



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA VEGETAL
(INTERUNIDADES)**

**ÁCIDO GIBERÉLICO (GA₃) E BENZILAMINOPURINA NA
FENOLOGIA REPRODUTIVA, CARACTERÍSTICAS
PRODUTIVAS E QUALIDADE DE MIRTILO (*Vaccinium
corymbosum* L.) ‘BILOXI’ SOB CONDIÇÕES TROPICAIS DO
SUDESTE BRASILEIRO**

LARISSA SILVA RODRIGUES

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Biociências, Câmpus de Botucatu, UNESP, para obtenção do título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal, Interunidades entre o Instituto de Biociências do câmpus de Botucatu e Instituto de Biociências do câmpus de Rio Claro.

BOTUCATU – SP

2025



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA VEGETAL
(INTERUNIDADES)**

**ÁCIDO GIBERÉLICO (GA₃) E BENZILAMINOPURINA NA
FENOLOGIA REPRODUTIVA, CARACTERÍSTICAS
PRODUTIVAS E QUALIDADE DE MIRTILO (*Vaccinium
corymbosum* L.) ‘BILOXI’ SOB CONDIÇÕES TROPICAIS DO
SUDESTE BRASILEIRO**

LARISSA SILVA RODRIGUES

PROF^a DR^a GISELA FERREIRA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Biociências, Câmpus de Botucatu, UNESP, para obtenção do título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal, Interunidades entre o Instituto de Biociências do câmpus de Botucatu e Instituto de Biociências do câmpus de Rio Claro.

BOTUCATU – SP

2025



R696a

Rodrigues, Larissa Silva

Ácido giberélico (GA3) e benzilaminopurina na fenologia reprodutiva, características produtivas e qualidade de mirtilo (*Vaccinium corymbosum* L.) ‘Biloxi’ sob condições tropicais do sudeste brasileiro / Larissa Silva Rodrigues. -- Botucatu, 2025

117 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Botucatu

Orientadora: Gisela Ferreira

1. Reguladores vegetais. 2. *Vaccinium* spp. 3. Plasticidade fenológica reprodutiva. 4. Atividade antioxidante dos frutos. 5. Propriedades sensoriais dos frutos. I. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Ácido giberélico (GA_3) e benzilaminopurina na frutificação e qualidade de mirtilo (*Vaccinium corymbosum* L.) 'Biloxi'.

AUTORA: LARISSA SILVA RODRIGUES

ORIENTADORA: GISELA FERREIRA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Biologia Vegetal, pela Comissão Examinadora:

Prof.ª Dr.ª GISELA FERREIRA (Participação Virtual)
Departamento Biodiversidade e Bioestatística / Instituto de Biociências de Botucatu UNESP

Prof. Dr. EURICO EDUARDO PINTO DE LEMOS (Participação Virtual)
Centro de Engenharia e Ciências Agrárias / Universidade Federal de Alagoas - UFAL

Prof.ª Dr.ª ELIZABETH ORIKA ONO (Participação Virtual)
Departamento de Biodiversidade e Bioestatística / Instituto de Biociências de Botucatu UNESP

Botucatu, 28 de março de 2025

Documento assinado digitalmente
 FLÁVIA DANIELI MARTINS GODINHO
Data: 31/03/2025 10:07:55-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

FLÁVIA DANIELI MARTINS GODINHO
Assistente Técnico Administrativo I da Seção Técnica de Pós-Graduação
Instituto de Biociências de Botucatu – UNESP

Instituto de Biociências - Câmpus de Botucatu -
Professor Doutor Antonio Celso Wagner Zanin, 250, 13616889, Botucatu - São Paulo
<https://www.ibb.unesp.br/ensino/pos-graduacao/programas-abrigo-sena-a-biologia-vegetal/CNPJ:48031918002259>.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Instituto de Biociências – Câmpus de Botucatu/Rio Claro
Seção Técnica de Pós-Graduação



“O correr da vida embrulha tudo. A vida é assim: esquenta e esfria, aperta e daí afrouxa, sossega e depois desinquieta. O que ela quer da gente é coragem”.

Guimarães Rosa



Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil CAPES pela concessão da bolsa de Mestrado - Nº do processo: 88887.817604/2023-00.

À Profª Drª Gisela Ferreira, pelo carinho, orientação e por acreditar no meu trabalho.

Aos docentes, técnicos e funcionários do Departamento de Biodiversidade e Bioestatística do Instituto de Biociências da UNESP - Botucatu, por toda ajuda fornecida quando necessário. Aos funcionários da Seção de Pós-graduação, pelo auxílio no decorrer do curso.

À Deus por me conceder o dom da vida e me prover saúde, discernimento e sabedoria para realizar este sonho.

Aos meus pais, Isabel de Fátima Silva e Domiciano Rodrigues, que com muito amor e carinho sempre me apoiaram em cada decisão, fazendo o possível e o impossível para tornar cada dificuldade mais leve e cada pequena conquista mais valiosa. Ao meu namorado, melhor amigo e companheiro de todos os momentos, Murilo Sampaio Henrique, que enfrentou a distância e a saudade, sempre me incentivando e me encorajando a superar os meus limites e a nunca desistir. Amo vocês!

Ao meu amigo Edson Tadashi Savazaki pela grande amizade, por sempre acreditar no meu potencial, pelo carinho, pela paciência e principalmente pela dedicação com meu trabalho, afinal foram muitos e longos dias de avaliações e de coleta de dados a campo, muito perrengue, muito estresse, um sol para cada um, mas no final o que sempre importou foram as boas prozas e as muitas risadas. Sou grata a Deus por nossos caminhos terem se cruzado e por podermos compartilhar o mesmo amor e apreço pela agricultura. Você sempre me incentiva a ir de encontro aos meus sonhos e sem sua parceria nada disso seria possível, “tamo junto!”.

À amiga Angelita Dalle Luque que abriu as portas da sua casa e me recebeu de braços abertos durante estes dois anos, me apoiando, aconselhando e até mesmo puxando minha orelha quando preciso. Serei eternamente grata por sua generosidade, amizade e pelo seu jeitinho de me fazer se sentir em casa e acolhida. Sei que daqui em diante Botucatu sempre terá um espacinho para mim. Obrigada por tudo!

Ao pessoal da LifeBerry (Sítio Santa Elisa, Pongai-SP), em especial aos proprietários e sócios por dispor da área para a realização do experimento e aos funcionários e colegas Vitor, Vinícius e Josevaldo que não mediram esforços para que tudo ocorresse conforme o planejado.

Às amigas de Pós-graduação, Stephane Catarine Rosa Kim, Carolina Olive Mimi e Caroline Pardine Cardoso pela amizade e momentos inesquecíveis! Vocês tornaram tudo mais fácil e divertido. Jamais esquecerei dos ensinamentos e conselhos, das conversas e risadas



infinitas, dos perrengues das análises (foram dias e até madrugadas de plantão... sofrido, porém necessário). Vocês são mulheres incríveis e estarão para sempre em meu coração!

Aos amigos de Pós-graduação, Fernanda Vargens, Francisco Borges, Priscila Pegorin e Aline Sayuri pelo apoio sempre que necessário. A todos os colegas do Laboratório de Germinação que auxiliaram na realização deste trabalho.

RODRIGUES, L. S. **Ácido giberélico (GA₃) e benzilaminopurina na fenologia reprodutiva, características produtivas e qualidade de mirtilo (*Vaccinium corymbosum* L.) ‘Biloxi’ sob condições tropicais do sudeste brasileiro.** 2025. 117 p. DISSERTAÇÃO (MESTRADO) – INSTITUTO DE BIOCIÊNCIAS, UNESP – UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, BOTUCATU.

Resumo

Nas últimas décadas o mirtilheiro nativo de clima temperado tem sido introduzido em áreas não tradicionais, como os ambientes tropicais, o que tem induzido modificações em seu desenvolvimento. Em espécies frutíferas o fornecimento exógeno de ácido giberélico (GA₃) e benzilaminopurina (BA) podem provocar alterações na floração, aumentar a frutificação e a qualidade dos frutos, no entanto, estudos com o emprego destes reguladores vegetais no mirtilheiro são escassos. O objetivo desta pesquisa foi avaliar a plasticidade fenológica reprodutiva do mirtilheiro Southern Highbush (SHB) ‘Biloxi’ em ambiente de clima tropical com estação seca, no sudeste brasileiro, bem como avaliar se GA₃ e BA alteram a fenologia reprodutiva, as características produtivas e a qualidade de mirtilo. O experimento foi realizado no município de Pongai-SP com o fornecimento exógeno de GA₃ e BA em diferentes concentrações. A fenologia reprodutiva foi avaliada no período de 21 de abril a 17 de novembro de 2023, sendo analisadas a cronologia, duração, progressão e intensidade de cada estágio. Quanto as características produtivas e a qualidade avaliaram-se: produção (g) e número de frutos por planta, massa, diâmetros equatorial e polar, pH, sólidos solúveis ‘SS’, acidez titulável ‘AT’, açúcares solúveis, fenóis totais, flavonoides, antocianinas e atividade antioxidante dos frutos. Nas condições ambientais do estudo, o mirtilheiro SHB ‘Biloxi’ apresenta florescimento prolongado e maior período de incidência de frutos maduros, em comparação a regiões mais frias. O fornecimento exógeno de GA₃ e BA, com destaque para 25 mg L⁻¹ de GA₃ e a combinação de 25 mg L⁻¹ de GA₃ com 50 mg L⁻¹ de BA, estimulam a floração e a frutificação e o uso combinado de ambos a 100 mg L⁻¹ promove o incremento nas concentrações de açúcares solúveis, SS, fenóis totais, flavonoides, antocianinas e na atividade antioxidante dos frutos, melhorando suas características sensoriais e nutraceuticas. Conclui-se, portanto, que o mirtilheiro SHB ‘Biloxi’ sofre alterações em seu desenvolvimento reprodutivo quando submetido a ambiente de clima tropical com estação seca, no sudeste brasileiro, e que o fornecimento exógeno de GA₃ e BA altera a fenologia reprodutiva e a qualidade de mirtilo.

Palavras-chave: Reguladores vegetais. *Vaccinium* spp. Plasticidade fenológica reprodutiva. Atividade antioxidante dos frutos. Propriedades sensoriais dos frutos.

RODRIGUES, L. S. **Gibberellic acid (GA₃) and benzylaminopurine on reproductive phenology, productive characteristics and quality of blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) ‘Biloxi’ under tropical conditions of southeastern Brazil.** 2025. 117 p. DISSERTATION (MASTER) - INSTITUTE OF BIOSCIENCES, UNESP - SÃO PAULO STATE UNIVERSITY, BOTUCATU.

Abstract

In recent decades, the native temperate blueberry has been introduced into non-traditional areas, such as tropical environments, which has led to changes in its development. In fruit species, the exogenous supply of gibberellic acid (GA₃) and benzylaminopurine (BA) can cause changes in flowering, increase fruiting and fruit quality, however, studies on the use of these plant growth regulators in blueberries are scarce. The objective of this research was to evaluate the reproductive phenological plasticity of the Southern Highbush Blueberry (SHB) ‘Biloxi’ in a tropical climate environment with a dry season, in southeastern Brazil, as well as to evaluate whether GA₃ and BA alter the reproductive phenology, productive characteristics and quality of blueberry. The experiment was carried out in the municipality of Pongaí-SP with the exogenous supply of GA₃ and BA at different concentrations. The reproductive phenology was evaluated from April 21 to November 17, 2023, analyzing the chronology, duration, progression, and intensity of each stage. Regarding the productive characteristics and quality, the following were evaluated: production (g) and number of fruits per plant, mass, equatorial and polar diameters, pH, soluble solids ‘SS’, titratable acidity ‘TA’, soluble sugars, total phenols, flavonoids, anthocyanins, and antioxidant activity of the fruits. Under the environmental conditions of the study, the SHB blueberry ‘Biloxi’ presents prolonged flowering and a longer period of incidence of ripe fruits, compared to colder regions. The exogenous supply of GA₃ and BA, especially 25 mg L⁻¹ of GA₃ and the combination of 25 mg L⁻¹ of GA₃ with 50 mg L⁻¹ of BA, stimulate flowering and fruiting, and the combined use of both at 100 mg L⁻¹ promotes an increase in the concentrations of soluble sugars, SS, total phenols, flavonoids, anthocyanins and in the antioxidant activity of the fruits, improving their sensory and nutraceutical characteristics. Therefore, it is concluded that the SHB blueberry ‘Biloxi’ undergoes changes in its reproductive development when subjected to a tropical climate environment with a dry season, in southeastern Brazil, and that exogenous supply of GA₃ and BA alters the reproductive phenology and quality of blueberry.

Keywords: Plant growth regulators. *Vaccinium* spp. Reproductive phenological plasticity. Antioxidant activity of fruits. Sensory properties of fruits.



Sumário

1. Introdução geral.....	12
1.1. Referências	13
2. CAPÍTULO I: Revisão de literatura.....	17
2.1. A cultura do mirtilheiro	17
2.1.1. Origem, história e taxonomia	17
2.1.2. Morfologia	18
2.1.3. Fenologia	19
2.1.4. Panorama mundial do cultivo	23
2.1.5. Características dos frutos.....	24
2.1.6. Cultivo no Brasil.....	27
2.1.7. Cultivar ‘Biloxi’	29
2.2. Reguladores vegetais no desenvolvimento reprodutivo e na composição dos frutos... 30	
2.2.1. Giberelinas (GAs).....	31
2.2.2. Citocininas (CKs)	33
2.3. Referências	35
3. CAPÍTULO II: Plasticidade fenológica reprodutiva de mirtilheiro Southern Highbush ‘Biloxi’ em clima tropical do sudeste brasileiro com fornecimento exógeno de ácido giberélico (GA₃) e benzilaminopurina	55
Resumo	56
Abstract.....	57
3.1. Introdução	58
3.2. Material e métodos	60
3.3. Resultados.....	64
3.4. Discussão	72
3.5. Conclusões	75
3.6. Agradecimentos	76
3.7. Referências	76
	10



4. CAPÍTULO III: Ácido giberélico (GA₃) e benzilaminopurina alteram a frutificação, características físico-químicas e composição antioxidante de mirtilo (<i>Vaccinium corymbosum</i> L.) ‘Biloxi’	81
Resumo	82
Abstract	83
4.1. Introdução	83
4.2. Material e métodos	86
4.3. Resultados	92
4.4. Discussão	101
4.5. Conclusões	106
4.6. Agradecimentos	107
4.7. Referências	107
5. Considerações finais	117

1. Introdução geral

A família *Ericaceae*, gênero *Vaccinium*, compreende mais de 450 espécies (Tundis et al., 2021), incluindo os mirtilheiros que formam a seção *Cyanococcus* (Becker et al., 2024). Os mirtilheiros são arbustos frutíferos nativos da América do Norte que se desenvolvem naturalmente em locais de clima temperado (Fahrenkrog et al., 2022; Lyrene, 2006), apresentando ciclo biológico anual com alternância entre um período de dormência no outono-inverno e um período de crescimento ativo na primavera-verão (Tejos; Vargas; Sandoval, 2014). São divididos em três grupos principais: Highbush (*Vaccinium corymbosum* L.) subdividido em Northern Highbush (NHB) e Southern Highbush (SHB), Rabbiteye (*Vaccinium ashei* Reade, sinônimo *Vaccinium virgatum* Ait.) e Lowbush (*Vaccinium angustifolium* Ait.) (Song; Hancock, 2011).

O mirtilo é amplamente conhecido por seu sabor característico e, principalmente, pelos seus benefícios à saúde, atribuídos à elevada atividade antioxidante dos seus compostos bioativos (compostos fenólicos, especialmente flavonoides e antocianinas) (Duan et al., 2022; Guofang et al., 2019). Estas características tornaram o mirtilo popular nos últimos anos, aumentando sua demanda a nível mundial (Godara; Rubio Ames; Deltsidis, 2025).

A crescente demanda mundial pelo mirtilo associada aos esforços dos programas de melhoramento genético impulsionou sua difusão para diferentes regiões do globo, incluindo áreas não tradicionais como os ambientes tropicais (Retamales; Hancock, 2018). Nestas regiões, especificamente onde há baixa ou nenhuma ocorrência de frio, os mirtilheiros tem sofrido alterações em seu crescimento e reprodução, se desenvolvendo em sistema perene (“*evergreen*”) (Antunes; Bacchan, 2023; Fang et al., 2020; Lyrene, 2008). Nestas condições, as plantas não entram em dormência e não perdem suas folhas no outono-inverno, ocorrendo o prolongamento do florescimento e do período de ocorrência de frutos maduros, com a ocorrência simultânea e em diversos graus dos estádios fenológicos de floração e frutificação (Phillips; Williamson; Munoz, 2020; Scalzo; Wright; Boettiger, 2016; Swain; Darnell, 2001, 2002).

No Brasil, o mirtilheiro SHB ‘Biloxi’ é considerado um dos mais cultivados, predominantemente no interior de São Paulo, devido a capacidade de se desenvolver em regiões com ausência de frio hibernal (Antunes et al., 2022). Embora existam relatos de que em regiões de clima quente do país os mirtilheiros SHB se desenvolvam de forma perene, com florescimento prolongado (Cantuarias-Avilés et al., 2014), poucas informações estão disponíveis sobre a fenologia reprodutiva destas plantas (Medina et al., 2018), principalmente da cultivar ‘Biloxi’.

Os reguladores vegetais, como o ácido giberélico (GA₃) e a benzilaminopurina (BA), apresentam efeitos na floração e no aumento da frutificação, no tamanho e na qualidade dos frutos

em diferentes espécies frutíferas (Alrashdi et al., 2017; Aremu et al., 2020; Dos Santos et al., 2019; Hernández Rodríguez et al., 2024; Mosa et al., 2022; Wei et al., 2024).

Alguns poucos estudos sobre o uso dos reguladores vegetais GA₃ e BA têm sido conduzidos em mirtilheiro (Fujisawa; Kawai; Ishikawa, 2018; Hu et al., 2023; Milić et al., 2018; Pérez-León et al., 2023; Wang et al., 2023; Zang et al., 2016). Todavia, pesquisas que avaliem os efeitos do uso combinado destes reguladores vegetais em mirtilo ainda não foram avaliados.

O objetivo desta pesquisa foi avaliar a plasticidade fenológica reprodutiva do mirtilheiro SHB (*Vaccinium corymbosum* L.) ‘Biloxi’ em ambiente de clima tropical com estação seca, no sudeste brasileiro, bem como avaliar se os reguladores vegetais, GA₃ e BA, isolados e combinados, alteram a fenologia reprodutiva, as características produtivas e a qualidade de mirtilo.

1.1. Referências

ALRASHDI, A. M. A. et al. Quality, antioxidant compounds, antioxidant capacity and enzymes activity of ‘El-Bayadi’ table grapes at harvest as affected by preharvest salicylic acid and gibberellic acid spray. **Scientia Horticulturae**, v. 220, p. 243–249, jun. 2017.

ANTUNES, L. E. C. et al. **Produção brasileira de pequenas frutas: situação atual e perspectivas**. CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 27.; ENCONTRO NACIONAL SOBRE FRUTICULTURA DE CLIMA TEMPERADO, 17., 2022. **Anais...** Florianópolis: SBF: Epagri: UDESC: UFSC: Embrapa, 2022. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1152539/1/PequenasFrutas-anais2022b.pdf>>. Acesso em: 7 jun. 2023

ANTUNES, L. E. C.; BACCAN, R. **Cultivares de mirtilos para produção em vasos**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2023. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1152387/1/CIRCULAR-CPACT-236.pdf>>. Acesso em: 9 jan. 2025.

AREMU, A. O. et al. Applications of Cytokinins in Horticultural Fruit Crops: Trends and Future Prospects. **Biomolecules**, v. 10, n. 9, p. 1222, 22 ago. 2020.

BECKER, A. L. et al. A global blueberry phylogeny: Evolution, diversification, and biogeography of Vaccinieae (*Ericaceae*). **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v. 201, p. 108202, dez. 2024.

CANTUARIAS-AVILÉS, T. **Cultivo do Mirtileiro (*Vaccinium* sp.)**. Piracicaba, SP: ESALQ - Divisão de Biblioteca e Documentação (Série Produtor Rural, nº 48), 2010.

DOS SANTOS, R. C. et al. Atemoya fruit development and cytological aspects of GA₃-induced growth and parthenocarpy. **Protoplasma**, v. 256, n. 5, p. 1345–1360, 8 set. 2019.

DUAN, Y. et al. Blueberry fruit valorization and valuable constituents: A review. **International Journal of Food Microbiology**, v. 381, p. 109890, nov. 2022.

FAHRENKROG, A. M. et al. Chloroplast genome assemblies and comparative analyses of commercially important *Vaccinium* berry crops. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 21600, 14 dez. 2022.

FANG, Y. et al. A Review for Southern Highbush Blueberry Alternative Production Systems. **Agronomy**, v. 10, n. 10, p. 1531, 9 out. 2020.

FUJISAWA, H.; KAWAI, Y.; ISHIKAWA, K. Response of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum*) ‘Spartan’ to gibberellic acid and CPPU applied at various rates and timings. **Acta Horticulturae**, n. 1206, p. 183–188, jun. 2018.

GODARA, A.; RUBIO AMES, Z.; DELTSIDIS, A. Delayed Harvest Reduces Postharvest Quality and Storability of Southern Highbush cv. Meadowlark and Rabbit-eye Blueberry cv. Brightwell. **HortScience**, v. 60, n. 2, p. 182–190, fev. 2025.

GUOFANG, X. et al. Changes in phenolic profiles and antioxidant activity in rabbiteye blueberries during ripening. **International Journal of Food Properties**, v. 22, n. 1, p. 320–329, 4 jan. 2019.

HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ, A. et al. Bioprocess of Gibberellic Acid by *Fusarium fujikuroi*: The Challenge of Regulation, Raw Materials, and Product Yields. **Journal of Fungi**, v. 10, n. 6, p. 418, 12 jun. 2024.

HU, L. et al. Mechanisms of exogenous GA₃ induced inhibition of seed development in southern highbush blueberry (*Vaccinium darrowii*). **Scientia Horticulturae**, v. 322, p. 112430, dez. 2023.



LYRENE, P. M. Breeding Southern Highbush and Rabbiteye blueberries. **Acta Horticulturae**, n. 715, p. 29–36, ago. 2006.

LYRENE, P. M. ‘Emerald’ Southern Highbush Blueberry. **Hortscience**, v. 43, n. 5, p. 1606–1607, 2008.

MEDINA, R. B. et al. Performance of “Emerald” and “Jewel” blueberry cultivars under no-chill incidence. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 48, n. 2, p. 147–152, abr. 2018.

MILIĆ, B. et al. Bioregulators can improve fruit size, yield and plant growth of northern highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.). **Scientia Horticulturae**, v. 235, p. 214–220, maio 2018.

MOSA, W. F. A. et al. Preharvest Foliar Applications of Citric Acid, Gibberellic Acid and Humic Acid Improve Growth and Fruit Quality of ‘Le Conte’ Pear (*Pyrus communis* L.). **Horticulturae**, v. 8, n. 6, p. 507, 8 jun. 2022.

PÉREZ-LEÓN, M. I. et al. Effect of Glutamic Acid and 6-benzylaminopurine on Flower Bud Biostimulation, Fruit Quality and Antioxidant Activity in Blueberry. **Plants**, v. 12, n. 12, p. 2363, 18 jun. 2023.

PHILLIPS, D. A.; WILLIAMSON, J. G.; MUNOZ, P. R. **Evergreen Production System for Southern Highbush Blueberries in Florida**. Disponível em: <<https://edis.ifas.ufl.edu/publication/HS1362>>. Acesso em: 15 jan. 2025.

RETAMALES, J. B.; HANCOCK, J. F. **Crop Production Science in Horticulture: Blueberries**. 2. ed. Wallingford, Reino Unido: Cabi, 2018.

SCALZO, J.; WRIGHT, G.; BOETTIGER, S. Adaptability of blueberries to lower chill growing regions in Australia. **Acta Horticulturae**, n. 1117, p. 45–48, maio 2016.

SONG, G.-Q.; HANCOCK, J. F. *Vaccinium*. Em: **Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011. p. 197–221.



SWAIN, P. A. W.; DARNELL, R. L. Differences in Phenology and Reserve Carbohydrate Concentrations Between Dormant and Nondormant Production Systems in Southern Highbush Blueberry. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 126, n. 4, p. 386–393, jul. 2001.

SWAIN, P. A. W.; DARNELL, R. L. Production Systems Influence Source Limitations to Growth in ‘Sharpblue’ Southern Highbush Blueberry. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 127, n. 3, p. 409–414, maio 2002.

TEJOS, D. P.; VARGAS, P. A.; SANDOVAL, A. M. **Manual de Fertilizacion de Arándanos Cultivados en el Sur de Chile**. Valdivia, Chile: PROYECTO FIA-UACH PYT 2009-0080, 2014.

TUNDIS, R. et al. Vaccinium Species (*Ericaceae*): From Chemical Composition to Bio-Functional Activities. **Applied Sciences**, v. 11, n. 12, p. 5655, 18 jun. 2021.

WANG, X. et al. Elucidation of the mechanism underlying seedless blueberry formation after GA₃ treatment based on the phenotype, physiology, metabolism and transcriptome. **Scientia Horticulturae**, v. 311, p. 111781, mar. 2023.

WEI, Z. et al. Integrated physiological, hormonal and transcriptomic analyses reveal mechanisms of blackberry plants response to exogenous 6-benzylaminopurine. **Scientia Horticulturae**, v. 332, p. 113181, jun. 2024.

ZANG, Y.-X. et al. Effect of gibberellic acid application on plant growth attributes, return bloom, and fruit quality of rabbiteye blueberry. **Scientia Horticulturae**, v. 200, p. 13–18, mar. 2016.

2. CAPÍTULO I: Revisão de literatura

2.1. A cultura do mirtilheiro

2.1.1. Origem, história e taxonomia

O mirtilheiro (*Vaccinium* spp.) compreende um grupo de espécies frutíferas de clima temperado originárias da América do Norte que pertencem à família *Ericaceae* (Hancock; Draper, 1989) e gênero *Vaccinium* (seção *Cyanococcus*), com 9 a 24 espécies (Crowl et al., 2022).

Os mirtilos selvagens faziam parte da alimentação dos povos nativos da América do Norte desde a antiguidade, por acreditarem que apresentavam poderes curativos (Wood, 2004). A domesticação e as primeiras técnicas de propagação e cultivo das plantas foram iniciadas nos primórdios de 1900, nos Estados Unidos, através dos esforços de Frederick V. Coville e Elizabeth C. White (Mainland, 2012). Com o decorrer dos anos, o aumento do consumo de mirtilos desencadeou os processos de melhoramento genético, permitindo a introdução de novos cultivares mais resistentes, adaptados e produtivos (Madeira, 2016).

Nos últimos 100 anos, o mirtilo (“*blueberry*” em inglês e “*arándano*” em espanhol), tornou-se um dos alimentos considerados mais saudáveis para a alimentação humana, tendo seu cultivo expandido drasticamente no mundo, alcançando até mesmo regiões não tradicionais, de clima quente e seco (Fachinello, 2008; Lobos; Hancock, 2015).

Atualmente, as espécies de mirtilheiro predominantemente cultivadas são divididas em três grupos principais: Highbush (*Vaccinium corymbosum* L.), Rabbiteye (*Vaccinium ashei* Reade, sinônimo *Vaccinium virgatum* Ait.) e Lowbush (*Vaccinium angustifolium* Ait.) (Fahrenkrog et al., 2022; Wang et al., 2024). Os cultivares de Highbush são ainda separados em Northern Highbush (NHB) e Southern Highbush (SHB) a depender de suas exigências de frio e resistência ao inverno (Nishiyama et al., 2021).

O grupo Highbush é formado por plantas tetraploides de dois ou mais metros de altura (Galletta; Ballington, 1996). Os cultivares de NHB são adaptados à climas extremamente frios, com temperaturas de inverno abaixo de -20°C, se desenvolvendo bem em locais que apresentem de 800 a 1000 horas de frio hibernal (abaixo de 7°C) (Retamales; Hancock, 2018). Enquanto que os mirtilos SHB são híbridos complexos obtidos pelo cruzamento de *V. corymbosum* com espécies perenes de baixo requerimento de frio nativas do sudeste dos Estados Unidos, como *V. darrowii*, desenvolvidos para permitir a produção em regiões com invernos mais amenos (200 a 300 horas de frio hibernal) (Draper, 2007; Strik; Finn; Moore, 2014).

O grupo Rabbiteye é formado por plantas hexaploides adaptadas a regiões menos frias (cerca de 400-600 horas de frio abaixo de 7°C), devido a sua tolerância a temperaturas mais elevadas e à deficiência hídrica (Fachinello, 2008; Spiers; Draper, 1974).

O grupo Lowbush apresenta plantas de até meio metro de altura e com exigência de no mínimo 1000 horas de frio hibernal, pertencentes predominantemente a espécie *V. angustifolium*, mas também a *V. myrtilloides* e *V. boreale* (Childers; Lyrene, 2006; Retamales; Hancock, 2018).

Além disso, existem os cultivares classificados como Half-high que são híbridos oriundos de cruzamentos entre Highbush e Lowbush (Finn; Luby, 1992). Os mirtilheiros Half-high crescem de 0,9 a 1,2 metros de altura e são adequados para produção em locais extremamente frios onde outros grupos não se desenvolvem, uma vez que são capazes de tolerar temperaturas de até -43°C (Carpenedo; Raseira; Franzon, 2022).

Do ponto de vista econômico os cultivares de Highbush são os mais amplamente cultivados, devido a produção de frutos de maior qualidade para o consumo *in natura*, seguidos pelos cultivares de Rabbiteye (Rubio; Lena; Ara, 2018).

2.1.2. Morfologia

Os mirtilheiros são arbustos perenes, eretos ou rasteiros, de altura variável dependendo da espécie (0,3 a 7,0 m), podendo ultrapassar, em muitos casos, 50 anos de idade (Rubio; Lena; Ara, 2018). Embora existam algumas diferenças botânicas entre as espécies, normalmente as descrições referem-se a espécie *Vaccinium corymbosum*, por ser a mais amplamente cultivada (Buzeta, 1997).

O sistema radicular do mirtilheiro é denso e superficial composto, principalmente, por raízes finas e fibrosas, menores que 2,0 mm de diâmetro, que se concentram nos primeiros 20 a 40 cm do solo e são responsáveis pela absorção de água e nutrientes, juntamente com algumas raízes de suporte e armazenamento, mais grossas (11,0 mm de diâmetro), que podem alcançar até 80 cm de profundidade (Bryla; Strik, 2007; Gough, 1991). As raízes do mirtilheiro são caracterizadas pela ausência de pelos radiculares (Bryla; Valenzuela-Estrada; Vargas, 2017) e podem se desenvolver associadas a micorrizas, principalmente em espécies nativas (Jacobs; Davies; Kimbrough, 1982).

A estrutura da planta é formada por ramos principais que emergem de gemas oriundas da “coroa”, um caule reduzido, mais ou menos alargado, localizado na zona de transição entre o sistema radicular e a parte aérea (Madeira, 2016). Estes ramos, com o passar do tempo, se tornam lenhosos, de maior diâmetro, com casca de aparência áspera e coloração variando de

cinza a marrom claro (Rivadeneira, 2022). Existem ainda os ramos laterais que se formam a partir das gemas existentes nas axilas das folhas (ramificações) (Fonseca; Oliveira, 2007).

Os ramos maduros apresentam, junto a axila das folhas, gemas florais em seu terço final, próximo ao ápice e, gemas vegetativas no restante, em direção à sua base (Wichura et al., 2024). As gemas florais são grandes e arredondadas, enquanto as gemas vegetativas são menores, estreitas e pontiagudas, apresentando cerca de 4 mm de comprimento (Gough; Shutak, 1978).

As folhas são simples e se distribuem alternadamente no ramo, com bordas inteiras a serrilhadas, formato variando de ovalado a lanceolado, tamanho de 1,0 a 8,0 cm de comprimento e pilosidade na parte inferior (Muñoz, 1988). Apresentam coloração verde pálido a escuro e normalmente tornam-se avermelhadas no outono (Muñoz, 1988). A maioria das espécies são caducifólias, no entanto, novas cultivares com menor requerimento de frio podem apresentar comportamento perene, com persistência das folhas durante o inverno (Rivadeneira, 2022).

A inflorescência do mirtilheiro é axilar, do tipo racemo, composta por 8 a 16 flores completas (Antunes et al., 2013). As flores são pedunculadas, com ovário ínfero provido de 4 a 5 lóbulos, apresentam cálice com 5 sépalas curtas, corola de coloração branca ou rosada formada por 5 pétalas unidas e 10 estames cercando um estilete longo que se projeta ligeiramente da corola (Muñoz, 1988). Os grãos de pólen maduros se unem formando tétrades e são eliminados através de poros pareados localizados nas pontas tubulares das anteras (Fao, 2018; Lobos, 1988). Normalmente as gemas florais localizadas mais próximo ao ápice dos ramos formam racemos com maior número de flores (Retamales; Hancock, 2018).

O fruto é uma baga verdadeira e esférica que quando maduro apresenta coloração azulada característica, variando de clara a escura, com a superfície recoberta de cera (pruína) (Darnell, 2006). Medem de 10 a 30 mm de diâmetro, com massa de 0,5 a 4,0 g, apresentando de 20 a 100 sementes em seu interior, cuja quantidade está positivamente relacionada com o tamanho do fruto (Rubio; Lena; Ara, 2018).

2.1.3. Fenologia


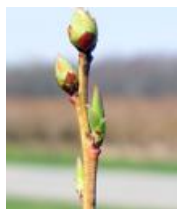
O mirtilheiro que se desenvolve em regiões temperadas apresenta ciclo biológico anual, alternando entre um período de dormência no outono-inverno e um período de crescimento ativo na primavera-verão. As raízes, a coroa, e os ramos principais de diferentes idades são considerados permanentes, estando presentes na planta durante todo o ano, enquanto que brotos, folhas, flores e frutos se desenvolvem apenas no período de crescimento ativo (Tejos; Vargas; Sandoval, 2014).

À medida que o fotoperíodo e as temperaturas diminuem no outono, as plantas entram em dormência e desfolham (Phillips; Williamson; Munoz, 2020). Após acumularem a quantidade de horas de frio necessárias durante o inverno, segundo as exigências específicas de cada espécie e cultivar, retomam seu crescimento vegetativo e reprodutivo na primavera (Lyrene; Williamson, 1969).

Com o aumento da temperatura na primavera, o desenvolvimento vegetativo é iniciado a partir do inchaço e abertura das gemas, perdurando até o final do verão ou início do outono (Pritts; Hancock; Strik, 1992). Os brotos emergem principalmente de gemas vegetativas presentes nos ramos maduros formados na última estação de crescimento (primavera-verão do ano anterior), mas também podem se originar da coroa ou de gemas dormentes localizadas próximo a base dos ramos mais velhos e, ainda, podem surgir de ramos jovens do ano, em resposta à poda verde ou como um hábito normal da cultivar (Banãdos; Donnay; Uribe, 2007).

O crescimento dos ramos ocorre de forma simpodial em fluxos rápidos, ou seja, crescem rapidamente e cessam seu desenvolvimento quando sua gema terminal aborta (“black tip”) desencadeando um novo fluxo de crescimento na gema adjacente ao ponto abortado (Gough, 1991; Wichura et al., 2024). Os ramos normalmente atingem de 15 a 50 centímetros de comprimento e cada um pode apresentar dois ou mais fluxos de crescimento por ano, dependendo das condições climáticas e da disponibilidade de água e nutrientes (Fonseca; Oliveira, 2007).

Quando o desenvolvimento vegetativo cessa, a partir da redução do fotoperíodo e das temperaturas, algumas gemas próximas ao ápice dos ramos, em número de 5 a 8, se diferenciam em gemas florais, prontas para o próximo ano (Queiroga et al., 2021). Os estádios fenológicos vegetativos estão descritos na figura 1.

