**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Fisiologia de mirtilleiros de baixa exigência em frio, cultivados em região
subtropical**

Mariana Neves da Silva

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

**Piracicaba
2018**

Mariana Neves da Silva
Bióloga

Fisiologia de mirtilheiros de baixa exigência em frio, cultivados em região subtropical

Orientador:
Profa. Dra. **SIMONE RODRIGUES DA SILVA**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

Piracicaba
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Silva, Mariana Neves da

Fisiologia de mirtileiros de baixa exigência em frio, cultivados em região subtropical / Mariana Neves da Silva. - - Piracicaba, 2018.

51 p.

Dissertação (Mestrado) - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

1. *Vaccinium* spp. 2. Crescimento 3. Produção 4. Amido 5. Sacarose 6. Trocas gasosas I. Título

À minhas amadas e admiráveis: mãe Aidê e
irmã Teca...

...que sempre foram minha estrutura e referência, sempre me
incentivando com amor e carinho durante toda minha vida.

Ofereço e dedico.

AGRADECIMENTOS

À minha família (de sangue e de vida), que está sempre perto, me dando amor, força e apoio.

À Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’ / Universidade de São Paulo, pela oportunidade.

À minha orientadora Prof^a Dr^a Simone Rodrigues da Silva, que com todo seu profissionalismo, dedicação, atenção e carinho, me guiou, ensinou e inspirou durante esta jornada.

Aos Professores do Departamento de Fruticultura da ESALQ/USP, pelos ensinamentos e companheirismo.

Ao produtor Luís Milner, pelas plantas fornecidas para os experimentos e por todo o conhecimento compartilhado.

Aos funcionários Gaudêncio e Zé Nivaldo da Horta da ESALQ, por todo o auxílio e simpatia.

À CAPES, pelo auxílio financeiro que foi fundamental para a realização deste estudo.

À todos que me auxiliaram no campo, no laboratório e na escrita deste trabalho e que sem os quais, não teria sido possível: Lígia, Mari, Isa, Gui, Marina, Thaís (Pós-Graduandos da Fitotecnia), Tati (Pós-Doutoranda em Fitotecnia), Antônio (Pós-Doutorando em Fitopatologia) e Victor (Doutorando em Nematologia).

Ao Dr. Rafael Vasconcelos Ribeiro (UNICAMP), que gentilmente forneceu equipamentos essenciais para as análises fisiológicas.

Ào Laboratório de Fitopatologia da ESALQ/USP e ao Prof. Ricardo Borra (UFSCAR), por possibilitarem a realização das análises químicas necessária a este trabalho.

À Prof^a Sônia Maria de Stefano Piedade do Departamento de Ciências Exatas da ESALQ, pelo auxílio nas análises estatísticas.

Ao meu namorado Tiago, pelo carinho, apoio e compreensão.

E a todos que participaram e colaboraram para a realização deste trabalho.

Agradeço imensamente!

“We are just an advanced breed of monkeys on a minor planet of a very average star. But we can understand the Universe. That makes us something very special.”

Stephen Hawking

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1 INTRODUÇÃO	9
REFERÊNCIAS	10
2 DESENVOLVIMENTO	11
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1.1 PANORAMA DA PRODUÇÃO DE MIRTILOS	11
2.1.2 MIRTILEIROS	12
2.1.3 CULTIVO E PRODUÇÃO DO MIRTILEIRO	14
2.1.4 FASES DE DESENVOLVIMENTO DO MIRTILEIRO	16
2.1.5 FISIOLOGIA DO MIRTILEIRO	17
REFERÊNCIAS	18
3 TEORES DE CARBOIDRATOS EM MIRTILEIROS ‘EMERALD’ E ‘JEWEL’ DE BAIXA EXIGÊNCIA EM FRIO, CULTIVADOS NO MUNICÍPIO DE PIRACICABA, SP, BRASIL	23
RESUMO	23
ABSTRACT	23
3.1 INTRODUÇÃO	24
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	25
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
3.4 CONCLUSÕES	35
REFERÊNCIAS	36
4 FOTOSSÍNTESE EM MIRTILEIROS ‘EMERALD’ E ‘JEWEL’, DE BAIXA EXIGÊNCIA EM FRIO HIBERNAL, CULTIVADOS EM PIRACICABA, SP, BRASIL. ..	39
RESUMO	39
ABSTRACT	39
4.1 INTRODUÇÃO	39
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	40
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.4 CONCLUSÕES	48
REFERÊNCIAS	49
ANEXOS	51

