA, J.; BURGOS, L. Double kerneled fruits in almond (*Prunus dulcis* Mill.) as related to pre-blossom temperatures. **Annals of Applied Biology**, v. 126, n. 1, p. 163, 1995.

EGEA, J.; BURGOS, L.; GARCIA, J. E.; EGEA, L. Stigma receptivity and style performance in several apricot cultivars. **Journal of Horticultural Science**, v. 66, p. 19-25, 1991.

EGGERT, F. G. The relation between heat unit accumulation and length of time required to mature McIntosh apples in Maine. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 105, p. 76-98, 1960.

ELLOUMI, O.; GHRAB, M.; KESSENTINI, H.; MIMOUN, M. B. Chilling accumulation effects on performance of pistachio trees cv. Mateur in dry and warm area climate. **Scientia Horticulturae**, v. 159, p. 80-87, 2013.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed Rio de Janeiro: EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2006. 306 p.

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

EREZ, A.; COUVILLON, G. A.; KAYS, S. J. The effect of oxygen concentration on the release of peach leaf buds from rest. **HortScience**, v. 15, p. 39-41, 1980.

EREZ, A.; LAVEE, S. The effect of climatic condition development of peach buds: temperature. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 96, n. 6, p. 711-714, 1971.

EVANS, R. C.; DICKINSON, T. A. Floral ontogeny and morphology in *Gillenia* ("Spiraeoideae") and subfamily Maloideae C. Weber (Rosaceae). **International Journal of Plant Sciences**, v. 166, n. 3, p., 2005.

FALLAHI, E.; WILLEMSSEN, M. W. Blossom thinning of pome and stone fruit. **HortScience**, v. 37, p. 474-477, 2002.

FAORO, I. D. Queda de flores da pereira: algumas das possíveis causas. **Agropecuária Catarinense**, v. 7, n. 3, p. 41-43, 1994.

FAORO, I. D. **Biologia reprodutiva da pereira japonesa (*Pyrus pyrifolia* var. *Culta*) sob o efeito do genótipo e do ambiente**. 2009. 219. Tese (Doutorado em Agronomia – Recursos Genéticos Vegetais), Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

FAOSTAT. **Food and Agriculture Organization of the United Nations Statical Databases**. 2014. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#anchor>> Acesso em: 16 Jul. 2014.

FAUST, M. **Physiology of temperate zone fruit trees**. New York: Wiley. 1989. p.

FAUST, M.; LIU, D.; WANG, S. Y.; STUTTE, G. W. Involvement of apical dominance in winter dormancy of apple buds. **Acta Horticulturae**, v. 395, p. 47–56, 1995.

FENNELL, A.; HOOVER, E. Photoperiod influences growth, bud dormancy, and cold acclimation in *Vitis labruscana* and *V. riparia*. **Journal of American Society for Horticultural Science**, v. 116, n. 2, p. 270-273, 1991.

FLECKINGER, J. Observations récents sur l'écologie du pommier à cidre. In: CONGRÈS INTERNATIONAL DE BOTANIQUE ET D'AGRONOMIE, Versailles. **Communication 8**. Versailles: INRA, Station d'Amélioration des Plantes, 1953. p. 14.

FORSHEY, C. Measuring the effects of growth regulators on the vegetative growth. **Acta Horticulturae**, v. 239, p. 211-219, 1989.

FORSHEY, C. G.; ELFVING, D. C. The relationship between vegetative growth and fruiting in apple trees. **Horticultural Reviews**, v. 11, p. 229-287, 1989. DOI: 10.1002/9781118060841.ch7.

FORSHEY, C. G.; ELFVING, D. C.; STEBBINS, R. L. **Training and pruning apple and pear trees**. Alexandria, VA: American Society for Horticultural Science. 166p, 1992.

FOSTER, T.; JOHNSTON, R.; SELEZNYOVA, A. A morphological and quantitative characterization of early floral development in apple (*Malus x domestica* Borkh.). **Annals of Botany**, v. 92, n. 2, p. 199-206, 2003.

FRANKEL, R.; GALUN, E.; LINSKENS, H. F. Allogamy. In: **Pollination mechanisms, reproduction and plant breeding**. FRANKEL, R. Heldergerg: Springer-Verlag, 1977. p.67.

FUJISAWA, M.; KOBAYASHI, K. Apple (*Malus pumila* var. *domestica*) phenology is advancing due to rising air temperature in

Northern Japan. **Global Change Biology**, v. 16, n. 10, p. 2651-2660, 2010.

FULFORD, R. M. The Morphogenesis of Apple Buds: I. The activity of the apical meristem. **Annals of Botany**, v. 29, n. 1, p. 167-180, 1965.

FULFORD, R. M. The Morphogenesis of apple buds: III. The inception of flowers. **Annals of Botany**, v. 30, n. 2, p. 207-219, 1966a.

FULFORD, R. M. The morphogenesis of apple buds: IV. The effect of fruit. **Annals of Botany**, v. 30, n. 4, p. 597-606, 1966b.

GARCÍA, J. R.; ROMERO, M. H. Anormalidades en el desarrollo floral y el cuajado en albaricoquero. Efectos de las temperaturas antes de floración. **Fruticultura Profesional**, v. 124, p. 2-7, 2002.

GEMMA, H.; UCHINO, K.; FUKUSHIMA, M.; OUGAKI, C. Acclimation of Japanese pear 'Kosui' under warm temperature during early growing period in vinyl house **Acta Horticulturae**, v. 279, p. 259-268, 1990.

GEORGE, A.; EREZ, A. Stone fruit species under warm subtropical and tropical climates. In: **Temperate Fruit Crops in Warm Climates**. EREZ, A.: Springer Netherlands, 2000. p. 231-265.

GHARIANI, K.; STEBBINS, R. L. Chilling requirements of apple and pear cultivars. **Fruit Varieties Journal.**, v. 48, n. 4, p. 215, 1994.

GILLASPY, G.; H., B.-D.; W., G. Fruits: A developmental perspective. **The Plant Cell**, v. 5, n. 10, p. 1439, 1993.

GOLDWAY, M.; SHAI, O.; YEHUDA, H.; MATITYAHU, A.; STERN, R. A. Jonathan apple is a lower-potency pollenizer of 'Topred' than 'Golden Delicious' due to partial S-allele incompatibility. **The Journal of Horticultural Science**, v. 74, n. 3, p. 381, 1999.

GONZALEZ, M. V.; COQUE, M.; HERRERO, M. Papillar integrity as an indicator of stigmatic receptivity in kiwifruit (*Actinidia deliciosa*). **Journal of Experimental Botany**, v. 46, n. 283, p. 263, 1995.

GOREN, R.; HUBERMAN, M.; GOLDSCHMIDT, E. E. Girdling: Physiological and horticultural aspects. **Horticultural Reviews**, v. 30, p. 1-35, 2004.

GRANDJEAN, O. *In vivo* analysis of cell division, cell growth, and differentiation at the shoot apical meristem in Arabidopsis. **The Plant Cell**, v. 16, n. 1, p. 74-87, 2004.

GREEN, L. Temperature and Red Delicious apple size. In: 77TH ANNUAL MEETING OF THE WASHINGTON STATE HORTICULTURAL ASSOCIATION, Wenatchee, WA. **Anais**. Wenatchee, WA, 1981. p. 36-38.

GREENE, D. W. Effect of silver nitrate, aminoethoxyvinylglycine, and gibberellins A4+7 plus 6-benzylamino purine on fruit set and development of 'Delicious' apples. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 105, n. 5, p. 717-720, 1980.