ESTÁDIOS FENOLÓGICOS VEGETATIVOS				
Ponta verde precoce	Ponta verde tardia	Expansão do broto/ramo	Fim do crescimento do ramo	Formação de gemas florais
				
Gemas com escamas se separando nas pontas e tecido foliar emergindo (2 a 5 mm). Folhas enroladas.	Folhas iniciando o desdobramento. O tecido foliar torna-se mais visível (6 a 13 mm)	As folhas emergidas da gema se desdobraram e estão em expansão, dando início ao crescimento do broto/ramo.	A gema terminal morre e o crescimento do ramo cessa. Nenhuma outra folha emerge do ápice do ramo.	Após o completo desenvolvimento do ramo, as gemas florais são formadas em seu ápice, para o próximo ano.

ESTÁDIOS FENOLÓGICOS REPRODUTIVOS

Gema dormente ou fechada



Gemas fechadas sem sinais visíveis de crescimento.

Gema inchada



Gemas inchadas com escamas visíveis e separadas.

Gema aberta



Gemas se abrem e as pontas das flores se tornam visíveis.

Botões florais visíveis



Botões individuais fechados e distinguíveis.

Botões iniciais rosados



Flores parcialmente expandidas, mas fechadas. Corolas rosadas.

Botões finais rosados



Flores totalmente desenvolvidas e separadas. Corolas com cor branca e ainda fechadas.

Início do florescimento



Algumas corolas completamente expandidas e abertas.

Pleno florescimento



A maior parte das flores da planta estão abertas.

Queda das corolas



Fim da floração. Corolas vão caindo e revelando pequenos frutos verdes.

Fruto verde precoce



Frutos se expandindo, variando de grandes a pequenos do tamanho de ervilhas.

Fruto verde tardio



Crescimento mais lento dos frutos. Se tornam verde claro e podem desenvolver um rubor vermelho quando expostos.

Mudança de cor dos frutos



Os frutos maiores e mais velhos iniciam a mudança de cor de verde para rosa/azul e começam a amolecer.

10% dos frutos maduros



10% dos frutos estão maduros, prontos para serem colhidos.

25% dos frutos maduros



10% dos frutos estão maduros, prontos para serem colhidos.

75% dos frutos maduros



Os mirtilos são colhidos conforme amadurecem, portanto, este estágio pode não ser observado no campo.

Figura 1. Estádios fenológicos do mirtilheiro. Fonte: adaptada da escala fenológica do mirtilheiro da Universidade de Michigan - USA (MSU EXTENSION BLUEBERRIES, 2025).

O florescimento também se inicia na primavera, ocorrendo antes ou após o início do desenvolvimento vegetativo, de acordo com a espécie e a cultivar (Cantuarias-Avilés, 2010) e pode durar de 3 a 4 semanas dependendo da temperatura (Retamales; Hancock, 2018). A floração ocorre de forma basípeta nos ramos formados no ano anterior, iniciando-se na gema floral mais próxima do ápice e seguindo sequencialmente até a última gema floral, em direção a base (Kovaleski et al., 2015).

Após a antese das flores o estigma fica receptivo por cerca de 3 a 5 dias, período no qual ocorre a fertilização (Brevis; Nesmith; Wetzstein, 2006). Os ovários se desenvolvem e formam os frutos, que crescem por cerca de 2 a 3 meses até atingir a completa maturação (Fonseca; Oliveira, 2007). Os estádios fenológicos reprodutivos estão descritos na figura 1.

O crescimento do fruto é representado por uma curva sigmoide dupla, com 3 estádios de crescimento bem definidos (Edwards; Sherman; Sharpe, 1970). O primeiro estádio se inicia com a abscisão da corola e dos estames, escurecimento do estigma e em poucos dias a abscisão do estilete (Eck, 1989). Caracteriza-se por um período de rápido crescimento do pericarpo (divisão celular), com duração de 21 a 50 dias dependendo da espécie, da cultivar e da temperatura (Queiroga et al., 2021).

O segundo estádio é caracterizado por um atraso significativo no desenvolvimento do pericarpo, associado a um rápido crescimento do embrião e do endosperma (Gough, 1993). Pode durar de 18 a 27 dias, variando entre espécies e cultivares, sendo altamente influenciado pelo número de sementes formadas no interior do fruto (Edwards; Sherman; Sharpe, 1970).

No terceiro estádio, o fruto sofre um aumento rápido e expressivo em volume (expansão celular), definindo seu tamanho final e também amadurecem (Galletta; Ballington, 1996). Durante o processo de maturação o fruto amolece, as concentrações de açúcares e outros compostos solúveis aumentam, a acidez diminui, sua coloração passa de verde para azul devido à redução da concentração de clorofila e ao aumento do teor de antocianinas e, a respiração decresce lentamente (Sharpe; Darrow, 1959). Este último estádio pode durar entre 16 a 26 dias (Fonseca; Oliveira, 2007).

Os mirtilos amadurecem de forma irregular no ramo, resultando em um período de ocorrência de frutos maduros de 2 a 5 semanas (Milić et al., 2018; Suzuki; Kikuchi; Aoba, 1997).

Em regiões tropicais os cultivares de mirtilheiro adaptados, como aqueles pertencentes ao grupo SHB, se desenvolvem em sistema perene (“*evergreen*”), onde as plantas não entram em dormência e não perdem suas folhas durante o outono-inverno, apresentando bom desenvolvimento sob baixa ou nenhuma incidência de frio (Antunes; Baccan, 2023; Fang et al., 2020; Lyrene, 2008). A retenção das folhas estende a percepção de dias curtos e a iniciação do desenvolvimento das gemas florais e resulta no adiantamento e prolongamento da floração, com período mais longo de ocorrência de frutos maduros (Phillips; Williamson; Munoz, 2020; Swain; Darnell, 2001, 2002). Além disso, nos mirtilheiros perenes os estádios fenológicos de floração e frutificação podem ocorrer simultaneamente e em diversos graus (Scalzo; Wright; Boettiger, 2016).

As mudanças na distribuição e fenologia das plantas têm implicações importantes em fenômenos ecológicos e evolutivos, incluindo a interação entre espécies, estrutura da comunidade e conservação da biodiversidade (Bertin, 2008). Dessa forma, o conhecimento dos padrões fenológicos das plantas torna-se imprescindível para prever os impactos futuros na reprodução das espécies e em suas interações.

2.1.4. Panorama mundial do cultivo

O cultivo do mirtilo vem se expandindo significativamente no mundo nos últimos anos (figura 2). A área cultivada passou de 84,7 mil hectares em 2010 para 186,4 mil hectares em 2023, enquanto que a produção aumentou de 388.388 toneladas em 2010 para 1.220.665 toneladas em 2023, um crescimento de 214% no volume produzido em 13 anos (Fao, 2025).

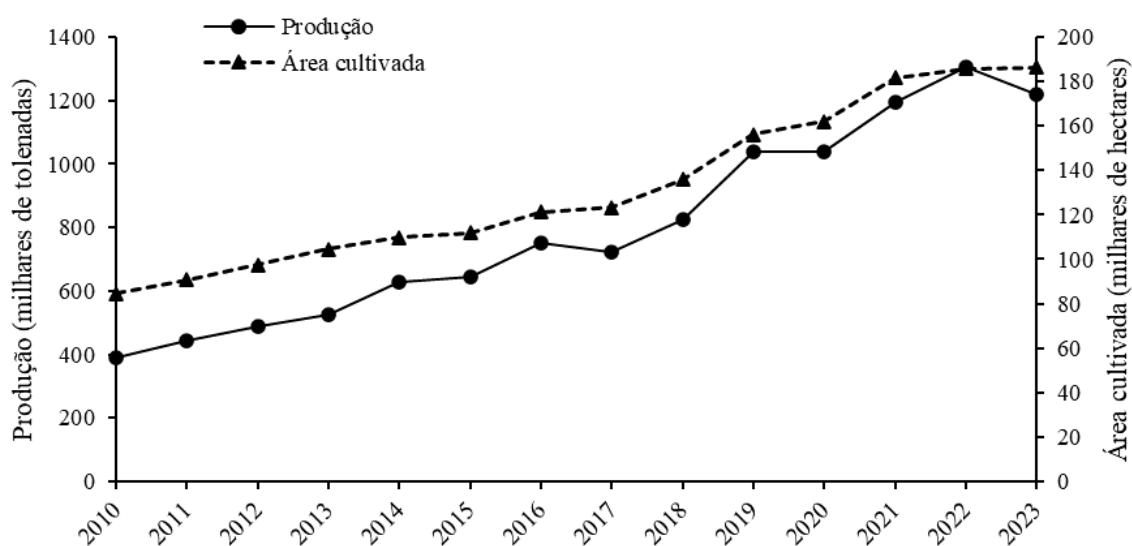


Figura 2. Produção (milhares de toneladas) e área cultivada (milhares de hectares) de mirtilo no mundo entre os anos de 2010 e 2023. Dados da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2025).

Segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (Fao, 2025) a produção mundial de mirtilo em 2023 foi dominada pelas Américas, representando 76,3% do total produzido, tendo como principal produtor os Estados Unidos com 333.660 toneladas (27,33% da produção mundial), seguido por Peru com 229.390 toneladas (18,79%), Canadá com 166.983 toneladas (13,68%), Chile com 121.459 toneladas (9,95%) e México com 80.133 toneladas (6,56%).

2.1.5. Características dos frutos

O interesse da população mundial pelo mirtilo tem aumentado expressivamente nos últimos anos, devido suas amplas e reconhecidas propriedades antioxidantes (Godara; Rubio Ames; Deltsidis, 2025), relacionadas a inúmeros benefícios à saúde, incluindo efeitos anticâncer (Das et al., 2022), anti-inflamatório (Huang et al., 2018), antiobesidade (Jiao et al., 2019; Wu et al., 2018) e a prevenção de doenças cardiovasculares (Wood et al., 2019) e diabetes (Tian et al., 2019).

Conhecido como “super fruto” e “rei dos frutos”, o mirtilo é considerado um dos cinco alimentos mais saudáveis para a alimentação humana, tendo sua elevada capacidade antioxidante atribuída a presença de compostos bioativos, como compostos fenólicos, principalmente, flavonoides e antocianinas (Beaulieu; Stein-chisholm; Boykin, 2014; Duan et al., 2022; Guofang et al., 2019; Spinardi et al., 2019).

a) Compostos fenólicos

Os compostos fenólicos são um grande grupo de metabólitos secundários das plantas, constituídos basicamente por anéis aromáticos associados a um ou mais grupos hidroxila, podendo variar de moléculas simples a compostos altamente polimerizados (Velderrain-Rodríguez et al., 2014). Apresentam papéis fundamentais na defesa e sobrevivência das plantas (Tsimogiannis; Oreopoulou, 2019), tendo sua síntese potencializada pela ocorrência de estresses bióticos e abióticos como infecção por patógenos, ataque de herbívoros, alta luminosidade, baixas temperaturas, deficiência de nutrientes, dentre outros fatores que elevam a produção de radicais livres e outras espécies oxidativas danosas ao metabolismo vegetal (Lattanzio, 2013).

A síntese destes compostos ocorre por duas vias básicas principais, a via do ácido chiquímico e a via do ácido malônico (Saini et al., 2024), sendo esta última de maior importância em fungos e bactérias e de menor expressão em plantas (Mandal; Chakraborty; Dey, 2010).

Na via do ácido chiquímico, o fosfoenolpiruvato obtido através da glicólise e a eritrose-4-fosfato proveniente da via da pentose-fosfato, produzem ácido chiquímico que, por sua vez, é precursor da síntese de aminoácidos aromáticos, incluindo a L-fenilalanina e a L-tirosina (Cheynier et al., 2013; Marchiosi et al., 2020). A partir da via fenilpropanóide, a enzima fenilalanina amônia-liase (PAL) catalisa a desaminação da L-fenilalanina resultando na formação de ácido trans-cinâmico (Saltveit, 2009), o que também ocorre a partir da desaminação da L-tirosina pela enzima tirosina amônia-liase (TAL), porém em menor

intensidade (Barros; Dixon, 2020). O ácido trans-cinâmico é um dos primeiros metabólitos fenólicos produzidos nas células vegetais, considerado precursor da biossíntese de uma ampla gama de compostos fenólicos (Zagoskina et al., 2023).

A classificação destes compostos é feita em função do número de anéis fenólicos e dos elementos estruturais que se ligam a esses anéis (Oliveira; Carvalho; Melo, 2014). Neste contexto, dois grupos principais têm sido adotados, o grupo dos não flavonoides, que compreendem os subgrupos: fenóis simples, ácidos benzóicos, taninos hidrolisáveis, acetofenonas, ácidos fenilacéticos, ácidos cinâmicos, cumarinas, benzofenonas, xantonas, estilbenos, chalconas, lignanas e secoiridóides e, o grupo dos flavonoides (Andrés-Lacueva et al., 2009).

Quanto aos benefícios à saúde humana, a ampla diversidade de compostos fenólicos e suas distintas características biológicas podem contribuir para a prevenção e combate de inúmeras doenças e apresentar efeitos antienvhecimento, anti-inflamatórios, antioxidantes e antiproliferativos, principalmente por sua capacidade potencial de reduzir, neutralizar ou reparar os danos resultantes do estresse oxidativo e de inflamações (Lin et al., 2016).

Nos mirtilos os compostos fenólicos são os componentes mais proeminentes, incluindo antocianinas, flavonoides, taninos hidrolisáveis (elagitaninos) e condensados (proantocianidinas), ácidos fenólicos e estilbenos (Ashique et al., 2024).

b) Flavonoides

Os flavonoides correspondem a mais da metade dos 8 mil compostos fenólicos existentes nas plantas (Balasundram; Sundram; Samman, 2006), com importantes funções na pigmentação, filtração de raios UV e fixação simbiótica de nitrogênio (Zhang et al., 2016).

A estrutura química comum dos flavonoides é composta por 15 carbonos arranjados em 2 anéis aromáticos conectados por uma ponte de 3 carbonos, que formam um heterociclo (anel C) (Manach et al., 2004). De acordo com o grau de oxidação (ou redução) do heterociclo, os flavonoides podem ser categorizados em distintos subgrupos: flavanonas, flavonas, isoflavonas, flavonóis, flavononóis, flavan-3-óis, antocianidinas e antocianinas (Shen et al., 2022; Stalikas, 2007). A substituição nos anéis aromáticos por meio de oxigenação, alquilação, glicosilação, acilação e sulfonação dá origem a diferentes compostos dentro de cada classe (Balasundram; Sundram; Samman, 2006; Pietta, 2000).

A partir do ácido trans-cinâmico, a via de síntese dos flavonoides envolve a atuação de inúmeras enzimas, incluindo cinamato-4-hidroxilase (C4H), cumarato CoA ligase (4CL), estilbeno sintase (STS), chalcona sintase (CHS), chalcona isomerase (CHI), flavona sintase (FNS), flavanona 3-hidroxilase (FH3), flavonóide 3'-hidroxilase (F3'H), flavonóide 3',5'-

hidroxilase (F3'5'H), flavonol sintase (FLS), diidroflavonol 4-redutase (DFR), leucoantocianidina redutase (LAR), antocianidina redutase (ANR), antocianina sintase (ANS), leucoantocianidina dioxigenase (LDOX), uridina difosfato-glicose:flavonóide 3-O-glicosiltransferase (UFGT), O-metil transferase (OMT) (Guo; Hu; Wang, 2023; Jaakola, 2013; Koltun et al., 2022).

Os flavonoides presentes no mirtilo incluem, principalmente, flavonóis (miricetina, quercetina e kaempferol) (Chirumbolo, 2014; Häkkinen et al., 1999), flavan-3-óis (epicatequina, catequina e galato de epigallocatequina) (Tanaka et al., 2002) e antocianinas (Ashique et al., 2024).

c) Antocianinas

As antocianinas (das palavras gregas *anthos*, flor e *kianos*, azul escuro) são o maior grupo de pigmentos solúveis em água que ocorrem na maioria das plantas vasculares, com mais de 635 tipos identificados, responsáveis pelos tons de azul, roxo, vermelho e rosa observados normalmente em folhas, flores, frutos, sementes e tubérculos (Alappat; Alappat, 2020; He; Giusti, 2010; Horbowicz et al., 2008; Mazza, 2018).

Estes pigmentos são compostos fenólicos pertencentes ao grupo dos flavonoides, sintetizados pelas plantas durante o metabolismo secundário pela via fenilpropanóide (Chen et al., 2025; Mattioli et al., 2020). A molécula da antocianina é constituída basicamente por duas ou três porções, uma aglicona (antocianidina), um grupo de açúcares e um grupo de ácidos orgânicos (Welch; Wu; Simon, 2008). Podem apresentar diferentes formas estruturais e assumir cores distintas a depender de fatores como temperatura, pH e possíveis ligações com outros produtos químicos (Galvão et al., 2020).

Entre as antocianinas monoméricas de ocorrência natural mais frequentes, encontram-se: delphinidina (azul-avermelhado ou roxo), cianidina (roxo-avermelhado, magenta), petunidina (vermelho escuro ou roxo), pelargonidina (laranja a vermelho), peonidina (roxo-avermelhado, magenta) e malvidina (roxo) (De Pascual-Teresa; Sanchez-Ballesta, 2008; Khoo et al., 2017).

Nas plantas, as antocianinas desempenham papel essencial na polinização, por atrair animais e insetos e, ainda, fornecer proteção contra o estresse pelo frio e contra os danos induzidos por raios UV (Ahmed et al., 2015; Mattioli et al., 2020). Além dos papéis fisiológicos nos vegetais, as antocianinas são antioxidantes dietéticos naturais que fornecem proteção contra os efeitos nocivos do estresse oxidativo no corpo humano (Ullah et al., 2019), auxiliando na prevenção de certos tipos de câncer, doenças cardiovasculares e outros distúrbios crônicos (Zhang; Butelli; Martin, 2014).

O mirtilo apresenta a maior concentração de antocianinas entre todas as frutas e vegetais, que é um dos principais contribuintes para sua elevada capacidade antioxidante, tornando-se

fator chave de influência em sua importância econômica (Ashique et al., 2024; Guo; Hu; Wang, 2023). As principais antocianinas presentes no mirtilo incluem malvidina, cianidina, petunidina, paeonidina e delphinidina (Wang; Lan; Chen, 2024), estando concentradas principalmente na casca dos frutos, conferindo-lhes a cor azul quando maduros (Lin et al., 2018; Wei et al., 2023).

Além da preferência dos consumidores por frutos com alta concentração de compostos bioativos, que são benéficos à saúde (Sandoval-Ramírez et al., 2018; Wei et al., 2023), ainda existem outros fatores que influenciam no momento da escolha do mirtilo, principalmente aqueles relacionados aos padrões visuais e sensoriais, incluindo tamanho, massa, concentrações de açúcares, sólidos solúveis, acidez e valor de pH (Zhang et al., 2023).

O tamanho dos frutos de mirtilo tem sido relatado como uma das principais características de aceitabilidade pelos consumidores, com frutos maiores sendo preferidos em relação aos menores (Saftner et al., 2008). Esta característica normalmente é avaliada por meio da quantificação dos diâmetros equatorial e polar dos frutos (Lopes et al., 2024; Pérez-León et al., 2023) e correlaciona-se proporcionalmente com a massa (Hirzel, 2023).

As mensurações das concentrações de açúcares e sólidos solúveis são comumente realizadas para indicar a doçura dos frutos (Kaplan et al., 2018; Zhang et al., 2020), enquanto que a acidez titulável e o pH são mensurados para determinar a acidez (Tyl; Sadler, 2017). A acidez e a doçura desempenham papéis cruciais na aceitação dos frutos de mirtilo, onde baixa e alta preferência dos consumidores estão correlacionadas com alta acidez e alta doçura, respectivamente (Gilbert et al., 2015; Oh et al., 2025). A acidez do mirtilo é representada principalmente pela concentração de ácido cítrico, considerado o ácido orgânico de maior concentração nos frutos, enquanto a doçura é determinada pelas concentrações de glicose e frutose (Ayaz et al., 2001).

Os padrões de qualidade estabelecidos na literatura para os frutos de mirtilo indicam tamanho acima de 10 mm (diâmetro equatorial), concentração de sólidos solúveis acima de 10%, acidez (ácido cítrico) de 0,3 a 1,3%, e valores de pH entre 2,25 a 4,25 (Beaudry, 1992).

2.1.6. Cultivo no Brasil

O interesse no cultivo do mirtilheiro por países da América do Sul, como o Brasil, surgiu frente a uma oportunidade de negócio, uma vez que as condições climáticas nestas regiões permitem a produção de frutos entre setembro e abril, coincidindo com a entressafra do Hemisfério Norte que, neste período, importam grandes quantidades de mirtilos (Bañados, 2009; Brazelton; Strik, 2007; Strik, 2005).

No Brasil, os primeiros experimentos com o mirtilheiro datam de 1983, sendo realizados pela Embrapa Clima Temperado no Estado do Rio Grande do Sul, município de Pelotas, através da introdução de cultivares do grupo Rabbiteye, consideradas de baixa exigência em frio hibernal (‘Powderblue’, ‘Briteblue’, ‘Bluegem’, ‘Aliceblue’, ‘Woodard’, ‘Bluebelle’, ‘Clímax’, ‘Delite’ e ‘Florida’) (Antunes; Raseira, 2006).

O cultivo comercial da cultura no país foi iniciado em 1990 no município de Vacaria-RS. A partir da década de 2000 expandiu-se para regiões com menor incidência de frio, ainda no Sul, com a introdução de cultivares do grupo SHB, como ‘Misty’ e ‘O’Neal’, por apresentarem menor exigência em frio hibernal em relação as cultivares de Rabbiteye (Antunes; Pagot, 2016; Cantuarias-Avilés et al., 2014).

Durante alguns anos o cultivo do mirtilheiro ficou restrito à região Sul do país, por apresentarem condições climáticas propícias ao seu desenvolvimento. Em 2010, cultivares de SHB com requerimentos de frio ainda menores (‘Emerald’, ‘Jewel’, ‘Primadonna’ e ‘Snowchaser’), desenvolvidas pela Universidade da Flórida, foram introduzidas no país pela empresa Viveiros Sunnyridge, permitindo a difusão do cultivo para regiões de clima quente, incluindo os Estados de São Paulo, Minas Gerais, Pernambuco e Bahia (Cantuarias-Avilés et al., 2014).

Mais recentemente, o interesse pela cultura do mirtilheiro no país aumentou com o estabelecimento da cultivar ‘Biloxi’, também do grupo SHB, caracterizado pela capacidade de se desenvolver em regiões com ausência de frio hibernal, como Brasília-DF, Estado de São Paulo (municípios de Piracicaba, Campinas e Reginópolis) (Antunes et al., 2022) e Goiás-GO (Favatto et al., 2024).

A produção de mirtilos no Brasil ocorre normalmente uma vez por ano, concentrada entre os meses de novembro e fevereiro na região Sul, e entre os meses de outubro e novembro na região sudeste (Cantuarias-Avilés, 2010). No Estado de São Paulo, vem sendo observada floração entre os meses de maio a outubro, com período de ocorrência de frutos maduros de agosto a janeiro (Medina et al., 2018).

No ano de 2006 havia no país cerca de 100 hectares cultivados com mirtilheiro (Pagot, 2006), passando para aproximadamente 400 hectares em 2014 (Cantuarias-Avilés et al., 2014). Em 2016, a produção da cultura estava estimada em cerca de 300 toneladas, concentradas, especialmente, nos Estados do Rio Grande do Sul, Paraná, Santa Catarina, Minas Gerais e São Paulo (Antunes; Pagot, 2016).

Atualmente, há grande dificuldade em se obter dados concretos sobre a área cultivada e a produção de mirtilos no país, pois a maioria dos plantios são realizados em pequenas áreas e os frutos são, muitas vezes, comercializados em mercados locais ou nos próprios

estabelecimentos rurais, *in natura* ou processados, não havendo a computação oficial dos dados como é feito quando a produção passa pelos Centros Estaduais de Abastecimento (Ceasa) ou pelo mercado formal (Carpenedo; Raseira; Franzon, 2022).

Os dados mais recentes de área cultivada e produção de mirtilos no país datam de 2023 e referem-se apenas ao Rio Grande do Sul, disponibilizados pela Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER - Ascar) por meio de levantamento que demonstrou a produção de 358 toneladas no Estado, em uma área de aproximadamente 74,41 hectares distribuídos em 69 unidades produtivas, nos municípios de Vacaria, Pelotas, Jaguarão, Caxias do Sul, Encruzilhada do Sul, São Francisco de Paula, Erval Grande, Capão Bonito do Sul, Farroupilha e Ipê, sem contabilizar as áreas de cultivo cuja produção é comercializada localmente como aquelas existentes nos municípios de Ibirubá, Colorado, Soledade e Erechim, por exemplo (Ghenó et al., 2024; Leite et al., 2023).

Quanto ao consumo de mirtilos no Brasil, indicativos mostram que o interesse dos brasileiros pelos frutos tem aumentado nos últimos anos. De acordo com dados oficiais fornecidos pela Conab, o volume comercializado de mirtilos no país apresentou incremento expressivo de 370% nos últimos 4 anos, passando de 148 toneladas em 2020 para 697 toneladas em 2024, com aproximadamente 55% do total comercializado produzido no próprio país, e 45% oriundos de importações (Conab, 2025). Considerando que todo o volume comercializado seja consumido, estima-se que o consumo anual de mirtilo no país seja de aproximadamente 3,4 gramas/pessoa/ano, valor considerado muito baixo quando comparado com outros países produtores como os Estados Unidos (1,5 a 1,8 kg/pessoa/ano), Europa (0,5 a 0,8 kg/pessoa/ano) e China (0,2 a 0,4 kg/pessoa/ano) (Goulart, 2024).

Dessa forma, pode-se inferir que embora o cultivo e o consumo de mirtilo no Brasil ainda sejam incipientes, apresentam alto potencial de crescimento. Dentre os fatores que têm impulsionado a expansão do cultivo no país ao longo dos anos, além da introdução de cultivares adaptados, são: a crescente demanda mundial e nacional pelos frutos, os preços atrativos dos frutos *in natura*, a proximidade do país aos mercados europeus, a disponibilidade de água e de áreas aptas ao cultivo, a possibilidade da produção em recipientes (contêineres, vasos ou sacos plásticos) e da extensão do período de produção através do cultivo em sistema perene ou “*evergreen*” (Antunes; Baccan, 2023; Cantuarias-Avilés, 2010; Conab, 2025).

2.1.7. Cultivar ‘Biloxi’

O mirtilheiro ‘Biloxi’ é uma cultivar tetraploide do grupo SHB resultante do cruzamento entre ‘Sharpeblue’ e ‘US329’ (Figura 3), desenvolvida e lançada em 1998 pelos Programas de

melhoramento do Serviço de Pesquisa Agrícola do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, em Beltsville e Poplarville, visando inicialmente o cultivo nas planícies costeiras do sudeste do país (Spiers et al., 2002).

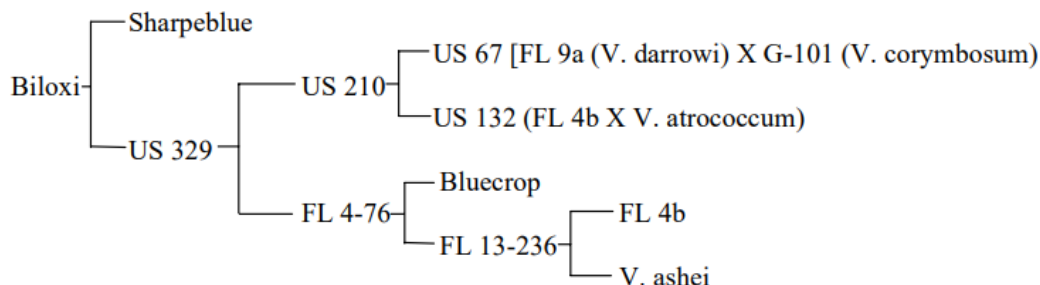


Figura 3. Genealogia do mirtilheiro cultivar ‘Biloxi’ (SPIERS et al., 2002).

As plantas de ‘Biloxi’ apresentam hábito de crescimento arbustivo, com alto vigor e produtividade, adaptadas a regiões sem frio, onde podem ser cultivadas totalmente de forma perene, não se desenvolvendo bem em áreas com resfriamento acima de 150 horas (Fall Creek Nursery, 2025).

Os frutos são bagas de tamanho pequeno a médio, com apenas uma cicatriz média, e são azulados, muito firmes e bem aromatizados (Retamales; Hancock, 2018). A maturação dos frutos ocorre cedo e os padrões estabelecidos de qualidade indicam valores médios de massa de 1,47 g, concentração de sólidos solúveis de 13,4%, pH de 3,2 e acidez titulável de 0,97% (Spiers et al., 2002).

Informações recentes de Antunes e Baccan (2023) indicam que no Brasil, a cultivar ‘Biloxi’ é considerada uma das mais cultivadas, predominantemente no interior de São Paulo, com frutos apresentando massa média de 1,20 g, diâmetro médio de 13,1 mm e teor de sólidos solúveis de 14,4%, sendo considerados de baixo calibre e mais doces em relação aos frutos de outros cultivares estabelecidos no país, como ‘Emerald’ que apresentam massa média de 4,20 g, diâmetro médio de 21,8 mm e teor de sólidos solúveis de 11,2%.

2.2. Reguladores vegetais no desenvolvimento reprodutivo e na composição dos frutos

Os reguladores vegetais são compostos orgânicos naturais ou sintéticos que imitam os papéis dos hormônios vegetais no controle de vários processos de crescimento e desenvolvimento (Nesmith, 2005). Quando utilizados em baixas concentrações, podem afetar inúmeros processos fisiológicos nas plantas (Rademacher, 2015).

Desde a década de 1940, os reguladores vegetais têm sido amplamente empregados com o intuito de modificar e controlar os processos de desenvolvimento das plantas, desde a

germinação até o crescimento vegetativo, desenvolvimento reprodutivo, maturidade e senescência (Basra, 2000). Estes compostos atuam no metabolismo vegetal por meio de diversos mecanismos e sua atividade depende da concentração utilizada, dos fatores ambientais e do estágio fenológico da planta (Rostami; Azhdarpoor, 2019).

Existem cinco classes bem estabelecidas de reguladores vegetais, denominadas auxinas, giberelinas (GAs), citocininas (CKs), ácido abscísico (ABA) e etileno (Gaspar et al., 1996). Mais recentemente, outros compostos também estão sendo reconhecidos como os brassinosteroides (BR), ácido salicílico (SA), estrigolactonas (SL) e jasmonatos (Schmidt et al., 2024). Cada um destes reguladores vegetais está associado a características e respostas fisiológicas específicas da planta (Castro-Camba et al., 2022).

2.2.1. Giberelinas (GAs)

As GAs incluem um grande grupo de ácidos carboxílicos diterpenoides (Hedden, 2020), sendo primeiramente descobertas e isoladas do fungo patogênico *Gibberella fujikuroi* (reclassificado como *Fusarium fujikuro*), do qual deriva seu nome (Hedden; Sponsel, 2015). Embora tenham sido encontradas mais de 130 GAs em plantas, bactérias e fungos, apenas quatro, GA₁, GA₃, GA₄ e GA₇, apresentam propriedades bioativas como hormônios vegetais (Pal et al., 2023).

Nas plantas, as GAs regulam os principais processos vitais, incluindo a floração e a frutificação (Binenbaum; Weinstain; Shani, 2018). Atuam no desenvolvimento das flores (Hassankhah et al., 2018), sendo necessárias para a formação de pétalas, estames e pólen (Hartweck, 2008). Após a polinização, as GAs endógenas ativam o ciclo celular das células do ovário, induzindo a formação e o estabelecimento do fruto (Vignati et al., 2024). Durante a fase inicial de desenvolvimento do fruto, atuam na regulação da divisão e expansão celular, estimulando o crescimento (Fenn; Giovannoni, 2021).

Dentre as GAs, o ácido giberélico (GA₃) é considerado um dos principais reguladores vegetais amplamente estudados e empregados de modo exógeno em espécies frutíferas, com efeitos no florescimento, aumento da frutificação, tamanho e outras características de qualidade dos frutos (Hernández Rodríguez et al., 2024).

A aplicação de GA₃ pode alterar o padrão de floração e frutificação das plantas. O tratamento com GA₃ exógeno em plantas de *Rubus* spp., anteriormente à floração, adiantou as datas de início da abertura de gemas florais, do florescimento e da maturação dos frutos (Lin; Agehara, 2020a), além disso provocou aumento na abertura de gemas florais e no número de flores e frutos (Lin; Agehara, 2020b). Em *Annona squamosa* a aplicação foliar de GA₃ durante

a floração, resultou em maior retenção de frutos (Samant et al., 2025). Em mirtilheiro (*V. ashei*) foi observado atraso na floração, aumento na incidência de flores e atraso na maturação dos frutos com o uso de GA₃ em pré-florescimento (Zang et al., 2016). Ainda nesta espécie, a aplicação de GA₃ em diferentes estádios reprodutivos, desde a abertura das gemas florais até o início da frutificação, resultou em maior retenção de frutos e prolongou o período de desenvolvimento dos frutos (Nesmith, 2005; Nesmith; Krewer, 1997).

Quanto ao aumento no tamanho dos frutos, o GA₃ apresenta diversos mecanismos de ação. Em *Annona squamosa* L.×*Annona cherimola* o GA₃ exógeno na floração ocasionou aumento no comprimento, diâmetro e massa fresca dos frutos, principalmente por atuar em sinergismo com as GAs endógenas na fase inicial de desenvolvimento, estimulando a divisão e a expansão das células do mesocarpo através do aumento na atividade metabólica (Dos Santos et al., 2019). Nas plantas de *Vitis vinifera* o GA₃ exógeno na floração regulou positivamente genes diferencialmente expressos (DEGs) envolvidos na expansão e crescimento dos frutos, contribuindo para o aumento do tamanho das bagas (Wang et al., 2017).

No mirtilheiro (*V. ashei*) o aumento na massa e diâmetro dos frutos pela ação de GA₃ exógeno na floração foi atribuído ao aumento nas concentrações endógenas de auxina, ácido carboxílico 1-aminociclopropano e zeatina, indicando que a divisão celular foi mais ativa, e também atribuído ao atraso no amadurecimento dos frutos, que proporcionou maior tempo de crescimento da polpa (Wang et al., 2023). Estudos apontam que o GA₃ pode reduzir a sensibilidade do fruto ao etileno, fazendo com que exija concentrações mais altas deste hormônio vegetal para atingir a maturidade, retardando sua maturação (Hu et al., 2023).

O incremento no número e tamanho das células pela ação de GA₃ exógeno transforma o fruto em dreno mais forte e, conseqüentemente, resulta em uma maior assimilação de metabólitos de reserva (Dos Santos et al., 2019), proporcionando maior translocação e acúmulo de açúcares nos frutos maduros (Li et al., 2024; Patel et al., 2017). Outro relato aponta que o GA₃ regula positivamente a expressão de genes relacionados ao metabolismo do amido e da sacarose, tornando mais rápida a conversão destes carboidratos em açúcares solúveis (Yang et al., 2024). Estas respostas confirmam os efeitos de GA₃ exógeno no aumento das concentrações de açúcares solúveis e sólidos solúveis nos frutos de diferentes espécies frutíferas, resultando no aumento da qualidade sensorial (Ahmed et al., 2012; Anjum, 2020; Mosa et al., 2022). Em mirtilheiro (*V. corymbosum*), somente o incremento na concentração de sólidos solúveis dos frutos foi observado a partir do fornecimento de GA₃ (Sun et al., 2013).

O aumento na aquisição e no acúmulo de açúcares pelos frutos pode resultar em uma maior concentração de metabólitos secundários, como aminoácidos, antocianinas e outros

compostos fenólicos, tendo em vista que os açúcares podem ser direcionados para a síntese desses compostos (Murcia et al., 2017). Em *Vitis vinifera* o aumento nas concentrações de açúcares nos frutos provocado pelo GA₃ exógeno promoveu a síntese e acúmulo de antocianinas (Dong et al., 2023).