RESUMO

Fisiologia de mirtilheiros de baixa exigência em frio, cultivados em região subtropical

Alimentos funcionais têm estado cada vez mais presentes na dieta humana devido aos seus efeitos benéficos à saúde e entre tais alimentos, destaca-se o mirtilo. Reconhecido como uma super-fruta, o mirtilo é caracterizado por apresentar alta concentração de antocianinas, pigmentos com atividade antioxidante associada ao combate de doenças como câncer, osteoporose, Alzheimer e oftalmológicas, e que devido à sua versatilidade é utilizado amplamente na gastronomia mundial. A produção de mirtilo é liderada pelos Estados Unidos e Canadá e com a crescente demanda pelos frutos, o cultivo do mirtilheiro têm se expandido para países do Hemisfério Sul, como o Brasil. Por se tratar de uma cultura proveniente de clima temperado, o mirtilheiro demanda um determinado número de horas de frio (NHF) durante o inverno para superar seu período de dormência e entrar no período reprodutivo, o que pode limitar a expansão da produção para regiões de temperaturas mais altas. Como forma de ampliar as áreas de cultivo do mirtilheiro, a Universidade da Flórida desenvolveu cultivares de menor exigência em frio e entre elas, estão ‘Emerald’ e ‘Jewel’, ambas cultivadas no município de Piracicaba, SP. Em Dezembro de 2016, plantas destas cultivares foram podadas e no ano de 2017 avaliadas quanto ao crescimento vegetativo e reprodutivo, conteúdo e repartição de carboidratos e desempenho fotossintético. O crescimento menos vigoroso de ‘Emerald’ resultou em uma forma de armazenamento e translocação de carboidratos mais eficiente, o que refletiu numa maior produção de frutos desta cultivar frente à ‘Jewel’. Em ‘Emerald’, os valores de fotossíntese condutância estomática, concentração intercelular de CO₂, índice de área foliar e clorofila foram maiores que em ‘Jewel’, no entanto, o desempenho fotossintético em ambas as cultivares foi afetado por condições de alta temperatura do ar e baixa umidade relativa. Os resultados obtidos neste estudo confirmam a importância da adoção de manejos que proporcionem equilíbrio entre o crescimento vegetativo e reprodutivo dos mirtilheiros, otimizando a repartição dos carboidratos, a fotossíntese e favorecendo a assimilação de carbono, principalmente durante o período de produção dos frutos.

Palavras-chave: *Vaccinium* spp.; Crescimento; Produção; Amido; Sacarose; Trocas gasosas

ABSTRACT

Physiology of low-chilling requirement blueberry plants, growth in subtropical climate

Functional food have been increasingly present in the human diet due to its beneficial effects on health, and among such foods, stands out blueberries. Recognized as a super fruit, blueberry is characterized by its high concentration of anthocyanins, pigments with antioxidant activity associated with the fight against cancer, osteoporosis, Alzheimer's and ophthalmological diseases, and due to its versatility, it is widely used in world gastronomy. Blueberry production is led by the United States and Canada and with the increasing demand for fruits, the blueberry growth has expanded to countries in the Southern Hemisphere, such as Brazil. As a typical temperate fruit crop, blueberry plants demands a certain number of chilling hours during the winter to overcome its dormancy period and enter the reproductive period, which may limit the expansion of blueberry production in regions of higher temperatures. As a strategy to expand the growing areas, the University of Florida has developed blueberry cultivars of low-chilling requirement and among them are 'Emerald' and 'Jewel', both growth in the city of Piracicaba, State of Sao Paulo, Brazil. In December 2016, plants of both cultivars were pruned and in 2017 they were evaluated regarding its vegetative and reproductive growth, carbohydrate contents and partition and photosynthetic performance. The less vigorous growth of 'Emerald' resulted in more effective carbohydrate storage and partition, wich reflected in a higher yield than 'Jewel'. In 'Emerald', the values for photosynthesis, stomatal conductance, intercellular CO₂ concentration, LAI and chlorophyll were higher than in 'Jewel', however, the photosynthetic performance of both cultivars was affected by high air temperature and low umidity conditions. The results obtained in this study confirm the importance of cultural practices which provide balanced growth and development to blueberry plants, optimizing the carbohydrates partition and photosynthesis, supporting carbon assimilation specially during fruit production.