GREENE, D. W. Chemicals, timing, and environmental factors involved in thinner efficacy on apple. **HortScience**, v. 37, p. 477-481, 2002.

GUÉDON, Y.; LEGAVE, J. M. Analyzing the time-course variation of apple and pear tree dates of flowering stages in the global warming context. **Ecological Modelling**, v. 219, n. 1-2, p. 189-199, 2008. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2008.08.010.

GUO, L.; DAI, J.; RANJITKAR, S.; YU, H.; XU, J.; LUEDELING, E. Chilling and heat requirements for flowering in temperate fruit trees. **International Journal of Biometeorology**, p. 1-12, 2013. DOI: 10.1007/s00484-013-0714-3.

HALL, A. E. Breeding for heat tolerance. **Plant Breeding Reviews**, v. 10, p. 129-168, 1992.

HAN, J.-H.; CHO, J.; SON, I.-C.; KIM, S.; LEE, I.-B.; CHOI, I.; KIM, D. Effects of elevated carbon dioxide and temperature on photosynthesis and fruit characteristics of 'Niitaka' pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai). **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, v. 53, n. 5, p. 357-361, 2012. DOI: 10.1007/s13580-012-0047-x.

HANKE, M.-V.; FLACHOWSKY, H.; PEIL, A.; HÄTTASCH, C. No flower no fruit - genetic potentials to trigger flowering in fruit trees. **Genes, Genomes and Genomics**, v. 1, p. 1-20, 2007.

HARRINGTON, C. A.; GOULD, P. J.; ST CLAIR, J. B. Modeling the effects of winter environment on dormancy release of Douglas-fir. **Forest Ecology and Management**, v. 259, n. 4, p. 798-808, 2010.

HAWERROTH, F. J. **Dormência de gemas sob influência da temperatura durante o período hibernal e resposta produtiva da macieira pelo uso de indutores de brotação**. 2009. 123p. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal de Pelotas., 2009.

HAWERROTH, F. J.; HERTER, F. G.; PETRI, J. L.; MARAFON, A. C. **Brotação de gemas de macieira 'Castel Gala' em função da temperatura durante o período hibernal**. Fortaleza, CE: Embrapa Agroindústria Tropical. p., 2013.

HAWERROTH, F. J.; PETRI, J. L. **Controle do desenvolvimento vegetativo em macieira e pereira**. Fortaleza, CE: EMBRAPA. 2011, 36p.

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

HAWERROTH, F. J.; PETRI, J. L.; LEITE, G. B.; YOSHIKAWA, E. R. Épocas de aplicação de proexadione cálcio no controle do desenvolvimento vegetativo de macieiras 'Imperial Gala'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 4, p. 957-963, 2012.

HEDHLY, A.; HORMAZA, J.; HERRERO, M. The effect of temperature on pollen germination, pollen tube growth, and stigmatic receptivity in peach. **Plant Biology**, v. 7, p. 476-483, 2005a.

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

HEDHLY, A.; HORMAZA, J. I.; HERRERO, M. Influence of genotype-temperature interaction on pollen performance. **Journal of Evolutionary Biology**, v. 18, n. 6, p. 1494-1502, 2005b.

HERRERO, M. Factors affecting fruit set in 'Agua de Aranjuez' pear. **Acta Horticulturae**, v. 139, p. 91-96, 1983.

HESLOP-HARRISON, Y.; SHIVANNA, K. R. The receptive surface of the angiosperm stigma. **Annals of Botany**, v. 41, p. 1233-1258, 1977.

HIRST, P. M.; FERREE, D. C. Rootstock effects on the flowering of 'Delicious' apple. I. Bud development. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 120, n. 6, p. 1010, 1995.

HIRST, P. M.; FERREE, D. C. Effects of rootstock on bud development and flower formation of 'Starkspur Supreme Delicious' apple. **Fruit Varieties Journal**, v. 50, n. 1, p. 25, 1996.

HISSANO, Z.; MARUR, C. J.; TSUNETA, M. Caracterização do tamanho do fruto da macieira 'fuji' em relação aos tipos de ramos de frutificação em Palmas-PR. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 2, n. 2, p. 53-55, 1990.

HOOVER, E.; SILVA, N. D.; MCARTNEY, S.; HIRST, P. Bud development and floral morphogenesis in four apple cultivars. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 79, n. 6, p. 981, 2004.

HUANG, H. Flower bud development in apple trees as related to node formation. **Journal of Fruit and Ornamental Plant Research**, v. 4, n. 3, p. 95-107, 1996.

HUARACHA, E. M.; XU, M. L.; GASIC, K.; PAUWELS, E.; PUTTE, A.; KEULEMANS, J. W.; KORBAN, S. S. Phenotypic reaction and genetic analysis using AFLP-derived SCARs for resistance to apple scab. **Journal of Phytopathology**, v. 152, n. 5, p. 260-266, 2004.

HUDSON, I. L.; KEATLEY, M. R. **Phenological research - Methods for environmental and climate change analysis**. Dordrecht, London: Springer, 2010. Disponível em:

<http://public.ebib.com/EBLPublic/PublicView.do?ptiID=511706>.
Acesso em: 03 mar 2014. DOI: 10.1007/978-90-481-3335-2_1.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. 2014. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br> Acesso em: 16 Jul. 2014.

IUCHI, T. **Influência da localização de gemas floríferas sobre a fenologia e crescimento de ramos e frutos em macieiras**. Pelotas: EMBRAPA, CNPFT. Boletim de Pesquisa, 13, p., 1987.

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

JACK, T. Molecular and genetic mechanisms of floral control. **The Plant Cell**, v. 16, p. 1-17, 2004.

JACKSON, J. E. Apple production at low latitudes. In: **Temperate Fruit Crops in Warm Climates**. EREZ, A. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2000. p. 305-342.

JACKSON, J. E. **Biology of apples and pears**. Cambridge, UK; New York: Cambridge University Press. 2003. p.

JEFFERIES, C. J.; BRAIN, P. A mathematical model of pollen-tube penetration in apple styles. **Planta**, v. 160, n. 1, p. 52-58, 1984. DOI: 10.1007/BF00392465.

KERSTETTER, R. A.; HAKE, S. Shoot meristem formation in vegetative development. **Plant Cell**, v. 9, n. 7, p. 1001-1010, 1977.

KEULEMANS, J.; EYSEN, R.; COLDA, G. Improvement of seed set and seed germination in apple. In: **Progress in Temperate Fruit Breeding**. SCHMIDT, H.; KELLERHALS, M. Dordrecht: Netherlands Kluwer Academic, 1994. p. 225-228.

KNOWLTON, H. E. The relative abundance of pollen production by varieties of apples. **American Society for Horticultural Science**, v. 32, p. 7-9, 1935.

KOSAI, N.; BEPPU, K.; RYOSUKE, M.; BOONPRAKOB, U.; SUBHADRABABANDHU, S.; KATAOKA, I. Adverse effects of high

temperature on the development of reproductive organs in 'Hakuho' peach trees. **The Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, v. 79, n. 4, p. 533, 2004.

KOTODA, N.; HAYASHI, H.; SUZUKI, M.; IGARASHI, M.; HATSUYAMA, Y.; KIDOU, S.-I.; IGASAKI, T.; NISHIGUCHI, M.; YANO, K.; SHIMIZU, T.; TAKAHASHI, S.; IWANAMI, H.; MORIYA, S.; ABE, K. Molecular characterization of FLOWERING LOCUS T-Like genes of apple (*Malus × domestica* Borkh.). **Plant and Cell Physiology**, v. 51, n. 4, p. 561-575, 2010. DOI: 10.1093/pcp/pcq021.