O incremento nas concentrações de compostos fenólicos nos frutos pela ação do GA₃ também foi observado através de outros mecanismos. Em *Fragaria* × *ananassa* o GA₃ exógeno elevou a atividade das enzimas PAL e TAL, resultando em maior concentração de antocianinas (Montero et al., 1998). Em *Vitis vinifera* o GA₃ regulou a expressão de genes relacionados a biossíntese de fenóis, flavonoides e antocianinas (*PAL7*, *4CL*, *C4H*, *CHS*, *CHI*, *F3'H*, *F3H* e *LDOX*), promovendo o incremento destes compostos nos frutos (Dong et al., 2023).

As concentrações de compostos fenólicos estão correlacionadas positivamente com a atividade antioxidante dos frutos (Ehlenfeldt; Prior, 2001; Lee et al., 2014; Li et al., 2017) e por sua capacidade de eliminação de radicais livres (Alam et al., 2021). Neste contexto, estudos mostram aumento simultâneo nas concentrações de fenóis totais e flavonoides e na atividade antioxidante mediante o emprego de GA₃ exógeno em *Malus domestica* (Zahid et al., 2024) e *Rubus* spp. (Çolak, 2018). No mirtilheiro (*V. ashei*), a aplicação de GA₃ resultou em frutos com maior atividade antioxidante (Zang et al., 2016).

2.2.2. Citocininas (CKs)

As CKs naturais são oriundas de adeninas que carregam uma cadeia lateral derivada de isopreno ou uma cadeia lateral aromática no terminal N6, denominadas Cks isoprenoides ou CKs aromáticas (Agudelo-Morales et al., 2021). As CKs isoprenoides são mais comumente encontradas em plantas, sendo elas: N6-(Δ^2 -isopentenil)adenina (iP), *trans*-zeatina (tZ), *cis*-zeatina (cZ) e dihidrozeatina (DZ) (Kamada-Nobusada; Sakakibara, 2009).

Nas plantas, as CKs estão envolvidas em quase todos os aspectos do crescimento e desenvolvimento (Feng et al., 2017). Influenciam a diferenciação floral (Kinet; Lejeune; Bernier, 1993) e desempenham papéis fundamentais durante os estádios de desenvolvimento das flores, atuando na formação de diferentes tecidos do gineceu, incluindo o carpelo e o gametófito feminino (Wybouw; De Rybel, 2019). Na frutificação, as CKs são essenciais durante o desenvolvimento do fruto, regulando a divisão celular do pericarpo e interagindo com auxinas e giberelinas na regulação da espessura do pericarpo e do tamanho dos frutos (Gan et al., 2022).

O regulador vegetal benzilaminopurina (BA), também denominado 6-benziladenina, é uma citocinina sintética desenvolvida a partir de purinas (Gan et al., 2022), que quando

utilizado de forma exógena apresentam efeitos na floração (Aremu et al., 2020), aumento da frutificação, tamanho e qualidade dos frutos (Wei et al., 2024).

A aplicação de BA em mirtilheiro (*V. corymbosum*), em pré-floração, resultou em aumento na incidência de gemas florais (Pérez-león et al., 2023). Nas plantas de *Malus domestica*, a BA exógena no florescimento promoveu a formação de gemas florais (Li et al., 2016b).

No mirtilheiro (*V. corymbosum*) o incremento na frutificação e no tamanho dos frutos (massa e diâmetro) foi observado quando a BA exógena foi empregada no final da floração (Milić et al., 2018). A obtenção de frutos de maior tamanho em função da BA exógena utilizada em flores de *Citrus reticulata* × *C. sinensis* foi atribuída ao aumento do número e do tamanho das células durante o primeiro estágio de crescimento do fruto (Ferrer et al., 2017).

Assim como o GA₃, a BA apresenta efeitos comprovados no aumento da concentração de açúcares e sólidos solúveis nos frutos (Dong et al., 2022). Isto ocorre pois o tratamento com citocinina exógena regula o metabolismo de citocinina endógena nos frutos e, conseqüentemente, aumenta a atividade de absorção através da regulação de enzimas sucrolíticas, permitindo uma maior aquisição de fotoassimilados (Li et al., 2016a, 2024). Além disso, evidências apontam que as citocininas podem induzir a uma maior atividade de transportadores de açúcares e invertases (Jáuregui-riquelme et al., 2017). No mirtilheiro não foram encontrados estudos que demonstrem os efeitos de BA nas concentrações de açúcares solúveis.

O aumento na atividade da enzima PAL pela ação de BA exógena resultou em maiores concentrações de compostos fenólicos em mirtilo (*V. corymbosum*) (Pérez-león et al., 2023) e *Litchi chinensis* (Zhang et al., 2018). Além disso, o tratamento com BA em *Fragaria vesca* regulou positivamente a expressão de genes relacionados a biossíntese de antocianinas (*PAL6*, *CHS*, *MYB1* e *MYB10*), aumentando sua concentração nos frutos (Dong et al., 2022).

Ressalta-se que o uso de citocininas exógenas em combinação com outros reguladores vegetais também podem afetar a frutificação e a qualidade dos frutos (Aremu et al., 2020). Em plantas de *Malus domestica* o tratamento exógeno em plena floração com a BA isolada ou combinada com a giberelina GA₄₊₇ resultou em frutos com maior massa e diâmetro (Marchioretto et al., 2019). Em *Vitis vinifera* o uso da citocinina sintética forchlorfenuron, conhecida como CPPU, em combinação com GA₃ no início da frutificação elevou a produção por planta, a massa e o diâmetro dos frutos (Xu et al., 2019). O uso combinado de BA com a giberelina GA₄₊₇ elevou as concentrações de açúcares e sólidos solúveis nos frutos de *Prunus avium* (Canli; Pektas; Ercisli, 2015). Quando se refere aos efeitos combinados de GA₃ e BA no mirtilo, não foi possível encontrar estudos até o momento.

2.3. Referências

AGUDELO-MORALES, C. E. et al. Phytohormones and Plant Growth Regulators - A Review. **Journal of Science with Technological Applications**, v. 10, p. 27–65, maio 2021.

AHMED, N. U. et al. Anthocyanin biosynthesis for cold and freezing stress tolerance and desirable color in *Brassica rapa*. **Functional & Integrative Genomics**, v. 15, n. 4, p. 383–394, 12 jul. 2015.

AHMED, W. et al. Comparative Evaluation of Plant Growth Regulators for Preventing Premature Fruit Drop and Improving Fruit Quality Parameters in ‘Dusehri’ Mango. **International Journal of Fruit Science**, v. 12, n. 4, p. 372–389, out. 2012.

ALAM, MD. A. et al. Potential health benefits of anthocyanins in oxidative stress related disorders. **Phytochemistry Reviews**, v. 20, n. 4, p. 705–749, 8 ago. 2021.

ALAPPAT, B.; ALAPPAT, J. Anthocyanin Pigments: Beyond Aesthetics. **Molecules**, v. 25, n. 23, p. 5500, 24 nov. 2020.

ANDRÉS-LACUEVA, C. et al. Phenolic Compounds: Chemistry and Occurrence in Fruits and Vegetables. Em: DE LA ROSA, L. A.; ALVAREZ-PARRILLA, E.; GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A. (Eds.). **Fruit and Vegetable Phytochemicals: chemistry, nutritional value and stability**. Ames, IA, USA: Wiley, 2009. p. 53–88.

ANJUM, N. Effect of gibberellic acid on berry yield and quality attributes of grapes cv. sultanina. **Pure and Applied Biology**, v. 9, n. 2, 10 jun. 2020.

ANTUNES, L. E. C. et al. A cultura do mirtilheiro. Em: KRETZSCHMAR, A. A.; RUFATO, L.; PELIZZA, T. R. (Eds.). **Pequenas frutas**. Florianópolis: UDESC, 2013. p. 15–51.

ANTUNES, L. E. C. et al. **Produção brasileira de pequenas frutas: situação atual e perspectivas**. CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 27.; ENCONTRO NACIONAL SOBRE FRUTICULTURA DE CLIMA TEMPERADO, 17., 2022. **Anais...** Florianópolis: SBF: Epagri: UDESC: UFSC: Embrapa, 2022. Disponível em:

<<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1152539/1/PequenasFrutas-anais2022b.pdf>>. Acesso em: 7 jun. 2023

ANTUNES, L. E. C.; BACCAN, R. **Cultivares de mirtilos para produção em vasos**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2023. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1152387/1/CIRCULAR-CPACT-236.pdf>>. Acesso em: 9 jan. 2025.

ANTUNES, L. E. C.; PAGOT, E. Produção de Mirtilo. Em: RUFATO, A. D. R.; ANTUNES, L. E. C. (Eds.). **Técnicas de Produção de Framboesa e Mirtilo**. 1. ed. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2016. p. 35–39.

ANTUNES, L. E. C.; RASEIRA, M. DO C. B. **Cultivo do mirtilo (*Vaccinium* spp)**. 1. ed. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2006.

AREMU, A. O. et al. Applications of Cytokinins in Horticultural Fruit Crops: Trends and Future Prospects. **Biomolecules**, v. 10, n. 9, p. 1222, 22 ago. 2020.

ASHIQUE, S. et al. Blueberries in focus: Exploring the phytochemical potentials and therapeutic applications. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 18, p. 101300, dez. 2024.

AYAZ, F. A. et al. Effect of fruit maturation on sugar and organic acid composition in two blueberries (*Vaccinium arctostaphylos* and *V. myrtillus*) native to Turkey. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, v. 29, n. 2, p. 137–141, jun. 2001.

BALASUNDRAM, N.; SUNDRAM, K.; SAMMAN, S. Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. **Food Chemistry**, v. 99, n. 1, p. 191–203, jan. 2006.

BAÑADOS, M. P. Expanding blueberry production into non-traditional production areas: northern Chile and Argentina, Mexico and Spain. **Acta Horticulturae**, n. 810, p. 439–445, mar. 2009.

BANÁDOS, P.; DONNAY, D.; URIBE, P. Poda en verde en arándanos. **Revista Agronómica Forestal**, p. 16–19, 2007.



BARROS, J.; DIXON, R. A. Plant Phenylalanine/Tyrosine Ammonia-lyases. **Trends in Plant Science**, v. 25, n. 1, p. 66–79, jan. 2020.

BASRA, A. S. **Plant growth regulators in agriculture and horticulture: their role and commercial uses**. Binghamton, NY: The Haworth Press, Inc., 2000.

BEAUDRY, R. Blueberry quality characteristics and how they can be optimized. **Annual Report of the Michigan State Horticultural Society**, v. 122, p. 140–145, 1992.

BEAULIEU, J. C.; STEIN-CHISHOLM, R. E.; BOYKIN, D. L. Qualitative Analysis of Volatiles in Rabbiteye Blueberry Cultivars at Various Maturities Using Rapid Solid-phase Microextraction. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 139, n. 2, p. 167–177, mar. 2014.

BERTIN, R. I. Plant Phenology And Distribution In Relation To Recent Climate Change. **The Journal of the Torrey Botanical Society**, v. 135, n. 1, p. 126–146, jan. 2008.

BINENBAUM, J.; WEINSTAIN, R.; SHANI, E. Gibberellin Localization and Transport in Plants. **Trends in Plant Science**, v. 23, n. 5, p. 410–421, maio 2018.

BRAZELTON, D.; STRIK, B. C. Perspective on the U.S. and global blueberry industry. **Journal of American Pomological Society**, v. 61, p. 144–147, 2007.

BREVIS, P. A.; NESMITH, D. S.; WETZSTEIN, H. Y. Flower Age Affects Fruit Set and Stigmatic Receptivity in Rabbiteye Blueberry. **HortScience**, v. 41, n. 7, p. 1537–1540, dez. 2006.

BRYLA, D. R.; STRIK, B. C. Effects of Cultivar and Plant Spacing on the Seasonal Water Requirements of Highbush Blueberry. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 132, n. 2, p. 270–277, mar. 2007.

BRYLA, D. R.; VALENZUELA-ESTRADA, L. R.; VARGAS, O. L. Root production, distribution, and turnover in conventional and organic northern highbush blueberry systems. **Acta Horticulturae**, n. 1180, p. 169–176, nov. 2017.

BUZETA, A. **Chile: Berries para el 2000**. Santiago: Fundación Chile, 1997.

CANLI, F. A.; PEKTAS, M.; ERCISLI, S. Benzyladenine and Gibberellin Applications Improve Fruit Weight and Delay Maturity of Sweet Cherry. **Erwerbs-Obstbau**, v. 57, n. 2, p. 71–75, 3 jun. 2015.

CANTUARIAS-AVILÉS, T. **Cultivo do Mirtilheiro (*Vaccinium* sp.)**. Piracicaba, SP: ESALQ - Divisão de Biblioteca e Documentação (Série Produtor Rural, nº 48), 2010.

CANTUARIAS-AVILÉS, T. et al. Cultivo do mirtilo: atualizações e desempenho inicial de variedades de baixa exigência em frio no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. 1, p. 139–147, mar. 2014.

CARPENEDO, S.; RASEIRA, M. DO C. B.; FRANZON, R. C. **Importância e Perspectivas para a Cultura do Mirtilo no Brasil**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2022. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1148420/1/CPACT-DOCUMENTOS-526.pdf>>. Acesso em: 9 jan. 2025.

CASTRO-CAMBA, R. et al. Plant Development and Crop Yield: The Role of Gibberellins. **Plants**, v. 11, n. 19, p. 2650, 9 out. 2022.

CHEN, Y. et al. Interactions between anthocyanins and gut microbiota in promoting healthy aging. **Journal of Future Foods**, v. 5, n. 3, p. 229–238, maio 2025.

CHEYNIER, V. et al. Plant phenolics: Recent advances on their biosynthesis, genetics, and ecophysiology. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 72, p. 1–20, nov. 2013.

CHILDERS, N. F.; LYRENE, P. M. **Blueberries for growers, gardeners, promoters**. Florida: E. O. Painter, 2006.

CHIRUMBOLO, S. Dietary Assumption of Plant Polyphenols and Prevention of Allergy. **Current Pharmaceutical Design**, v. 20, n. 6, p. 811–839, 31 fev. 2014.

ÇOLAK, A. M. Effect of melatonin and gibberellic acid foliar application on the yield and quality of Jumbo blackberry species. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 25, n. 6, p. 1242–1246, set. 2018.



CONAB. **PROHORT – SIMAB**. Disponível em: <<https://dw.ceasa.gov.br/>>. Acesso em: 14 jan. 2025.

CROWL, A. A. et al. A first complete phylogenomic hypothesis for diploid blueberries (*Vaccinium* section *Cyanococcus*). **American Journal of Botany**, v. 109, n. 10, p. 1596–1606, 17 out. 2022.

DARNELL, R. L. Blueberry botany/environmental physiology. Em: CHILDERS, N. F.; LYRENE, P. M. (Eds.). **Blueberries for growers, gardeners, promoters**. Florida: E.O.Painter Printing Company, 2006. p. 5–13.

DAS, P. R. et al. Diversity in blueberry genotypes and developmental stages enables discrepancy in the bioactive compounds, metabolites, and cytotoxicity. **Food Chemistry**, v. 374, p. 131632, abr. 2022.

DE PASCUAL-TERESA, S.; SANCHEZ-BALLESTA, M. T. Anthocyanins: from plant to health. **Phytochemistry Reviews**, v. 7, n. 2, p. 281–299, 31 jul. 2008.

DONG, Y. et al. Effects of exogenous KT and BA on fruit quality in strawberry (*Fragaria vesca*). **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 97, n. 2, p. 236–243, 4 mar. 2022.

DONG, Y. et al. Transcriptomic analysis reveals GA₃ is involved in regulating flavonoid metabolism in grape development for facility cultivation. **Molecular Genetics and Genomics**, v. 298, n. 4, p. 845–855, 18 jul. 2023.

DOS SANTOS, R. C. et al. Atemoya fruit development and cytological aspects of GA₃-induced growth and parthenocarpy. **Protoplasma**, v. 256, n. 5, p. 1345–1360, 8 set. 2019.

DRAPER, A. Blueberry Breeding: Improving the Unwild Blueberry. **Journal of the American Pomological Society**, v. 61, n. 3, p. 140–143, 2007.

ECK, P. **Blueberry Science**. New Brunswick: Rutgers Univ. Press, 1989.



EDWARDS, T. W.; SHERMAN, W. B.; SHARPE, R. H. Fruit Development in Short and Long Cycle Blueberries1. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 5, n. 4, p. 274–275, ago. 1970.

EHLENFELDT, M. K.; PRIOR, R. L. Oxygen Radical Absorbance Capacity (ORAC) and Phenolic and Anthocyanin Concentrations in Fruit and Leaf Tissues of Highbush Blueberry. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 49, n. 5, p. 2222–2227, 1 maio 2001.

FACHINELLO, J. C. Mirtilo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 2, jun. 2008.

FAHRENKROG, A. M. et al. Chloroplast genome assemblies and comparative analyses of commercially important *Vaccinium* berry crops. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 21600, 14 dez. 2022.

FALL CREEK NURSERY. **Biloxi**. Disponível em: <<https://www.fallcreeknursery.com/commercial-fruit-growers/varieties/biloxi>>. Acesso em: 10 jan. 2025.

FANG, Y. et al. A Review for Southern Highbush Blueberry Alternative Production Systems. **Agronomy**, v. 10, n. 10, p. 1531, 9 out. 2020.

FAO. **The pollination of cultivated plants: a compendium for practitioners**. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2018. v. 1

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) Statistics Division**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#home>>. Acesso em: 4 fev. 2025.

FAVATTO, F. M. et al. Caracterização física e química de mirtilos ‘Biloxi’ orgânicos cultivados no centro-oeste. Em: MELO, J. O. F. et al. (Eds.). **Árvores, Plantas e Frutos do Cerrado: aplicações e possibilidades**. Guarujá-SP: Editora Científica Digital, 2024. p. 257–275.

FENG, J. et al. Cytokinins. Em: LI, J.; LI, C.; SMITH, S. M. (Eds.). **Hormone Metabolism and Signaling in Plants**. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier, 2017. p. 77–106.



FENN, M. A.; GIOVANNONI, J. J. Phytohormones in fruit development and maturation. **The Plant Journal**, v. 105, n. 2, p. 446–458, 12 jan. 2021.

FERRER, C. et al. Increase in final fruit size of tangor (*Citrus reticulata* × *C. sinensis*) cv W. Murcott by application of benzyladenine to flowers. **Scientia Horticulturae**, v. 223, p. 38–43, set. 2017.

FINN, C. E.; LUBY, J. J. Inheritance of Fruit Quality Traits in Blueberry. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 117, n. 4, p. 617–621, jul. 1992.

FONSECA, L. L. DA; OLIVEIRA, P. B. DE. **A planta de mirtilo: morfologia e fisiologia**. Portugal: Projecto PO AGRO DE&D nº 556 - Diversificação da produção frutícola com novas espécies e tecnologias que assegurem a qualidade agro-alimentar, 2007.

GALLETTA, G. J.; BALLINGTON, J. R. Blueberry, cranberries, and lingonberries. Em: JANICK, J.; MOORE, J. N. (Eds.). **Fruit breeding: vine and small fruits**. New York: Willey & Sons, 1996. p. 1–108.

GALVÃO, A. C. et al. Capacity of solutions involving organic acids in the extraction of the anthocyanins present in jabuticaba skins (*Myrciaria cauliflora*) and red cabbage leaves (*Brassica oleracea*). **Journal of Food Science and Technology**, v. 57, n. 11, p. 3995–4002, 15 nov. 2020.

GAN, L. et al. Cytokinins are involved in regulation of tomato pericarp thickness and fruit size. **Horticulture Research**, v. 9, 5 jan. 2022.

GASPAR, T. et al. Plant hormones and plant growth regulators in plant tissue culture. **In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant**, v. 32, n. 4, p. 272–289, out. 1996.

GHENO, G. C. et al. Produção de mirtilos no Rio Grande do Sul: um mercado em potencial para a agricultura familiar. Em: SILVA, L. F. DA; JESUS, F. L. F. DE; CRUSOÉ, J. M. S. (Eds.). **Agricultural sciences unveiled: exploring the dynamics of farming and sustainability 2**. Ponta Grossa-PR: Atena Editora, 2024. p. 119–135.

GILBERT, J. L. et al. Identifying Breeding Priorities for Blueberry Flavor Using Biochemical, Sensory, and Genotype by Environment Analyses. **PLOS ONE**, v. 10, n. 9, p. e0138494, 17 set. 2015.

GODARA, A.; RUBIO AMES, Z.; DELTSIDIS, A. Delayed Harvest Reduces Postharvest Quality and Storability of Southern Highbush cv. Meadowlark and Rabbiteye Blueberry cv. Brightwell. **HortScience**, v. 60, n. 2, p. 182–190, fev. 2025.

GOUGH, R. E. **The Highbush Blueberry and Its Management**. Binghamton, NY: Food Production Press, The Haworth Press, Inc., 1991.

GOUGH, R. E. **The Highbush Blueberry and Its Management**. Binghamton, NY: Food Production Press, The Haworth Press, Inc., 1993.

GOUGH, R. E.; SHUTAK, V. G. **Anatomy and morphology of cultivated highbush blueberry**. US: Rhode Island Agricultural Experiment Station Technical Bulletin No. 423., 1978.

GOULART, C. E. S. **Cultivo de Mirtilo no Distrito Federal**. Brasília: EMATER-DF, 2024. Disponível em: <https://www.emater.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/06/AGROEMATER_No4.2024_MIRTILO.pdf>. Acesso em: 8 jan. 2025.

GUO, X. L.; HU, J. B.; WANG, D. L. Effect of Light Intensity on Blueberry Fruit Coloration, Anthocyanin Synthesis Pathway Enzyme Activity, and Gene Expression. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 70, n. 6, p. 136, 13 dez. 2023.

GUOFANG, X. et al. Changes in phenolic profiles and antioxidant activity in rabbiteye blueberries during ripening. **International Journal of Food Properties**, v. 22, n. 1, p. 320–329, 4 jan. 2019.

HÄKKINEN, S. et al. Screening of selected flavonoids and phenolic acids in 19 berries. **Food Research International**, v. 32, n. 5, p. 345–353, jun. 1999.

HANCOCK, J. F.; DRAPER, A. D. Blueberry Culture in North America. **HortScience**, v. 24, n. 4, p. 551–556, ago. 1989.



HARTWECK, L. M. Gibberellin signaling. **Planta**, v. 229, n. 1, p. 1–13, 21 dez. 2008.

HASSANKHAH, A. et al. Flower Development in Walnut: Altering the Flowering Pattern by Gibberellic Acid Application. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 46, n. 2, p. 700–706, 4 abr. 2018.

HE, J.; GIUSTI, M. M. Anthocyanins: Natural Colorants with Health-Promoting Properties. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 1, n. 1, p. 163–187, 1 abr. 2010.

HEDDEN, P. The Current Status of Research on Gibberellin Biosynthesis. **Plant and Cell Physiology**, v. 61, n. 11, p. 1832–1849, 23 nov. 2020.

HEDDEN, P.; SPONSEL, V. A Century of Gibberellin Research. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 34, n. 4, p. 740–760, 13 dez. 2015.

HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ, A. et al. Bioprocess of Gibberellic Acid by *Fusarium fujikuroi*: The Challenge of Regulation, Raw Materials, and Product Yields. **Journal of Fungi**, v. 10, n. 6, p. 418, 12 jun. 2024.

HIRZEL, J. Can the Firmness, Weight, and Size of Blueberry Fruit Be Enhanced through the Application of Low Amounts of Calcium to the Soil? **Plants**, v. 13, n. 1, p. 1, 19 dez. 2023.

HORBOWICZ, M. et al. Anthocyanins of Fruits and Vegetables - Their Occurrence, Analysis and Role in Human Nutrition. **Journal of Fruit and Ornamental Plant Research**, v. 68, n. 1, p. 5–22, 1 jan. 2008.

HU, L. et al. Mechanisms of exogenous GA₃-induced inhibition of seed development in southern highbush blueberry (*Vaccinium darrowii*). **Scientia Horticulturae**, v. 322, p. 112430, dez. 2023.

HUANG, W. et al. Antioxidant and Anti-Inflammatory Effects of Blueberry Anthocyanins on High Glucose-Induced Human Retinal Capillary Endothelial Cells. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity**, v. 2018, p. 1–10, 2018.

JAAKOLA, L. New insights into the regulation of anthocyanin biosynthesis in fruits. **Trends in Plant Science**, v. 18, n. 9, p. 477–483, set. 2013.

JACOBS, L. A.; DAVIES, F. S.; KIMBROUGH, J. M. Mycorrhizal distribution in Florida rabbiteye blueberries. **HortScience**, v. 17, p. 951–953, 1982.

JÁUREGUI-RIQUELME, F. et al. Pre-anthesis CPPU Treatment Modifies Quality and Susceptibility to Post-harvest Berry Cracking of *Vitis vinifera* cv. ‘Thompson Seedless’. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 36, n. 2, p. 413–423, 21 jun. 2017.

JIAO, X. et al. Blueberry polyphenols extract as a potential prebiotic with anti-obesity effects on C57BL/6 J mice by modulating the gut microbiota. **The Journal of Nutritional Biochemistry**, v. 64, p. 88–100, fev. 2019.

KAMADA-NOBUSADA, T.; SAKAKIBARA, H. Molecular basis for cytokinin biosynthesis. **Phytochemistry**, v. 70, n. 4, p. 444–449, mar. 2009.

KAPŁAN, M. et al. Effect of Gibberellic Acid (GA₃) Inflorescence Application on Content of Bioactive Compounds and Antioxidant Potential of Grape (*Vitis* L.) ‘Einset Seedless’ Berries. **South African Journal of Enology & Viticulture**, v. 40, n. 1, out. 2018.

KHOO, H. E. et al. Anthocyanidins and anthocyanins: colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. **Food & Nutrition Research**, v. 61, n. 1, p. 1361779, 13 jan. 2017.

KINET, J. M.; LEJEUNE, P.; BERNIER, G. Shoot-root interactions during floral transition: A possible role for cytokinins. **Environmental and Experimental Botany**, v. 33, n. 4, p. 459–469, out. 1993.

KOŁTON, A. et al. Biosynthesis Regulation of Foliates and Phenols in Plants. **Scientia Horticulturae**, v. 291, p. 110561, jan. 2022.

KOVALESKI, A. P. et al. Inflorescence Bud Initiation, Development, and Bloom in Two Southern Highbush Blueberry Cultivars. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 140, n. 1, p. 38–44, jan. 2015.



LATTANZIO, V. Phenolic Compounds: Introduction. Em: **Natural Products**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013. p. 1543–1580.

LEE, S. et al. Correlation between Species-Specific Metabolite Profiles and Bioactivities of Blueberries (*Vaccinium* spp.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 62, n. 9, p. 2126–2133, 5 mar. 2014.

LEITE, E. et al. **Agropecuária Gaúcha 2023**. Disponível em: <<https://www.agricultura.rs.gov.br/upload/arquivos/202308/30084432-ebook-rag-2023.pdf>>. Acesso em: 7 jan. 2025.

LI, D. et al. Polyphenols, anthocyanins, and flavonoids contents and the antioxidant capacity of various cultivars of highbush and half-high blueberries. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 62, p. 84–93, set. 2017.

LI, L. et al. Proteomic Response and Quality Maintenance in Postharvest Fruit of Strawberry (*Fragaria × ananassa*) to Exogenous Cytokinin. **Scientific Reports**, v. 6, n. 1, p. 27094, 1 jun. 2016a.

LI, X. et al. Effects of Gibberellic Acid on Soluble Sugar Content, Organic Acid Composition, Endogenous Hormone Levels, and Carbon Sink Strength in Shine Muscat Grapes during Berry Development Stage. **Horticulturae**, v. 10, n. 4, p. 346, 30 mar. 2024.

LI, Y. et al. Effect of exogenous 6-benzylaminopurine (6-BA) on branch type, floral induction and initiation, and related gene expression in ‘Fuji’ apple (*Malus domestica* Borkh). **Plant Growth Regulation**, v. 79, n. 1, p. 65–70, 20 maio 2016b.

LIN, D. et al. An Overview of Plant Phenolic Compounds and Their Importance in Human Nutrition and Management of Type 2 Diabetes. **Molecules**, v. 21, n. 10, p. 1374, 15 out. 2016.

LIN, S.-Y.; AGEHARA, S. Exogenous Gibberellic Acid Advances Reproductive Phenology and Increases Early-Season Yield in Subtropical Blackberry Production. **Agronomy**, v. 10, n. 9, p. 1317, 3 set. 2020a.



LIN, S.-Y.; AGEHARA, S. Exogenous Gibberellic Acid and Cytokinin Effects on Budbreak, Flowering, and Yield of Blackberry Grown under Subtropical Climatic Conditions. **HortScience**, v. 55, n. 12, p. 1938–1945, dez. 2020b.

LIN, Y. et al. Comparative transcriptome analysis of genes involved in anthocyanin synthesis in blueberry. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 127, p. 561–572, jun. 2018.

LOBOS, G. A.; HANCOCK, J. F. Breeding blueberries for a changing global environment: a review. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, 30 set. 2015.

LOBOS, W. **Seminario: El cultivo del arándano**. Temuco, Chile: INIA - Estación Experimental Carillanca, 1988.

LOPES, T. et al. *Ecklonia maxima* and Glycine–Betaine–Based Biostimulants Improve Blueberry Yield and Quality. **Horticulturae**, v. 10, n. 9, p. 920, 29 ago. 2024.

LYRENE, P. M. ‘Emerald’ Southern Highbush Blueberry. **Hortscience**, v. 43, n. 5, p. 1606–1607, 2008.

LYRENE, P. M.; WILLIAMSON, J. G. Protecting Blueberries from Freezes in Florida. **EDIS**, v. 2004, n. 7, 31 dez. 1969.

MADEIRA, B. S. P. **Cultura do Mirtilo**. 1. ed. Porto: Publindústria, 2016.

MAINLAND, C. M. “MIKE”. Frederick V. Coville and the History of North American Highbush Blueberry Culture. **International Journal of Fruit Science**, v. 12, n. 1–3, p. 4–13, jan. 2012.

MANACH, C. et al. Polyphenols: food sources and bioavailability. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 79, n. 5, p. 727–747, maio 2004.

MANDAL, S. M.; CHAKRABORTY, D.; DEY, S. Phenolic acids act as signaling molecules in plant-microbe symbioses. **Plant Signaling & Behavior**, v. 5, n. 4, p. 359–368, 31 abr. 2010.



MARCHIORETTO, L. D. R. et al. Efficacy and mode of action of blossom thinners on ‘Fuji More’ apple trees. **Scientia Horticulturae**, v. 246, p. 634–642, fev. 2019.

MARCHIOSI, R. et al. Biosynthesis and metabolic actions of simple phenolic acids in plants. **Phytochemistry Reviews**, v. 19, n. 4, p. 865–906, 7 ago. 2020.

MATTIOLI, R. et al. Anthocyanins: A Comprehensive Review of Their Chemical Properties and Health Effects on Cardiovascular and Neurodegenerative Diseases. **Molecules**, v. 25, n. 17, p. 3809, 21 ago. 2020.

MAZZA, G. **Anthocyanins in Fruits, Vegetables, and Grains**. Boca Raton, FL: CRC Press, 2018.

MEDINA, R. B. et al. Performance of “Emerald” and “Jewel” blueberry cultivars under no-chill incidence. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 48, n. 2, p. 147–152, abr. 2018.

MILIĆ, B. et al. Bioregulators can improve fruit size, yield and plant growth of northern highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.). **Scientia Horticulturae**, v. 235, p. 214–220, maio 2018.

MONTERO, T. et al. Effects of gibberellic acid (GA₃) on strawberry PAL (phenylalanine ammonia-lyase) and TAL (tyrosine ammonia-lyase) enzyme activities. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 77, n. 2, p. 230–234, jun. 1998.

MOSA, W. F. A. et al. Preharvest Foliar Applications of Citric Acid, Gibberellic Acid and Humic Acid Improve Growth and Fruit Quality of ‘Le Conte’ Pear (*Pyrus communis* L.). **Horticulturae**, v. 8, n. 6, p. 507, 8 jun. 2022.

MSU EXTENSION BLUEBERRIES. **Growth Stages - blueberry**. Disponível em: <https://www.canr.msu.edu/blueberries/growing_blueberries/growth-stages>. Acesso em: 1 jan. 2025.

MUÑOZ, C. Arándano: antecedentes generales. Em: WALTER, L. (Ed.). **Seminário: El Cultivo del Arándano**. Temuco, Chile: INIA - Estación Experimental Carillanca, 1988. p. 5–13.

MURCIA, G. et al. ABA and GA₃ regulate the synthesis of primary and secondary metabolites related to alleviation from biotic and abiotic stresses in grapevine. **Phytochemistry**, v. 135, p. 34–52, mar. 2017.

NESMITH, D. S. Use of Plant Growth Regulators in Blueberry Production in the Southeastern U.S. **International Journal of Fruit Science**, v. 5, n. 3, p. 41–54, nov. 2005.

NESMITH, D. S.; KREWER, G. Response of rabbiteye blueberry (*Vaccinium ashei* READE) to gibberellic acid rate. **Acta Horticulturae**, n. 446, p. 337–342, ago. 1997.

NISHIYAMA, S. et al. Genomic insight into the developmental history of southern highbush blueberry populations. **Heredity**, v. 126, n. 1, p. 194–205, 1 jan. 2021.

OH, H. et al. Unraveling the genetic architecture of blueberry fruit quality traits: major loci control organic acid content while more complex genetic mechanisms control texture and sugar content. **BMC Plant Biology**, v. 25, n. 1, p. 36, 10 jan. 2025.

OLIVEIRA, L. DE L. DE; CARVALHO, M. V. DE; MELO, L. Health promoting and sensory properties of phenolic compounds in food. **Revista Ceres**, v. 61, n. suppl, p. 764–779, dez. 2014.

PAGOT, E. Cultivo de pequenas frutas: amora preta, framboesa, mirtilo. **Emater/RS**, 2006.

PAL, Priti *et al.* Regulatory role of phytohormones in plant growth and development. *In: Plant Hormones in Crop Improvement*. [S.l.]: Elsevier, 2023. p. 1–13.

PÉREZ-LEÓN, M. I. et al. Effect of Glutamic Acid and 6-benzylaminopurine on Flower Bud Biostimulation, Fruit Quality and Antioxidant Activity in Blueberry. **Plants**, v. 12, n. 12, p. 2363, 18 jun. 2023.

PHILLIPS, D. A.; WILLIAMSON, J. G.; MUNOZ, P. R. **Evergreen Production System for Southern Highbush Blueberries in Florida**. Disponível em: <<https://edis.ifas.ufl.edu/publication/HS1362>>. Acesso em: 15 jan. 2025.



PIETTA, P.-G. Flavonoids as Antioxidants. **Journal of Natural Products**, v. 63, n. 7, p. 1035–1042, 1 jul. 2000.

PRITTS, M. P.; HANCOCK, J. F.; STRIK, B. **Highbush Blueberry Production Guide**. New York: Northeast Regional Agricultural Engineering Service (NRAES), 1992.

QUEIROGA, V. DE P. et al. **Mirtilo (*Vaccinium* spp.): Tecnologias de plantio em típicas regiões serranas**. 1. ed. Campina Grande: AREPB, 2021.

RADEMACHER, W. Plant Growth Regulators: Backgrounds and Uses in Plant Production. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 34, n. 4, p. 845–872, 13 dez. 2015.

RETAMALES, J. B.; HANCOCK, J. F. **Crop Production Science in Horticulture: Blueberries**. 2. ed. Wallingford, Reino Unido: Cabi, 2018.

RIVADENEIRA, M. F. Características botánicas, variedades, poda y manejo del cultivo en arándano. Em: NAMESNY, A. et al. (Eds.). **Cultivo, poscosecha, procesado y comercio de berries**. Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), 2022. p. 203–221.

ROSTAMI, S.; AZHDARPOOR, A. The application of plant growth regulators to improve phytoremediation of contaminated soils: A review. **Chemosphere**, v. 220, p. 818–827, abr. 2019.

RUBIO, J. C. G.; LENA, G. G. G. DE; ARA, M. C. **El cultivo del arándano en el norte de España**. Asturias, Espanha: SERIDA, 2018.