Keywords: *Vaccinium* spp.; Growth; Yield; Starch; Sucrose; Gas exchange

1 INTRODUÇÃO

Desde meados do século XX, o cultivo do mirtilheiro (*Vaccinium* spp.) se destaca no hemisfério Norte, uma vez que seus frutos estão presentes na cultura e culinária americanas, e nas últimas décadas, o consumo da então chamada “super-fruta” originária de clima temperado, têm sido difundido mundialmente devido às suas características nutraceuticas como combate ao câncer, ao diabetes, à hipertensão, à osteoporose, à doenças degenerativas e oftalmológicas (LIU et al., 2011; JOHNSON; ARJMANDI, 2013; DAVIDSON et al., 2017). Além do consumo *in natura*, o mirtilo pode ser utilizado na elaboração de bolos, iogurtes, geleias, sucos, cervejas, cachaças, e mais recentemente, os frutos têm sido alvo das indústrias de cosméticos e de alimentação de animais de estimação devido ao seu alto teor de antioxidantes, responsáveis por combater radicais livres (U.S. Highbush Blueberry Council, 2018).

Os Estados Unidos e Canadá lideram a produção mundial de mirtilos e são também os maiores importadores dos frutos durante a entressafra, sendo nesta época, os principais alvos para a exportação dos países produtores do Hemisfério Sul como Chile e Argentina (FAO, 2018). No Brasil, sua produção concentra-se na região Sul e têm sido difundido também no Sudeste, especialmente com cultivares desenvolvidas pela Universidade da Flórida adaptadas à regiões de inverno ameno (CANTUARIAS-AVILÉS et al., 2010; RODRIGUES et al., 2011).

Para essas cultivares de menor exigência em frio, a caracterização do crescimento, florescimento, frutificação, bem como as respostas fisiológicas das plantas no ambiente em que são cultivadas são fundamentais para se determinar as melhores técnicas que promovam o sucesso da cultura e sua produtividade, pois informações a respeito do seu desempenho, especialmente em regiões de clima subtropical do Estado de São Paulo ainda são escassas.

O presente trabalho foi elaborado em dois capítulos, sendo que o primeiro se refere a quantificar o conteúdo de carboidratos presentes nos diferentes órgãos da planta e relacioná-los às fases de crescimento vegetativo e reprodutivo de mirtilheiros ‘Emerald’ e ‘Jewel’, cultivados no município de Piracicaba, SP, Brasil, enquanto o segundo aborda o desempenho fotossintético dessas cultivares sob cobertura plástica quanto às variáveis de trocas gasosas, índice de área foliar e teor de clorofila.