KOTODA, N.; MASATO, W. MdTFL1, a TFL1-like gene of apple, retards the transition from the vegetative to reproductive phase in transgenic Arabidopsis. **Plant Science**, v. 168, n. 1, p. 95-104, 2005.

KOTODA, N.; WADA, M.; KOMORI, S.; KIDOU, S.-I.; ABE, K.; MASUDA, T.; SOEJIMA, J. Expression pattern of homologues of floral meristem identity genes LFY and API during flower development in apple. **J. American Society for Horticultural Science**, v. 125, p. 398-403, 2000.

KOUTINAS, N.; PEPELYANKOV, G. The transition to flowering in apple. **Biotechnology and Biotechnological Equipment**, v. 24, n. 1, p. 1544-1548, 2010.

KOUTINAS, N.; PEPELYANKOV, G.; LICHEV, V. Morphological differentiation of flower buds in own-rooted and budded apple trees. **Biotechnology and Biotechnological Equipment**, v. 20, p. 24-28, 2006.

KOUTINAS, N.; PEPELYANKOV, G.; LICHEV, V. Flower induction and flower bud development in apple and sweet cherry. **Biotechnology and Biotechnological Equipment**, v. 24, n. 1, p. 1549-1558, 2010.

KRONENBERG, H. G. Temperature requirements for growth and ripening of apples. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, v. 33, p. 23-33, 1988.

KURAIISHI, S.; MUIR, R. M. Increase in diffusible auxin after treatment with gibberellin. **Science**, v. 137, n. 3532, p. 760-761, 1962.

KWIATKOWSKA, D. Flower primordium formation at the Arabidopsis shoot apex: quantitative analysis of surface geometry and growth. **Journal of Experimental Botany**, v. 57, n. 3, p. 571-580, 2006.

LAKSO, A. N.; GRAPPADELLI, L. C.; BARNARD, J.; GOFFINET, M. C. An exponential model of the growth pattern of the apple fruit. **HortScience**, v. 70, n. 3, p. 389-394, 1995.

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

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima Artes e Textos. 2000. 531p.

LEGAVE, J.; BLANKE, M.; CHRISTEN, D.; GIOVANNINI, D.; MATHIEU, V.; OGER, R. A comprehensive overview of the spatial and temporal variability of apple bud dormancy release and blooming phenology in Western Europe. **International Journal of Biometeorology**, v. 57, n. 2, p. 317-331, 2013. DOI: 10.1007/s00484-012-0551-9.

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

LEGAVE, J. M.; GARCÍA, G.; MARCO, F. Some descriptive aspects of drops process of flower buds, or young flowers observed on apricot tree in south of France. **Acta Horticulturae**, v. 121, p. 75-83, 1982.

LEITE, G. B. Evolução da dormência e heterogeneidade da brotação. In: VIII ENCONTRO NACIONAL SOBRE FRUTICULTURA DE CLIMA TEMPERADO, Fraiburgo. **Anais**. Fraiburgo: Epagri, 2005. p. 269-275.

LEITE, G. B.; BONHOMME, M.; PUTTI, G. L.; PETEL, G.; PETRI, J. L.; RAGEAU, R. Physiological and biochemical evolution of peach leaf

buds during dormancy course under two contrasted temperature patterns. **International Journal of Horticultural Science**, v. 12, n. 4, p. 15-19, 2006.

LESPINASSE, J. M. Variation du calibre des fruits de Golden Delicious en fonction des caractéristiques et de la position des inflorescence sur l'arbre. **Bulletin Technique Interprofessionnel**, v. 250, p. 365-381, 1970.

LI, C. Y.; WEISS, D.; GOLDSCHMIDT, E. E. Girdling affects carbohydrate-related gene expression in leaves, bark and roots of alternate-bearing citrus trees. **Annals of Botany**, v. 92, n. 1, p. 137-143, 2003.

LOBOS, G. A.; YURI, J. A. Inducción y diferenciación floral de cuatro cultivares de manzano en Chile. **Agricultura Técnica (Chile)**, v. 66, n. 2, p. 141-150, 2006.

LOESCHER, W. H.; MCCAMANT, T.; KELLER, J. D. Carbohydrate reserves, translocation and storage in woody plant roots. **HortScience**, v. 25, p. 274-281, 1990.

LOMBARD, P. J.; COOK, N. C.; BELLSTEDT, D. U. Endogenous cytokinin levels of table grape vines during spring budburst as influenced by hydrogen cyanamide application and pruning. **Scientia Horticulturae**, v. 109, p. 92-96, 2006.

LOONEY, N. E.; PHARIS, R. P. Gibberellins and reproductive development of tree fruits and grapes. **Acta Horticulturae**, v. 179, p. 59-72, 1986.

LORA, J.; HORMAZA, J. I.; HERRERO, M. Stigmatic receptivity in a dichogamous early-divergent angiosperm species, *Annona cherimola* (Annonaceae): influence of temperature and humidity. **American Journal of Botany**, v. 98, p. 1-10, 2010.

LOSADA, J. M.; HERRERO, M. Arabinogalactan-protein secretion is associated with the acquisition of stigmatic receptivity in the apple flower. **Annals of Botany**, v. 110, n. 3, p. 573-584, 2012.

LOSADA, J. M.; HERRERO, M. Flower strategy and stigma performance in the apple inflorescence. **Scientia Horticulturae**, v. 150, p. 283-289, 2013.

LUCKWILL, L. C.; SILVA, J. M. The effects of daminozide and gibberellic acid on flower initiation, growth and fruiting of apple cv Golden. Delicious. **Journal of Horticultural Science**, v. 54, p. 217-223, 1979.

LUEDELING, E.; GEBAUER, J.; BUERKERT, A. Climate change effects on winter chill for tree crops with chilling requirements on the Arabian Peninsula. **Climatic Change**, v. 96, n. 1-2, p. 219-237, 2009. DOI: 10.1007/s10584-009-9581-7.

MACDANIELS, L. H.; HEINICKE, A. J. **Pollination and other factors affecting the set of fruit, with special reference to the apple**. Ithaca, N.Y.: Cornell University, 497. 47p 1929.

MADAIL, R. H. **Avaliação biológica de estruturas florais em macieira e sua relação com a qualidade do fruto** 2008. 62p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal), Universidade Federal de Pelotas, 2008.

MADAIL, R. H.; HERTER, F. G.; LEITE, G. B. Influence of floral structure and flower bud quality on productivity and fruit shape in different apple cultivars. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 3, p. 686-694, 2012.

MARAFON, A. C.; HERTER, F. G.; IUCHI, T.; HAWERROTH, F. J. Efeito do anelamento de tronco em pereira (*Pyrus communis* L.) cv. Abate Fetel na formação de gemas floríferas. In: XX CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 540 ANNUAL MEETING OF THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR TROPICAL HORTICULTURE, Vitória, ES. **Anais**. Vitória, ES, 2008. p. CD-ROOM.

MARCUCCI, M. C.; VISSER, T.; TUYL, J. M. Pollen and pollination experiments. VI. Heat resistance of pollen. **Euphytica**, v. 31, n. 2, p. 287-290, 1982. DOI: 10.1007/BF00021642.

MARINO, F.; GREENE, D. W. Involvement of gibberellins in the biennial bearing of 'Early McIntosh' apples. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 106, n. 5, p. 593-596, 1981.