SAFTNER, R. et al. Instrumental and sensory quality characteristics of blueberry fruit from twelve cultivars. **Postharvest Biology and Technology**, v. 49, n. 1, p. 19–26, jul. 2008.

SAINI, N. et al. Exploring phenolic compounds as natural stress alleviators in plants- a comprehensive review. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 133, p. 102383, set. 2024.

SALTVEIT, M. E. Synthesis and Metabolism of Phenolic Compounds. Em: ROSA, L. A. DE LA; ALVAREZ-PARRILLA, E.; GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A. (Eds.). **Fruit and Vegetable Phytochemicals**. 1. ed. USA: Wiley, 2009. p. 89–100.

SAMANT, D. et al. Influence of some plant growth regulators on fruit set, yield and quality of sugar apple (*Annona squamosa* L.) var. Arka Neelachal Vikram. **Journal of Environmental Biology**, v. 46, n. 1, p. 144–151, 14 jan. 2025.

SANDOVAL-RAMÍREZ, B. A. et al. Anthocyanin Tissue Bioavailability in Animals: Possible Implications for Human Health. A Systematic Review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 66, n. 44, p. 11531–11543, 7 nov. 2018.

SCALZO, J.; WRIGHT, G.; BOETTIGER, S. Adaptability of blueberries to lower chill growing regions in Australia. **Acta Horticulturae**, n. 1117, p. 45–48, maio 2016.

SCHMIDT, V. et al. Phytohormone profiling in an evolutionary framework. **Nature Communications**, v. 15, n. 1, p. 3875, 8 maio 2024.

SHARPE, R. H.; DARROW, G. M. Breeding blueberries for the Florida climate. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society**, v. 72, p. 308–311, 1959.

SHEN, N. et al. Plant flavonoids: Classification, distribution, biosynthesis, and antioxidant activity. **Food Chemistry**, v. 383, p. 132531, jul. 2022.

SPIERS, J. M. et al. “Biloxi” Southern Highbush Blueberry. **Acta Horticulturae**, n. 574, p. 153–155, abr. 2002.

SPIERS, J. M.; DRAPER, A. D. Effect of Chilling on Bud Break in Rabbiteye Blueberry. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 99, n. 5, p. 398–399, set. 1974.

SPINARDI, A. et al. Variation of Anthocyanin Content and Profile Throughout Fruit Development and Ripening of Highbush Blueberry Cultivars Grown at Two Different Altitudes. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, 4 set. 2019.

STALIKAS, C. D. Extraction, separation, and detection methods for phenolic acids and flavonoids. **Journal of Separation Science**, v. 30, n. 18, p. 3268–3295, 11 dez. 2007.

STRIK, B. Blueberry: an expanding world crop. **Chronica Horticulturae**, v. 45, p. 7–12, 2005.

STRIK, B. C.; FINN, C. E.; MOORE, P. P. **Blueberry cultivars for the Pacific Northwest**. Disponível em: <<http://ir.library.oregonstate.edu/xmlui/bitstream/handle/1957/45871/pnw656.pdf>>. Acesso em: 6 jan. 2025.

SUN, Y. et al. Effects of ABA, GA₃ and NAA on Fruit Development and Anthocyanin Accumulation in Blueberry. **Journal of South China Agricultural University**, v. 34, n. 1, p. 6–11, 2013.

SUZUKI, A.; KIKUCHI, T.; AOBA, K. Changes of Ethylene Evolution, ACC Content, Ethylene Forming Enzyme Activity and Respiration in Fruits of Highbush Blueberry. **Engei Gakkai zasshi**, v. 66, n. 1, p. 23–27, 1997.

SWAIN, P. A. W.; DARNELL, R. L. Differences in Phenology and Reserve Carbohydrate Concentrations Between Dormant and Nondormant Production Systems in Southern Highbush Blueberry. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 126, n. 4, p. 386–393, jul. 2001.

SWAIN, P. A. W.; DARNELL, R. L. Production Systems Influence Source Limitations to Growth in ‘Sharpblue’ Southern Highbush Blueberry. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 127, n. 3, p. 409–414, maio 2002.

TANAKA, T. et al. Synthesis of Theaflavin from Epicatechin and Epigallocatechin by Plant Homogenates and Role of Epicatechin Quinone in the Synthesis and Degradation of Theaflavin. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 7, p. 2142–2148, 1 mar. 2002.

TEJOS, D. P.; VARGAS, P. A.; SANDOVAL, A. M. **Manual de Fertilizacion de Arándanos Cultivados en el Sur de Chile**. Valdivia, Chile: PROYECTO FIA-UACH PYT 2009-0080, 2014.

TIAN, J.-L. et al. Identification of Cyanidin-3-arabinoside Extracted from Blueberry as a Selective Protein Tyrosine Phosphatase 1B Inhibitor. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 67, n. 49, p. 13624–13634, 11 dez. 2019.

TSIMOGIANNIS, D.; OREOPOULOU, V. Classification of Phenolic Compounds in Plants. Em: WATSON, R. R. (Ed.). **Polyphenols in Plants**. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier, 2019. p. 263–284.

TYL, C.; SADLER, G. D. Food Analysis. Em: NIELSEN, S. S. (Ed.). **Food Analysis, Food Science Text Series**. Cham: Springer International Publishing, 2017. p. 389–406.

ULLAH, R. et al. Natural Antioxidant Anthocyanins—A Hidden Therapeutic Candidate in Metabolic Disorders with Major Focus in Neurodegeneration. **Nutrients**, v. 11, n. 6, p. 1195, 28 maio 2019.

VELDERRAIN-RODRÍGUEZ, G. R. et al. Phenolic compounds: their journey after intake. **Food Funct.**, v. 5, n. 2, p. 189–197, 2014.

VIGNATI, E. et al. Morphological Changes to Fruit Development Induced by GA₃ Application in Sweet Cherry (*Prunus avium* L.). **Plants**, v. 13, n. 15, p. 2052, 25 jul. 2024.

WANG, L.; LAN, W.; CHEN, D. Blueberry (*Vaccinium* spp.) Anthocyanins and Their Functions, Stability, Bioavailability, and Applications. **Foods**, v. 13, n. 17, p. 2851, 8 set. 2024.

WANG, X. et al. Comparative transcriptome analysis of berry-sizing effects of gibberellin (GA₃) on seedless *Vitis vinifera* L. **Genes & Genomics**, v. 39, n. 5, p. 493–507, 19 maio 2017.

WANG, X. et al. Elucidation of the mechanism underlying seedless blueberry formation after GA₃ treatment based on the phenotype, physiology, metabolism and transcriptome. **Scientia Horticulturae**, v. 311, p. 111781, mar. 2023.

WANG, Z. et al. Genetic and epigenetic signatures for improved breeding of cultivated blueberry. **Horticulture Research**, v. 11, n. 7, 2 jul. 2024.



WEI, Z. et al. Effects of Different Light Wavelengths on Fruit Quality and Gene Expression of Anthocyanin Biosynthesis in Blueberry (*Vaccinium corymbosm*). **Cells**, v. 12, n. 9, p. 1225, 23 abr. 2023.

WEI, Z. et al. Integrated physiological, hormonal and transcriptomic analyses reveal mechanisms of blackberry plants response to exogenous 6-benzylaminopurine. **Scientia Horticulturae**, v. 332, p. 113181, jun. 2024.

WELCH, C. R.; WU, Q.; SIMON, J. E. Recent Advances in Anthocyanin Analysis and Characterization. **Current Analytical Chemistry**, v. 4, n. 2, p. 75–101, 1 abr. 2008.

WICHURA, M. A. et al. Phenological growth stages of highbush blueberries (*Vaccinium* spp.): codification and description according to the BBCH scale. **Botany**, v. 102, n. 11, p. 428–437, 1 nov. 2024.

WOOD, E. et al. Blueberries and cardiovascular disease prevention. **Food & Function**, v. 10, n. 12, p. 7621–7633, 2019.

WOOD, G. W. The Wild Blueberry Industry—Past. **Small Fruits Review**, v. 3, n. 1–2, p. 11–18, jul. 2004.

WU, T. et al. Blackberry and Blueberry Anthocyanin Supplementation Counteract High-Fat-Diet-Induced Obesity by Alleviating Oxidative Stress and Inflammation and Accelerating Energy Expenditure. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity**, v. 2018, n. 1, 2 jan. 2018.

WYBOUW, B.; DE RYBEL, B. Cytokinin – A Developing Story. **Trends in Plant Science**, v. 24, n. 2, p. 177–185, fev. 2019.

XU, Y. et al. Transcriptome sequencing analyses reveals mechanisms of eliminated russet by applying GA₃ and CPPU on ‘Shine Muscat’ grape. **Scientia Horticulturae**, v. 250, p. 94–103, maio 2019.

YANG, D. et al. Effect of pre-flowering gibberellic acid applications on tartaric acid content in grape berries. **Scientia Horticulturae**, v. 325, p. 112659, fev. 2024.



ZAGOSKINA, N. V. et al. Polyphenols in Plants: Structure, Biosynthesis, Abiotic Stress Regulation, and Practical Applications (Review). **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 18, p. 13874, 9 set. 2023.

ZAHID, N. et al. Multi-locational study on plant growth regulators to minimize premature fruit drop and maximize postharvest quality of apples. **Cogent Food & Agriculture**, v. 10, n. 1, 31 dez. 2024.

ZANG, Y.-X. et al. Effect of gibberellic acid application on plant growth attributes, return bloom, and fruit quality of rabbiteye blueberry. **Scientia Horticulturae**, v. 200, p. 13–18, mar. 2016.

ZHANG, C. et al. Cloning, characterization and functional analysis of a flavonol synthase from *Vaccinium corymbosum*. **Trees**, v. 30, n. 5, p. 1595–1605, 6 out. 2016.

ZHANG, C. et al. Fruit Quality and Metabolomic Analyses of Fresh Food Accessions Provide Insights into the Key Carbohydrate Metabolism in Blueberry. **Plants**, v. 12, n. 18, p. 3200, 7 set. 2023.

ZHANG, D. et al. 6-Benzylaminopurine improves the quality of harvested litchi fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 143, p. 137–142, set. 2018.

ZHANG, J. et al. Evaluation of sugar and organic acid composition and their levels in highbush blueberries from two regions of China. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 19, n. 9, p. 2352–2361, set. 2020.

ZHANG, Y.; BUTELLI, E.; MARTIN, C. Engineering anthocyanin biosynthesis in plants. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 19, p. 81–90, jun. 2014.



3. CAPÍTULO II: Plasticidade fenológica reprodutiva de mirtilheiro Southern Highbush ‘Biloxi’ em clima tropical do sudeste brasileiro com fornecimento exógeno de ácido giberélico (GA₃) e benzilaminopurina

Este capítulo foi redigido na forma de artigo nas normas da revista *Journal of Plant Growth Regulation*.



Plasticidade fenológica reprodutiva de mirtilheiro Southern Highbush ‘Biloxi’ em clima tropical do sudeste brasileiro com fornecimento exógeno de ácido giberélico (GA₃) e benzilaminopurina

Larissa Silva Rodrigues^{1*}, Gisela Ferreira¹

¹Departamento de Bioestatística e Biodiversidade, Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Rua Prof. Dr. Antônio Celso Wagner Zanin, 250, CEP 18618-689, Botucatu, São Paulo, Brasil.

* E-mail: larissa.s.rodrigues@unesp.br.

Resumo

A alteração na localização do mirtilheiro para regiões não tradicionais induz a modificações em sua fenologia reprodutiva, o que também pode ocorrer a partir do fornecimento exógeno de reguladores vegetais. Neste contexto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a plasticidade fenológica reprodutiva do mirtilheiro SHB ‘Biloxi’ em ambiente de clima tropical com estação seca, no sudeste brasileiro, bem como as adversidades de respostas em função do fornecimento exógeno de ácido giberélico (GA₃) e benzilaminopurina (BA). O experimento foi realizado em blocos casualizados, com 5 repetições de 3 plantas por parcela e 12 tratamentos constituídos por concentrações de GA₃ (25, 50 e 100 mg L⁻¹) e BA (50 e 100 mg L⁻¹), isoladas e combinadas e um controle, que foram aplicados em dois momentos, 28 de julho e 11 de agosto de 2023. As observações fenológicas reprodutivas foram iniciadas antes da aplicação dos tratamentos (21 de abril) e registradas a cada 7 dias até o final do ciclo produtivo (17 de novembro), a partir de 8 estádios reprodutivos: gema inchada, gema aberta, botão, flor aberta, pétalas caídas, fruto verde, fruto mudando de cor e fruto maduro. A coleta de dados envolveu a contagem do número total de órgãos dos respectivos estádios fenológicos em 3 ramos selecionados por parcela (1 ramo por planta), sendo analisadas a cronologia, duração, progressão e intensidade de cada estádio. Os resultados indicam que nas condições ambientais do estudo o mirtilheiro SHB ‘Biloxi’ apresenta florescimento prolongado, com emissão de órgãos florais durante todo o ciclo produtivo e maior período de ocorrência de frutos maduros, em comparação a regiões mais frias. Os reguladores vegetais GA₃ e BA reduzem a emissão de gemas inchadas e atrasam os picos de ocorrência de gemas abertas, botões, flores abertas e pétalas caídas, com destaque para 25 mg L⁻¹ de GA₃ e a combinação de 25 mg L⁻¹ de GA₃ com 50 mg L⁻¹ de BA, que resultam em incremento do florescimento e frutificação, por estimularem a abertura das gemas florais e elevarem a incidência de flores e frutos verdes. Conclui-se que o mirtilheiro SHB ‘Biloxi’ sofre



alterações em sua fenologia reprodutiva quando submetido a ambiente de clima tropical com estação seca, no sudeste brasileiro, e que o fornecimento exógeno de GA₃ e BA modula os estádios fenológicos podendo estimular a floração e a frutificação.

Palavras-chave: *Vaccinium corymbosum* L. Sistema perene. Fenologia. Clima quente. Reguladores vegetais.

Abstract

The change in the location of the blueberry plant to non-traditional regions induces changes in its reproductive phenology, which can also occur from the exogenous supply of plant growth regulators. In this context, the objective of this research was to evaluate the reproductive phenological plasticity of the blueberry SHB ‘Biloxi’ in a tropical climate environment with a dry season, in southeastern Brazil, as well as the adversities of responses due to the exogenous supply of gibberellic acid (GA₃) and benzylaminopurine (BA). The experiment was carried out in randomized blocks, with 5 replicates of 3 plants per plot and 12 treatments consisting of concentrations of GA₃ (25, 50 and 100 mg L⁻¹) and BA (50 and 100 mg L⁻¹), isolated and combined and a control, which were applied in two moments, July 28 and August 11, 2023. Reproductive phenological observations were initiated before to the application of treatments (April 21) and recorded every 7 days until the end of the production cycle (November 17), from 8 reproductive stages: bud swell, bud break, closed flower, open flower, petal fall, green fruit, fruit colouring and ripe fruit. Data collection involved counting the total number of organs of the respective phenological stages in 3 branches selected per plot (1 branch per plant), and the chronology, duration, progression and intensity of each stage were analyzed. The results indicate that under the environmental conditions of the study, the SHB blueberry ‘Biloxi’ presents prolonged flowering, with the emission of floral organs throughout the production cycle, and a longer period of occurrence of ripe fruits, compared to colder regions. The plant growth regulators GA₃ and BA reduce the emission of bud swell and delay the peaks of occurrence of bud break, closed flower, open flower and petal fall, with emphasis on 25 mg L⁻¹ of GA₃ and the combination of 25 mg L⁻¹ of GA₃ with 50 mg L⁻¹ of BA, which result in increased flowering and fruiting, by stimulating the opening of flower buds and increasing the incidence of flowers and green fruits. It is concluded that the SHB blueberry ‘Biloxi’ undergoes changes in its reproductive phenology when subjected to a tropical climate environment with a dry season, in southeastern Brazil, and that exogenous supply of GA₃ and BA modulates the phenological stages, potentially stimulating flowering and fruiting.

Keywords: *Vaccinium corymbosum* L. Evergreen system. Phenology. Warm weather. Plant growth regulators.

3.1. Introdução

As espécies frutíferas de clima temperado têm sido comumente introduzidas em ambientes distintos de seu local de origem, como as regiões tropicais (Pio et al., 2018). A alteração da localização submete as plantas a uma expressiva pressão de adaptação, induzindo modificações em seu desenvolvimento e reprodução para garantir sua sobrevivência e perpetuação frente às novas condições ambientais (Ávila et al., 2023; Cosmulescu; Bîrsanu Ionescu, 2018).

As plantas que se desenvolvem em áreas de clima temperado entram em dormência no outono, acumulam horas de frio durante o inverno e, após a satisfação do resfriamento, as gemas florais são liberadas da dormência e iniciam sua abertura (Swain; Darnell, 2001). As necessidades de resfriamento são específicas de cada espécie e cultivar e são determinadas geneticamente (Samish, 1954). Em locais onde o resfriamento é insuficiente pode ocorrer atraso, prolongamento e redução na abertura das gemas florais e no desenvolvimento dos frutos (Swain; Darnell, 2001). A temperatura e umidade do local, influenciam a data de início e duração de diferentes estádios fenológicos, incluindo abertura das gemas, floração e maturação dos frutos (Beaubien; Johnson, 1994; Cosmulescu; Calusaru, 2020; Schaber; Badeck, 2002).

As mudanças observadas e previstas na distribuição e fenologia das plantas têm implicações importantes em fenômenos ecológicos e evolutivos, incluindo a interação entre espécies, estrutura da comunidade e conservação da biodiversidade (Bertin, 2008). Neste contexto, o conhecimento dos padrões fenológicos das plantas torna-se imprescindível para prever os impactos futuros na reprodução das espécies e em suas interações.

O mirtilheiro Southern Highbush (SHB, *Vaccinium corymbosum* L.) é um arbusto frutífero, pertencente à família *Ericaceae*, nativo da América do Norte, em locais de clima predominantemente temperado (Fahrenkrog et al., 2022; Lyrene, 2006). São híbridos complexos obtidos entre o cruzamento de *V. corymbosum* com espécies de baixo requerimento de frio, como *V. darrowii*, desenvolvidos para permitir a produção em regiões com invernos mais amenos (como Flórida e Califórnia), por apresentarem necessidade de resfriamento de 200 a 300 horas abaixo de 7°C, extremamente inferiores aos mirtilheiros Northern Highbush que necessitam de mais de 800 horas (Strik; Finn; Moore, 2014).

Na Flórida, em regiões com temperaturas médias de 13 a 16°C no mês mais frio e cerca de 200 a 300 horas acumuladas com temperaturas abaixo de 7°C no inverno, os

mirtilheiros SHB satisfazem suas necessidades de resfriamento e florescem entre meados de janeiro a meados de fevereiro (inverno), com maturação de frutos ocorrendo em um período concentrado de 30 dias, de meados de abril a meados de maio (primavera) (Lyrene, 2008).

A introdução dos mirtilheiros SHB em áreas não tradicionais do globo, como os ambientes tropicais (Retamales; Hancock, 2018), tem submetido as plantas a condições de baixa ou nenhuma ocorrência de frio, provocando alterações no seu desenvolvimento e reprodução (Antunes; Bacchan, 2023). Nestas regiões os mirtilheiros não entram em dormência e não perdem suas folhas durante o outono-inverno, se desenvolvendo em sistema perene (“*evergreen*”), caracterizado pelo prolongamento do ciclo produtivo, com a ocorrência simultânea e em diversos graus dos estádios fenológicos de floração e frutificação (Scalzo; Wright; Boettiger, 2016).

No Brasil, em regiões de clima quente, como os Estados de São Paulo, Pernambuco e Bahia, os mirtilheiros SHB se desenvolvem de forma perene, apresentando florescimento contínuo ao longo do ano ou concentrado entre os meses de maio a novembro (Cantuarias-Avilés et al., 2014). No município de Piracicaba, Estado de São Paulo, o mirtilheiro SHB ‘Emerald’ apresentou dois períodos mais intensos de floração (maio a julho; setembro a outubro) e de produção de frutos (agosto a outubro; novembro a janeiro), enquanto que em ‘Jewel’ a floração foi mais concentrada (setembro a outubro), assim como a produção de frutos (outubro a janeiro) (Medina et al., 2018). Neste contexto, estudos documentando a fenologia reprodutiva de mirtilheiro SHB nas regiões de clima quente do país são limitados, evidenciando a necessidade de novas pesquisas.

A fim de mitigar os efeitos do ambiente em regiões onde as espécies não são tradicionalmente encontradas, pode-se considerar outros fatores como moduladores da fenologia reprodutiva, como o fornecimento exógeno de reguladores vegetais (Lin; Agehara, 2020a). Em espécies frutíferas, os reguladores vegetais aplicados em baixas concentrações nos estádios de pré-floração, floração e frutificação induzem modificações em inúmeros processos fisiológicos, podendo provocar alterações na floração e frutificação (Bons; Kaur, 2020).

Em mirtilheiro Rabbiteye (*V. ashei*), na China, o fornecimento exógeno de ácido giberélico (GA_3) em pré-floração atrasou o florescimento e a maturação dos frutos e, aumentou a incidência de flores (Zang et al., 2016). A mesma espécie, na Geórgia, apresentou maior retenção de frutos e prolongamento do período de desenvolvimento dos frutos quando GA_3 foi utilizado em diferentes estádios reprodutivos, desde a abertura das gemas florais até o início da frutificação (Nesmith, 2005; Nesmith; Krewer, 1997). Ademais, tem sido demonstrado que em mirtilheiro SHB o uso exógeno de benzilaminopurina (BA), em pré-floração, resulta em aumento na incidência de gemas florais em estudo desenvolvido no México (Pérez-León et al., 2023) e, no estágio de

pétalas caídas promove incremento no número de frutos em plantas cultivadas na Sérvia (Milić et al., 2018). Nas condições brasileiras não existem dados na literatura que mostrem os efeitos de GA₃ e BA na fenologia reprodutiva de mirtilheiro.

Neste contexto, esta pesquisa foi realizada com o objetivo de avaliar a plasticidade fenológica reprodutiva do mirtilheiro SHB ‘Biloxi’ em ambiente de clima tropical com estação seca, no sudeste brasileiro, bem como as adversidades de respostas em função do fornecimento exógeno de ácido giberélico (GA₃) e benzilaminopurina (BA).

3.2. Material e métodos

Caracterização do local

O estudo foi realizado no período de abril a novembro de 2023 em um cultivo comercial de mirtilheiro SHB (*Vaccinium corymbosum* L.) ‘Biloxi’, localizado no município de Pongaí-SP, coordenadas geográficas 21°47’35” de latitude Sul, 49°22’31” de longitude Oeste e altitude de 458 metros.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen-Geiger, é do tipo Aw, caracterizado como tropical com estação seca, com inverno seco e verão chuvoso (Rolim et al., 2007).

Material vegetal e delimitação da área experimental

As plantas de mirtilheiro ‘Biloxi’ se desenvolviam em sistema perene e apresentavam três anos de idade, sendo oriundas de micropropagação.

O cultivo foi estabelecido no solo em sulcos de 60 cm de largura e 60 cm de profundidade preenchidos com substrato de casca de arroz natural seca (sem passar por processo de queima) e pó de serra não compostado, na proporção de 3:1, com espaçamento de 3,0 m entre sulcos e 0,50 m entre plantas.

Convencionalmente, realiza-se a irrigação e a nutrição mineral por sistema de gotejamento, visando fornecer por ciclo 660 litros de água por planta e N: 200 kg ha⁻¹; P₂O₅: 70 kg ha⁻¹; K₂O: 220 kg ha⁻¹; Ca²⁺: 80 kg ha⁻¹; Mg²⁺: 40 kg ha⁻¹; SO₄²⁻: 250 kg ha⁻¹; Zn²⁺: 20 kg ha⁻¹; Fe²⁺: 500 g ha⁻¹ e, o manejo fitossanitário foi realizado conforme as práticas convencionais do produtor.

Em 20 de abril de 2023 foi delimitada a área experimental. Plantas similares em altura (75 cm), diâmetro de copa (90 cm), vigor e sanidade, foram selecionadas e uniformizadas com vinte ramos laterais (figura 1).

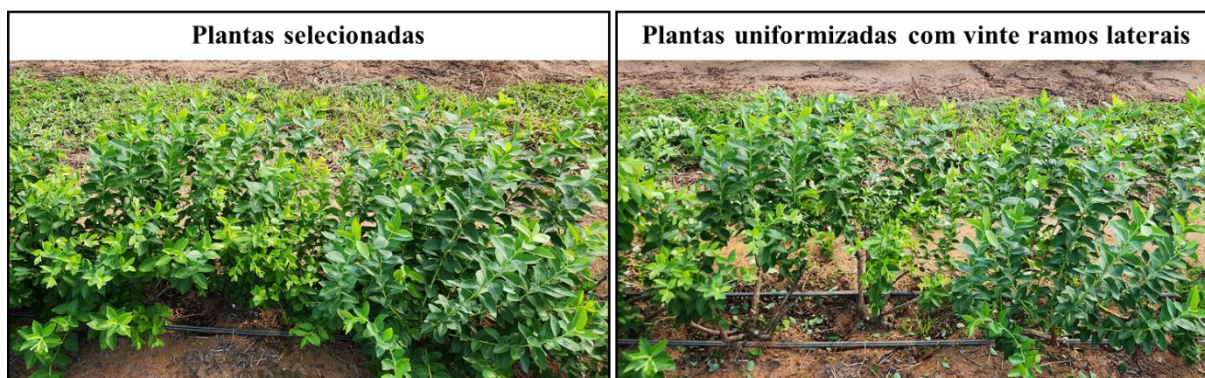


Figura 1. Seleção e uniformização de plantas de mirtilheiro (*Vaccinium corymbosum* L.) ‘Biloxi’, em 2023.

Delineamento experimental e tratamentos

Adotou-se o delineamento em blocos casualizados, com doze tratamentos (tabela 1), cinco repetições e três plantas por parcela. As parcelas foram separadas por pelo menos uma planta de bordadura e a área experimental foi delimitada de modo a apresentar em seu perímetro bordadura de no mínimo 3,0 m de largura.

Os tratamentos foram constituídos por concentrações de ácido giberélico (ProGibb® 400 g kg⁻¹ de GA₃, *Sumitomo Chemical*) e benzilaminopurina (MaxCel® 20 g L⁻¹ de BA, *Sumitomo Chemical*), isoladas e combinadas, além do controle sem os reguladores vegetais. O produto Silwet® (*Momentive Performance Materials Inc.*), na concentração de 0,05%, foi utilizado como agente adjuvante em todos os tratamentos.

Tabela 1. Tratamentos de ácido giberélico (GA₃) e benzilaminopurina (BA) fornecidos de modo exógeno em mirtilheiro (*Vaccinium corymbosum* L.) ‘Biloxi’, em 2023.

Tratamento	GA ₃ (mg L ⁻¹)	BA (mg L ⁻¹)	Identificação
T1*	-	-	Controle
T2	25	-	GA25
T3	50	-	GA50
T4	100	-	GA100
T5	-	50	BA50
T6	-	100	BA100
T7	25	50	GA25+BA50
T8	25	100	GA25+BA100
T9	50	50	GA50+BA50
T10	50	100	GA50+BA100

T11	100	50	GA100+BA50
T12	100	100	GA100+BA100

*Apenas água e adjuvante Silwet® na concentração de 0,05%.

Os tratamentos foram aplicados em dois momentos, com intervalo de 14 dias (28 de julho e 11 de agosto de 2023). Em 28 de julho as plantas continham 76,87% de órgãos florais (gemas inchadas, gemas abertas, botões, flores abertas e pétalas caídas) e 23,13% de frutos verdes de tamanho variável, enquanto que em 11 de agosto apresentavam 60,92% de órgãos florais, 37,55% de frutos verdes e 1,53% de frutos em mudança de coloração.

As aplicações foram efetuadas com 1,0 litro de solução por tratamento, em toda a parcela, utilizando pulverizador elétrico devidamente calibrado (Brudden, modelo Practical). Para evitar a contaminação entre as parcelas, utilizou-se capa protetora para isolamento das plantas e após cada tratamento o pulverizador passou por tríplice lavagem.

Avaliações

As observações fenológicas reprodutivas foram registradas a cada 7 dias, de 21 de abril a 17 de novembro de 2023 (31 observações). Inicialmente, de 21 de abril a 28 de julho, os dados fenológicos foram coletados nas plantas de cada parcela, que foram consideradas como ‘controle’, uma vez que os tratamentos ainda não haviam sido iniciados. Posteriormente ao início dos tratamentos, os dados fenológicos permaneceram sendo coletados de 04 de agosto a 17 de novembro, sendo cada parcela associada ao seu respectivo tratamento (reguladores vegetais e controle).

Para a avaliação da plasticidade fenológica reprodutiva do mirtilheiro SHB ‘Biloxi’ nas condições ambientais foram considerados todos os dados fenológicos coletados de 21 de abril a 28 de julho e apenas os dados do controle no período de 04 de agosto a 17 de novembro. Para a avaliação das adversidades nas respostas fenológicas reprodutivas em função do fornecimento exógeno de reguladores vegetais, todos os dados avaliados foram considerados.

Coleta de dados

Três ramos laterais semelhantes e totalmente desenvolvidos de cada parcela experimental (1 ramo por planta) foram selecionados e marcados com fitas coloridas. A fenologia reprodutiva dos ramos foi registrada em oito estádios reprodutivos selecionados com base na escala fenológica desenvolvida por MSU Extension Blueberries (2025) (Figura 2).

Os estádios incluíam: (1) gema inchada: gema inchada com escamas visíveis e separadas; (2) gema aberta: gema se abre e as pontas das flores se tornam visíveis; (3) botão (flor fechada): corola ainda fechada; (4) flor aberta: corola completamente expandida e aberta; (5) pétalas caídas: corola caída revelando o pequeno fruto verde; (6) fruto verde: frutos verdes diferenciados, independentemente do tamanho; (7) fruto mudando de cor: os frutos passam da cor verde para rosa/azul e começam a amolecer; (8) fruto maduro: frutos com total coloração azul.

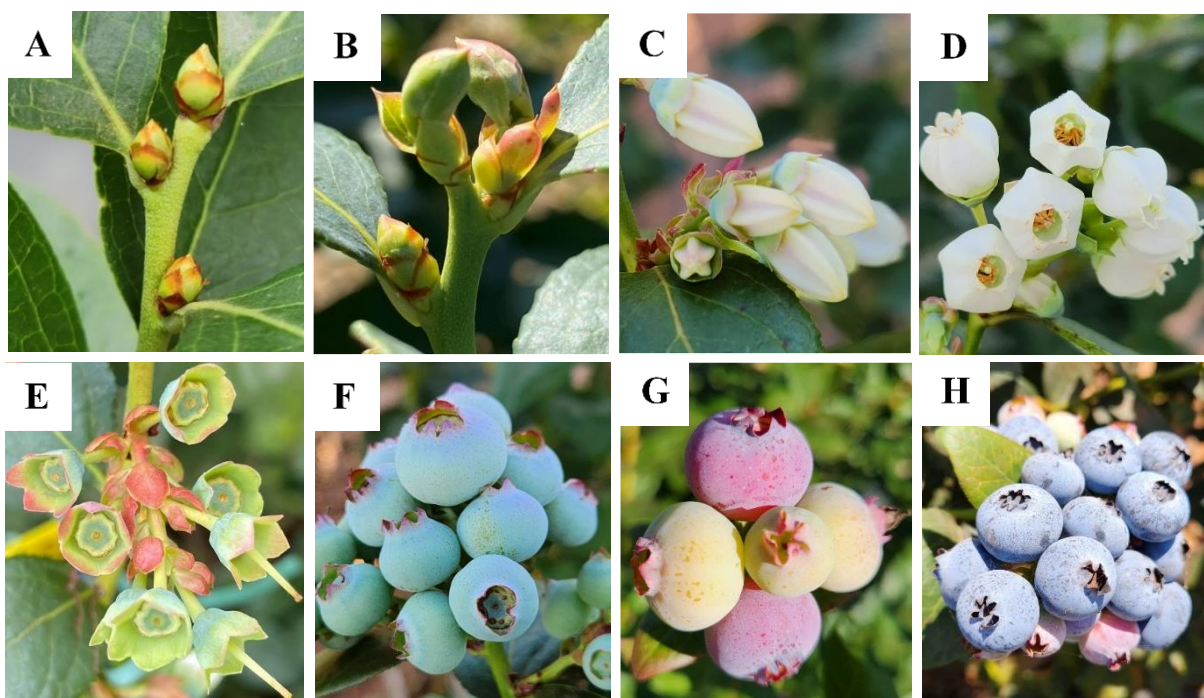


Figura 2. Estádios fenológicos reprodutivos selecionados em mirtilheiro SHB de acordo com a escala fenológica desenvolvida por MSU Extension Blueberries (2025). A) Gema inchada; B) Gema aberta; C) Botão (flor fechada); D) Flor aberta; E) Pétalas caídas; F) Fruto verde; G) Fruto mudando de cor; H) Fruto maduro. Fotos: Larissa Silva Rodrigues (2023).

A coleta de dados envolveu a contagem do número total de órgãos dos respectivos estádios fenológicos nos três ramos selecionados, em cada data de avaliação, desde o estágio de gema inchada até o estágio de fruto maduro.

A cronologia e a duração (em dias) de cada estágio fenológico no período analisado foi registrada como o tempo entre a primeira e a última observação de um órgão. Enquanto que a progressão e intensidade dos estádios fenológicos foram expressas em número médio de órgãos por ramo, obtido pela média dos três ramos avaliados.

Os dados de temperatura (°C) foram registrados por Datalogger (Instrutherm, modelo HT900), instalado próximo à área experimental, para permitir comparações com outras regiões.

Análise dos dados

Os dados foram submetidos a análises descritivas, através de figuras que expressam a evolução dos estádios fenológicos ao longo das avaliações.

3.3. Resultados

Os dados médios de temperatura (°C) de abril a novembro de 2023 encontram-se na figura 3.

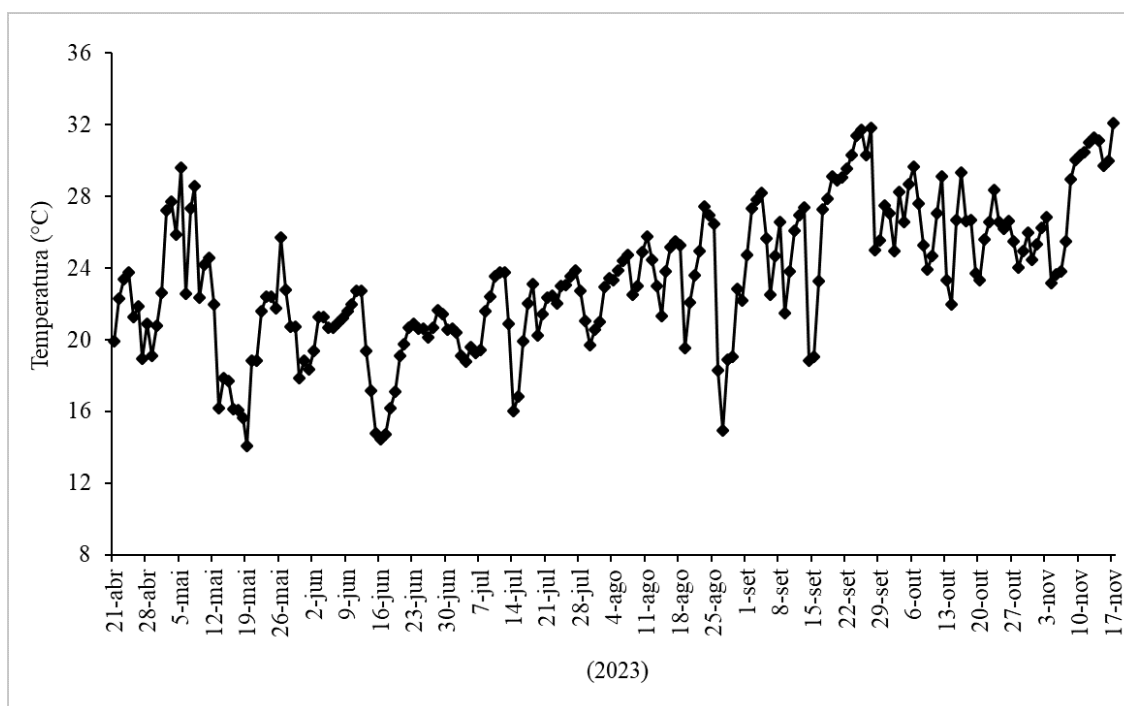


Figura 3. Dados médios de temperatura de abril a novembro de 2023, Biloxi’ em ambiente de clima tropical com estação seca, no sudeste brasileiro (Pongaí-SP), para monitorar a fenologia reprodutiva do mirtilheiro (*Vaccinium corymbosum* L.) ‘Biloxi’.