Referências

- CANTUARIAS-AVILÉS, T. **Cultivo do mirtilheiro (*Vaccinium spp.*)**. Piracicaba: ESALQ, Divisão de Biblioteca e Documentação, 2010. 38 p. (Série Produtor Rural, 48).
- DAVIDSON, K. T.; ZHU, Z.; BALABANOV, D.; ZHAO, L.; WAKEFIELD, M. R.; BAI, Q.; FANG, Y. Beyond Conventional Medicine - a Look at Blueberry, a Cancer-Fighting Superfruit. **Pathology & Oncology Research**. 2017.
- FAO. **FAOSTAT**: Production Crops, 2018. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat>>. Acesso em 22 jan 2018.
- JOHNSON, S. A.; ARJMANDI, B. H. Evidence for Anti-Cancer Properties of Blueberries: A Mini-Review. **Anti-Cancer Agents in Medicinal Chemistry**. v. 13, n. 8, p. 1142-1148, 2013.
- LIU, Y.; SONG, X.; HAN, Y. ZHOU, F.; ZHANG, D.; JI, B.; HU, J.; LV, Y.; CAI, S.; WEI, Y.; GAO, F.; JIA, X. Identification of Anthocyanin Components of Wild Chinese Blueberries and Amelioration of Light-Induced Retinal Damage in Pigmented Rabbit Using Whole Berries. **J. Agric. Food Chem.** v. 5, p. 356–363, 2011.
- RODRIGUES, E.; POERNER, N.; ROCKENBACH, I. I.; GONZAGA, L. V.; MENDES, C. R.; FETT, R. Phenolic compounds and antioxidant activity of blueberry cultivars grown in Brazil. **Ciênc. Tecnol. Aliment.** v. 31, n. 4, p. 911-917, 2011.
- US Highbush Blueberry Council, 2018. Disponível em:< <http://ushbc.com.br>>. Acesso em: 22 jan. 2018.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Revisão Bibliográfica

2.1.1 Panorama da produção de mirtilos

No início do século XX, pesquisadores e fruticultores americanos iniciaram os primeiros cultivos domésticos de mirtilheiros, cujos frutos eram utilizados para fins medicinais e também na culinária. Sua produção se difundiu pelos Estados Unidos a partir da década de 1940 e o consumo do mirtilo se popularizou desde então, ganhando espaço na cultura americana (U.S. HIGHBUSH BLUEBERRY COUNCIL, 2018).

Além de ser amplamente utilizado na composição de bolos, tortas e geleias, a partir dos anos 2000 o mirtilo se tornou objeto de diversos estudos relacionados à sua atividade nutracêutica que, pelo alto teor de antocianinas, teve seu consumo associado ao combate do câncer (JEYABALAN et al., 2014), da osteoporose (LI et al., 2014), contra problemas vasculares (BASU et al., 2010), à atividade anti-inflamatória (MCLEAY et al., 2012), à doenças como o Alzheimer (BREWER et al., 2010), contra a degeneração macular, além de favorecer a visão noturna (LIU et al., 2011).

O cultivo do mirtilheiro está difundido em mais de 30 países, sendo os Estados Unidos o maior produtor com 269.257 toneladas do fruto, seguido pelo Canadá com 178.745 toneladas em 2016. Estes dois países são também os maiores importadores e exportadores de mirtilo. No ano de 2013, os Estados Unidos importaram e exportaram 103.500 e 48.860 toneladas do fruto respectivamente, enquanto que para o Canadá, esses números foram da ordem de 19.770 toneladas e mais de 30 mil toneladas neste mesmo ano (FAO, 2018).

Na Europa, estima-se que a produção tenha atingido aproximadamente 65 mil toneladas no ano de 2016, com a Polônia e Alemanha sendo responsáveis pelas maiores produções, de 14.721 e 10.710 toneladas, respectivamente (FAO, 2018). No ano de 2014, destaque para as produções crescentes da China, de 20 mil toneladas e da África do Sul, que correspondeu a 2 mil toneladas do fruto (BRAZELTON, 2016).

Além do tradicional consumo e significativa produção em países do Hemisfério Norte, a América do Sul tem ganhado destaque no cultivo do mirtilheiro, produzindo 121.469 toneladas no ano de 2014. Esta produção tem sido liderada pelo Chile, com 101.151 toneladas seguido da Argentina, com 15.422 toneladas (BRAZELTON, 2016).

A produção brasileira, embora recente e ainda inexpressiva mundialmente, contribui com aproximadamente 300 toneladas produzidas nos Estados do Rio Grande do Sul, Santa

Catarina, Paraná, São Paulo e Minas Gerais (ANTUNES; PAGOT, 2016) podendo ser um potencial produtor durante períodos de baixa oferta de frutos no Hemisfério Norte.

O cultivo do mirtilheiro no Brasil necessita de informações sobre o desempenho das cultivares em diferentes regiões e de adaptações referentes às técnicas de manejo para que possa se expandir a outras áreas produtivas do país. A Embrapa Clima Temperado, localizada em Pelotas, RS, tem contribuído com essas pesquisas desde 1983, principalmente no que se refere a avaliação de cultivares de menor exigência em frio hibernar, desenvolvidas pela Universidade da Flórida (FACHINELLO, 2008).