MCARTNEY, S.; PALMER, J.; DAVIES, S.; SEYMOUR, S. Effects of lime sulfur and fish oil on pollen tube growth, leaf photosynthesis and fruit set in apple. **HortScience**, v. 41, p. 357-360, 2006.

MCARTNEY, S. J.; HOOVER, E. M.; HIRST, P. M.; BROOKING, I. R. Seasonal variation in the onset and duration of flower development in 'Royal Gala' apple buds. **The Journal of Horticultural Science.**, v. 76, n. 5, p. 536, 2001.

MCCARTHY, J., J. ; CANZIANI, O. F.; LEARY, N. A.; DOKKEN, D. J.; WHITE, K. S. **Climate change 2001 : impacts, adaptation, and vulnerability : contribution of Working Group II to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Cambridge, UK; New York: Cambridge University Press. 2001. p.

MCGREGOR, S. E. Pollination of economic crops. Apples. In: **Handbook 496.** UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Washington, DC, 1976. p. 81-88.

MCKEE, J.; RICHARDS, A. The effect of temperature on reproduction in five primula species. **Annals of Botany**, v. 82, n. 3, p. 359, 1998.

MCLAREN, G. F.; FRASER, J. A.; GRANT, J. E. Some factors influencing fruit set in 'Sundrop' apricot. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, v. 24, n. 1, p. 55, 1996.

MCLAUGHLIN, J. M.; GREENE, D. W. Fruit and hormones influence flowering of apple. I. Effect of cultivar. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 116, n. 3, p. 446-449, 1991a.

MCLAUGHLIN, J. M.; GREENE, D. W. Fruit and hormones influence flowering of apple. II. Effects of hormones. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 116, n. 3, p. 450-453, 1991b.

MELLENTHIN, W. M.; WANG, C. Y.; WANG, S. Y. Influence of temperature on pollen tube growth and initial fruit development in 'd'Anjou' pear. **HortScience**, v. 7, p. 557-559, 1972.

MICHAELS, S. D. Flowering time regulation produces much fruit. **Current opinion in plant biology**, v. 12, n. 1, p. 75-80, 2009.

MOSS, G. I. Temperature effects on flower initiation in sweet orange (*Citrus sinensis*). **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 27, p. 399-407, 1976.

MUDAY, G. K.; DELONG, A. Polar auxin transport: controlling where and how much. **Trends in Plant Science**, v. 6, n. 11, p. 535-542, 2001.

MURRAY, M. B.; CANNELL, M. G. R.; SMITH, R. I. Date of budburst of fifteen tree species in Britain following climatic warming. **Journal of Applied Ecology**, v. 26, n. 2, p., 1989.

NACHTIGALL, G. R. **Estruturas frutíferas na qualidade de maçãs das cultivares Gala e Fuji**. 2000. 57f. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

NAKATA, S. Progress report on flowering, nut setting and harvesting, with special reference to the effects of night temperatures and growth regulators. **Hawaiian Macadamia Producers' Association**, v. 16, p. 31-36, 1976.

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

NEILSEN, J.; DENNIS, F. G. Effects of seed number, fruit removal, bourse shoot length, and crop density on flowering in 'Spencer Seedless' apple. **Acta Horticulturae**, n. 527, p. 137-146, 2000.

NERI, D.; MORINI, F.; MASSETANI, F.; PIRAZZINI, P. Pruning: how to manage shoot growth. **Acta Horticulturae**, v. 862, p. 355-363, 2010.

NITSCH, J. P. Photoperiodism in woody plants. **American Society for Horticultural Science**, v. 70, p. 526-527, 1957.

NYÉKI, J. Pollination and fertilization: means of pollination and factors affecting pollination. In: **Floral biology of temperate zone fruit trees and small fruits**. NYÉKI, J.; SOLTÉSZ, M. Budapest: Akadémiai Kiadó, 1996. p.

NYÉKY, J.; SOLTÉSZ, M. Fruit set of pear varieties by open pollination at site of different ecological conditions. **Acta Horticulturae**, v. 475, p. 355-356, 1998.

NYOMORA, A. M. S.; BROWN, P. H.; KRUEGER, B. Rate and time of boron application increase almond productivity and tissue boron concentration. **HortScience**, v. 34, n. 2, p. 242-245, 1999.

O'NEILL; SHARMAN, D. Pollination regulation of flower development. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 48, n. 1, p. 547-574, 1997. DOI: 10.1146/annurev.arplant.48.1.547.

OLIVEIRA, I. V.; LOPES, P. R. C.; OLIVEIRA, J. E. D. M.; SILVA, J. B. D.; CAVALCANTE, I. H. L. Caracterização fenológica, pegamento e produção de macieiras da variedade 'Princesa' em Petrolina - PE. In: XXI CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, Natal **Anais**. Natal SBF, 2010a. p.

OLIVEIRA, I. V.; LOPES, P. R. C.; OLIVEIRA, J. E. D. M.; SILVA, R. R. S. D.; CAVALCANTE, I. H. L. Caracterização fenológica, pegamento e produção de macieiras da variedade 'Eva' em Petrolina - PE. In: XXI CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, Natal. **Anais**. Natal: SBF, 2010b. p.

OLIVEIRA, I. V. M.; LOPES, P. R. C.; SILVA-MATOS, R. R. S.; CAVALCANTE, I. H. L. Fenologia da macieira, cv. 'Condessa' no Vale de São Francisco **Revista de Ciências Agrárias**, v. 36, n. 1, p. 23-30, 2013.

OLIVEIRA, P. R. D. D.; LEITE, G. B.; NUNES, E. D. C.; FIORAVANÇO, J. C.; CZERMAINSKI, A. B. C.; GIRARDI, C. L.;

NACHTIGALL, G. R.; BERNARDI, J.; SANTOS, R. S. S. D.; ALVES, S. A. M.; ARGENTA, L. C.; BASSO, C.; DENARDI, F.; PETRI, J. L.; COUTO, M.; BECKER, W. F.; PEREIRA, A. J.; NAVA, G.; BONETI, J. I. D. S.; KATSURAYAMA, J. M. Competição entre clones comerciais das cultivares de macieira Gala e Fuji. In: **Inovações tecnológicas para o setor da maçã - Inovamaçã**. NACHTIGALL, G. R. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2011. p. p. 219-236.

OLSEN, J. E. Mechanisms of dormancy regulation. **Acta Horticulturae**, n. 727, p. 157-166, 2006.

OLSEN, K.; MARTIN, G. Influence of apple bloom date on maturity and storage quality of Starking Delicious apples. **Journal of American Society for Horticultural Science**, v. 105, n. 20, p. 183-186, 1980.

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

ORTEGA, E.; EGEA, J.; DICENTA, F. Effective pollination period in almond cultivars. **Horscience**, v. 39, p. 19-22, 2004.

OUKABLI, A.; BARTOLINI, S.; VITI, R. Anatomical and morphological study of apple (*Malus X domestica* Borkh.) flower buds growing under inadequate winter chilling. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 78, n. 4, p. 580, 2003.

PALMER, J. W.; PRIVÉ, J. P.; TUSTIN, D. S. Apple: Botany, production and uses. In: **Apple: botany, production and uses**. FERREE, D. C.; WARRINGTON, I. J. Cambridge: Cambridge University Press, 2003. p. p. 217-236.