Plasticidade fenológica reprodutiva

Gema inchada

O desenvolvimento das gemas florais (gema inchada) se iniciou em 21 de abril de 2023 e perdurou até 17 de novembro, totalizando 210 dias (figura 4). Dois períodos de maior incidência de gemas inchadas foram registrados (figura 5A). O primeiro teve início em 21 de abril persistindo até a última semana de julho. O segundo, de maior intensidade, ocorreu entre meados de agosto e meados de novembro, apresentando os maiores valores registrados em 06 e 13 de outubro equivalentes a 8,9 gemas inchadas por ramo (figura 5A).

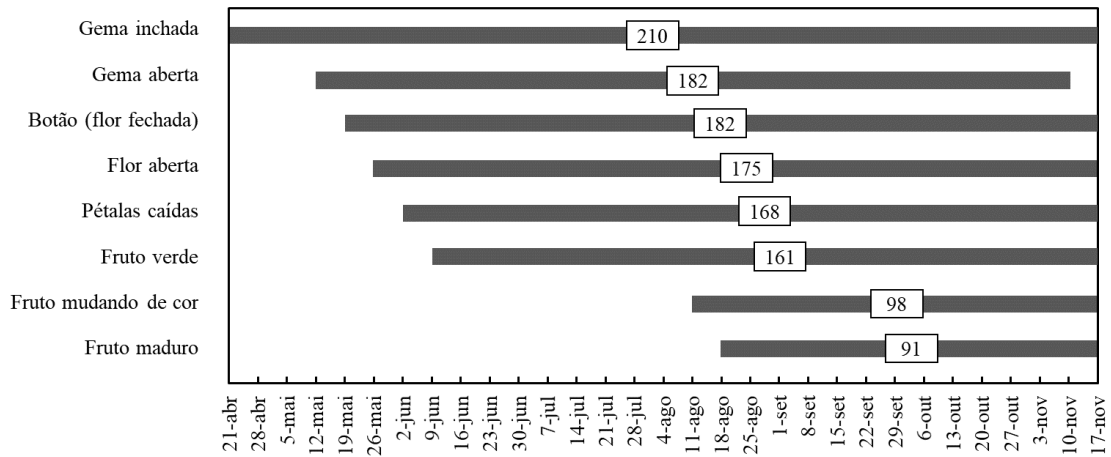


Figura 4. Cronologia (barras) e duração (números dentro dos retângulos brancos indicam a duração em dias) dos estádios fenológicos reprodutivos de mirtilheiro (*Vaccinium corymbosum* L.) ‘Biloxi’ Biloxi’ em ambiente de clima tropical com estação seca, no sudeste brasileiro (Pongaí-SP), no ano de 2023.

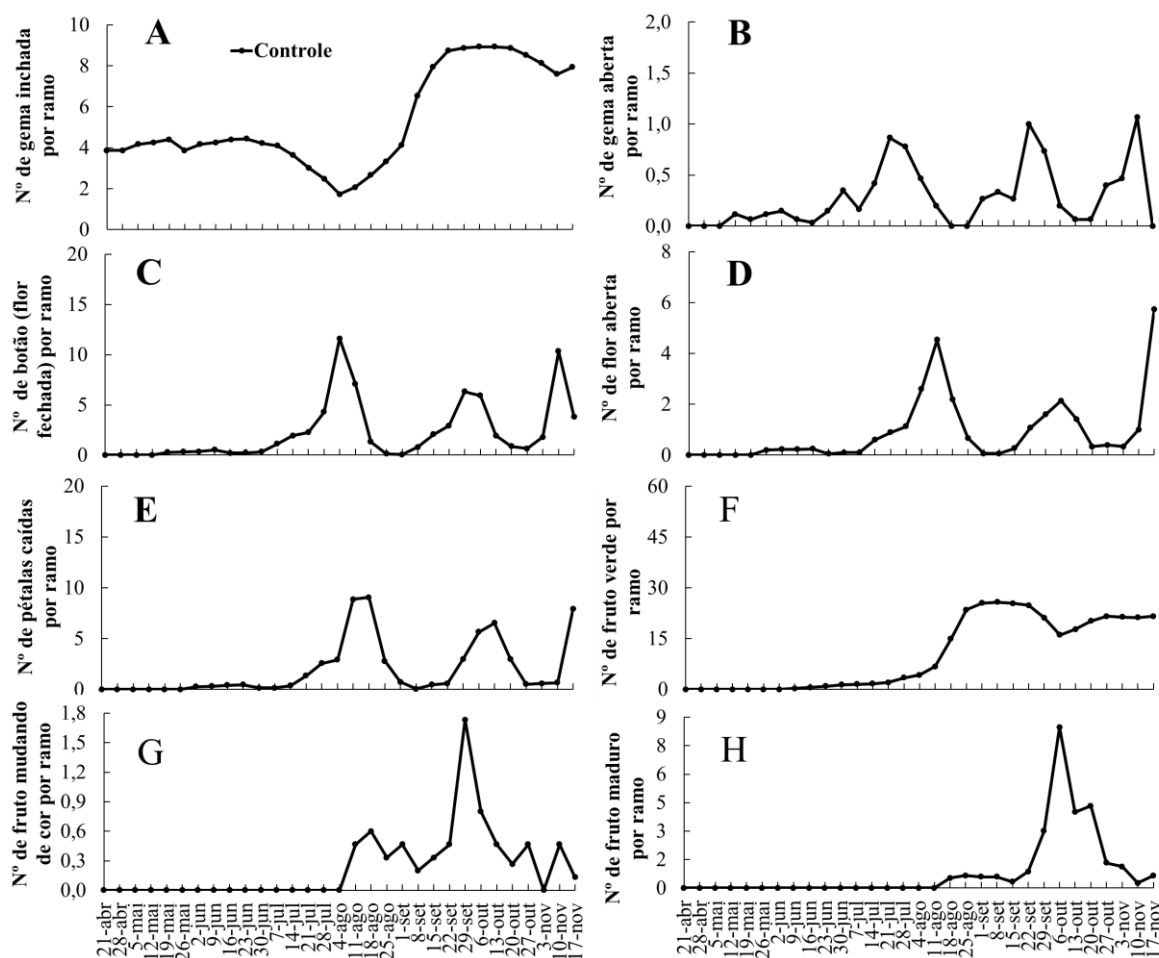


Figura 5. Progressão e intensidade dos estádios fenológicos reprodutivos de mirtilheiro (*Vaccinium corymbosum* L.) ‘Biloxi’ Biloxi’ em ambiente de clima tropical com estação seca, no sudeste brasileiro (Pongaí-SP), no ano de 2023. A) Gema inchada; B) Gema aberta; C) Botão (flor fechada); D) Flor aberta; E) Pétalas caídas; F) Fruto verde; G) Fruto mudando de cor; H) Fruto maduro.

Gema aberta, botão, flor aberta e pétalas caídas

A abertura das gemas teve início em 12 de maio de 2023 e permaneceu por 182 dias até 10 de novembro, apresentando três períodos mais intensos com três picos bem definidos (fig. 4 e 5B). O primeiro período ocorreu de 16 de junho a 18 de agosto com pico em 21 de julho (0,9 gema aberta por ramo), coincidindo com meados e final do primeiro período de maior incidência de gemas fechadas. O segundo período iniciou em 25 de agosto e cessou em 13 de outubro com pico em 22 de setembro (1,0 gema aberta por ramo) e, o terceiro período foi observado entre 20 de outubro e 17 de novembro com pico em 10 de novembro (1,1 gema aberta por ramo). Ambos, segundo e terceiro períodos, coincidiram com o segundo período de maior incidência de gemas fechadas.

Após o início da abertura das gemas florais, os demais estádios fenológicos de botão, flor aberta e pétalas caídas foram iniciados com intervalos de 7 dias, em 19 de maio, 26 de maio e 02 de junho, respectivamente, com ocorrência até 17 de novembro (figura 4). Ambos, assim como o estágio de gema aberta, também apresentaram picos definidos, normalmente ocorrendo de 7 a 14 dias após o pico do estágio anterior (fig. 5C, 5D, 5E).

No estágio de botão, o primeiro e o terceiro pico foram maiores com 11,6 botões por ramo em 04 de agosto e 10,3 botões por ramo em 10 de novembro, respectivamente. Enquanto que no segundo pico foram observados 6,3 botões por ramo (figura 5C).

Assim como no estágio de botão, os estádios de flor aberta e pétalas caídas também apresentaram o primeiro e o terceiro pico mais intensos (fig. 5C, 5D, 5E). Para flor aberta o terceiro pico foi o maior (17 de novembro) com 5,7 flores abertas por ramo (figura 5D), enquanto que para pétalas caídas o primeiro pico foi mais evidente (11 e 18 de agosto) com 8,9 a 9,1 pétalas caídas por ramo (figura 5E).

Fruto verde, fruto mudando de cor e fruto maduro

O estágio de fruto verde iniciou em 9 de junho de 2023, 7 dias após o início do estágio de pétalas caídas e permaneceu por 161 dias até 17 de novembro (figura 4). Dois períodos de maior incidência do estágio de frutos verdes foram observados (figura 5F). O primeiro, mais intenso, ocorreu entre final de julho e final de setembro, com maior valor registrado em 08 de setembro, equivalente a 25,8 frutos verdes por ramo. O segundo período teve início em outubro seguindo até meados de novembro.

A mudança de coloração dos frutos foi inicialmente registrada em 11 de agosto de 2023, 77 dias após o início da abertura das flores (figura 4). Apenas um pico bem definido foi registrado em 29 de setembro, com registro médio de 1,7 frutos mudando de cor por ramo (figura 5G).

O estágio de fruto maduro iniciou em 18 de agosto de 2023, 84 dias após o início da abertura das flores, perdurando por 14 semanas até 17 de novembro (figura 4). Durante este período, foi observado apenas um pico que ocorreu em 06 de outubro, no qual foi registrado em média 8,5 frutos maduros por ramo, ocorrendo em 7 dias após o pico de mudança de coloração dos frutos (figura 5H).

É importante evidenciar que neste estudo as plantas foram podadas durante a penúltima semana de novembro, aproximadamente uma semana após a última data de coleta de dados. Esta prática é convencionalmente adotada nos cultivos da região sudeste do Brasil, com intuito de iniciar um novo ciclo produtivo. Portanto, todos os ramos frutíferos foram podados, não sendo possível dar sequência as observações.

Fornecimento exógeno de reguladores vegetais

Cronologia e duração dos estádios fenológicos

As aplicações dos tratamentos foram iniciadas em 28 de julho de 2023, 98 dias após o início da coleta de dados fenológicos. Ao longo desse período os estádios fenológicos de gema inchada a fruto verde já haviam sido registrados e, portanto, não foi possível verificar se GA₃ e BA, isolados e combinados, influenciariam o início dos mesmos.

Embora os estádios de fruto mudando de cor e fruto maduro tenham sido observados posteriormente ao início dos tratamentos, não houveram alterações nas datas de início (11 e 18 de agosto, respectivamente), indicando que não foram alteradas pelos reguladores vegetais.

O estágio de gema aberta apresentou alterações nas datas de finalização e, consequentemente, na duração, mediante o fornecimento exógeno de GA₃ e BA. O tratamento com 100 mg L⁻¹ de BA encurtou a duração do estágio de gema aberta em 28 dias comparado ao controle (figura 6).

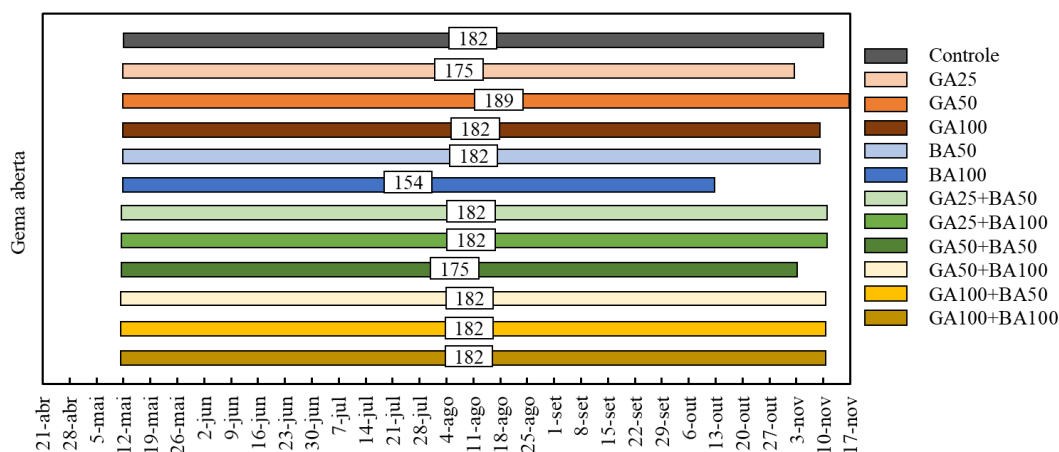


Figura 6. Cronologia (barras) e duração (números dentro dos retângulos brancos indicam a duração em dias) do estágio fenológico de gema aberta de mirtilheiro (*Vaccinium corymbosum*)

L.) ‘Biloxi’ Biloxi’ em ambiente de clima tropical com estação seca, no sudeste brasileiro (Pongaí-SP), no ano de 2023, com o fornecimento exógeno de ácido giberélico (GA_3) e benzilaminopurina (BA).

O encurtamento na duração do estágio de gema aberta também foi observado quando GA_3 foi utilizado de forma isolada a 25 mg L^{-1} e quando foi combinado com BA, ambos na concentração de 50 mg L^{-1} ($GA_{50}+BA_{50}$), com finalização do estágio em 7 dias antes do controle (figura 6).

Em contrapartida o GA_3 a 50 mg L^{-1} prolongou o estágio em 7 dias, indicando uma variabilidade nas respostas a partir do fornecimento exógeno deste regulador vegetal (figura 6).

As datas de finalização dos demais estádios fenológicos foram semelhantes para todos os tratamentos com os reguladores vegetais e o controle. No entanto, tendo em vista que as plantas foram podadas e que as avaliações não puderam continuar sendo realizadas, não é possível concluir com precisão se GA_3 e BA fornecidos de modo exógeno alterariam ou não a duração destes estádios.

Progressão e intensidade dos estádios fenológicos

Gema inchada

Tendo em vista o início das aplicações dos tratamentos em 28 de julho de 2023, o segundo período de maior incidência de gemas inchadas registrado entre meados de agosto e meados de novembro no controle, também foi observado com o uso de GA_3 e BA, isolados e combinados. No entanto, notou-se que no decorrer das avaliações os valores médios de gemas inchadas por ramo foram reduzidos pelos reguladores vegetais em comparação ao controle (figura 7A).

Ao se considerar todas as avaliações, a maior incidência de gemas inchadas foi registrada no controle, com valor médio de 5,1 gemas inchadas por ramo, enquanto a menor foi obtida no tratamento com GA_3 a 50 mg L^{-1} , apresentando em média 3,7 gemas inchadas por ramo (figura 7A).

Gema aberta

No estágio de gema aberta, diferente do controle que apresentou três períodos mais intensos com três picos bem definidos, a maioria dos tratamentos com os reguladores vegetais registraram apenas dois períodos e dois picos (figura 7B).

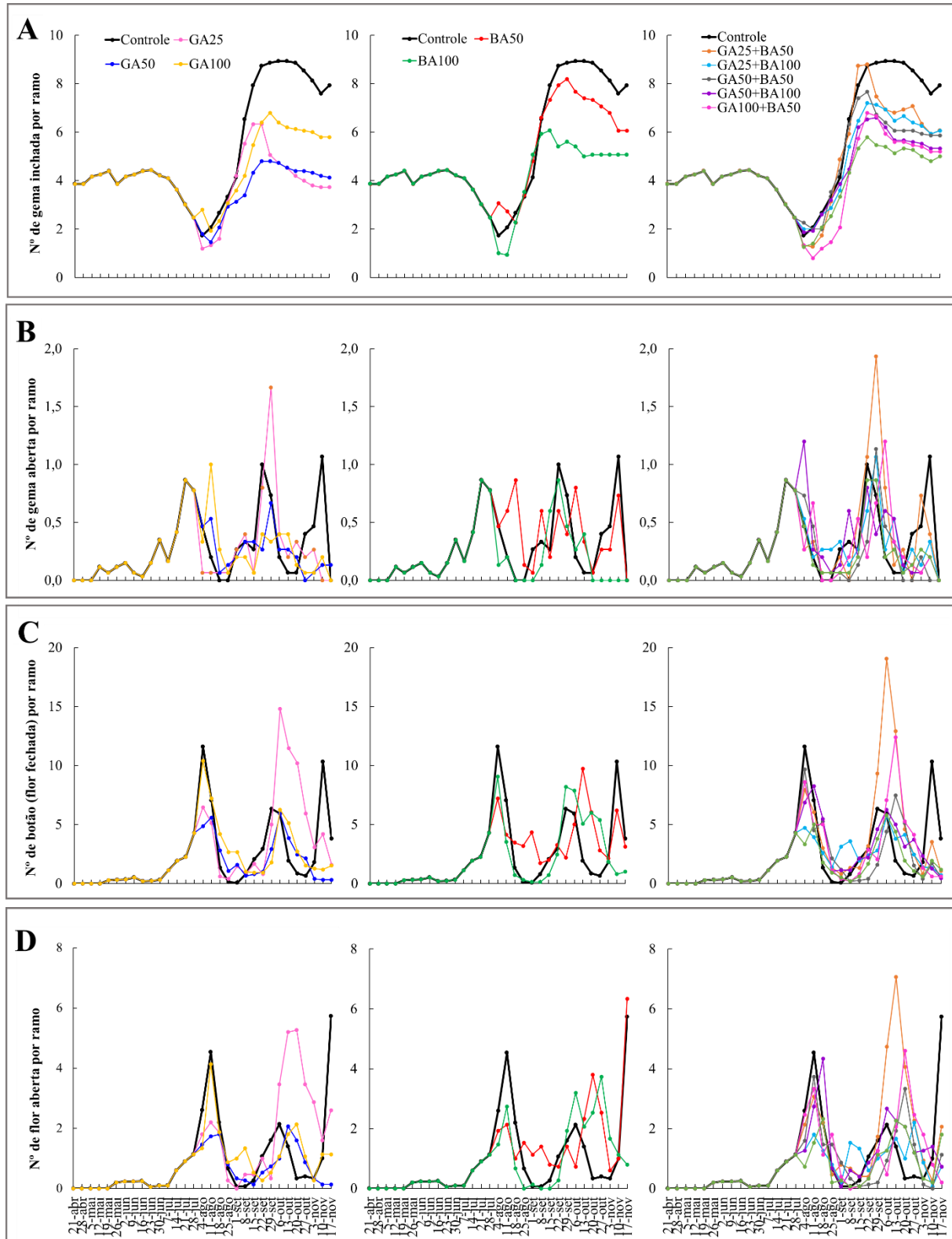


Figura 7. Progressão e intensidade dos estádios fenológicos reprodutivos de mirtilleiro (*Vaccinium corymbosum* L.) ‘Biloxi’ em ambiente de clima tropical com estação seca, no sudeste brasileiro (Pongá-SP), no ano de 2023, com o fornecimento exógeno de ácido giberélico (GA₃) e benzilaminopurina (BA). A) Gema inchada; B) Gema aberta; C) Botão (flor fechada); D) Flor aberta.

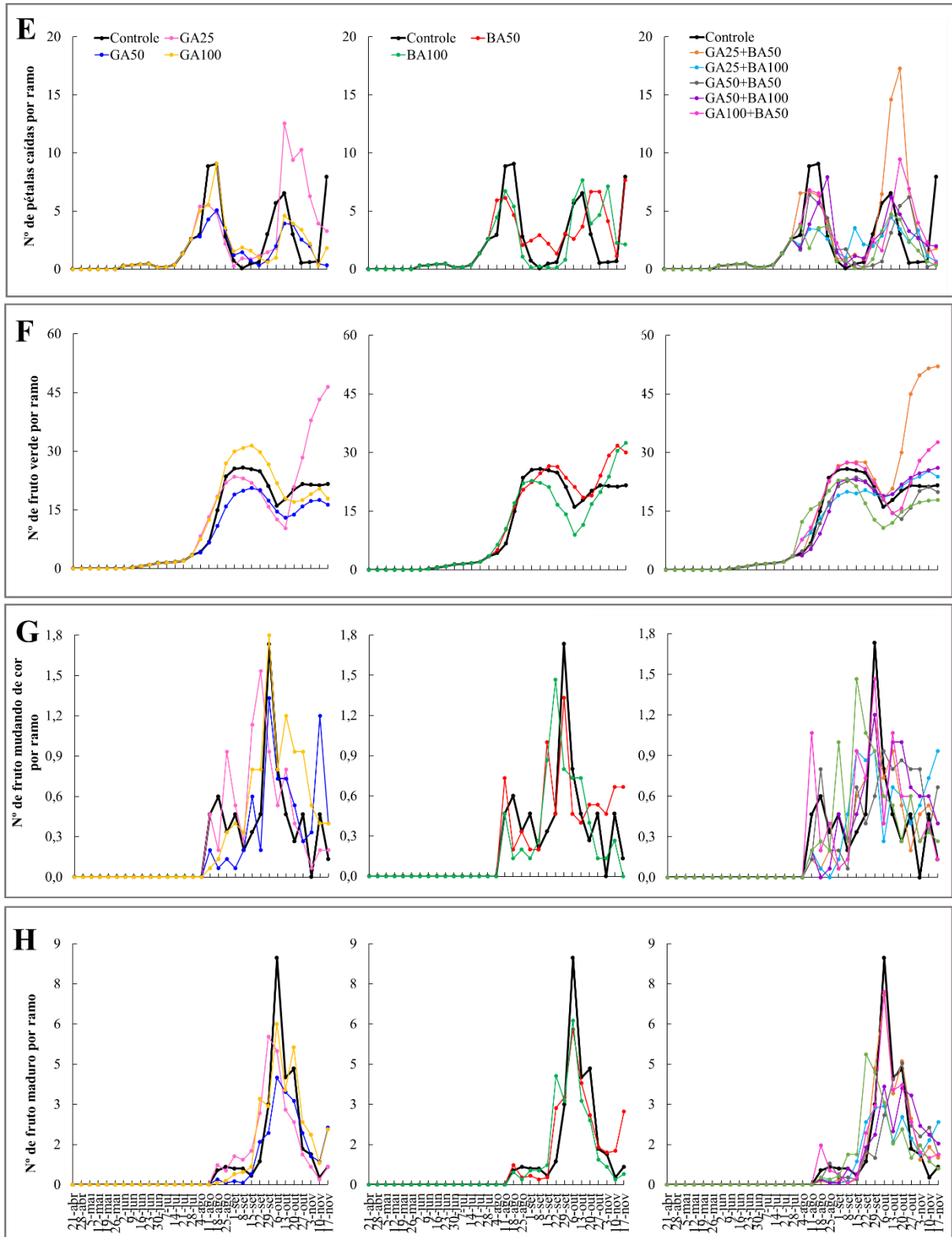


Figura 8. Progressão e intensidade dos estádios fenológicos reprodutivos de mirtilheiro (*Vaccinium corymbosum* L.) ‘Biloxi’ em ambiente de clima tropical com estação seca, no sudeste brasileiro (Pongáí-SP), no ano de 2023, com o fornecimento exógeno de ácido giberélico (GA₃) e benzilaminopurina (BA). E) Pétalas caídas; F) Fruto verde; G) Fruto mudando de cor; H) Fruto maduro.

O primeiro período apresentou pico em 21 de julho para ambos os tratamentos, exceto para GA50+BA100, GA100 e BA50 com pico registrado em 14, 21 e 28 dias após o controle, respectivamente. Dessa forma, ao considerar que o início dos tratamentos ocorreu em 28 de julho, pode-se inferir que apenas GA50+BA100, GA100 e BA50 apresentaram efeito. Além disso, neste período GA50+BA100 registrou o maior número de gemas abertas por ramo (1,2), seguido por GA100 (1,0), superiores ao controle e aos demais tratamentos que apresentaram 0,9 gemas abertas por ramo (figura 7B).

Quanto ao segundo período, foi observado atraso de 7 dias no pico com GA₃ a 25 e 50 mg L⁻¹ e com as combinações GA25+BA50, GA25+BA100, GA50+BA50, e atraso de 14 dias com BA a 50 mg L⁻¹ e quando esta concentração foi combinada com GA₃ a 100 mg L⁻¹ (GA100+BA50). Neste período, assim como em todo o período de avaliação, a combinação GA25+BA50 e GA₃ em sua menor concentração (25 mg L⁻¹) se sobressaíram em relação ao controle e aos demais tratamentos apresentando os maiores valores de gemas abertas por ramo, equivalentes a 1,9 e 1,7 respectivamente (figura 7B).

Botão, flor aberta e pétalas caídas

Nos estádios de botão, flor aberta e pétalas caídas, diferente do controle que apresentou três picos bem definidos, a maioria dos tratamentos com os reguladores vegetais registraram apenas dois (fig. 7C, 7D, 8E). No primeiro pico, no geral, GA₃ e BA não alteraram a data de ocorrência ou atrasaram em 7 dias em relação ao controle a depender do tratamento, além de apresentarem redução no número de órgãos por ramo, principalmente com GA₃ a 50 mg L⁻¹ e as combinações GA25+BA100 e GA100+BA100. No segundo pico a data de ocorrência geralmente foi atrasada entre 7 e 21 dias, dependendo do tratamento e, ainda, foi observado aumento no número de órgãos por ramo, com destaque para a combinação de GA25+BA50 e GA₃ em sua menor concentração (25 mg L⁻¹) que, assim como observado no estágio de gema inchada, se sobressaíram em relação ao controle e aos demais tratamentos registrando os maiores números de órgãos por ramo em todo o período de avaliação.

No estágio de botão, o primeiro pico geralmente ocorreu em 04 de agosto para ambos os tratamentos, exceto para GA₃ a 50 mg L⁻¹ e as combinações GA50+BA100 e GA100+BA100 que ocorreu após 7 dias (11 de agosto). No segundo pico, a maioria dos tratamentos com os reguladores vegetais proporcionou atraso de 7 dias no estágio de botão em relação ao controle que ocorreu em 29 de setembro, exceto as combinações de BA a 50 mg L⁻¹ com GA₃ a 50 e 100 mg L⁻¹ (GA50+BA50, GA100+BA50) com atraso de 14 dias. Com a combinação de GA25+BA50 e GA₃ a 25 mg L⁻¹ foram obtidos 19,1 e 14,8 botões por ramo, respectivamente (figura 7C).

No estágio de flor aberta, o primeiro pico geralmente ocorreu em 11 de agosto para ambos os tratamentos, exceto para GA₃ a 50 mg L⁻¹ e as combinações GA50+BA100 e GA100+BA100 que ocorreu após 7 dias (18 de agosto). No segundo pico, GA50, GA25+BA50 e GA100+BA100 atrasaram a data de ocorrência em 7 dias em relação ao controle que ocorreu em 06 de outubro, enquanto que GA25, GA100, BA50, GA50+BA50, GA100+BA50 atrasaram em 14 dias e BA100 e GA25+BA100 atrasaram em 21 dias. Com a combinação de GA25+BA50 e GA₃ a 25 mg L⁻¹ foram obtidas 7,1 e 5,3 flores por ramo, respectivamente (figura 7D).

No estágio de pétalas caídas, o primeiro pico ocorreu entre 11 e 18 de agosto para a maioria dos tratamentos, exceto para GA50+BA100 que foi registrado em 25 de agosto, 7 dias após. O segundo pico normalmente ocorreu em 13 de outubro para ambos os tratamentos, exceto para BA50, GA25+BA50, GA100+BA50 com atraso de 7 dias e, ainda, GA50+BA50 com atraso de 14 dias. Com a combinação de GA25+BA50 e GA₃ 25 mg L⁻¹ foram obtidas 17,3 e 14,6 pétalas caídas por ramo, respectivamente (Figura 8E).

Fruto verde, fruto mudando de cor e fruto maduro

Assim como observado no controle, os tratamentos com os reguladores vegetais apresentaram dois períodos de maior incidência do estágio de frutos verdes (figura 8F). No segundo período, novamente, a combinação de GA25+BA50 e GA₃ em sua menor concentração (25 mg L⁻¹) se sobressaíram em relação ao controle e aos demais tratamentos apresentando os maiores números de frutos verdes por ramo, equivalentes a 52,1 e 46,5 respectivamente, considerados os valores mais altos obtidos durante todo o período de avaliação. Pode-se inferir que o aumento no número de frutos por estes tratamentos está relacionado ao aumento proporcionado na abertura das gemas, no número de botões e, conseqüentemente, no número de flores abertas.

Nos estádios de fruto mudando de cor e fruto maduro, apenas um pico bem definido foi registrado para o controle (29 de setembro e 06 de outubro) e para os tratamentos. No geral, com GA25 os picos de ambos os estádios ocorreram em 7 dias antes do controle, e com GA100+BA100 ocorreram em 14 dias. No decorrer do período de avaliação, o número médio de frutos mudando de cor por ramo não variou muito entre os tratamentos (0,2 a 0,3), assim como o número de frutos maduros por ramo (0,7 a 0,9) (fig. 8G e 8H).

3.4. Discussão

Plasticidade fenológica reprodutiva

Em ambiente de clima tropical com estação seca, no sudeste brasileiro, o mirtilheiro SHB ‘Biloxi’ apresentou florescimento prolongado, de meados de abril a meados de novembro (210

dias), com novos fluxos de emissão de órgãos florais (gemas inchadas, gemas abertas, botões, flores abertas e pétalas caídas) mesmo após o início da frutificação e maturação dos frutos, permanecendo até o final do desenvolvimento reprodutivo. Estas respostas diferem do que ocorre em regiões mais frias, como na Flórida (200 a 300 horas acumuladas com temperaturas abaixo de 7°C no inverno), onde a floração e a frutificação dos mirtilheiros SHB ocorrem sucessivamente, com florescimento concentrado entre meados de janeiro a meados de fevereiro (aproximadamente 30 dias) (Lyrene, 2008).

No estudo de Steyn, Lötze e Hoffman (2023), realizado na África do Sul em locais de clima quente, foi registrada a ocorrência simultânea de todos os estádios fenológicos reprodutivos durante um período de três semanas no mês de agosto, com temperaturas médias de 8-16°C, para os mirtilheiros SHB perenes ‘8-42’ e ‘9-02’, semelhante ao que foi observado na presente pesquisa entre 18 de agosto e 10 de novembro, com temperaturas médias entre 15-32°C. Ademais, os autores citados também registraram dois períodos de maior incidência de gemas inchadas em ‘8-42’, no entanto, testemunharam apenas dois períodos de maior incidência de gemas abertas, diferente do presente estudo que apresentou três períodos.

Para ‘Biloxi’ foram observados três picos de botões e flores abertas, diferenciando dos resultados de Medina et al. (2018) que ao avaliarem o desenvolvimento reprodutivo de dois mirtilheiros SHB, também no sudeste brasileiro (Piracicaba-SP), registraram dois picos de botões e flores abertas para ‘Emerald’, enquanto que para ‘Jewel’ encontraram dois picos de botões e apenas um pico de flores abertas. De acordo com Antunes et al. (2008) as variações nos padrões fenológicos podem ocorrer, dependendo das características genéticas de cada genótipo e das condições climáticas locais, como temperatura e fotoperíodo. Dessa forma, pode-se atribuir os resultados distintos dos obtidos por Medina et al. (2018) aos diferentes genótipos estudados e as diferenças climáticas durante a execução do experimento. Em Piracicaba-SP as temperaturas médias variaram de 18-27 °C, enquanto que no local da presente pesquisa (Pongaí-SP) variavam de 14-32°C.

Em relação ao estádio de fruto maduro, Steyn, Lötze e Hoffman (2023) registraram início uma semana após a mudança de coloração dos frutos, em agosto, perdurando por 15 semanas até meados de novembro (temperaturas médias de 8-25 °C) para SHB ‘8-42’, como neste estudo, com diferença de apenas uma semana na duração do estádio, sendo registradas 14 semanas para ‘Biloxi’. Este período de 14 semanas para o estádio de fruto maduro difere substancialmente dos 17 a 38 dias encontrados por Baptista et al. (2006) em SHB ‘O’Neal’ e ‘Reveille’, respectivamente, em Portugal, região mais fria, com temperaturas médias de 11-19°C. A explicação para esta resposta seria que a retenção de folhas em SHB perenes estende a percepção

de dias curtos e a iniciação do desenvolvimento das gemas florais, o que resulta em prolongamento do florescimento e, conseqüentemente, em um período mais longo de ocorrência de frutos maduros (Phillips; Williamson; Munoz, 2020; Swain; Darnell, 2001, 2002).

Fornecimento exógeno de reguladores vegetais

No estudo de Zang et al. (2016) foi observado atraso na floração de mirtilheiros Rabbiteye (*V. ashei*) ‘Powder blue’, ‘Garden blue’ e ‘Climax’ com o fornecimento exógeno de 500 mg L⁻¹ de GA₃, anteriormente ao início do florescimento. Na presente pesquisa, considerando que GA₃ foi aplicado após o início dos estádios de gema inchada a fruto verde, não foi possível verificar se o GA₃ afetaria o início do florescimento, no entanto, constatou-se atraso de 7, 14 e até 21 dias no primeiro e segundo pico dos estádios de gema aberta, botão, flores abertas e pétalas caídas quando GA₃ foi utilizado de modo isolado ou combinado com BA nas diversas concentrações. Conforme relatado por Dong et al. (2012) o fornecimento exógeno de GA₃ pode resultar no aumento das concentrações de auxina e citocinina e na redução de ácido abscísico na planta, resultando no atraso do florescimento.

Outro achado de Zang et al. (2016) foi o aumento na incidência de flores abertas com uso de GA₃ nos três genótipos de mirtilheiro avaliados, assim como foi observado neste experimento no segundo pico de flores abertas em ‘Biloxi’ quando GA₃ a 25 mg L⁻¹ foi utilizado de modo isolado e combinado com BA a 50 mg L⁻¹ (GA25+BA50). Respostas semelhantes foram encontradas por Hassankhah et al. (2018) quando GA₃ foi aplicado de modo exógeno na concentração de 100 mg L⁻¹ em *Juglans regia*. O aumento no número de flores abertas por GA25 e GA25+BA50 pode estar relacionado ao fato destes tratamentos terem incrementado a abertura das gemas, o que encontra respaldo no estudo de Lin e Agehara (2020b), o qual indica que GA₃ pode estimular a abertura de gemas florais por atuar na quebra de dormência. Além disso, Sravya et al. (2024) relatam que a maior produção de flores a partir da aplicação de GA₃ ocorre devido ao prolongamento na assimilação de nutrientes pelas plantas.

Embora não existam estudos com mirtilheiro que demonstrem o efeito de BA na duração dos estádios fenológicos reprodutivos, Pérez-León et al. (2023) observaram aumento na incidência de gemas florais em SHB ‘Biloxi’ quando oito aplicações (intervalos semanais) de BA nas concentrações de 10 e 20 mg L⁻¹ foram realizadas em pré-floração. Na presente pesquisa respostas opostas foram encontradas para o mesmo genótipo quando duas aplicações de BA nas concentrações de 50 e 100 mg L⁻¹ foram realizadas na presença de órgãos florais e frutos levando à redução no número de gemas inchadas por ramo. As respostas distintas obtidas podem ser justificadas pelas diferenças nas concentrações empregadas, no número e datas de aplicação, conforme relatado por Cartagena, Matta e Spiers (1994).