2.1.2 Mirtilheiros

Pertencente à família Ericaceae, subgênero *Vaccinoideae* e ao gênero *Vaccinium*, já foram catalogadas mais de 400 espécies de mirtilheiro, sendo que as de maior aceitação agrônômica e amplamente cultivadas são *V. angustifolium*, *V. corymbosum*, *V. darrowii* e *V. ashei*. Seus frutos são do tipo baga, de cor azul, com a presença de pequenas sementes e recobertos por pruína. As inflorescências são formadas por corolas lobadas de cor rosada e suas folhas são alternadas com borda lisa ou serrilhada. Geralmente o mirtilheiro tem hábito caducifólio, porém, algumas cultivares mantêm suas folhas quando não submetidas à temperaturas congelantes. O sistema radicular é formado por raízes espessas, as quais são responsáveis pelo armazenamento de reservas energéticas e para sustentação da planta; e por raízes delgadas, responsáveis pela absorção de água e nutrientes (RETAMALES; HANCOCK, 2012).

O mirtilheiro é uma planta arbustiva típica de clima temperado e nativa da América do Norte. Por atravessarem períodos com temperaturas extremamente baixas durante o inverno, estas plantas utilizam da dormência como estratégia de sobrevivência à estas condições. Este mecanismo possibilita que as plantas completem seu ciclo de desenvolvimento, sem que haja danos fisiológicos como o congelamento intra e extracelular decorrente de temperaturas que podem ultrapassar $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (FITTER; HAY, 2012).

Para tais espécies frutíferas, o acúmulo de determinado número de horas de frio (NHF) com temperatura igual ou abaixo de $7,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, é necessário para que ocorra a quebra de dormência das gemas reprodutivas responsáveis pelo florescimento e frutificação. Caso um determinado NHF não seja satisfeito, as brotações podem ocorrer de maneira desuniforme (JACOBS et al., 2002; CANTUARIAS-AVILÉS, 2010), afetando o manejo e prejudicando a produção.

Os mirtilheiros estão divididos em grupos que se diferem quanto à características de porte da planta, qualidade de frutos e demanda por NHF (RASEIRA, 2006). Atualmente, os grupos nos quais se dividem os mirtilheiros são:

a) Rabbiteye: arbustos com até 4 metros de altura e com necessidade de até 600 horas de frio, representado pela espécie *V. ashei* que ocorre geralmente em vales do norte da Flórida e no sudeste da Geórgia (Estados Unidos). Apresentam frutos pequenos e de baixa qualidade, porém, são muitos produtivos. Na região Sul do Brasil, onde predomina a produção de mirtilo, cultivares como ‘Bluebelle’, ‘Bluegem’, ‘Delite’ e ‘Clímax’ foram as primeiras representantes desse grupo a serem introduzidas (RUFATO; ANTUNES, 2016).

b) Lowbush: com hábito de crescimento rasteiro e frutos pequenos destinados ao processamento, estes mirtilheiros toleram temperaturas de até -30 °C e demandam pelo menos 1000 horas de frio para a quebra da dormência. São representados pela espécie *V. angustifolium*.

c) Highbush: arbustos com mais de 2 metros de altura e frutos de alta qualidade, é representado pela espécie *V. corymbosum*. Ocorre nas porções leste dos Estados Unidos e sudeste do Canadá. O grupo Highbush é autofértil, porém a polinização cruzada gera frutos maiores. Para os demais grupos, é necessário que na área de cultivo haja cultivares diferentes para que ocorra polinização cruzada entre elas (RASEIRA, 2006).