PANDOLFINI, T.; MOLESINI, B.; SPENA, A. Molecular dissection of the role of auxin in fruit initiation. **Trends in Plant Science**, v. 12, n. 8, p. 327-329, 2007. DOI: 10.1016/j.tplants.2007.06.011.

PARK, B. H.; OLIVEIRA, N.; PEARSON, S. Temperature affects growth and flowering of the balloon flower [*Platycodon grandiflorus* (Jacq.) A. DC. cv. Astra Blue]. **HortScience**, v. 33, n. 2, p. 233-236, 1998.

PARMESAN, C.; YOHE, G. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. **Nature**, v. 421, n. 6918, p. 37-42, 2003.

PEREIRA, A. J.; PETRI, J. L. Poda e condução da macieira. In: **A cultura da macieira**. EPAGRI. Florianópolis, SC, 2006. p. 391-418.

PEREIRA, E. S.; BRAGA, H. J.; SILVA JÚNIOR, V. P. D. Sistema Agrometeorológico para Computador - Sisagro II. In: **COBRAC**. Florianópolis, 2004. p.

PETRI, J. L. Indução e brotação de gemas de macieira por cianamida hidrogenada e óleo mineral sob influência da temperatura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, n. 1, p. 71-75, 1997.

PETRI, J. L. Formação de flores, polinização e fertilização. In: **A cultura da macieira**. EPAGRI. Florianópolis, 2006. p. 229-260.

PETRI, J. L.; HAWERROTH, F. J.; LEITE, G. B. Fenologia de espécies silvestres de macieira como polinizadora das cultivares gala e fuji. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, p. 868-874, 2008.

PETRI, J. L.; HAWERROTH, F. J.; LEITE, G. B.; COUTO, M.; FRANCESCATTO, P. Apple phenology in subtropical climate conditions. In: **Phenology and climate change**. ZHANG, X. INTECH Open Access Publisher, 2012. Disponível em: <http://www.intechopen.com/articles/show/title/apple-phenology-in-subtropical-climate-conditions>. Acesso em: 10 set. 2013. DOI: 10.5772/34301.

PETRI, J. L.; LEITE, G. B. Consequences of insufficient winter chilling on apple tree bud-break. **Acta Horticulturae**, v. 662, p. 53-60, 2004.

PETRI, J. L.; LEITE, G. B. Macieira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 4, p., 2008.

PETRI, J. L.; LEITE, G. B.; FIORAVANÇO, J. C.; HAWERROTH, F. J.; COUTO, M. **Estudo da biologia floral de macieira cultivar Gala e**

Fuji. . Bento Gonçalves, Embrapa Uva e Vinho. Inovações tecnológicas para o setor da maçã - Inovamaçã. 2011. p. 237-273.

PETRI, J. L.; PALLADINI, L. A.; POLA, A. C. Dormência e indução a brotação em macieira. In: **A cultura da macieira**. EPAGRI. Florianópolis: Epagri, 2006. p. 261-297.

PETRI, J. L.; PALLADINI, L. A.; SCHUCK, E.; DUCROQUET, J. P. H. J.; MATOS, C. S.; POLA, A. C. **Dormência e indução da brotação em fruteiras de clima temperado**. Florianópolis: EPAGRI: Boletim Técnico 75. 110p., 1996.

PETRI, J. L.; PASQUAL, M. **Polinização da macieira no alto do Rio do Peixe, Santa Catarina**. Florianópolis: EMPASC. Boletim Técnico n.1, 40p., 1981.

PETRI, J. L.; PASQUAL, M.; PELLEGRIN, M. Número de grãos de pólen por antera em diversas cultivares de macieira (*Malus Sylvestris*). In: III CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, Campinas. **Anais**. Campinas: SBF, 1975. p. 467-471.

PRANG, L.; STEPHAN, M.; SCHNEIDER, G.; BANGERTH, F. Gibberellin signals originating from apple fruit and their possible involvement in flower induction. **Acta Horticulturae**, n. 463, p. 235-242, 1998.

PRATT, C. Apple flower and fruit: morphology and anatomy. **Horticultural Reviews**, v. 10, p. 273-308, 1988. DOI: 10.1002/9781118060834.ch8.

PRATT, C.; EINSET, J.; ZAHUR, M. Radiation damage in apple shoot apices. **American Journal of Botany**, v. 46, p. 537-544, 1959.

PRIVÉ, J. P.; FAVA, E.; CLINE, J.; BYL, M. Preliminary results on the efficacy of apple trees fruit with the growth retardant prohexadione – calcium (Apogee) in the Eastern Canada. **Acta Horticulturae**, v. 636, p. 137-144, 2004.

PUTTI, G. L.; PETRI, J. L. Estádios fenológicos da macieira nas cultivares Gala, Fuji e Golden Delicious **Revista Agropecuária Catarinense**, v. 15, n. 3, p. 22-25, 2002.

RACSKO, J.; MILLER, D. D. Intra inflorescence pattern of the opening of apple (*Malus domestica* Borkh.) flowers. **The international Journal of Plant Reproductive Biology**, v. 2, n. 1, p. 65-77, 2010.

RADEMACHER, W.; SPINELLI, F.; COSTA, G. Control of vegetative growth - Prohexadione-Ca: modes of action of a multifunctional plant bioregulator for fruit trees. **Acta Horticulturae**, n. 727, p. 97, 2006.

RAMÍREZ, F.; DAVENPORT, T. L. Apple polination: a review. **Scientia Horticulturae**, v. 162, p. 188-203, 2013.

RAMÍREZ, H.; TORRES, J.; BENAVIDES, A.; HERNÁNDEZ, J.; ROBLEDO, V. Fruit bud initiation in apple cv Red Delicious linked to gibberellins and cytokinins. **Revista de la Sociedad Química de México**, v. 48, p. 7-10, 2004.

RETAMALES, J.; SÁNCHEZ, E.; CURETTI, M. Effect of AVG application on fruit set, yield and fruit size in 'Abate Fetel' and 'Packam's Triumph' pears in a semi-commercial statistical trial. **Acta Horticulturae** v. 909, p. 435-440, 2010.

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

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

ROBBIE, F. A.; ATKINSON, C. J. Wood and tree age as factors influencing the ability of apple flowers to set fruit. **The Journal of Horticultural Science**, v. 69, n. 4, p. 609, 1994.

ROBBIE, F. A.; ATKINSON, C. J.; KNIGHT, J. N.; MOORE, K. G. Branch orientation as a factor determining fruit set in apple trees. **Journal of Horticultural Science**, v. 68, n. 3, p. 317, 1993.

RODRIGO, J.; HERRERO, M. Effects of pre-blossom temperatures on flower development and fruit set in apricot. **Scientia Horticulturae**, v. 92, n. 2, p. 125-135, 2002.

RODRIGUES, M. A.; KERBAUY, G. B. Meristemas: fontes de juventude e plasticidade no desenvolvimento vegetal. **Hoehnea**, v. 36, p. 525-550, 2009.

ROM, C.; BARRITT, B. Management of apple fruiting and shading of spurs and shoots on spur performance. **Journal of American Society for Horticultural Science**, v. 111, n. 3, p. 352-356, 1987.

ROOT, T.; PRICE, J. T.; HALL, K. R.; SCHNEIDER, S. H.; ROSENZWEIG, C.; POUNDS, J. A. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. **Nature**, v. 421, n. 6918, p. 57-60, 2003.

RUIZ, D.; CAMPOY, J. A.; EGEA, J. Chilling and heat requirements of apricot cultivars for flowering. **Environmental & Experimental Botany**, v. 61, n. 3, 2007.