Quanto a frutificação, Nesmith e Krewer (1997) relataram aumento no número de frutos em mirtilheiros Rabbiteye (*V. ashei*) ‘Tifblue’ quando duas aplicações de GA₃ com diversas concentrações (faixa de 150 a 200 mg L⁻¹) foram efetuadas na presença de botões e flores abertas. Respostas semelhantes foram observadas no presente estudo em ‘Biloxi’ a partir do fornecimento exógeno de GA₃ a 25 mg L⁻¹ isolado e combinado com BA a 50 mg L⁻¹ (GA25+BA50), com aumento no número de frutos verdes por ramo. No estudo de Lin e Agehara (2020b), o aumento no número de frutos pela ação de GA₃ foi relacionado ao incremento na abertura de gemas florais. Outro estudo, realizado por El-Otmani et al. (2004) indica que a aplicação de GA₃ pode proporcionar incremento nos níveis de nitrogênio nas folhas, devido a maior absorção pelas raízes, o que leva à redução da competição pelos compostos nitrogenados disponíveis para a frutificação e o crescimento, resultando no aumento do número de frutos. Ademais, existem relatos de que o fornecimento de GA₃ exógeno facilita e aumenta a mobilização de carboidratos para os ovários jovens em desenvolvimento, proporcionando maior retenção de frutos (Mesbah Uddin et al., 2024; Shinozaki et al., 2020).

Ainda que neste experimento a data inicial do estágio de fruto maduro não tenha sido alterada, os tratamentos com GA25 e GA100+BA100 resultaram no adiantamento do pico em relação ao controle. Respostas obtidas por Zang et al. (2016) em mirtilheiro Rabbiteye (*V. ashei*) demonstraram atraso na maturação de frutos com o uso de GA₃ a 500 mg L⁻¹ em pré-floração. O adiantamento na maturação dos frutos foi encontrado por Lin e Agehara (2020a) em *Rubus* spp. ‘Ouchita’ e ‘Navaho’ quando GA₃ foi fornecido de modo exógeno na concentração de 53 mg L⁻¹.

3.5. Conclusões

Em ambiente de clima tropical com estação seca, no sudeste brasileiro, em comparação a regiões mais frias, o mirtilheiro SHB ‘Biloxi’ apresenta florescimento prolongado, com novos fluxos de emissão de órgãos florais (gemas inchadas, gemas abertas, botões, flores abertas e pétalas caídas), durante todo o ciclo produtivo, e maior período de ocorrência de frutos maduros.

O ácido giberélico (GA₃) e a benzilaminopurina (BA) aplicados em julho e agosto (inverno) reduzem a emissão de gemas inchadas e atrasam os picos de ocorrência de gemas abertas, botões, flores abertas e pétalas caídas, com destaque para 25 mg L⁻¹ de GA₃ e a combinação de 25 mg L⁻¹ de GA₃ com 50 mg L⁻¹ de BA, que resultam em incremento do florescimento e frutificação, por estimularem a abertura das gemas florais e elevarem a incidência de flores e frutos verdes.

Conclui-se, portanto, que o mirtilheiro SHB ‘Biloxi’ sofre alterações em sua fenologia reprodutiva quando submetido a ambiente de clima tropical com estação seca, no sudeste brasileiro, e que o fornecimento exógeno de GA₃ e BA modula os estádios fenológicos, dependendo do regulador vegetal, da concentração e das combinações empregadas, podendo estimular a floração e a frutificação.

3.6. Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil CAPES pela concessão da bolsa de Mestrado ao primeiro autor. (Nº do processo: 88887.817604/2023-00).

3.7. Referências

ANTUNES, L. E. C. et al. Fenologia, produção e qualidade de frutos de mirtilo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 8, p. 1011–1015, ago. 2008.

ANTUNES, L. E. C.; BACCAN, R. **Cultivares de mirtilos para produção em vasos**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2023. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1152387/1/CIRCULAR-CPACT-236.pdf>>. Acesso em: 9 jan. 2025.

ÁVILA, M. A. DE et al. Local environment contributes to shape phenological patterns in *Mauritia flexuosa* L.f. **Forest Ecology and Management**, v. 545, p. 121252, out. 2023.

BAPTISTA, M. C. et al. Early ripening of southern highbush blueberries under mild winter conditions. **Acta Horticulturae**, n. 715, p. 191–196, ago. 2006.

BEAUBIEN, E. G.; JOHNSON, D. L. Flowering plant phenology and weather in Alberta, Canada. **International Journal of Biometeorology**, v. 38, n. 1, p. 23–27, mar. 1994.

BERTIN, R. I. Plant Phenology And Distribution In Relation To Recent Climate Change. **The Journal of the Torrey Botanical Society**, v. 135, n. 1, p. 126–146, jan. 2008.

BONS, H. K.; KAUR, M. Role of plant growth regulators in improving fruit set, quality and yield of fruit crops: a review. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 95, n. 2, p. 137–146, 3 mar. 2020.



CANTUARIAS-AVILÉS, T. et al. Cultivo do mirtilo: atualizações e desempenho inicial de variedades de baixa exigência em frio no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. 1, p. 139–147, mar. 2014.

CARTAGENA, J. R.; MATTA, F. B.; SPIERS, J. M. Chemical Fruit Thinning of *Vaccinium ashei* Reade. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 119, n. 6, p. 1133–1136, nov. 1994.

COSMULESCU, S.; BÎRSANU IONESCU, M. Phenological calendar in some walnut genotypes grown in Romania and its correlations with air temperature. **International Journal of Biometeorology**, v. 62, n. 11, p. 2007–2013, 12 nov. 2018.

COSMULESCU, S.; CALUSARU, F. G. Influence of temperature on blackthorn (*Prunus spinosa* L.) phenophases in spring season. **Journal of Agricultural Meteorology**, v. 76, n. 1, p. 53–57, 2020.

DONG, C. F. et al. Effects of gibberellic acid application after anthesis on the feeding value of double-purpose rice (*Oryza sativa* L.) straw at harvest. **Field Crops Research**, v. 131, p. 75–80, maio 2012.

EL-OTMANI, M. et al. Effect of gibberellic acid, urea and KNO₃ on yield and on composition and nutritional quality of clementine mandarin fruit juice. **Acta Horticulturae**, n. 632, p. 149–157, fev. 2004.

FAHRENKROG, A. M. et al. Chloroplast genome assemblies and comparative analyses of commercially important *Vaccinium* berry crops. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 21600, 14 dez. 2022.

HASSANKHAH, A. et al. Flower Development in Walnut: Altering the Flowering Pattern by Gibberellic Acid Application. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 46, n. 2, p. 700–706, 4 abr. 2018.

LIN, S.-Y.; AGEHARA, S. Exogenous Gibberellic Acid Advances Reproductive Phenology and Increases Early-Season Yield in Subtropical Blackberry Production. **Agronomy**, v. 10, n. 9, p. 1317, 3 set. 2020a.



LIN, S.-Y.; AGEHARA, S. Exogenous Gibberellic Acid and Cytokinin Effects on Budbreak, Flowering, and Yield of Blackberry Grown under Subtropical Climatic Conditions. **HortScience**, v. 55, n. 12, p. 1938–1945, dez. 2020b.

LYRENE, P. M. Breeding Southern Highbush and Rabbiteye blueberries. **Acta Horticulturae**, n. 715, p. 29–36, ago. 2006.

LYRENE, P. M. ‘Emerald’ Southern Highbush Blueberry. **Hortscience**, v. 43, n. 5, p. 1606–1607, 2008.

MEDINA, R. B. et al. Performance of “Emerald” and “Jewel” blueberry cultivars under no-chill incidence. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 48, n. 2, p. 147–152, abr. 2018.

MESBAH UDDIN, A. S. M. et al. Gibberellic Acid Spray Modulates Fruiting, Yield, Quality, and Shelf Life of Rambutan (*Nephelium lappaceum* L.). **Journal of Horticultural Research**, v. 32, n. 1, p. 51–66, 1 jun. 2024.

MILIĆ, B. et al. Bioregulators can improve fruit size, yield and plant growth of northern highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.). **Scientia Horticulturae**, v. 235, p. 214–220, maio 2018.

MSU EXTENSION BLUEBERRIES. **Growth Stages - blueberry**. Disponível em: <https://www.canr.msu.edu/blueberries/growing_blueberries/growth-stages>. Acesso em: 1 jan. 2025.

NESMITH, D. S. Use of Plant Growth Regulators in Blueberry Production in the Southeastern U.S. **International Journal of Fruit Science**, v. 5, n. 3, p. 41–54, nov. 2005.

NESMITH, D. S.; KREWER, G. Response of rabbiteye blueberry (*Vaccinium ashei* READE) to gibberellic acid rate. **Acta Horticulturae**, n. 446, p. 337–342, ago. 1997.

PÉREZ-LEÓN, M. I. et al. Effect of Glutamic Acid and 6-benzylaminopurine on Flower Bud Biostimulation, Fruit Quality and Antioxidant Activity in Blueberry. **Plants**, v. 12, n. 12, p. 2363, 18 jun. 2023.



PHILLIPS, D. A.; WILLIAMSON, J. G.; MUNOZ, P. R. **Evergreen Production System for Southern Highbush Blueberries in Florida**. Disponível em: <<https://edis.ifas.ufl.edu/publication/HS1362>>. Acesso em: 15 jan. 2025.

PIO, R. et al. Advances in the production of temperate fruits in the tropics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 41, n. 1, p. 39549, 13 nov. 2018.

RETAMALES, J. B.; HANCOCK, J. F. **Crop Production Science in Horticulture: Blueberries**. 2. ed. Wallingford, Reino Unido: Cabi, 2018.

ROLIM, G. DE S. et al. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 66, n. 4, p. 711–720, 2007.

SAMISH, R. M. Dormancy in Woody Plants. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 5, n. 1, p. 183–204, jun. 1954.

SCALZO, J.; WRIGHT, G.; BOETTIGER, S. Adaptability of blueberries to lower chill growing regions in Australia. **Acta Horticulturae**, n. 1117, p. 45–48, maio 2016.

SCHABER, J.; BADECK, F.-W. Evaluation of methods for the combination of phenological time series and outlier detection. **Tree Physiology**, v. 22, n. 14, p. 973–982, 1 out. 2002.

SHINOZAKI, Y. et al. Fruit setting rewires central metabolism via gibberellin cascades. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 117, n. 38, p. 23970–23981, 22 set. 2020.

SRAVYA, K. et al. The impact of varying levels of Gibberellic Acid (GA₃) on plant growth, flowering, flower quality, seed yield, and quality of Petunia (*Petunia × hybrida* Vilm.). **Ecological Genetics and Genomics**, v. 33, p. 100301, dez. 2024.

STEYN, J.; LÖTZE, E.; HOFFMAN, E. W. The seasonal progression of the reproductive phenology of two southern highbush blueberry (*V. corymbosum* L. interspecific



hybrids) cultivars in the Western Cape, South Africa. **Scientia Horticulturae**, v. 307, p. 111493, jan. 2023.

STRIK, B. C.; FINN, C. E.; MOORE, P. P. **Blueberry cultivars for the Pacific Northwest**. Disponível em: <<http://ir.library.oregonstate.edu/xmlui/bitstream/handle/1957/45871/pnw656.pdf>>. Acesso em: 6 jan. 2025.

SWAIN, P. A. W.; DARNELL, R. L. Differences in Phenology and Reserve Carbohydrate Concentrations Between Dormant and Nondormant Production Systems in Southern Highbush Blueberry. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 126, n. 4, p. 386–393, jul. 2001.

SWAIN, P. A. W.; DARNELL, R. L. Production Systems Influence Source Limitations to Growth in ‘Sharpblue’ Southern Highbush Blueberry. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 127, n. 3, p. 409–414, maio 2002.

ZANG, Y.-X. et al. Effect of gibberellic acid application on plant growth attributes, return bloom, and fruit quality of rabbiteye blueberry. **Scientia Horticulturae**, v. 200, p. 13–18, mar. 2016.



4. CAPÍTULO III: Ácido giberélico (GA₃) e benzilaminopurina alteram a frutificação, características físico-químicas e composição antioxidante de mirtilo (*Vaccinium corymbosum* L.) ‘Biloxi’

Este capítulo foi redigido na forma de artigo nas normas da revista *Journal of Plant Growth Regulation*.



Ácido giberélico (GA₃) e benzilaminopurina alteram a frutificação, características físico-químicas e composição antioxidante de mirtilo (*Vaccinium corymbosum* L.) ‘Biloxi’

Larissa Silva Rodrigues^{1*}, Gisela Ferreira¹

¹Departamento de Bioestatística e Biodiversidade, Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Rua Prof. Dr. Antônio Celso Wagner Zanin, 250, CEP 18618-689, Botucatu, São Paulo, Brasil.

* E-mail: larissa.s.rodrigues@unesp.br.

Resumo

A demanda mundial por mirtilos tem aumentado nos últimos anos devido as suas propriedades antioxidantes e benefícios à saúde. Este cenário, aliado à crescente preferência dos consumidores por frutos de maior qualidade tem impulsionado a realização de pesquisas com foco no aumento da frutificação, características físico-químicas e composição antioxidante dos frutos. Embora existam relatos na literatura que comprovem o efeito do fornecimento exógeno de ácido giberélico (GA₃) e benzilaminopurina (BA) em diferentes espécies frutíferas no aumento da frutificação e da qualidade dos frutos, poucas informações são encontradas para o mirtilo, principalmente, em relação ao uso combinado destes reguladores vegetais e a composição antioxidante dos frutos. O objetivo deste estudo foi avaliar se GA₃ e BA alteram a frutificação e a qualidade do mirtilo (*Vaccinium corymbosum* L.) ‘Biloxi’. O experimento foi conduzido em blocos casualizados, com 5 repetições de 3 plantas por parcela e 12 tratamentos, constituídos por concentrações de GA₃ (25, 50 e 100 mg L⁻¹) e BA (50 e 100 mg L⁻¹), isoladas e combinadas e um controle. Variáveis analisadas: produção (g) e número de frutos por planta, massa, diâmetros equatorial e polar, pH, sólidos solúveis ‘SS’, acidez titulável ‘AT’, açúcares solúveis, fenóis totais, flavonoides, antocianinas e atividade antioxidante dos frutos. Os resultados indicam que GA₃ e BA modificam as características químicas e a composição antioxidante dos frutos, especialmente no início do ciclo produtivo e no momento de maior produção. No entanto, não alteram as características produtivas e físicas dos frutos. O aumento na atividade antioxidante e nas concentrações de fenóis totais, flavonoides, antocianinas, açúcares solúveis e SS nos frutos foram mais evidentes quando GA₃ e BA foram utilizados combinados em suas maiores concentrações (100 mg L⁻¹). Conclui-se, portanto, que os efeitos de GA₃ e BA fornecidos em conjunto são mais efetivos do que quando aplicados de modo isolado para o incremento da qualidade nutracêutica e sensorial do mirtilo.

Palavras-chave: Reguladores vegetais. *Vaccinium* spp. Compostos bioativos. Atividade antioxidante dos frutos. Propriedades sensoriais dos frutos.

Abstract

The global demand for blueberries has increased in recent years due to their antioxidant properties and health benefits. This scenario, combined with consumers' growing preference for higher quality fruits, has driven research focused on increasing fruit set, physical-chemical characteristics and antioxidant composition of the fruits. Although there are reports in the literature that prove the effect of exogenous supply of gibberellic acid (GA_3) and benzylaminopurine (BA) in different fruit species in increasing fruit set and fruit quality, little information is found for blueberries, mainly in relation to the combined use of these plant regulators and the antioxidant composition of the fruits. The aim of this study was to evaluate whether GA_3 and BA impact the fruiting and quality of blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) ‘Biloxi’. The experiment was carried out in randomized blocks, with 5 replications of 3 plants per plot and 12 treatments, consisting of concentrations of GA_3 (25, 50 and 100 mg L⁻¹) and BA (50 and 100 mg L⁻¹), isolated and combined and a control. Variables analyzed: production (g) and number of fruits per plant, mass, equatorial and polar diameters, pH, soluble solids ‘SS’, titratable acidity ‘TA’, soluble sugars, total phenols, flavonoids, anthocyanins and antioxidant activity of the fruits. The results indicate that GA_3 and BA modify the chemical characteristics and antioxidant composition of fruits, especially at the beginning of the production cycle and at the time of greatest production. However, they do not alter the productive and physical characteristics of the fruits. The increase in antioxidant activity and concentrations of total phenols, flavonoids, anthocyanins, soluble sugars and SS in fruits were more evident when GA_3 and BA were used combined in their highest concentrations (100 mg L⁻¹). It is concluded, therefore, that the effects of GA_3 and BA provided together are more effective than when applied in isolation to increase the nutraceutical and sensory quality of blueberries.

Keywords: Plant growth regulators. *Vaccinium* spp. Bioactive compounds. Antioxidant activity of fruits. Sensory properties of fruits.

4.1. Introdução

O mirtilheiro (*Vaccinium* spp.) é uma planta frutífera conhecida mundialmente pela alta capacidade antioxidante dos seus frutos, atribuída a presença de compostos bioativos como compostos fenólicos, principalmente flavonoides e antocianinas (Guofang et al., 2019; Spinardi et al., 2019). Devido as suas propriedades nutracêuticas, o mirtilo é considerado um dos cinco alimentos mais saudáveis para a alimentação humana (Zhang et al., 2021), tendo seu consumo associado a inúmeros benefícios à saúde, incluindo efeitos anticâncer (Das et al., 2022), anti-

inflamatório (Huang et al., 2018), antiobesidade (Jiao et al., 2019) e a prevenção de doenças cardiovasculares (Wood et al., 2019) e diabetes (Tian et al., 2019).

A crescente conscientização mundial sobre a saúde pública alinhada à procura eminente por alimentos funcionais com múltiplos benefícios à saúde (Mohd ALI et al., 2012) tornou o mirtilo popular nos últimos anos, fazendo com que seu consumo aumentasse e expandisse expressivamente no mundo (Fao, 2025; Rodriguez-Saona; Vincent; Isaacs, 2019).

Tendo em vista a elevada demanda mundial pelo mirtilo e a preferência dos consumidores por frutos de maior qualidade (Cao et al., 2024; Retamales et al., 2014), as pesquisas contemporâneas com o mirtilheiro têm apresentado como foco estratégicas para o aumento da frutificação e, também, da qualidade dos frutos (Carroll et al., 2024; Makarov et al., 2024; Min et al., 2025; Zhang et al., 2025). A qualidade dos frutos inclui a constituição nutracêutica (composição antioxidante) (Duan et al., 2022) e os padrões visuais e sensoriais, relacionados as características físico-químicas dos frutos como massa, diâmetro e concentrações de açúcares, sólidos solúveis e acidez titulável (Simpson et al., 2023).

O conhecimento dos efeitos fisiológicos de reguladores vegetais na frutificação pode ser aliado no aumento da frutificação e qualidade dos frutos, uma vez que, quando utilizados em baixas concentrações, modulam os processos fisiológicos influenciando o crescimento e a retenção dos frutos, além de corrigir distúrbios fisiológicos para melhorar o rendimento e a qualidade (Bons; Kaur, 2020).

O ácido giberélico (GA_3) é um regulador vegetal amplamente utilizado por atuar no desenvolvimento dos frutos, promovendo a divisão celular, o aumento do tamanho e do rendimento, além de incrementar as concentrações de metabólitos especializados (Dong et al., 2023; Kaplan et al., 2018). Estudos prévios indicam que o fornecimento exógeno de GA_3 no início da frutificação de *Vitis vinifera* elevou a produção por planta, a massa e o diâmetro dos frutos (Khalil, 2020), com efeito potencializado quando utilizado em combinação com a citocinina sintética forchlorfenuron, conhecida como CPPU (Xu et al., 2019). Além disso, a aplicação de GA_3 em plena floração incrementou as concentrações de sólidos solúveis e açúcares nos frutos de *Pyrus communis* (Mosa et al., 2022) e elevou a atividade antioxidante e as concentrações de fenóis totais e flavonoides nos frutos de *Rubus* spp., quando utilizado em plena floração e na frutificação (Çolak, 2018).

As citocininas são conhecidas como uma ferramenta viável para a manipulação da frutificação e da qualidade dos frutos de diferentes espécies frutíferas, provocando aumento no rendimento, no tamanho dos frutos e nas concentrações de metabólitos primários e

especializados quando utilizadas de forma isolada ou em combinação com outros reguladores vegetais (Aremu et al., 2020). Em plantas de *Malus domestica* o tratamento exógeno em plena floração com a citocinina benzilaminopurina (BA) isolada ou combinada com a giberelina GA₄₊₇ resultou em frutos com maior massa e diâmetro (Marchioretto et al., 2019). Em *Fragaria vesca* o fornecimento exógeno de BA promoveu o acúmulo de açúcares, sólidos solúveis, fenóis totais, flavonoides e antocianinas nos frutos (Dong et al., 2022).

Quanto a produção e as características físicas dos frutos, Zang et al. (2016) verificaram que três aplicações de GA₃ a 500 mg L⁻¹ anteriormente ao início do florescimento em *Vaccinium ashei* resultou em frutos de maior massa e diâmetro, enquanto Milić et al. (2018) observaram que aplicação única de GA₃ a 200 mg L⁻¹ na caída das pétalas em *Vaccinium corymbosum* não alterou a produção por planta, massa e diâmetro equatorial dos frutos. Com BA, Milić et al. (2018) demonstraram que a aplicação única de 100 mg L⁻¹ na caída das pétalas em *V. corymbosum* incrementou a produção por planta e a massa média de frutos, enquanto que Koron e Stopar (2006) constataram que aplicação única de 50 mg L⁻¹ na caída das pétalas em *V. corymbosum* não alterou a produção por planta, massa e diâmetro dos frutos.

Em relação as características químicas dos mirtilos, Sun et al. (2013) observaram aumento na concentração de sólidos solúveis nos frutos de *V. corymbosum* com aplicação única de 30 mg L⁻¹ de GA₃ no início do desenvolvimento dos frutos. Em contrapartida Hu et al. (2023) constataram redução nos valores de sólidos solúveis em frutos de *V. corymbosum* quando GA₃ foi fornecido de modo exógeno na floração com concentrações de 100 e 150 mg L⁻¹. No estudo de Hooks e Kenworthy (1971) aplicação única de GA₃ a 250 e 500 mg L⁻¹ na floração de *V. corymbosum* não alterou a acidez titulável, enquanto o estudo de Zang et al. (2016) demonstraram que três aplicações de 500 mg L⁻¹ de GA₃ realizadas anteriormente ao início do florescimento em *V. ashei* resultou na redução da acidez titulável dos frutos.

Ao se considerar os efeitos de GA₃ e BA na composição antioxidante do mirtilo poucas informações estão disponíveis na literatura e retratam o uso isolado, mostrando aumento na atividade antioxidante em *V. ashei* com o uso de 500 mg L⁻¹ de GA₃ (Zang et al., 2016) e incremento nas concentrações de flavonoides e antocianinas em *V. corymbosum* com o uso de 20 mg L⁻¹ de BA (Pérez-León et al., 2023).

Quando se refere aos efeitos combinados de GA₃ e BA no mirtilo não foi possível encontrar estudos, até o momento, para a produção, características físico-químicas ou para a composição antioxidante.

Com base no exposto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar se os reguladores vegetais GA₃ e BA aplicados de modo exógeno, isolados ou combinados, alteram a frutificação e

qualidade de mirtilo (*Vaccinium corymbosum* L.) ‘Biloxi’, considerando a produção, características físico-químicas e composição antioxidante.

4.2. Material e métodos

Caracterização do local

O estudo foi realizado no período de julho a novembro de 2023 com frutos maduros coletados em cultivo comercial de mirtilheiro (*Vaccinium corymbosum* L.) ‘Biloxi’, localizado no município de Pongai-SP, coordenadas geográficas 21°47’35” de latitude Sul, 49°22’31” de longitude Oeste e altitude de 458 metros. O solo da área experimental classifica-se como argissolo vermelho-amarelo com textura arenosa/média e relevo suave ondulado (Rossi, 2017).

O clima da região, segundo a classificação de Köppen-Geiger, é do tipo Aw, caracterizado como tropical com estação seca, com inverno seco e verão chuvoso (Rolim et al., 2007). Os dados meteorológicos durante o experimento foram monitorados diariamente através de Datalogger (Instrutherm, modelo HT900) e pluviômetro (Incoterm, modelo 4755) e encontram-se na tabela 1.

Tabela 1. Temperatura, umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica médias durante a execução do experimento com o mirtilheiro (*Vaccinium corymbosum* L.) ‘Biloxi’, em 2023.

Meses	Temperatura média (°C)	Umidade relativa do ar média (%)	Precipitação (mm)
Julho	19,76	69,64	0,00
Agosto	23,08	60,76	13,50
Setembro	26,65	58,29	37,00
Outubro	26,11	73,21	221,30
Novembro	27,47	66,25	72,50
Média	24,61	65,63	-
Precipitação total	-	-	344,30

Material vegetal

As plantas de mirtilheiro ‘Biloxi’ apresentavam três anos de idade, sendo oriundas de micropropagação. O cultivo foi estabelecido no solo em sulcos de 60 cm de largura e 60 cm de profundidade preenchidos com substrato composto por casca de arroz natural seca (sem passar por processo de queima) e pó de serra não compostado, na proporção de 3:1, com espaçamento de 3,0 m entre sulcos e 0,50 m entre plantas.

A irrigação e nutrição mineral foram realizadas por meio de sistema de gotejamento, visando fornecer por ciclo 660 litros de água por planta e N: 200 kg ha⁻¹; P₂O₅: 70 kg ha⁻¹; K₂O: 220 kg ha⁻¹; Ca²⁺: 80 kg ha⁻¹; Mg²⁺: 40 kg ha⁻¹; SO₄²⁻: 250 kg ha⁻¹; Zn²⁺: 20 kg ha⁻¹; Fe²⁺: 500 g ha⁻¹. O manejo fitossanitário foi realizado conforme as práticas convencionais do produtor.

Para a realização do estudo selecionou-se plantas similares em altura (75 cm), diâmetro de copa (90 cm), vigor e sanidade, uniformizadas com vinte ramos laterais.

Delineamento experimental e tratamentos

Adotou-se o delineamento em blocos casualizados, com doze tratamentos (tabela 2), cinco repetições e três plantas por parcela. As parcelas foram separadas por pelo menos uma planta de bordadura e a área experimental foi delimitada de modo a apresentar em seu perímetro bordadura de no mínimo 3,0 m de largura.

Os tratamentos foram constituídos por concentrações de ácido giberélico (ProGibb® 400 g kg⁻¹ de GA₃, *Sumitomo Chemical*) e benzilaminopurina (MaxCel® 20 g L⁻¹ de BA, *Sumitomo Chemical*), isoladas e combinadas, além de um controle sem os reguladores vegetais. O produto Silwet® (*Momentive Performance Materials Inc.*), na concentração de 0,05%, foi utilizado como agente adjuvante em todos os tratamentos.

Tabela 2. Tratamentos de ácido giberélico (GA₃) e benzilaminopurina (BA) fornecidos de modo exógeno em mirtilheiro (*Vaccinium corymbosum* L.) ‘Biloxi’, em 2023.

Tratamento	GA ₃ (mg L ⁻¹)	BA (mg L ⁻¹)	Identificação
T1*	-	-	Controle
T2	25	-	GA25
T3	50	-	GA50
T4	100	-	GA100
T5	-	50	BA50
T6	-	100	BA100
T7	25	50	GA25+BA50
T8	25	100	GA25+BA100
T9	50	50	GA50+BA50
T10	50	100	GA50+BA100
T11	100	50	GA100+BA50
T12	100	100	GA100+BA100

*Apenas água e adjuvante Silwet® na concentração de 0,05%.

Os tratamentos foram aplicados em dois momentos, com intervalo de 14 dias (28 de julho e 11 de agosto de 2023). Em 28 de julho as plantas continham 76,87% de órgãos florais (gemas inchadas, gemas abertas, botões, flores abertas e pétalas caídas) e 23,13% de frutos verdes de tamanho variável, enquanto que em 11 de agosto apresentavam 60,92% de órgãos florais, 37,55% de frutos verdes e 1,53% de frutos em mudança de coloração.

As aplicações foram efetuadas com 1,0 litro de solução por tratamento, em toda a parcela, utilizando pulverizador elétrico devidamente calibrado (Brudden, modelo Practical). Para evitar a contaminação entre as parcelas, utilizou-se capa protetora para isolamento das plantas e após cada tratamento, o pulverizador passou por tríplex lavagem.

Avaliações

Os frutos maduros de cada repetição dos tratamentos foram coletados manualmente com intervalos semanais durante o período de 91 dias, totalizando 14 coletas. As coletas foram iniciadas com o surgimento dos primeiros frutos maduros, em 18 de agosto de 2023, 21 Dias Após o Início das Aplicações dos tratamentos (DAIA) e finalizadas em 17 de novembro de 2023, 112 DAIA. Em cada coleta foram obtidos os dados referentes as características produtivas e físicas dos frutos.

Características produtivas e físicas dos frutos

- a) Produção (g planta^{-1}): todos os frutos coletados das três plantas das repetições dos tratamentos foram pesados em balança eletrônica com precisão de 0,01 g. Posteriormente, a média foi calculada para determinação da produção por planta.
- b) Número de frutos ($\text{n}^\circ \text{ planta}^{-1}$): todos os frutos coletados das três plantas das repetições dos tratamentos foram contados. Posteriormente, a média foi calculada para determinação do número de frutos por planta.
- c) Massa do fruto (g): obtida através do quociente entre a produção e o número de frutos por planta.
- d) Diâmetro equatorial e diâmetro polar do fruto (mm): obtidos pela média de 20 frutos coletados aleatoriamente por repetição, medidos individualmente com paquímetro digital com precisão de 0,01 mm (Mitutoyo, modelo 500-196-30).

A análise estatística dos dados foi realizada em cada data de coleta individualmente, bem como considerando o ciclo produtivo como um todo, a partir dos dados médios totais de produção e número de frutos e dos dados médios de massa e diâmetro dos frutos, referentes as 14 datas.

Características químicas e composição antioxidante dos frutos

Em cada data de coleta, amostras de no máximo 60 frutos maduros de cada repetição dos tratamentos (a depender da disponibilidade) foram acondicionadas em sacos plásticos identificados e armazenadas no mesmo dia em freezer com temperatura de -20°C , permanecendo nestas condições até as análises laboratoriais, realizadas no departamento de Biodiversidade e Bioestatística do Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), município de Botucatu-SP.

A partir das 14 datas de coleta foi detectado o momento de maior produção de frutos para a realização das análises de pH, Sólidos Solúveis (SS), Acidez Titulável (AT), açúcares solúveis, fenóis totais, flavonoides, antocianinas e atividade antioxidante.

Neste momento, metade dos frutos de cada amostra (30 frutos) foram retirados e mantidos em temperatura ambiente por 15 minutos para descongelamento (PRATAP-SINGH et al., 2023). Os frutos foram macerados e homogeneizados com almofariz e pistilo e filtrados com gaze estéril para a obtenção do suco concentrado, o qual foi utilizado para a realização das análises a seguir, de acordo com os padrões analíticos do Instituto Adolfo Lutz (2008):

- a) pH: determinado em 10 mL do suco concentrado com pHmetro (Hanna, modelo pH 21) calibrado com as soluções padrão de pH 4,0 e 7,0.
- b) Sólidos solúveis (SS): determinado com três gotas do suco concentrado utilizando-se refratômetro digital com compensação automática de temperatura (Asko, modelo RHB32), previamente calibrado com água deionizada. A quantificação foi realizada em triplicata e os dados médios expressos em $^{\circ}\text{Brix}$.
- c) Acidez titulável (AT): determinada por volumetria potenciométrica, onde o suco concentrado (10 mL) foi diluído em 100 mL de água deionizada e esta mistura foi titulada com solução de NaOH 0,1 N até atingir o pH de 8,2. Os resultados foram expressos em % de ácido cítrico.

A outra metade dos frutos de cada amostra (30 frutos), ainda congelados, foram macerados em nitrogênio líquido com auxílio de almofariz e pistilo, até obtenção de pó fino, que foi utilizado para a realização das seguintes análises, em triplicata:

- a) Açúcares solúveis: a extração foi realizada segundo metodologia proposta por Garcia et al. (2006), onde 100 mg do material vegetal foram dissolvidas em 1 mL de etanol 80% e, posteriormente a mistura foi agitada em vórtex por 30 segundos, incubada em banho-maria à 80°C por 15 minutos e centrifugada a 12.000 rpm à 25°C por 15 minutos. O material vegetal foi submetido a três extrações e os sobrenadantes foram unidos e igualados com água deionizada para o volume final

de 3 mL. A quantificação foi efetuada pelo método Fenol-Sulfúrico (DUBOIS et al., 1956), onde uma alíquota de 10 μ L do extrato foi incorporada à 490 μ L de água deionizada, 0,5 mL de fenol a 5% e 2,5 mL de ácido sulfúrico concentrado. A solução foi homogeneizada, resfriada em temperatura ambiente por 5 minutos e submetida a leitura em espectrofotômetro UV-Vis (Bel Engineering®, modelo UV-M51) a 490 nm. A concentração de açúcares solúveis foi calculada de acordo com a curva de calibração de glicose anidra ($y=0,0183x+0,0719$, $R^2=0,9998$) e expressa em miligramas de glicose equivalente por grama de massa fresca.

- b) Fenóis totais: equivale a concentração de compostos fenólicos da amostra, quantificada de acordo com o método Folin-Ciocalteu, com adaptações (SINGLETON; ORTHOFER; LAMUELA-RAVENTÓS, 1999). O material vegetal (100 mg) foi dissolvido em 5 mL de acetona 50% e a mistura foi agitada em vórtex por 30 segundos, submetida a banho ultrassônico por 20 segundos e centrifugada a 5000 rpm por 10 minutos. Foram efetuadas duas extrações e uniu-se os sobrenadantes. Uma alíquota de 0,5 mL do extrato foi incorporada a 0,5 mL de água deionizada, 0,5 mL do reagente Folin-Ciocalteu (1:4) e 2,5 mL de Na_2CO_3 a 4%. Após homogeneização e permanência no escuro e em temperatura ambiente por uma hora, foi realizada a leitura em espectrofotômetro UV-Vis a 725 nm. A concentração de fenóis totais foi calculada de acordo com a curva de calibração de ácido gálico ($y=0,0265x+0,0032$, $R^2=0,9955$), sendo expressa em miligramas de ácido gálico equivalente por grama de massa fresca.
- c) Flavonoides: o material vegetal (100 mg) foi dissolvido em 4 mL de metanol acidificado (85:15, metanol 70%:ácido acético 10%) e a mistura foi agitada em vórtex por 30 segundos, submetida a banho ultrassônico por 30 minutos e, posteriormente incorporada à 1 mL de cloreto de alumínio a 5%. Após homogeneização e permanência no escuro e em temperatura ambiente por 30 minutos, procedeu-se a centrifugação a 7.830 rpm à 5°C por 22 minutos e o sobrenadante extraído foi submetido a leitura em espectrofotômetro UV-Vis a 425 nm (AWAD; JAGER; VAN WESTING, 2000; SANTOS; BLATT, 1998). A concentração de flavonoides totais foi determinada pela curva de calibração de rutina ($y=0,0026x-0,0009$, $R^2=0,9999$) e os resultados foram expressos em miligramas de rutina equivalente por grama de massa fresca.
- d) Antocianinas: determinação pelo método de pH diferencial, com adaptações (LEE et al., 2005). Para a extração, 300 mg do material vegetal foram diluídas em 13 mL

de solução extratora (99:1; MeOH: HCl 1 N), permanecendo em repouso por 24 horas a 4°C. Após este período, a mistura foi sonificada por 60 minutos, centrifugada a 5.000 rpm por 10 minutos e por fim, o sobrenadante foi separado do material vegetal. O extrato foi dissolvido separadamente em duas soluções tampão, uma de pH 1,0 (KCl, 0,025 M) e outra de pH 4,5 (CH₃COONa, 0,40 M), na proporção de 1,0 mL do extrato para 3,0 mL de cada solução. A absorbância de cada diluição foi mensurada em espectrofotômetro UV-Vis a 520 e 700 nm, utilizando solução extratora como branco. A quantificação foi realizada a partir da seguinte fórmula: Pigmento Antocianina (mg/mL) = $A \times MW \times DF / (\epsilon \times I)$. Onde $A = (A_{520nm} - A_{700nm})_{pH\ 1,0} - (A_{520nm} - A_{700nm})_{pH\ 4,5}$; MW (massa molecular) = 449,2 g/mol de cianidin-3-glucoside; DF = fator de diluição da amostra; ϵ (coeficiente de extinção, em mol/L de cianidin-3-glucoside) = 26.900 molar; I = espessura da cubeta em cm (1,0). Os resultados foram expressos em miligramas equivalentes de cianidin-3-glucoside por grama de massa fresca.