Dentro deste grupo os mirtilheiros ainda se subdividem em Northern Highbush, que demandam um NHF de 800 a 1000 e toleram temperaturas de até -20 °C; e Southern Highbush, que são mirtilheiros com pouca tolerância a temperaturas congelantes, e que demandam menos de 500 horas de frio (SANTOS; RASEIRA, 2002; RASEIRA, 2006; FACHINELLO, 2008; RETAMALES; HANCOCK, 2012; WILLIAMSON; LYRENE, 2004). O subgrupo Southern Highbush foi desenvolvido a partir de cruzamentos entre cultivares do grupo Highbush e Rabbiteye, visando atender às características climáticas de regiões de inverno ameno como ocorre na Flórida e com a proposta de expandir as áreas de produção de mirtilo (CANTUARIAS-AVILÉS et al., 2010).

Cultivares do grupo Southern Highbush apresentam frutos de alta qualidade e com produção mais precoce que as cultivares dos demais grupos, o que fornece ao produtor melhor competitividade no mercado (WILLIAMSON et al., 2014). Por terem baixa necessidade em número de horas de frio, estas cultivares têm potencial para serem plantadas em regiões brasileiras com características climáticas como as que ocorrem nos Estados de Minas Gerais e São Paulo.

Cultivares do grupo Southern Highbush como ‘Emerald’, ‘Jewel’, ‘Primadonna’ e ‘Snowchaser’ desenvolvidas pela Universidade da Flórida, foram introduzidas no Brasil em 2010 pela empresa chilena Viveiros Sunnyridge (CANTUARIAS-AVILÉS et al., 2014), possibilitando a expansão da produção de mirtilo para regiões sem ocorrência de frio hibernal.

‘Emerald’, é uma cultivar com baixa exigência em frio hibernal, demandando entre 100 a 400 horas. Desenvolvida a partir de cruzamentos entre as espécies *V. darrowi* e *V. corymbosum* (LYRENE, 2001a), tem sido cultivada nos Estados da porção sul dos Estados Unidos como Flórida, Geórgia, Califórnia e em países da América do Sul como Argentina, Chile (LYRENE, 2008) e Brasil (CANTUARIAS-AVILÉS et al., 2014). É um mirtilheiro cujo porte arbustivo pode atingir até 1,5 m de altura após dois anos, produz numerosas gemas reprodutivas que na Flórida florescem em meados de fevereiro, fase final do inverno nesta região. Esta cultivar está adaptada para o cultivo *evergreen*, ou seja, é capaz de produzir sem entrar em dormência e perder suas folhas. Suas flores têm baixa autocompatibilidade, sendo necessário o cultivo concomitante de outra cultivar como ‘Jewel’, por exemplo. Produz frutos grandes, com peso médio de 2,9 gramas, firmes, que na Flórida amadurecem em meados de abril à maio, fim da primavera norte americana (LYRENE, 2008).

‘Jewel’, também de baixa exigência em frio hibernal, é uma cultivar que demanda em torno de 250 horas e foi obtida através de cruzamentos entre as espécies *V. darrowi* e *V. corymbosum* assim como ‘Emerald’. Seu porte arbustivo é vigoroso, podendo chegar a 1,0 m de altura e na Flórida, onde tem sido cultivada, floresce em meados de fevereiro e produz em meados de abril a maio. Seus frutos tendem a ser menores que os de ‘Emerald’, podendo chegar a até 2,5 gramas, com qualidade suficiente para aceitação no mercado (KOVALESKI et al., 2015; LYRENE, 2001b).

Mirtilheiros ‘Emerald’ e ‘Jewel’ foram avaliados no município de Piracicaba, SP, que possui clima Cwa segundo a classificação de Köppen-Geiger, caracterizado por apresentar inverno seco e ameno e verão quente e chuvoso, quanto ao desenvolvimento vegetativo, florescimento, frutificação, produção e qualidade de frutos (MEDINA, 2016). O autor observou que mirtilheiros ‘Jewel’ foram menos vigorosos, apresentando florescimento mais tardio e concentração da produção, quando comparados à ‘Emerald’.