SABLOWSKI, R. Flowering and determinacy in Arabidopsis. **Journal of Experimental Botany**, v. 58, p. 899-907, 2007.

SANTOS, K. L. D.; LENZI, M.; CAPRESTANO, C. A.; DANTAS, A. C. D. M.; DUDROQUET, J. P. H. J.; NODARI, R. O.; ORTH, A. I.; GUERRA, M. P. Evidência da atuação do sistema de auto-incompatibilidade tardia em *Acca sellowiana* (Berg) Burret. (Myrtaceae). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n. 1, p. 120-123, 2007.

SANYAL, D.; BANGERTH, F. Stress induced ethylene evolution and its possible relationship to auxin-transport, cytokinin levels, and flower bud induction in shoots of apple seedlings and bearing apple trees. **Plant Growth Regulation**, v. 24, n. 2, p. 127, 1998.

SANZOL, J.; HERRERO, M. The "effective pollination period" in fruit trees. **Scientia Horticulturae**, v. 90, n. 1-2, p. 1-17, 2001.

SANZOL, J.; RALLO, P.; HERRERO, M. Asynchronous development of stigmatic receptivity in the pear (*Pyrus comunis*; Rosaceae) flower. **American Journal of Botany**, v. 90, p. 78-84, 2003a.

SANZOL, J.; RALLO, P.; HERRERO, M. Stigmatic receptivity limits the effective pollination period in 'Agua de Aranjuez' pear. **Journal of**

the American Society for Horticultural Science, v. 128, n. 4, p., 2003b.

SASTRY, K. K.; MUIR, R. M. Gibberellin: effect on diffusible auxin in fruit development. **Science**, v. 140, n. 3566, p. 494-495, 1963.

SAURE, M. C. Dormancy release in deciduous fruit trees. **Horticultural Reviews**, v. 7, p. 239-299, 1985.

SCHRAMM, C. C. **Compatibilidade e incompatibilidade gametofítica entre as principais cultivares de macieiras (*Malus domestica*, Borkh.) em Pelotas**. 1985. 85p. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal de Pelotas, 1985.

SEDGLEY, M.; ANNELLS, C. M. Flowering and fruit-set response to temperature in the avocado cultivar 'Hass'. **Scientia Horticulturae**, v. 14, n. 1, p. 27-33, 1981. DOI: 10.1016/0304-4238(81)90075-3.

SERRANI, J. C.; CARRERA, E.; RUIZ-RIVERO, O.; GALLEGO-GIRALDO, L.; PERES, L. E. P.; GARCÍA-MARTÍNEZ, J. L. Inhibition of auxin transport from the ovary or from the apical shoot induces parthenocarpic fruit-set in tomato mediated by gibberellins. **Plant Physiology**, v. 153, n. 2, p. 851-862, 2010. DOI: 10.1104/pp.110.155424.

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

SHEFFIELD, C. S.; SMITH, R. F.; KEVAN, P. G. Perfect syncarpy in apple (*Malus x domestica* 'Summerland McIntosh') and its implications for pollination, seed distribution and fruit production (Rosaceae: Maloideae). **Annals of Botany**, v. 95, n. 4, p. 583-591, 2005.

SHISHKOVA, S.; ROST, T. L.; DUBROVSKY, J. G. Determinate root growth and meristem maintenance in Angiosperms. **Annals of Botany**, v. 101, p. 319-340, 2008.

SHULMAN, Y.; NIR, G.; LAVEE, S. Oxidative processes in bud dormancy and the use of hydrogen cyanamide in breaking dormancy. **Acta Horticulturae**, v. 179, p. 141-148, 1986.

SINGH, D. P.; JERMAKOW, A. M.; SWAIN, S. M. Gibberellins are required for seed development and pollen tube growth in Arabidopsis. **The Plant Cell Online**, v. 14, n. 12, p. 3133-3147, 2002. DOI: 10.1105/tpc.003046.

SKENE, K. G. M. Increases in the levels of cytokinins in bleeding sap of *Vitis vinifera* L. after CCC treatment. **Science**, v. 159, n. 3822, p. 1477-1478, 1968.

SKINNER, J. E. Delayed defoliation. **Deciduous Fruit Growers**, v. 14, n. 7, p. 195-197, 1964.

SOCIAS I COMPANY, R.; KESTER, D. E.; BRADLEY, M. V. Effects of temperature and genotype on pollen tube growth in some self-incompatible and self-compatible almond cultivars. **Journal of American Society for Horticultural Science**, v. 101, p. 409-193, 1976.

SOLTÉSZ, M. Factors influencing the beginning and the course of bloom. In: **Floral Biology of Temperate Zone Fruit Trees and Small Fruits** NYÉKI, J.; SOLTÉSZ, M. Budapest, Hungary: Akadémiai Kiadó, 1996. p. 104–131.

SOLTÉSZ, M. Laws of bloom phenology by apple. **Acta Horticulturae**, v. 437, p. 451-456, 1997.

SOLTÉSZ, M. Apple [*Malus sylvestris* (L.) Mill.]. In: **Floral Biology, Pollination and Fertilization in Temperate Zone Fruit Species and Grape**. KOZMA, P.; NYÉKI, J.; SOLTÉSZ, M.; SZABO, Z. Budapest: Akadémiai Kiadó, 2003. p. 237-316.

SOSTER, M. T.; LATORRE, A. F. Avaliação da fenologia das cultivares de macieira Imperatriz, Gala e Fuji em pomar em Bom Retiro, SC. **Biotemas**, v. 20, n. 4, p. 35-40, 2007.

SOTOMAYOR, C.; RUIZ, R.; GARCÍA-HUIDOBRO, J. Boron concentration affects *in vitro* pollen germination and tube growth in

kiwifruit (*Actinidia Deliciosa*) cultivar 'Matua'. **Acta Horticulturae** v. 932, p. 517-521, 2012.

SRINIVASAN, C.; MULLINS, M. G. Physiology of flowering in the grapevine — a Review. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 32, n. 1, p. 47-63, 1981.

STOSSER, R.; ANVARI, S. On the senescence of ovules in cherries. **Scientia Horticulturae**, v. 16, n. 1, p. 29-38, 1982.

SUNG, S. K.; YU, G. H.; NAM, J.; JEONG, D. H.; AN, G. Developmentally regulated expression of two MADS-box genes, MdMADS3 and MdMADS4, in the morphogenesis of flower buds and fruits in apple. **Planta**, v. 210, p. 519-528, 2000.

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

THERON, K. I. Plant girdling:- Physiology and techniques. In: IX ENFRUTE – ENCONTRO NACIONAL SOBRE FRUTICULTURA DE CLIMA TEMPERADO, Fraiburgo. **Anais**. Fraiburgo: Epagri, 2009. p. 212.

TOOKE, F.; BATTEY, N. H. Temperate flowering phenology. **Journal of Experimental Botany**, v. 61, n. 11, p. 2853-2862, 2010. DOI: 10.1093/jxb/erq165.

TROMP, J. Flower-bud formation in apple under various day and night temperature regimes. **Scientia Horticulturae**, v. 13, n. 3, p. 235–243, 1980.

TROMP, J. Flower-bud formation in apple as affected by air and root temperature, air humidity, light intensity, and day length. **Acta Horticulturae**, v. 149, p. 39-47, 1984.

TROMP, J. Flower-bud formation. In: **Fundamentals of temperate zone tree fruit production**. TROMP, J.; WEBSTER, A. D.; WERTHEIM, S. J. Leiden: Backhuys, 2005. p. 204-214.