- e) Atividade antioxidante: determinação de acordo com o método que avalia a capacidade de eliminação de radicais 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), com adaptações (BRAND-WILLIAMS; CUVÉLIER; BERSET, 1995; ROSSETTO et al., 2009). O material vegetal (200 mg) foi dissolvido em 5 mL de metanol acidificado (80:19:1, metanol: água deionizada: ácido acético). Esta mistura foi agitada em vórtex por 10 segundos, submetida a banho ultrassônico por 15 minutos e centrifugada a 2.000 rpm à 5°C por 10 minutos, posteriormente extraiu-se o sobrenadante. Uma alíquota de 500 μ L do sobrenadante foi incorporada à 3 mL de etanol concentrado e 300 μ L da solução de DPPH ($2 \cdot 10^{-4}$ g mL⁻¹). Após homogeneização e permanência no escuro e em temperatura ambiente por 40 minutos foi realizada a leitura, juntamente com o branco, em espectrofotômetro UV-Vis a 517 nm. Os resultados foram expressos em % de DPPH reduzido, utilizando a seguinte fórmula: % DPPH reduzido = $(\text{Absorbância Branco} - \text{Absorbância Amostra}) / \text{Absorbância Branco} \times 100$.

A partir da análise estatística das características químicas e da composição antioxidante dos frutos coletados no momento de maior produção, nos 12 tratamentos, foram selecionados 5 tratamentos com os reguladores vegetais e o controle para a realização das análises em duas outras datas (início e final do ciclo produtivo), visando avaliar a intensidade do efeito dos tratamentos ao longo do ciclo.

No final do ciclo produtivo as amostras também foram compostas por 60 frutos, assim como no momento de maior produção, enquanto que no início do ciclo foram compostas por apenas 30 frutos, devido a menor disponibilidade.

Análises dos dados

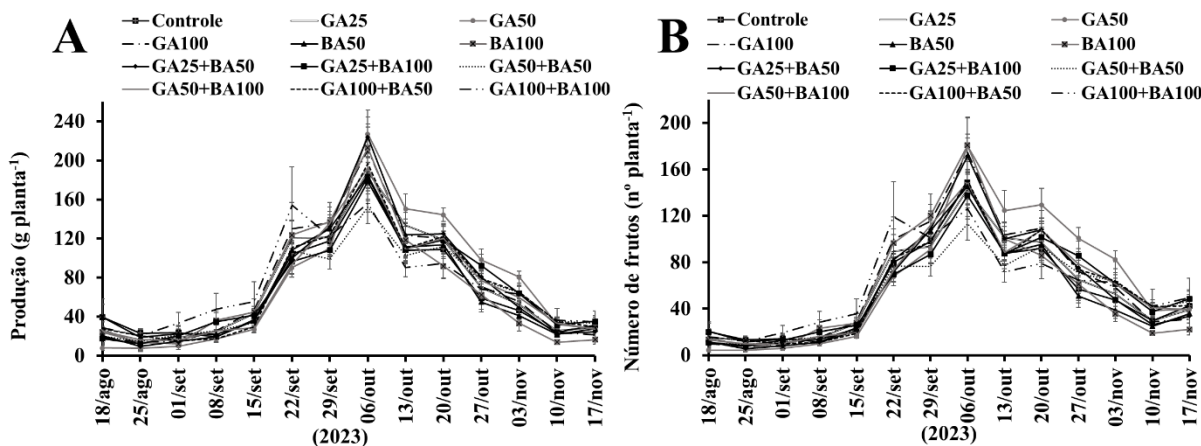
A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk e a homogeneidade confirmada pelo teste de Levene. Posteriormente foi realizada uma análise de variância unifatorial e o teste de comparações múltiplas de Scott-Knott a 5% de probabilidade, para verificar se houveram diferenças significativas entre os tratamentos. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software Sisvar v. 5.8.

4.3. Resultados

Características produtivas e físicas dos frutos

Ao se analisar os dados produtivos ao longo do período de colheita, verificou-se que a produção (g planta^{-1}) e o número de frutos ($\text{n}^\circ \text{ planta}^{-1}$) apresentaram padrões similares nos diferentes tratamentos com reguladores vegetais e o controle (tabela 3). Estas variáveis sofreram aumento até 06 de outubro de 2023 (70 DAIA), caracterizado como o momento de maior produção de frutos e, posteriormente, reduziram até o final do ciclo produtivo (17 de novembro, 128 DAIA) (Fig. 1A e 1B).

As plantas apresentaram produção média de 24,55 g de mirtilo no início do ciclo produtivo (18 de agosto), 192,23 g no momento de maior produção de frutos (06 de outubro) e 28,17 g no final do ciclo (17 de novembro). Este padrão de resposta foi acompanhado pelo número médio de frutos ao longo do período, que variou de 13,36 frutos/planta, para 151,63 frutos/planta e 39,19 frutos/planta, respectivamente (Fig. 1A e 1B).



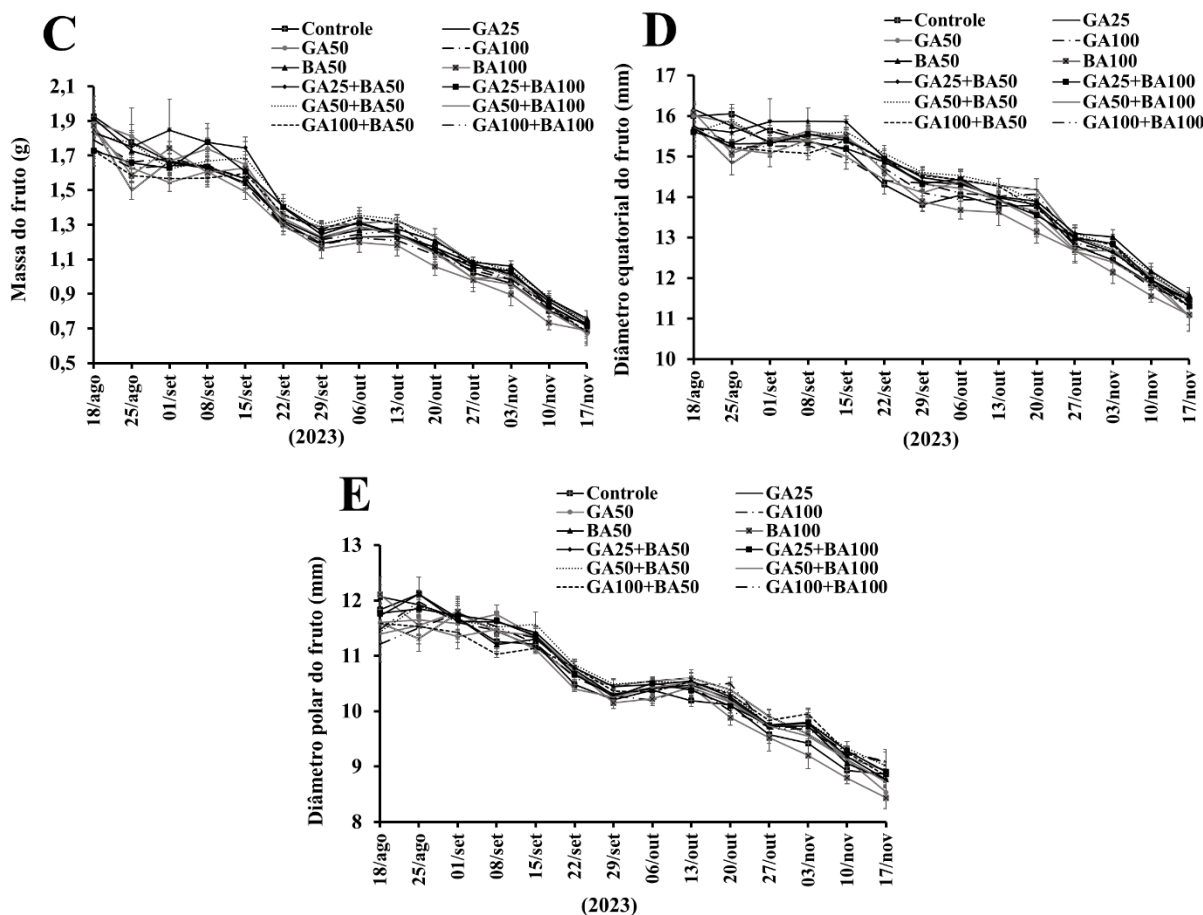


Figura 1. Efeito de ácido giberélico (GA₃) e benzilaminopurina (BA) na produção (g planta⁻¹) (A), no número de frutos (nº planta⁻¹) (B), na massa do fruto (g) (C), no diâmetro equatorial do fruto (mm) (D) e no diâmetro polar do fruto (mm) (E) em mirtilheiro (*Vaccinium corymbosum* L.) ‘Biloxi’, em cada data de avaliação ao longo do ciclo produtivo de 2023 (18 de agosto a 17 de novembro). As barras representam o erro padrão da média.

Tabela 3. Resumo da ANOVA para produção (PD), número de frutos (NF), massa do fruto (MF), diâmetro equatorial do fruto (DEF) e diâmetro polar do fruto (DPF), em mirtilheiro (*Vaccinium corymbosum* L.) ‘Biloxi’ submetido ao fornecimento exógeno de ácido giberélico (GA₃) e benzilaminopurina (BA), em cada data de coleta do ciclo produtivo de 2023.

Data de coleta	PD (g planta ⁻¹)		NF (nº planta ⁻¹)		MF (g)		DEF (mm)		DPF (mm)	
	<i>p</i>	CV	<i>p</i>	CV	<i>p</i>	CV	<i>p</i>	CV	<i>p</i>	CV
18/ago	0.3525	72.53	0.6554	78.24	0.5167	10.40	0.9165	4.08	0,5284	5,32
25/ago	0.7676	84.12	0.7740	85.07	0.4996	11.74	0.2384	4.70	0,3828	4,80
01/set	0.7282	90.00	0.6856	85.96	0.9438	11.67	0.9369	5.09	0,9915	5,26

08/set	0.6031	63.89	0.8981	54.81	0.6773	10.52	0.7745	3.52	0,4038	3,76
15/set	0.7706	48.11	0.7763	48.12	0.2373	8.67	0.2935	3.33	0,6242	2,91
22/set	0.8915	31.02	0.8660	33.54	0.2703	7.12	0.0527	2.73	0,5379	2,80
29/set	0.9001	32.12	0.7632	34.47	0.3544	7.34	0.2791	2.43	0,2871	2,05
06/out	0.5217	28.82	0.4643	31.60	0.3819	8.18	0.1188	3.09	0,4537	2,36
13/out	0.2866	26.93	0.5375	28.62	0.5315	8.17	0.6568	3,70	0,7924	2,81
20/out	0.3792	25.32	0.4437	29.11	0.4608	9.02	0.4754	4.67	0,5197	3,85
27/out	0.4855	39.18	0.3806	39.67	0.6573	9.68	0.9699	4.74	0,9882	4,39
03/nov	0.0927	35.47	0.1154	35.65	0.6953	8.99	0.2854	3.84	0,0540	3,33
10/nov	0.0519	36.62	0.0782	33.84	0.3155	10.22	0.1833	2.59	0,0710	2,79
17/nov	0.5332	44.42	0.3108	39.58	0.9058	11.41	0.9422	3.74	0,08	3,27

Coefficiente de variação em % (CV).

Assim como a produção e o número de frutos por planta, a massa (g) e os diâmetros equatorial e polar do fruto (mm) também apresentaram padrões similares nos diferentes tratamentos com reguladores vegetais e controle. No entanto, estas variáveis foram reduzidas ao longo do período (Fig. 1C, 1D, 1E; tabela 3).

Os valores médios para massa do fruto foram de 1,83 g no início do ciclo produtivo (18 de agosto), 1,28 g no momento de maior produção de frutos (06 de outubro) e 0,71 g no final do ciclo (17 de novembro). Este padrão de resposta foi acompanhado pelos diâmetros equatorial/polar dos frutos ao longo do período, que variaram de 15,81 mm/ 11,65 mm, para 14,24 mm/ 10,41 mm e 11,34 mm/ 8,83 mm, respectivamente (Fig. 1C, 1D, 1E).

Deste modo, pode-se inferir que o fornecimento de GA₃ e BA, de forma isolada ou em combinação, em 28 de julho e 11 de agosto de 2023, não foi suficiente para aumentar a produção e o número de frutos por planta, bem como a massa e os diâmetros equatorial e polar do fruto em nenhuma das 14 datas de coleta avaliadas (tabela 3). Da mesma forma, não foram observadas variações nos valores médios destas variáveis considerando o ciclo produtivo como um todo (média do ciclo) (Tabela 4).

Tabela 4. Efeito de ácido giberélico (GA₃) e benzilaminopurina (BA) na produção média total (PDMT - g planta⁻¹), no número médio de frutos total (NMFT - n° planta⁻¹), na massa média dos frutos (MMF - g), no diâmetro equatorial médio dos frutos (DEMF - mm) e no diâmetro polar médio dos frutos (DPMF - mm), em mirtilheiro (*Vaccinium corymbosum* L.) ‘Biloxi’ no ciclo produtivo de 2023 (18 de agosto a 17 de novembro).

Tratamentos	PDMT (g planta ⁻¹)	NMFT (n° planta ⁻¹)	MMF (g)	DEMF (mm)	DPMF (mm)
Controle	924,19 ± 49,11 a*	765,00 ± 28,21 a	1,30 ± 0,03 a	14,04 ± 0,13 a	10,45 ± 0,07 a
GA25	984,15 ± 90,84 a	786,33 ± 72,25 a	1,31 ± 0,03 a	14,19 ± 0,12 a	10,54 ± 0,08 a
GA50	1029,40 ± 43,76 a	893,73 ± 70,91 a	1,32 ± 0,05 a	14,12 ± 0,20 a	10,51 ± 0,12 a
GA100	1010,27 ± 88,24 a	862,40 ± 87,75 a	1,28 ± 0,05 a	14,06 ± 0,13 a	10,52 ± 0,11 a
BA50	929,96 ± 40,08 a	749,67 ± 43,25 a	1,33 ± 0,03 a	14,23 ± 0,12 a	10,55 ± 0,08 a
BA100	940,94 ± 107,57 a	801,73 ± 92,83 a	1,26 ± 0,05 a	13,85 ± 0,20 a	10,40 ± 0,13 a
GA25+BA50	981,06 ± 91,30 a	799,53 ± 74,54 a	1,36 ± 0,04 a	14,25 ± 0,14 a	10,61 ± 0,10 a
GA25+BA100	958,82 ± 73,18 a	793,00 ± 54,65 a	1,32 ± 0,05 a	14,11 ± 0,19 a	10,57 ± 0,13 a
GA50+BA50	898,44 ± 43,79 a	725,80 ± 31,37 a	1,35 ± 0,02 a	14,28 ± 0,08 a	10,62 ± 0,08 a
GA50+BA100	958,67 ± 39,75 a	817,40 ± 25,89 a	1,26 ± 0,05 a	13,90 ± 0,19 a	10,41 ± 0,11 a
GA100+BA50	981,24 ± 68,29 a	814,80 ± 67,11 a	1,29 ± 0,03 a	14,10 ± 0,12 a	10,50 ± 0,07 a
GA100+BA100	1005,27 ± 55,25 a	827,27 ± 47,32 a	1,29 ± 0,03 a	13,98 ± 0,10 a	10,52 ± 0,11 a
P	0,9928	0,9430	0,8478	0,7244	0,9352
CV (%)	18,32	19,98	7,13	2,52	2,22

Coeficiente de variação (CV). *Médias (n = 5) ± erro padrão seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0.05$).

Características químicas e composição antioxidante dos frutos

Os resultados obtidos no momento de maior produção de frutos (06 de outubro de 2023, 70 DAIA) evidenciam que a combinação de GA₃ com BA em suas maiores concentrações (GA100+BA100) foi a que promoveu aumento simultâneo da atividade antioxidante e das concentrações de fenóis totais, flavonoides e antocianinas nos frutos. Estes resultados evidenciam a ação conjunta dos reguladores vegetais em suas maiores concentrações, diferente do observado quando utilizados de modo isolado, em que GA100 promoveu aumento da concentração de antocianinas e da atividade antioxidante, enquanto BA100 incrementou o teor de flavonoides e reduziu a atividade antioxidante (tabela 5).

Tabela 5. Efeito de ácido giberélico (GA₃) e benzilaminopurina (BA) nas concentrações de fenóis totais, flavonoides, antocianinas e na atividade antioxidante de frutos de mirtilheiro (*Vaccinium corymbosum* L.) ‘Biloxi’ no momento de maior produção de frutos (06 de outubro de 2023), 70 dias após o início da aplicação dos tratamentos (DAIA).

Tratamentos	Fenóis totais (mg g ⁻¹)	Flavonoides (mg g ⁻¹)	Antocianinas (mg g ⁻¹)	Atividade antioxidante (%)
Controle	2,95 ± 0,09 b*	2,00 ± 0,03 b	1,35 ± 0,01 b	89,64 ± 0,28 b

GA25	3,16 ± 0,12 b	1,96 ± 0,03 b	1,31 ± 0,04 b	88,17 ± 0,26 c
GA50	2,83 ± 0,13 b	2,16 ± 0,08 a	1,26 ± 0,06 b	89,91 ± 0,45 a
GA100	3,09 ± 0,16 b	1,85 ± 0,06 b	1,47 ± 0,05 a	90,52 ± 0,21 a
BA50	3,08 ± 0,12 b	2,12 ± 0,06 a	1,51 ± 0,03 a	89,04 ± 0,26 b
BA100	3,05 ± 0,12 b	2,18 ± 0,03 a	1,35 ± 0,05 b	87,72 ± 0,35 c
GA25+BA50	2,79 ± 0,13 b	1,90 ± 0,08 b	1,51 ± 0,07 a	87,52 ± 0,35 c
GA25+BA100	3,39 ± 0,13 a	2,02 ± 0,04 b	1,45 ± 0,02 a	89,08 ± 0,13 b
GA50+BA50	3,16 ± 0,20 b	1,87 ± 0,06 b	1,32 ± 0,05 b	89,35 ± 0,10 b
GA50+BA100	3,51 ± 0,11 a	2,01 ± 0,02 b	1,47 ± 0,04 a	90,35 ± 0,11 a
GA100+BA50	3,48 ± 0,06 a	2,00 ± 0,10 b	1,43 ± 0,09 a	90,28 ± 0,58 a
GA100+BA100	3,52 ± 0,13 a	2,09 ± 0,01 a	1,47 ± 0,03 a	90,97 ± 0,16 a
<i>p</i>	0,0167	0,0053	0,0317	<0,0001
CV (%)	10,84	7,04	9,11	0,85

Coefficiente de variação (CV). *Médias (n = 5) ± erro padrão seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0.05$).

Respostas semelhantes ao emprego de GA100+BA100 foram obtidas com GA50+BA100 e GA100+BA50, exceto por estas combinações não terem incrementado a concentração de flavonoides (tabela 5).

As plantas tratadas com as maiores concentrações de GA₃ também produziram frutos com maior atividade antioxidante, ora associada ao aumento dos flavonoides (GA50) ora ao aumento das antocianinas (GA100). No entanto, a atividade antioxidante dos frutos foi reduzida quando as plantas receberam a menor concentração de GA₃ (25 mg L⁻¹) e também quando esta concentração foi associada com a menor concentração de BA (GA25+BA50), semelhante ao já mencionado com BA100 (tabela 5).

Em resumo, a combinação dos reguladores vegetais em suas maiores concentrações (GA100+BA100), assim como as combinações GA50+BA100 e GA100+BA50, e GA₃ (50 e 100 mg L⁻¹), promoveram aumento da atividade antioxidante associado ao incremento de um ou mais compostos bioativos (fenóis totais, flavonoides e antocianinas), enquanto a combinação de GA25+BA50 e BA100 provocaram redução na atividade antioxidante, embora alguns dos compostos bioativos tenham apresentado aumento.

Além da composição antioxidante dos frutos, os reguladores vegetais também promoveram variações nas concentrações de açúcares solúveis, SS e AT, sem, contudo, modificar o pH (tabela 6).

Tabela 6. Efeito de ácido giberélico (GA₃) e benzilaminopurina (BA) nas concentrações de açúcares solúveis, sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT) e no pH de mirtilo (*Vaccinium corymbosum* L.) ‘Biloxi’ no momento de maior produção de frutos (06 de outubro de 2023), 70 dias após o início da aplicação dos tratamentos (DAIA).

Tratamentos	Açúcares solúveis (mg g ⁻¹)	SS (°Brix)	AT (% A.C.)	pH
Controle	75,88 ± 2,09 b*	10,20 ± 0,18 b	0,64 ± 0,01 b	3,22 ± 0,03 a
GA25	68,85 ± 3,14 b	10,05 ± 0,07 b	0,71 ± 0,02 b	3,19 ± 0,02 a
GA50	70,39 ± 2,43 b	9,80 ± 0,18 b	0,70 ± 0,03 b	3,22 ± 0,02 a
GA100	81,50 ± 0,69 a	10,35 ± 0,10 a	0,67 ± 0,02 b	3,23 ± 0,03 a
BA50	70,35 ± 2,07 b	9,75 ± 0,18 b	0,75 ± 0,02 a	3,21 ± 0,02 a
BA100	78,84 ± 2,28 a	10,85 ± 0,18 a	0,68 ± 0,02 b	3,22 ± 0,01 a
GA25+BA50	81,36 ± 1,98 a	9,95 ± 0,03 b	0,63 ± 0,03 b	3,22 ± 0,03 a
GA25+BA100	86,14 ± 1,85 a	9,95 ± 0,03 b	0,76 ± 0,02 a	3,19 ± 0,02 a
GA50+BA50	83,88 ± 2,93 a	10,73 ± 0,10 a	0,65 ± 0,02 b	3,25 ± 0,02 a
GA50+BA100	82,92 ± 1,81 a	10,45 ± 0,14 a	0,77 ± 0,03 a	3,17 ± 0,02 a
GA100+BA50	78,53 ± 1,97 a	10,85 ± 0,03 a	0,77 ± 0,01 a	3,16 ± 0,01 a
GA100+BA100	83,90 ± 2,27 a	10,63 ± 0,17 a	0,71 ± 0,00 b	3,22 ± 0,01 a
<i>p</i>	<0,0001	<0,0001	0,0001	0,1952
CV (%)	7,18	3,29	7,71	1,47

Coeficiente de variação (CV). *Médias (n = 5) ± erro padrão seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0.05$).

As concentrações de açúcares solúveis nos frutos foram incrementadas com o uso de todas as combinações dos reguladores vegetais e as maiores concentrações de GA₃ e BA (100 mg L⁻¹) utilizados de forma isolada. Resultados semelhantes foram encontrados para SS, exceto com as combinações nas quais GA₃ aparece em menor concentração (GA25+BA50 e GA25+BA100), onde as respostas de SS se assemelham ao controle (tabela 6).

Somente com o uso das combinações GA100+BA100, GA50+BA50 e das maiores concentrações de GA₃ e BA (100 mg L⁻¹) foram observados frutos com maiores concentrações de açúcares solúveis e SS, sem alteração da AT. Enquanto que, aumento significativo na acidez titulável dos frutos foi observado com BA em sua menor concentração (50 mg L⁻¹) e também quando esta concentração foi combinada com 100 mg L⁻¹ de GA₃ (GA100+BA50), semelhante

ao observado quando 100 mg L⁻¹ de BA foi combinado com 25 e 50 mg L⁻¹ de GA₃ (GA25+BA100 e GA50+BA100) (tabela 6).

Em síntese, os reguladores vegetais em suas maiores concentrações, isolados (GA100 e BA100) e combinados (GA100+BA100), promoveram aumento nas concentrações de açúcares solúveis e SS sem alterar a AT e o pH em relação a testemunha, resultando em frutos mais doces com valores de acidez e pH convencionais.

A partir dos resultados obtidos para a composição antioxidante e as características químicas dos frutos coletados no momento de maior produção (06 de outubro de 2023, 70 DAIA), foram selecionados os tratamentos GA100+BA100, GA100+BA50, GA25+BA50, GA100, BA100 e o controle, que foram analisados em uma data mais próxima do fornecimento dos reguladores vegetais, no início do ciclo produtivo (25 de agosto de 2023, 28 DAIA), e em outra data no final do ciclo produtivo (17 de novembro de 2023, 112 DAIA), com o intuito de analisar a intensidade do efeito de GA₃ e BA de modo mais amplo ao longo do ciclo.

Os dados apresentados na tabela 7 evidenciam que GA₃ e BA utilizados de forma isolada e combinada apresentaram efeito significativo nos compostos bioativos e/ou atividade antioxidante dos frutos no início do ciclo produtivo, assim como observado no momento de maior produção de frutos (tabela 5). No entanto, no final do ciclo produtivo os resultados passaram a não apresentar significância.

Tabela 7. Efeito de ácido giberélico (GA₃) e benzilaminopurina (BA) nas concentrações de fenóis totais, flavonoides, antocianinas e na atividade antioxidante de frutos de mirtilheiro (*Vaccinium corymbosum* L.) ‘Biloxi’ no início (25 de agosto) e final (17 de novembro) do ciclo produtivo de 2023, 28 e 112 dias após o início da aplicação dos tratamentos (DAIA).

Início do ciclo produtivo (25 de agosto de 2023, 28 DAIA)				
Tratamentos	Fenóis totais (mg g⁻¹)	Flavonoides (mg g⁻¹)	Antocianinas (mg g⁻¹)	Atividade antioxidante (%)
Controle	3,45 ± 0,05 b*	2,27 ± 0,02 b	1,19 ± 0,02 b	90,76 ± 0,19 b
GA100	3,74 ± 0,11 a	2,48 ± 0,11 b	1,40 ± 0,06 a	90,38 ± 0,17 b
BA100	4,00 ± 0,08 a	2,70 ± 0,10 a	1,36 ± 0,04 a	90,78 ± 0,29 b
GA25+BA50	3,95 ± 0,09 a	2,49 ± 0,10 b	1,35 ± 0,03 a	89,84 ± 0,29 b
GA100+BA50	3,78 ± 0,06 a	2,82 ± 0,10 a	1,47 ± 0,06 a	90,33 ± 0,10 b
GA100+BA100	3,92 ± 0,03 a	2,31 ± 0,10 b	1,34 ± 0,02 a	91,94 ± 0,23 a
<i>p</i>	0,0012	0,0124	0,018	<0,0001

CV (%)	4,68	9,65	8,28	0,56
Final do ciclo produtivo (17 de novembro de 2023, 112 DAIA)				
Tratamentos	Fenóis totais (mg g ⁻¹)	Flavonoides (mg g ⁻¹)	Antocianinas (mg g ⁻¹)	Atividade antioxidante (%)
Controle	4,44 ± 0,13 a	3,40 ± 0,12 a	1,96 ± 0,06 a	85,89 ± 0,81 a
GA100	4,52 ± 0,07 a	3,27 ± 0,13 a	1,84 ± 0,03 a	87,75 ± 0,37 a
BA100	4,53 ± 0,05 a	3,47 ± 0,13 a	2,01 ± 0,07 a	87,15 ± 0,59 a
GA25+BA50	4,45 ± 0,02 a	2,97 ± 0,05 a	1,93 ± 0,05 a	88,55 ± 0,47 a
GA100+BA50	4,23 ± 0,07 a	3,22 ± 0,13 a	2,02 ± 0,02 a	86,53 ± 1,03 a
GA100+BA100	4,22 ± 0,09 a	3,27 ± 0,06 a	2,03 ± 0,02 a	86,72 ± 0,31 a
<i>p</i>	0,0896	0,1484	0,1732	0,0565
CV (%)	4,7	8,60	6,19	1,35

Coeficiente de variação (CV). *Médias (n = 5) ± erro padrão seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0.05$).

Ao observar de modo conjunto os resultados obtidos no momento de maior produção de frutos e do início do ciclo produtivo (tabelas 5 e 7), se confirmam os efeitos significativos da combinação de GA₃ com BA em suas maiores concentrações (GA100+BA100). Este foi o único tratamento que proporcionou aumento na atividade antioxidante dos frutos e incremento nas concentrações de fenóis totais, flavonoides e antocianinas, exceto no início do ciclo, quando ainda não havia ocorrido alteração na concentração de flavonoides (tabelas 5 e 7).

Apesar dos demais tratamentos terem apresentado aumento nas concentrações de no mínimo dois compostos bioativos (fenóis totais, flavonoides e antocianinas), a atividade antioxidante dos frutos não foi alterada (tabela 7). Estas respostas diferem daquelas encontradas no momento de maior produção, onde a atividade antioxidante sofreu aumento quando GA₃ foi utilizado em sua maior concentração (GA100) e redução quando foram utilizados os tratamentos BA100 e GA25+BA50 (tabela 5).

Da mesma forma que no momento de maior produção de frutos, no início do ciclo produtivo os reguladores vegetais promoveram variações nas concentrações de açúcares solúveis, SS e AT dos frutos, sem, contudo, modificar o pH (tabelas 6 e 8).

O aumento na concentração de açúcares solúveis também foi detectado com todos os tratamentos de GA₃ e BA, isolados e em combinação. Além disso, resultados semelhantes foram encontrados para SS, exceto com GA100 que no início do ciclo produtivo resultou em frutos com concentração de SS semelhante ao controle (tabelas 6 e 8).

Tabela 8. Efeito de ácido giberélico (GA₃) e benzilaminopurina (BA) nas concentrações de açúcares solúveis, sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), e no pH de mirtilo (*Vaccinium corymbosum* L.) ‘Biloxi’ no início (25 de agosto) e final (17 de novembro) do ciclo produtivo de 2023, 28 e 112 dias após o início da aplicação dos tratamentos (DAIA).

Início do ciclo produtivo (25 de agosto de 2023, 28 DAIA)				
Tratamentos	Açúcares solúveis (mg g⁻¹)	SS (°Brix)	AT (% A.C.)	pH
Controle	103,49 ± 0,94 b*	13,04 ± 0,15 b	1,17 ± 0,03 b	2,78 ± 0,02 a
GA100	113,56 ± 1,40 a	13,00 ± 0,37 b	1,22 ± 0,02 a	2,79 ± 0,02 a
BA100	115,58 ± 3,66 a	14,08 ± 0,20 a	1,26 ± 0,04 a	2,81 ± 0,02 a
GA25+BA50	121,89 ± 3,80 a	12,44 ± 0,36 b	1,27 ± 0,04 a	2,73 ± 0,03 a
GA100+BA50	115,07 ± 2,66 a	13,56 ± 0,30 a	1,28 ± 0,03 a	2,79 ± 0,04 a
GA100+BA100	115,23 ± 2,72 a	13,56 ± 0,13 a	1,08 ± 0,02 b	2,86 ± 0,03 a
<i>P</i>	0,0043	0,0135	0,0053	0,1381
CV (%)	5,27	4,92	6,58	2,38
Final do ciclo produtivo (17 de novembro de 2023, 112 DAIA)				
Tratamentos	Açúcares solúveis (mg g⁻¹)	SS (°Brix)	AT (% A.C.)	pH
Controle	137,52 ± 1,31 b	15,48 ± 0,13 b	0,68 ± 0,03 a	3,27 ± 0,08 a
GA100	135,03 ± 5,93 b	15,60 ± 0,15 b	0,66 ± 0,01 a	3,40 ± 0,03 a
BA100	131,45 ± 4,39 b	15,35 ± 0,03 b	0,72 ± 0,02 a	3,27 ± 0,06 a
GA25+BA50	126,23 ± 2,56 b	15,05 ± 0,09 b	0,61 ± 0,02 a	3,42 ± 0,05 a
GA100+BA50	156,85 ± 4,38 a	16,00 ± 0,15 a	0,66 ± 0,03 a	3,33 ± 0,06 a
GA100+BA100	139,77 ± 1,14 b	15,40 ± 0,10 b	0,71 ± 0,02 a	3,31 ± 0,04 a
<i>P</i>	0,0029	0,0034	0,1332	0,2641
CV (%)	7,37	2	9,07	3,68

Coefficiente de variação (CV). *Médias (n = 5) ± erro padrão seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0.05$).

A combinação de GA100+BA100 estimulou o incremento nas concentrações de açúcares solúveis e SS sem ocasionar alteração na AT, como já relatado no momento de maior produção de frutos (tabelas 6 e 8).

Respostas semelhantes ao momento de maior produção de frutos também foram constatadas pela combinação de GA100+BA50 no início do ciclo produtivo, apresentando

aumento simultâneo de açúcares solúveis, SS e AT (tabelas 6 e 8). Além do mais, este foi o único tratamento que provocou alterações nas características dos frutos no final do ciclo produtivo, apresentando aumento nas concentrações de açúcares solúveis e SS.

Os tratamentos com a combinação de GA₂₅+BA₅₀ e com GA₃ e BA utilizados de forma isolada (100 mg L⁻¹) mostraram aumento nas concentrações de AT no início do ciclo produtivo, diferindo das respostas encontradas no momento de maior produção (tabelas 6 e 8).

Ao se analisar os dados referentes a composição antioxidante e as características químicas dos frutos nas três datas de coleta avaliadas, nota-se maior influência dos reguladores vegetais nas datas mais próximas à indução exógena (início do ciclo produtivo e momento de maior produção), com reduzido ou nenhum efeito no final do ciclo produtivo.

4.4. Discussão

A literatura não apresenta unanimidade em relação ao papel de GA₃ e BA no desenvolvimento de mirtilo. Deste modo, o fato de GA₃ e BA não terem estimulado significativamente o aumento da produção e número de frutos por planta, nem da massa e dos diâmetros equatorial e polar dos frutos, seja em coletas individuais ou na média do ciclo produtivo, encontra respaldo em outros estudos, tanto com GA₃ (Milić et al., 2018; Nesmith, 2002) quanto com BA (Koron; Stopar, 2006).

No estudo de Milić et al. (2018), a aplicação única de GA₃ a 200 mg L⁻¹ em *V. corymbosum* ‘Duke’ e ‘Bluecrop’ também não demonstrou alteração na produção por planta, massa e diâmetro equatorial dos frutos na média do ciclo produtivo quando realizada na caída das pétalas, estágio também detectado no presente estudo quando GA₃ foi aplicado nas concentrações de 25, 50 e 100 mg L⁻¹. De acordo com NeSmith (2002) GA₃ a 200 mg L⁻¹ em *V. ashei* ‘Tifblue’ não alterou a produção por planta, o número e a massa média de frutos quando aplicado em dois momentos em intervalo de 14 dias na presença de botões e flores abertas, condições semelhantes ao presente estudo.

Com BA, Koron e Stopar (2006) constataram que a aplicação de 50 mg L⁻¹ na caída das pétalas não alterou a produção por planta, massa e diâmetros equatorial e polar dos frutos de *V. corymbosum* ‘Bluecrop’, assim como observado com BA a 50 e 100 mg L⁻¹ neste estudo.