TROMP, J.; BOERTJES, B. C. The effect of air temperature in successive periods of the growing season on sylleptic shoot shoot

formation in young apple trees. **Plant Growth Regulation**, v. 19, p. 177-192, 1996.

TROMP, J.; BORSBOOM, O. The effect of autumn and spring temperature on fruit set and on the effective pollination period in apple and pear. **Scientia Horticulturae**, v. 60, n. 1, p. 23-30, 1994.

USDA. **Noncitrus fruits and nuts 2012 - Preliminary summary**, USDA - National Agricultural Statistics Service. 2013. p.

VAN DER LINDEN, C. G.; VOSMAN, B.; SMULDERS, M. J. M. Cell and molecular biology, biochemistry and molecular physiology. Cloning and characterization of four appleMADSbox genes isolated from vegetative tissue. **Journal of Experimental Botany**, v. 53, n. 371, p. 1025, 2002.

VASILAKAKIS, M. D.; PORLINGIS, I. C. Effect of temperature on pollen germination, pollen tube growth, effective pollination period, and fruit set of pear. **HortScience**, v. 20, p. 733-735, 1985.

VEMMOS, S.; GOLDWIN, G. The photosynthetic activity of Cox's Orange Pippin apple flowers in relation to fruit setting. **Annals of Botany**, v. 73, n. 4, p. 385-391, 1994.

VERÍSSIMO, V.; HERTER, F. G.; RODRIGUES, A. C.; GARDIN, J. P.; SILVA, J. B. D. Caracterização de gemas florais de pereira (*Pyrus* sp.) relacionada ao abortamento floral. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, n. 2, p. 193-197, 2004.

WADA, M.; CAO, Q.-F.; KOTODA, N.; SOEJIMA, J.-I.; MASUDA, T. Apple has two orthologues of FLORICAULA/LEAFY involved in flowering. **Plant Molecular Biology**, v. 49, n. 6, p. 567-577, 2002.

WANG, Y.; LI, J. Molecular basis of plant architecture. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, p. 253-279, 2008.

WARNER, G. ReTain can improve cherry fruit set. In: **Good Fruit Grower**. 65(3), p. 40-40. 2014.

WARRINGTON, I. J.; FULTON, T. A.; HALLIGAN, E. A.; DE SILVA, H. N. Apple fruit growth and maturity are affected by early

season temperatures. **American Society for Horticultural Science**, v. 124, n. 5, p. 468-477, 1999.

WAY, R. D.; ALDWINCKLE, H. S.; LAMB, R. C.; REJMAN, A.; SANSAVINI, S.; SHEN, T.; WATKINS, R.; WESTWOOD, M. N.; YOSHIDA, Y. Apples. **Acta Horticulturae**, v. 1, n. 290, p. 1-62, 1990.

WEBSTER, A. D. Shoot growth. In: **Fundamentals of temperate zone tree fruit production**. The Netherlands: Backhuys Publishers, 2005. p. 120-135.

WEIRTHEIM, S. J.; SCHMIDT, H. Flowering, pollination and fruit set. In: **Fundamentals of temperate zone tree fruit production**. TROMP, J.; WEBESTER, A. D.; WERTHEIM, S. J. Leiden: Backhuys Publishers 2005. p. p.216-239.

WESTWOOD, M. N. **Temperate zone pomology**. 3.ed São Francisco: W. H. Freeman. 1978. 428p.

WHELAN, E. D. P.; HORNBY, C. A. Meiotic prophase in *Prunus avium* cultivar Lambert. **Canadian Journal of Botany**, v. 47, p. 1813-1814, 1969.

WHELAN, E. D. P.; HORNBY, C. A.; LAPINS, K. O. Meiosis in *Prunus avium* L. I. cultivar Lambert. **Canadian Journal of Genetics and Cytology**, v. 8, p. 199-206, 1966.

WIELGOLASKI, F. E. Starting dates and basic temperatures in phenological observations of plants. **International Journal of Biometeorology**, v. 42, n. 3, p. 158-168, 1999. DOI: 10.1007/s004840050100.

WILKIE, J. D.; SEDGLEY, M.; OLESEN, T. Regulation of floral initiation in horticultural trees. **Journal of Experimental Botany**, v. 59, n. 12, p. 3215-3228, 2008.

WILLIAMS, R. R. The effect of summer nitrogen applications on the quality of apple blossom. **The Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, v. 40, p. 31-41, 1965.

WILLIAMS, R. R. **Pollination studies in fruit trees; III. The effective pollination period for some apple and pear varieties.** Report for Long Ashton Research Station for 1964. 1966. p. 136-138.

WILLIAMS, R. R. Factors affecting pollination in fruit trees. In: **Physiology of tree crops.** LUCKWILL, L. C.; CUTTING, C. V. London, UK, e New York, NY.: Academic Press, 1970. p. 193–207.

WILLIAMS, R. R.; MAIER, M. Pseudocompatibility after self pollination of the apple Cox's Orange Pippin. **Journal of Horticultural Science**, v. 52, n. 4, p. 475–484, 1977.

WILLIAMS, R. R.; RENNISON, R. W. Summer nitrogen: a new method of bringing apple trees into bearing. **Experimental Agriculture & Horticulture**, v. 9, p. 34-38, 1963.

WILLIAMS, R. R.; WILSON, D. **Towards regulated cropping: a report of recent fruit-set experiments in British orchards.** London. 1970. p. 57-61.

WILLIAMSON, J. G.; KREWER, G.; MAUST, B. E.; MILLER, E. P. Hydrogen cyanamide accelerates vegetative budbreak and shortens fruit development period of blueberry. **HortScience**, v. 37, n. 3, p. 539-542, 2002.

XILOYANNIS, C.; CELANO, G.; DICHIO, B.; NUZZO, V. Orchard management. **Acta Horticulturae**, v. 488, n. 457-464, 1999.

YAMANISHI, O. K.; NAKAJIMA, Y.; HASEGAWA, K. Effect of trunk strangulation degrees in late season on return bloom, fruit quality and yield of pummelo trees grown in a plastic house. **Journal Japan Society Horticulturae Science**, v. 64, p. 31-40, 1995.

YAO, J. L.; DONG, Y. H.; KVARNHEDEN, A.; MORRIS, B. Seven MADS-box genes in apple are expressed in different parts of the fruit. **Journal of American Society for Horticultural Science**, v. 124, n. 1, p. 8-13, 1999.

YAZDANPANA, H.; OHADI, D.; TABAR, M. S. Forecasting Different Phenological Phases of 17 Apple Using Artificial Neural

Network. **Journal of Research in Agricultural Science**, v. 6, n. 2, p. 97-106, 2010.

YODER, K.; BYERS, R.; YUAN, R.; MCFERSON, J. **Temperature effect on pollen germination and tube growth in apples**. Winchester, VA. Virginia Polytechnic Institute and State University and Washington Tree Fruit Research Commission. 2008. p.