Em contrapartida, existem estudos que verificaram incremento nas características produtivas e físicas dos frutos em *V. ashei* a partir do uso de GA₃ (Wang et al., 2023b; Zang et al., 2016) e em *V. corymbosum* com o emprego de BA (Milić et al., 2018; Simpson et al., 2023). As variações nas respostas ocorrem pois o efeito dos reguladores vegetais pode variar

dependendo da concentração empregada, do número e data das aplicações (Cartagena; Matta; Spiers, 1994), dos genótipos avaliados (Usenik, 2005), do estágio fenológico vegetal no momento do tratamento (Milović et al., 2022) e das condições ambientais (Canli; Orhan, 2009). Neste contexto, enquanto no presente estudo as plantas de *V. corymbosum* ‘Biloxi’ receberam duas aplicações de GA₃ nas concentrações de 25, 50 e 100 mg L⁻¹ com intervalo de 14 dias, quando apresentavam órgãos florais e frutos, Zang et al. (2016) obtiveram aumento da massa e diâmetros equatorial e polar dos frutos de ‘Powder blue’, ‘Garden blue’ e ‘Climax’ quando três aplicações de GA₃ a 500 mg L⁻¹ foram realizadas com intervalo de 5 dias anteriormente ao início do florescimento, o que pode justificar as diferenças de resultados. De forma semelhante Wang et al. (2023b) observaram incremento na massa de frutos de ‘Baldwin’ com o uso de 50 e 100 mg L⁻¹ de GA₃, no entanto, diferente do presente estudo, os ramos floríferos foram imersos nas soluções com GA₃ por cinco segundos em dois momentos, com intervalo de 5 dias.

Em relação ao emprego de BA, Simpson et al. (2023) obtiveram aumento na massa e diâmetro dos frutos em ‘OB1’ com o fornecimento exógeno de BA em plantas que apresentavam órgãos florais e frutos, assim como neste estudo. No entanto foram realizadas duas aplicações de 150 mg L⁻¹ com intervalo de 27 dias com temperatura média local variando entre 13-23°C, diferente deste estudo onde duas aplicações de BA a 50 e 100 mg L⁻¹ foram realizadas com intervalo de 14 dias com temperatura média local mais elevada variando entre 20-23°C, o que pode justificar as diferenças de resultados. No estudo de Milić et al. (2018) aplicação única de BA a 100 mg L⁻¹ na queda das pétalas em *V. corymbosum* ‘Duke’ e ‘Bluecrop’ resultou em aumento na produção por planta e massa média de frutos, no entanto, o experimento foi realizado na Sérvia, que apresenta condições ambientais distintas do sudeste brasileiro.

Em contraponto a ausência de respostas no incremento das características produtivas e físicas dos frutos, ressalta-se a novidade da ação sinérgica de GA₃ e BA no aumento das concentrações de fenóis totais, flavonoides, antocianinas e na atividade antioxidante, além de incremento nos teores de açúcares e SS em mirtilo ‘Biloxi’.

A elevada atividade antioxidante do mirtilo (Prior et al., 1998) está positivamente correlacionada com sua composição bioativa, especialmente fenóis, flavonoides e antocianinas (Ehlenfeldt; Prior, 2001; Lee et al., 2014; Li et al., 2017), que atuam diretamente na eliminação de radicais livres no corpo humano resultando em inúmeros benefícios à saúde (Alam et al., 2021; González-Villagra et al., 2020).

Em estudos anteriores com mirtilo os reguladores vegetais foram empregados de modo isolado, indicando aumento na atividade antioxidante dos frutos de *V. ashei* com uso de

500 mg L⁻¹ de GA₃ (Zang et al., 2016) e aumento das concentrações de flavonoides e antocianinas em *V. corymbosum* com o uso de 20 mg L⁻¹ de BA (Pérez-León et al., 2023).

Em relação ao GA₃, no presente estudo também foi encontrado aumento na atividade antioxidante dos frutos no momento de maior produção quando empregadas as concentrações de 50 e 100 mg L⁻¹. No entanto, obteve-se redução em relação ao controle quando empregada a menor concentração (25 mg L⁻¹), o que indica a necessidade de concentrações mais elevadas de GA₃ para estimular a atividade antioxidante.

Quanto ao uso de BA, no momento de maior produção a maior concentração empregada (100 mg L⁻¹) reduziu significativamente a atividade antioxidante dos frutos, enquanto a menor concentração (50 mg L⁻¹) não alterou a atividade antioxidante em relação ao controle, mas aumentou os teores de flavonoides e antocianinas da mesma forma que no estudo de Pérez-León et al. (2023), também em frutos de *V. corymbosum* ‘Biloxi’.

As explicações para a ação dos reguladores vegetais na regulação da composição antioxidante dos frutos residem nas alterações no metabolismo fisiológico, bioquímico e, na expressão de genes estruturais (Wang et al., 2023a).

Segundo Montero et al. (1998), a aplicação de GA₃ eleva a atividade das enzimas fenilalanina amônia-liase (PAL) e tirosina amônia-liase (TAL), envolvidas na biossíntese de compostos fenólicos, o que resulta em maior concentração de antocianinas, o que foi observado em frutos de *Fragaria* × *ananassa*.

De modo semelhante, também foi obtido aumento da atividade da enzima PAL com o uso de BA, o que resultou em maiores concentrações de compostos fenólicos em frutos de *V. corymbosum* (Pérez-León et al., 2023) e de *Litchi chinensis* (Zhang et al., 2018). Considerando, portanto, que GA₃ e BA estão envolvidos na atividade da PAL e, conseqüentemente, incrementam a biossíntese de compostos fenólicos. Pode-se inferir que a associação destes reguladores vegetais foi responsável pelos aumentos das concentrações de fenóis totais, flavonoides e antocianinas observados com as combinações empregadas neste estudo, em especial GA100+BA100, GA100+BA50 e GA50+BA100.

Em relação a regulação gênica, há relatos de que em *Vitis vinifera* o tratamento com GA₃ regulou a expressão de genes relacionados a biossíntese de fenóis totais, flavonoides e antocianinas (*PAL7*, *4CL*, *C4H*, *CHS*, *CHI*, *F3'H*, *F3H* e *LDOX*), promovendo o incremento destes compostos nos frutos (DONG et al., 2023). O tratamento com BA em *Fragaria vesca* também regulou positivamente a expressão de genes relacionados à biossíntese de antocianinas (*PAL6*, *CHS*, *MYB1* e *MYB10*), aumentando sua concentração nos frutos (Dong et al., 2022). Embora não tenha sido estudada a expressão gênica nesta pesquisa, estas informações sugerem

que este mecanismo foi satisfatoriamente ativado com as concentrações mais efetivas de GA₃ e BA empregadas neste estudo.

Respostas semelhantes com a aplicação exógena de GA₃ e BA na síntese de compostos fenólicos e atividade antioxidante também foram encontradas em outras espécies frutíferas. O GA₃ exógeno resultou em frutos com elevada atividade antioxidante e maiores concentrações de fenóis totais e flavonoides em *Malus domestica* (ZAHID et al., 2024) e *Rubus* spp. (Çolak, 2018) e, proporcionou incremento de antocianinas em frutos de *Fragaria*×*ananassa* (Angami et al., 2020) e *Vitis vinifera* (Teszálák; Gaál; Pour Nikfardjam, 2005; Xie et al., 2022). Enquanto o tratamento com BA provocou aumento nas concentrações de fenóis totais e flavonoides nos frutos de *Fragaria*×*ananassa* (Asgari et al., 2024) e incremento de antocianinas em frutos de *Prunus domestica* (Barac et al., 2022).

Outro aspecto a ser analisado é que o incremento nas concentrações de açúcares solúveis obtido pela ação de GA₃ e BA exógenos pode ter auxiliado no aumento da composição antioxidante de mirtilo ‘Biloxi’, tendo em vista que estes açúcares podem ser direcionados para a síntese de compostos fenólicos (Murcia et al., 2017). Com o uso de GA₃ em sua maior concentração (100 mg L⁻¹) foi observado aumento de açúcares totais, antocianinas e atividade antioxidante especificamente, semelhante ao observado em *Vitis vinifera* cujo aumento nas concentrações de açúcares nos frutos provocado pelo tratamento com GA₃ promoveu a síntese e acúmulo de antocianinas (Dong et al., 2023). Além disso, a concentração de antocianinas também foi incrementada com o uso de diversas combinações (GA100+BA100, GA100+BA50 e GA50+BA100) assim como os açúcares, com a manutenção de elevada atividade antioxidante. Estudo realizado em *Eucalyptus* sugere que BA exógena pode alterar o metabolismo de açúcares e, assim, ativar os componentes da via de síntese de flavonoides nas plantas, facilitando o acúmulo destes compostos (Zhu et al., 2024). Fato este que pode ter ocorrido neste experimento com a concentração de 100 mg L⁻¹ de BA, no entanto, a atividade antioxidante foi reduzida no momento de maior produção de frutos.

As concentrações de açúcares, SS e ácidos são indicadores comuns da qualidade de mirtilo, influenciando diretamente no sabor (Yang et al., 2022). Neste contexto, as respostas observadas neste experimento para SS e açúcares solúveis com as maiores concentrações de GA₃ e BA (100 mg L⁻¹) e as diversas combinações que resultaram em frutos mais doces, encontram respaldo no estudo de Sun et al. (2013), no qual também foi encontrado aumento na concentração de SS nos frutos de *V. corymbosum* ‘Bluecrop’, mas apenas com uma aplicação de 30 mg L⁻¹ de GA₃ no início do desenvolvimento dos frutos. Em contrapartida, Hu et al. (2023) constataram redução nos valores de SS em frutos de *V. corymbosum* ‘Sharpblue’ quando GA₃ foi fornecido

de modo exógeno nas concentrações de 100 e 150 mg L⁻¹. No entanto, diferente do presente estudo, os ramos floríferos foram imergidos nas soluções com GA₃ por cinco segundos em dois momentos, com intervalo de 5 dias, o que pode justificar as diferenças de resultados.

Respostas semelhantes referente ao aumento das concentrações de açúcares e SS nos frutos também foram encontradas em outras frutíferas, como *Pyrus communis* (Mosa et al., 2022), *Mangifera indica* (Ahmed et al., 2012) e *Vitis vinifera* (Anjum, 2020; Dong et al., 2023) tratadas com GA₃ exógeno, em *Fragaria vesca* a partir do tratamento com BA isolada (Dong et al., 2022) e em *Prunus avium* quando BA foi combinada ou não com as giberelinas GA₄₊₇ (Canli; Pektas; Ercisli, 2015).

O incremento das concentrações de açúcares e SS nos frutos pela ação do GA₃ é atribuído ao aumento na expressão de genes relacionados ao metabolismo do amido e da sacarose, tornando mais rápida a conversão destes carboidratos em açúcares solúveis (Yang et al., 2024). Este incremento também pode ser atribuído a capacidade de promover a rápida mobilização de metabólitos fotossintéticos de outras partes da planta em direção aos frutos, resultando em maior translocação e acúmulo de açúcares nos frutos maduros (Li et al., 2024; Patel et al., 2017).

Em relação à citocinina, tem sido relatado que o tratamento exógeno regula o metabolismo de citocinina endógena nos frutos, contribuindo para o aumento da concentração de açúcares no estágio final de desenvolvimento (Li et al., 2016). Isto ocorre pois a citocinina apresenta o potencial de aumentar a capacidade de dreno pelos frutos por promover a multiplicação celular ou sustentar a atividade de transporte através da regulação de enzimas sucrolíticas, permitindo assim, uma maior aquisição de fotoassimilados (Li et al., 2024). Além disso, evidências apontam que as citocininas podem induzir a uma maior atividade de transportadores de açúcares e invertases (Jáuregui-Riquelme et al., 2017).

A AT dos frutos também sofreu alteração no início do ciclo produtivo e no momento de maior produção, mostrando aumento significativo quando algumas concentrações de GA₃ e BA foram utilizadas de forma isolada ou em combinação. Quanto ao uso de GA₃ isolado, Zang et al. (2016) observaram que três aplicações de 500 mg L⁻¹ de GA₃ realizadas anteriormente ao início do florescimento em *V. ashei* ‘Powder blue’ resultou na redução de AT dos frutos, oposto ao observado neste estudo. Com BA, Pérez-León et al. (2023) também observaram redução da AT dos frutos quando oito aplicações de BA a 10 mg L⁻¹ foram realizadas durante o desenvolvimento vegetativo de *V. corymbosum* ‘Biloxi’. Neste contexto, os resultados distintos encontrados podem ser atribuídos as diferenças nas concentrações empregadas e no estágio fenológico das plantas no momento da aplicação.

Respostas semelhantes quanto ao aumento da AT dos frutos através de GA₃ exógeno foram encontradas em *Vitis vinifera* (Domingos et al., 2016), o que pode ser explicado por GA₃ promover a expressão de genes associados à síntese de ácidos, aumentando sua concentração nos frutos (Yang et al., 2024). Adicionalmente, BA utilizada de forma isolada em *Prunus avium* (Canli; Pektaş; Ercisli, 2015) ou combinada com GA₃ em *Mangifera indica* (Bezerra et al., 2021) também resultou em aumento de acidez nos frutos, devido a um possível atraso na maturação. Apesar do exposto, os valores de acidez encontrados corroboram com o padrão estabelecido para a qualidade de mirtilo, com valores variando entre 0,3 a 1,3%, com base em ácido cítrico (Beaudry, 1992).

Os tratamentos com os reguladores vegetais não ocasionaram alteração no pH dos frutos, em nenhuma das datas avaliadas, o que também foi observado em frutos de *Vitis vinifera* a partir do tratamento com GA₃ (Işçi, 2019) e em frutos de *Prunus armeniaca* com uso de GA₃ e benzilaminopurina isolados (Milić et al., 2022) e, ainda, quando a benzilaminopurina foi combinada com a giberelina GA₄₊₇ (Canli et al., 2014). Ressalta-se que os valores obtidos se encontram próximos ao valor médio estabelecido na literatura para o mirtilo ‘Biloxi’, que equivale a 3,2 (Spiers et al., 2002).

Outro ponto a ser destacado, referente a este estudo, é o menor efeito observado pela ação de GA₃ e BA nas características químicas e na composição antioxidante dos frutos coletados no final do ciclo produtivo. Neste contexto, Zang et al. (2016) relatam que o efeito de GA₃ na manutenção da qualidade do fruto de *V. ashei* foi maior nas primeiras datas de coleta dos frutos em relação ao final do ciclo produtivo. Isto indica a necessidade de mais aplicações a fim de manter a maior qualidade dos frutos ao longo do ciclo.

4.5. Conclusões

Os reguladores vegetais GA₃ e BA isolados e combinados em diferentes concentrações, alteram as características químicas e a composição antioxidante dos frutos, especialmente no início do ciclo produtivo e no momento de maior produção, 28 e 70 dias após o início do fornecimento dos reguladores vegetais, respectivamente. No entanto, os reguladores vegetais não alteram as características produtivas e físicas do mirtilo ‘Biloxi’ no ciclo analisado.

O aumento da atividade antioxidante e das concentrações de compostos bioativos (fenóis totais, flavonoides e antocianinas), de açúcares solúveis e SS nos frutos são mais evidentes quando GA₃ e BA são utilizados combinados em suas maiores concentrações (100 mg L⁻¹), resultando em frutos com maior qualidade nutracêutica e sensorial.

Conclui-se ainda que, a aplicação exógena de GA₃ e BA combinados pode ser considerada uma prática promissora para obtenção de mirtilo com maior qualidade.

4.6. Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil CAPES pela concessão da bolsa de Mestrado ao primeiro autor. (Nº do processo: 88887.817604/2023-00).

4.7. Referências

AHMED, W. et al. Comparative Evaluation of Plant Growth Regulators for Preventing Premature Fruit Drop and Improving Fruit Quality Parameters in ‘Dusehri’ Mango. **International Journal of Fruit Science**, v. 12, n. 4, p. 372–389, out. 2012.

ALAM, MD. A. et al. Potential health benefits of anthocyanins in oxidative stress related disorders. **Phytochemistry Reviews**, v. 20, n. 4, p. 705–749, 8 ago. 2021.

ANGAMI, T. et al. Springtime foliar application of plant bio-regulators on off season strawberry production under mid hill condition. **Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences**, v. 8, n. 5, p. 544–550, 25 out. 2020.

ANJUM, N. Effect of gibberellic acid on berry yield and quality attributes of grapes cv. sultanina. **Pure and Applied Biology**, v. 9, n. 2, 10 jun. 2020.

AREMU, A. O. et al. Applications of Cytokinins in Horticultural Fruit Crops: Trends and Future Prospects. **Biomolecules**, v. 10, n. 9, p. 1222, 22 ago. 2020.

ASGARI, F. et al. Application of Benzylaminopurine with Methyl Jasmonate and Epibrassinolide Improved Growth and Physio-biochemical Attributes of Strawberry (*Fragaria × ananassa* cv. ‘Albion’). **Applied Fruit Science**, v. 66, n. 2, p. 453–463, 5 abr. 2024.

AWAD, M. A.; JAGER, A. DE; VAN WESTING, L. M. Flavonoid and chlorogenic acid levels in apple fruit: characterisation of variation. **Scientia Horticulturae**, v. 83, n. 3–4, p. 249–263, 31 mar. 2000.

BARAC, G. et al. Effects of Plant Growth Regulators on Plum (*Prunus domestica* L.) Grown on Two Rootstocks at Harvest and at the Postharvest Period. **Horticulturae**, v. 8, n. 7, p. 621, 8 jul. 2022.



BEAUDRY, R. Blueberry quality characteristics and how they can be optimized. **Annual Report of the Michigan State Horticultural Society**, v. 122, p. 140–145, 1992.

BEZERRA, J. B. N. et al. Plant regulators on the growth, quality and production of ‘Tommy Atkins’ mango fruits. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 43, n. 3, 2021.

BONS, H. K.; KAUR, M. Role of plant growth regulators in improving fruit set, quality and yield of fruit crops: a review. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 95, n. 2, p. 137–146, 3 mar. 2020.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT - Food Science and Technology**, v. 28, n. 1, p. 25–30, 1 jan. 1995.

CANLI, F. A. et al. Improving Fruit Quality of Apricot by Means of Preharvest Benzyladenine and Benzyladenine Plus Gibberellin Applications. **HortTechnology**, v. 24, n. 4, p. 424–427, ago. 2014.

CANLI, F. A.; ORHAN, H. Effects of Preharvest Gibberellic Acid Applications on Fruit Quality of ‘0900 Ziraat’ Sweet Cherry. **HortTechnology**, v. 19, n. 1, p. 127–129, jan. 2009.

CANLI, F. A.; PEKTAS, M.; ERCISLI, S. Benzyladenine and Gibberellin Applications Improve Fruit Weight and Delay Maturity of Sweet Cherry. **Erwerbs-Obstbau**, v. 57, n. 2, p. 71–75, 3 jun. 2015.

CAO, S. et al. Melatonin reduces postharvest decay of blueberries by regulating ascorbate–glutathione cycle and membrane lipid metabolism. **Postharvest Biology and Technology**, v. 218, p. 113185, dez. 2024.

CARROLL, J. L. et al. Weather-based Scheduling and Pulse Drip Irrigation Increase Growth and Production of Northern Highbush Blueberry. **HortScience**, v. 59, n. 5, p. 571–577, maio 2024.



CARTAGENA, J. R.; MATTA, F. B.; SPIERS, J. M. Chemical Fruit Thinning of *Vaccinium ashei* Reade. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 119, n. 6, p. 1133–1136, nov. 1994.

ÇOLAK, A. M. Effect of melatonin and gibberellic acid foliar application on the yield and quality of Jumbo blackberry species. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 25, n. 6, p. 1242–1246, set. 2018.

DAS, P. R. et al. Diversity in blueberry genotypes and developmental stages enables discrepancy in the bioactive compounds, metabolites, and cytotoxicity. **Food Chemistry**, v. 374, p. 131632, abr. 2022.

DOMINGOS, S. et al. Light management and gibberellic acid spraying as thinning methods in seedless table grapes (*Vitis vinifera* L.): Cultivar responses and effects on the fruit quality. **Scientia Horticulturae**, v. 201, p. 68–77, mar. 2016.

DONG, Y. et al. Effects of exogenous KT and BA on fruit quality in strawberry (*Fragaria vesca*). **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 97, n. 2, p. 236–243, 4 mar. 2022.

DONG, Y. et al. Transcriptomic analysis reveals GA₃ is involved in regulating flavonoid metabolism in grape development for facility cultivation. **Molecular Genetics and Genomics**, v. 298, n. 4, p. 845–855, 18 jul. 2023.

DUAN, Y. et al. Blueberry fruit valorization and valuable constituents: A review. **International Journal of Food Microbiology**, v. 381, p. 109890, nov. 2022.

DUBOIS, M. et al. Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances. **Analytical Chemistry**, v. 28, n. 3, p. 350–356, 1 mar. 1956.

EHLENFELDT, M. K.; PRIOR, R. L. Oxygen Radical Absorbance Capacity (ORAC) and Phenolic and Anthocyanin Concentrations in Fruit and Leaf Tissues of Highbush Blueberry. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 49, n. 5, p. 2222–2227, 1 maio 2001.



FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) Statistics Division**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#home>>. Acesso em: 4 fev. 2025.

GARCIA, I. S. et al. Changes in soluble carbohydrates during storage of *Caesalpinia echinata* LAM. (Brazilwood) seeds, an endangered leguminous tree from the Brazilian Atlantic Forest. **Brazilian Journal of Biology**, v. 66, n. 2b, p. 739–745, maio 2006.

GONZÁLEZ-VILLAGRA, J. et al. Impact of Cold-Storage and UV-C Irradiation Postharvest Treatments on Quality and Antioxidant Properties of Fruits from Blueberry Cultivars Grown in Southern Chile. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 20, n. 4, p. 1751–1758, 24 dez. 2020.

GUOFANG, X. et al. Changes in phenolic profiles and antioxidant activity in rabbiteye blueberries during ripening. **International Journal of Food Properties**, v. 22, n. 1, p. 320–329, 4 jan. 2019.

HOOKS, R. F.; KENWORTHY, A. L. The Influence of Gibberellin A₃ (GA₃) on Fruit of the Highbush Blueberry, *Vaccinium corymbosum* L. cv. ‘Jersey’1. **HortScience**, v. 6, n. 2, p. 139–140, abr. 1971.

HU, L. et al. Mechanisms of exogenous GA₃ induced inhibition of seed development in southern highbush blueberry (*Vaccinium darrowii*). **Scientia Horticulturae**, v. 322, p. 112430, dez. 2023.

HUANG, W. et al. Antioxidant and Anti-Inflammatory Effects of Blueberry Anthocyanins on High Glucose-Induced Human Retinal Capillary Endothelial Cells. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity**, v. 2018, p. 1–10, 2018.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

IŞÇI, B. Yield and quality of Sultani grapes (*Vitis vinifera* L.) treated with 28-homobrassinolide and gibberellic acid. **Applied Ecology and Environmental Research**, v. 17, n. 5, 2019.



JÁUREGUI-RIQUELME, F. et al. Pre-anthesis CPPU Treatment Modifies Quality and Susceptibility to Post-harvest Berry Cracking of *Vitis vinifera* cv. ‘Thompson Seedless’. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 36, n. 2, p. 413–423, 21 jun. 2017.

JIAO, X. et al. Blueberry polyphenols extract as a potential prebiotic with anti-obesity effects on C57BL/6 J mice by modulating the gut microbiota. **The Journal of Nutritional Biochemistry**, v. 64, p. 88–100, fev. 2019.

KAPŁAN, M. et al. Effect of Gibberellic Acid (GA₃) Inflorescence Application on Content of Bioactive Compounds and Antioxidant Potential of Grape (*Vitis* L.) ‘Einset Seedless’ Berries. **South African Journal of Enology & Viticulture**, v. 40, n. 1, out. 2018.

KHALIL, H. A. Improved Yield, Fruit Quality, and Shelf Life in ‘Flame Seedless’ Grapevine with Pre-Harvest Foliar Applications of Forchlorfenuron, Gibberellic Acid, and Abscisic Acid. **Journal of Horticultural Research**, v. 28, n. 1, p. 77–86, 1 jun. 2020.

KORON, D.; STOPAR, M. Effect of thinners on yield, fruit size and ripening time of Highbush Blueberry. **Acta Horticulturae**, n. 715, p. 273–278, ago. 2006.

LEE, J. et al. Determination of Total Monomeric Anthocyanin Pigment Content of Fruit Juices, Beverages, Natural Colorants, and Wines by the pH Differential Method: Collaborative Study. **Journal of AOAC INTERNATIONAL**, v. 88, n. 5, p. 1269–1278, 1 set. 2005.

LEE, S. et al. Correlation between Species-Specific Metabolite Profiles and Bioactivities of Blueberries (*Vaccinium* spp.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 62, n. 9, p. 2126–2133, 5 mar. 2014.

LI, D. et al. Polyphenols, anthocyanins, and flavonoids contents and the antioxidant capacity of various cultivars of highbush and half-high blueberries. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 62, p. 84–93, set. 2017.

LI, L. et al. Proteomic Response and Quality Maintenance in Postharvest Fruit of Strawberry (*Fragaria × ananassa*) to Exogenous Cytokinin. **Scientific Reports**, v. 6, n. 1, p. 27094, 1 jun. 2016.



LI, X. et al. Effects of Gibberellic Acid on Soluble Sugar Content, Organic Acid Composition, Endogenous Hormone Levels, and Carbon Sink Strength in Shine Muscat Grapes during Berry Development Stage. **Horticulturae**, v. 10, n. 4, p. 346, 30 mar. 2024.

MAKAROV, S. S. et al. Prospects for Enhanced Growth and Yield of Blueberry (*Vaccinium angustifolium* Ait.) Using Organomineral Fertilizers for Reclamation of Disturbed Forest Lands in European Part of Russia. **Agronomy**, v. 14, n. 7, p. 1498, 10 jul. 2024.

MARCHIORETTO, L. D. R. et al. Efficacy and mode of action of blossom thinners on ‘Fuji More’ apple trees. **Scientia Horticulturae**, v. 246, p. 634–642, fev. 2019.

MILIĆ, B. et al. Bioregulators can improve fruit size, yield and plant growth of northern highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.). **Scientia Horticulturae**, v. 235, p. 214–220, maio 2018.

MILIĆ, B. M. et al. Consequences of NAA, BA and GA₃ treatment in early fruit development phase on postharvest properties of apricot cv. NS4. **Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus**, v. 21, n. 5, p. 49–59, 28 out. 2022.

MILOVIĆ, M. et al. Could an Early Treatment with GA and BA Impact Prolonged Cold Storage and Shelf Life of Apricot? **Horticulturae**, v. 8, n. 12, p. 1220, 19 dez. 2022.

MIN, Z. et al. Effects of 24-epibrassinolide on the postharvest quality and antioxidant activities of blueberry fruits. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, v. 53, n. 1, p. 53–66, 2 jan. 2025.

MOHD ALI, N. et al. The Promising Future of Chia, *Salvia hispanica* L. **Journal of Biomedicine and Biotechnology**, v. 2012, p. 1–9, 2012.

MONTERO, T. et al. Effects of gibberellic acid (GA₃) on strawberry PAL (phenylalanine ammonia-lyase) and TAL (tyrosine ammonia-lyase) enzyme activities. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 77, n. 2, p. 230–234, jun. 1998.

MOSA, W. F. A. et al. Preharvest Foliar Applications of Citric Acid, Gibberellic Acid and Humic Acid Improve Growth and Fruit Quality of ‘Le Conte’ Pear (*Pyrus communis* L.). **Horticulturae**, v. 8, n. 6, p. 507, 8 jun. 2022.



MURCIA, G. et al. ABA and GA₃ regulate the synthesis of primary and secondary metabolites related to alleviation from biotic and abiotic stresses in grapevine. **Phytochemistry**, v. 135, p. 34–52, mar. 2017.

NESMITH, D. S. Response of Rabbiteye Blueberry (*Vaccinium ashei* Reade) to the Growth Regulators CPPU and Gibberellic Acid. **HortScience**, v. 37, n. 4, p. 666–668, jul. 2002.

PATEL, J. S. et al. Influence of Plant Growth Regulators and Boron on Nutritional Quality and Shelflife of Aonla Fruit. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 6, n. 4, p. 2533–2540, 15 abr. 2017.

PÉREZ-LEÓN, M. I. et al. Effect of Glutamic Acid and 6-benzylaminopurine on Flower Bud Biostimulation, Fruit Quality and Antioxidant Activity in Blueberry. **Plants**, v. 12, n. 12, p. 2363, 18 jun. 2023.

PRATAP-SINGH, A. et al. Effects of pulsed light on the postharvest quality and shelf-life of highbush blueberries (cv. Draper). **Applied Food Research**, v. 3, n. 1, p. 100273, 1 jun. 2023.

PRIOR, R. L. et al. Antioxidant Capacity As Influenced by Total Phenolic and Anthocyanin Content, Maturity, and Variety of *Vaccinium* Species. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 46, n. 7, p. 2686–2693, 1 jul. 1998.

RETAMALES, J. B. et al. Repeated applications of CPPU on highbush blueberry cv. Duke increase yield and enhance fruit quality at harvest and during postharvest. **Chilean journal of agricultural research**, v. 74, n. 2, p. 157–161, jun. 2014.

RODRIGUEZ-SAONA, C.; VINCENT, C.; ISAACS, R. Blueberry IPM: Past Successes and Future Challenges. **Annual Review of Entomology**, v. 64, n. 1, p. 95–114, 7 jan. 2019.

ROLIM, G. DE S. et al. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 66, n. 4, p. 711–720, 2007.



ROSSETTO, M. R. M. et al. Antioxidant Substances and Pesticide in Parts of Beet Organic and Conventional Manure. **African Journal of Plant Science**, v. 3, p. 245–253, 2009.

ROSSI, M. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado**. São Paulo: Instituto Florestal, 2017. v. 1

SANTOS, M. D. DOS; BLATT, C. T. T. Teor de flavonoides e fenóis totais em folhas de *Pyrostegia venusta* Miers. de mata e de cerrado. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 21, n. 2, p. 135–140, ago. 1998.

SIMPSON, M. et al. Use of thinners can increase the fruit size of blueberries in an evergreen system. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, v. 51, n. 2, p. 188–197, 3 abr. 2023.

SINGLETON, V. L.; ORTHOFER, R.; LAMUELA-RAVENTÓS, R. M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. **Methods in Enzymology**, v. 299, p. 152–178, 1 jan. 1999.

SPIERS, J. M. et al. “Biloxi” Southern Highbush Blueberry. **Acta Horticulturae**, n. 574, p. 153–155, abr. 2002.

SPINARDI, A. et al. Variation of Anthocyanin Content and Profile Throughout Fruit Development and Ripening of Highbush Blueberry Cultivars Grown at Two Different Altitudes. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, 4 set. 2019.

SUN, Y. et al. Effects of ABA, GA₃ and NAA on Fruit Development and Anthocyanin Accumulation in Blueberry. **Journal of South China Agricultural University**, v. 34, n. 1, p. 6–11, 2013.

TESZLÁK, P.; GAÁL, K.; POUR NIKFARDJAM, M. S. Influence of grapevine flower treatment with gibberellic acid (GA₃) on polyphenol content of *Vitis vinifera* L. wine. **Analytica Chimica Acta**, v. 543, n. 1–2, p. 275–281, jul. 2005.

TIAN, J.-L. et al. Identification of Cyanidin-3-arabinoside Extracted from Blueberry as a Selective Protein Tyrosine Phosphatase 1B Inhibitor. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 67, n. 49, p. 13624–13634, 11 dez. 2019.



USENIK, V. Physicochemical changes of sweet cherry fruits related to application of gibberellic acid. **Food Chemistry**, v. 90, n. 4, p. 663–671, maio 2005.

WANG, L. et al. Advances of anthocyanin synthesis regulated by plant growth regulators in fruit trees. **Scientia Horticulturae**, v. 307, p. 111476, jan. 2023a.

WANG, X. et al. Elucidation of the mechanism underlying seedless blueberry formation after GA₃ treatment based on the phenotype, physiology, metabolism and transcriptome. **Scientia Horticulturae**, v. 311, p. 111781, mar. 2023b.

WOOD, E. et al. Blueberries and cardiovascular disease prevention. **Food & Function**, v. 10, n. 12, p. 7621–7633, 2019.

XIE, S. et al. Effects of gibberellin applications before flowering on the phenotype, ripening, and flavonoid compounds of Syrah grape berries. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 102, n. 13, p. 6100–6111, 11 out. 2022.

XU, Y. et al. Transcriptome sequencing analyses reveals mechanisms of eliminated russet by applying GA₃ and CPPU on ‘Shine Muscat’ grape. **Scientia Horticulturae**, v. 250, p. 94–103, maio 2019.

YANG, D. et al. Effect of pre-flowering gibberellic acid applications on tartaric acid content in grape berries. **Scientia Horticulturae**, v. 325, p. 112659, fev. 2024.

YANG, H. et al. Integrated Physiological and Metabolomic Analyses Reveal the Differences in the Fruit Quality of the Blueberry Cultivated in Three Soilless Substrates. **Foods**, v. 11, n. 24, p. 3965, 7 dez. 2022.

ZAHID, N. et al. Multi-locational study on plant growth regulators to minimize premature fruit drop and maximize postharvest quality of apples. **Cogent Food & Agriculture**, v. 10, n. 1, 31 dez. 2024.

ZANG, Y.-X. et al. Effect of gibberellic acid application on plant growth attributes, return bloom, and fruit quality of rabbiteye blueberry. **Scientia Horticulturae**, v. 200, p. 13–18, mar. 2016.



ZHANG, D. et al. 6-Benzylaminopurine improves the quality of harvested litchi fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 143, p. 137–142, set. 2018.

ZHANG, Q. et al. A systematic study on composition and antioxidant of 6 varieties of highbush blueberries by 3 soil matrixes in China. **Food Chemistry**, v. 472, p. 142974, abr. 2025.

ZHANG, Y. et al. Enhancement of functional characteristics of blueberry juice fermented by *Lactobacillus plantarum*. **LWT**, v. 139, p. 110590, mar. 2021.

ZHU, L. et al. Cytokinin promotes anthocyanin biosynthesis via regulating sugar accumulation and *MYB113* expression in *Eucalyptus*. **Tree Physiology**, v. 44, n. 1, 6 fev. 2024.

5. Considerações finais

Ao se considerar o cenário atual de expansão do mirtilheiro para diversas regiões do mundo, incluindo áreas não tradicionais como os ambientes tropicais e, os impactos que a alteração da localização podem gerar no desenvolvimento da espécie, torna-se imprescindível o conhecimento da fenologia das plantas e de formas de mitigar os efeitos do ambiente. Neste contexto, os resultados desta pesquisa evidenciam que o mirtilheiro SHB ‘Biloxi’ sofreu modificações na sua fenologia reprodutiva quando submetido a ambiente de clima tropical com estação seca, no sudeste brasileiro, em relação a regiões mais frias, apresentando prolongamento do florescimento e da ocorrência de frutos maduros. O fornecimento de GA₃ na concentração de 25 mg L⁻¹ (GA25) e a combinação GA25+BA50 proporcionam maior abertura das gemas florais e incidência de flores e frutos verdes, estimulando a floração e a frutificação das plantas.

Além disso, tendo em vista o aumento no consumo do mirtilo à nível mundial e nacional e os inúmeros benefícios à saúde que seu consumo pode proporcionar, torna-se necessário o emprego de técnicas que visem a melhoria da qualidade destes frutos. Neste contexto, os resultados aqui obtidos evidenciam que o emprego de GA₃ e BA exógenos em mirtilheiro ‘Biloxi’ torna-se ferramenta potencial para melhorar as características sensoriais e nutracêuticas dos frutos, por promoverem incremento nas concentrações de açúcares solúveis, sólidos solúveis, fenóis totais, flavonoides, antocianinas e na atividade antioxidante, principalmente quando utilizados de modo combinado em suas maiores concentrações (100 mg L⁻¹).

Dessa forma, esta pesquisa fornece informações relevantes sobre o desenvolvimento reprodutivo do mirtilheiro ‘Biloxi’ em clima tropical com estação seca e, ainda, sobre o impacto dos reguladores vegetais GA₃ e BA na fenologia reprodutiva e qualidade de mirtilo.

Ressalta-se a importância de pesquisas futuras que contemplem outros genótipos de mirtilheiro, tanto na região estudada como em outras áreas do país e, ainda, que visem avaliar as concentrações mais promissoras dos reguladores vegetais GA₃ e BA no desenvolvimento das plantas e na composição dos frutos.