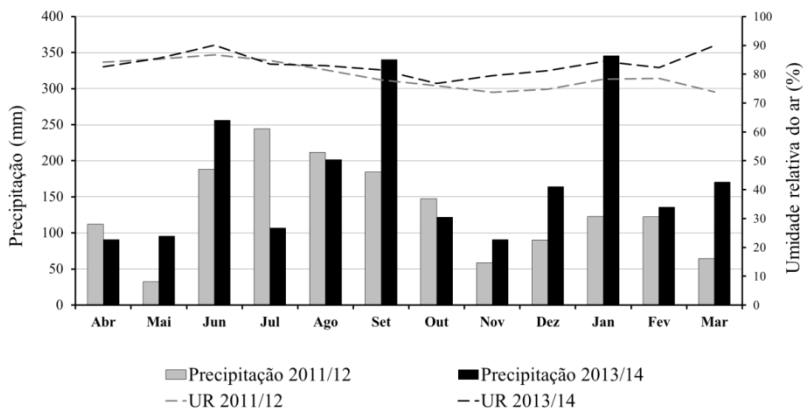
YODER, K.; YUAN, R.; COMBS, L.; BYERS, R.; MCFERSON, J.; SCHMIDT, T. Effects of temperature and the combination of liquid lime sulfur and fish oil on pollen germination, pollen tube growth, and fruit set in apples. **HortScience**, v. 44, n. 5, p. 1277-1283, 2009.

ZHU, L. H.; BORSBOOM, O.; TROMP, J. The effect of temperature on flower-bud formation in apple including some morphological aspects. **Scientia Horticulturae**, v. 70, n. 1, p. 1-8, 1997.

ZIK, M.; IRISH, V. F. Flower development: initiation, differentiation, and diversification. **Cell Developmental Biology**, v. 19, p. 119-140, 2003.

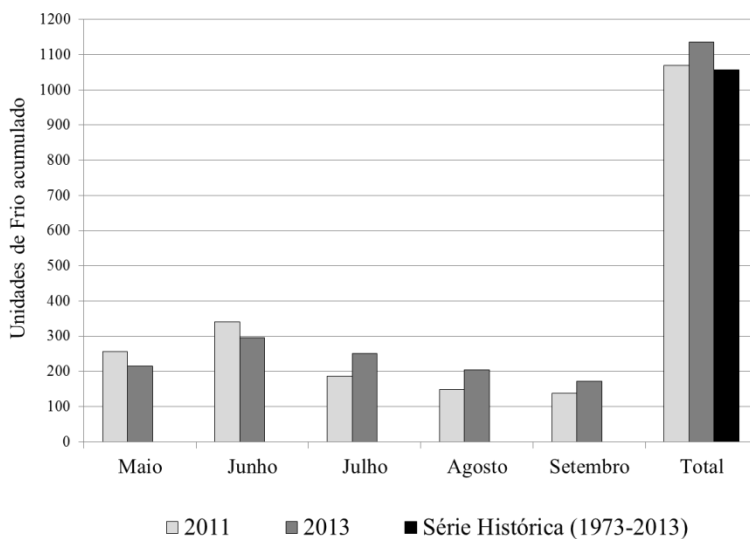
APÊNDICE A

Acúmulo mensal da precipitação (mm) e umidade relativa do ar (%) das normais climatológicas (Caçador 1961-2013) e do ciclo vegetativo e reprodutivo da macieira nos anos 2011/12 e 2013/14 na região de Caçador, SC.



APÊNDICE B

Unidades de frio, mensais e acumulado, segundo o modelo Carolina do Norte Modificado, durante os anos de 2011 e 2013, e da série histórica anual (1973-2013) na região de Caçador, SC.



APÊNDICE C

Duração média em dias dos diferentes estádios fenológicos da macieira cv. Gala por estrutura de frutificação, durante os ciclos de 2011/12 e 2013/14 em Caçador, SC. (C) pontas verdes, (C3-D) 1,3 cm ponta verde, (D2) 1,3cm verde com folhas, (E) botão verde, (E2) botão rosado, (F) início da floração, (F2) plena floração, (G) final da floração, (H) queda de pétalas, (I) frutificação efetiva.

Estrutura	Dias																			
	C		C3-D		D2		E		E2		F		F2		G		H ^{ns}		I	
	11	13	11	13	11	13	11	13	11	13	11/13	11	13	11	13	11	13	11	13	
Axilar	1.1 cB	3.4 aA	3,9		1.9 b		2.5 aA	2.9 bA	2.8 aB	4.7 aA	1.6 ab	2.0 b		1.4 aA	1.7 aA	4,5		4,2		
Esporão	2.7 aB	3.3 aA	4,1		2.6 a		2.9 aB	4.4 aA	2.4 aB	3.7 bA	1.8 a	2.4 a		1.4 aA	1.1 bB	4,6		4,1		
Terminal	2.0 bB	3.0 aA	4,3		2.4 a		2.7 aB	4.3 aA	2.4 aB	2.9 cA	1.5 b	2.2 ab		1.6 aA	1.5 aA	5,0		4,0		
Média	1.9 B	3.2 A	2.7 B	5.5 A	1.6B	3.0 A	2.7 B	3.9 A	2.5 B	3.8 A	1.6	2.0 B	2.4 A	1.5	1.4	4,7		4,3A	3,9B	
F(Ano)	160,1**		239,0**		168,2**		71,9**		139,1**		ns	20,3**		ns		ns		10,5**		
F(Estrutura)	15,6**		ns		14,3**		19,1**		40,1**		8,8**	6,0**		6,9**		ns		ns		
F(AxE)	22,8**		ns		ns		7,6**		16,6**		ns	ns		4,4*		ns		ns		
CV (%)	15,6		16,7		18,4		16,7		12,6		14,3	18,4		20,5		15,8		11,6		

APÊNDICE D

Duração média em dias dos diferentes estádios fenológicos da macieira cv. Fuji por estrutura de frutificação, durante os ciclos de 2011/12 e 2013/14 em Caçador, SC. (C) pontas verdes, (C3-D) 1,3 cm ponta verde, (D2) 1,3cm verde com folhas, (E) botão verde, (E2) botão rosado, (F) início da floração, (F2) plena floração, (G) final da floração, (H) queda de pétalas, (I) frutificação efetiva.

Estrutura	'FUJI'																			
	C		C3-D ^{ns}		D2		E		E2		F		F2		G		H ^{ns}		I	
	11	13	11	13	11	13	11	13	11	13	11	13	11	13	11	13	11	13	11	13
Axilar	2,0 aA	2,2 aA	2,5	2,3	2,6 aB	4,1 bA	3,3 aB	6,8 aA	1,3	1,6 aB	2,0 bA	1,4 aA	1,4 bA	3,7 a	4,5 a					
Esporão	1,8 bB	2,5 aA	2,5	2,4	2,3 aB	5,3 aA	2,8 aB	4,5 bA	1,5	1,8 aA	2,7 aB	1,6 aA	1,8 aB	3,6 a	3,2 c					
Terminal	1,7 bB	2,6 aA	2,8	2,4	2,5 aA	2,2 cA	2,7 aB	4,8 bA	1,3	1,7 aA	1,8 bA	1,4 aB	1,9 aA	3,1 b	4,1 b					
Média	1,8 B	2,4 A	2,6	2,0 B	2,8 A	2,5 B	3,8 A	2,9 B	5,4 A	1,2 B	1,6 A	1,7 B	2,2 A	1,4 A	1,7 B	3,5	3,7	4,1		
F(Ano)	41,4**		ns	23,9**		26,7**		242,8**		17,8**		17,9**		10,7**		Ns	15,6**			
F(Estru)	ns		ns	ns		10,3**		33,1**		ns		9,6**		7,3**		4,1*	51,5**			
F(AxE)	4,0*		ns	ns		12,4**		12,0**		ns		3,6*		4,1*		ns	ns			
CV (%)	17,7		18,0	25,5		32,8		14,5		21,2		21,5		19,1		20,3	10,0			