2.1.3 Cultivo e produção do mirtilheiro

Além de condições climáticas específicas, mencionadas anteriormente para cultivares dos diferentes grupos, principalmente no que diz respeito a exigência no número de horas de

frio hibernar, o cultivo do mirtilheiro requer determinadas condições de solo e práticas de manejo ideais. Por apresentar um sistema radicular sensível à compactação e ao encharcamento, as plantas requerem solos com boa aeração, drenagem e teores de no mínimo 3% de matéria orgânica. Além disso, o solo deve ter pH ácido (entre 4,0 e 5,5) ou o mirtilheiro, por sua característica acidófila, pode apresentar amarelecimento foliar, redução do crescimento e da produção. Sua adubação é comumente realizada por fertirrigação, que fornece a quantidade de nutrientes necessária a cada fase do desenvolvimento das plantas, reduzindo perdas e promovendo maiores produtividades (RAMATALES; HANCOCK, 2012).

A poda, que consiste em remover ramos velhos e lenhosos para estimular novas brotações e manter o equilíbrio entre as partes vegetativas e reprodutivas das plantas é um manejo realizado todos os anos, visando obter produções regulares (REMATALES; HANCOCK, 2012). Quando o solo não apresenta drenagem adequada, observa-se a presença de podridão radicular causada por *Phytophthora cinnamomi*, enquanto a podridão cinzenta nas flores, causada por *Botrytis cinerea* ocorre quando a umidade se mantém elevada na parte aérea das plantas (WARD, 2013), que leva a necessidade de intervenção fitossanitária, pelos prejuízos causados à produção de frutos. O ataque de pássaros, moscas e lagartas também ocorre, porém, não são grandes ameaças ao cultivo do mirtilheiro, especialmente no Brasil (ANTUNES; PAGOT, 2016; SANTOS; RASEIRA, 2002).

A produção do mirtilheiro pode variar de acordo com a cultivar, idade das plantas, região na qual estão implantadas e pelos tratamentos culturais adotados (MÜLLER, 2011; KOVALESKI et al., 2015). Na Flórida, mirtilheiros do subgrupo Southern Highbush cultivados em campo, no espaçamento de 0,90 x 2,7 metros, obtiveram produção entre 3,78 a 6,22 kg planta⁻¹, dependendo do tipo e época da poda realizada (KOVALESKI et al., 2015). Na África do Sul, para esse mesmo grupo de mirtilheiros, Müller (2011) observou ganhos na produção variando de 4,4 a 8,2 kg para ‘Jewel’ e de 5,2 a 8,3 kg planta⁻¹ para ‘Emerald’, quando as mesmas foram submetidas a diferentes tipos de poda. Num estudo realizado em Piracicaba, SP, Brasil, ‘Emerald’ e ‘Jewel’ de três anos de idade, cultivadas sob cobertura plástica, em vasos e espaçamento adensado, produziram em média 0,38 e 0,17 kg planta⁻¹, resultados semelhantes aos encontrados por Ogden e Iersel (2009) que avaliaram essas cultivares também em plantios de alta densidade e em condições de cultivo protegido.

2.1.4 Fases de desenvolvimento do mirtilheiro

Informações sobre as épocas de ocorrência das fases de crescimento, floração e frutificação em mirtilheiros, possibilita escalonar a produção (CALVETE et al., 2008) ampliando a safra e determinar a adoção de manejos específicos como poda, adubação, controle fitossanitário, entre outros (NESMITH, 2006).

O mirtilheiro é um arbusto perene com ramos basais lenhosos e ramos do ano herbáceos (REMATALES; HANCOCK, 2012), os quais apresentam gemas reprodutivas na porção apical e gemas vegetativas ao longo do ramo. Estes ramos podem emitir um ou mais fluxos vegetativos durante o ciclo de produção da planta, que variam em quantidade de acordo com a cultivar e as condições climáticas, sendo que aquelas de produção precoce emitem um maior número destes fluxos (GOUGH, 1993). Medina (2016) também observou a emissão de novos fluxos vegetativos em mirtilheiros ‘Emerald’ e ‘Jewel’ de três anos de idade cultivados em Piracicaba, SP, Brasil, sendo que os de ‘Emerald’ se iniciaram a partir do mês de junho e em ‘Jewel’ a partir do mês de outubro. No Hemisfério Norte, foi observado que o crescimento dos ramos de mirtilheiros ‘Blueshower’ do grupo Rabbiteye se iniciou no fim do inverno e se estendeu da primavera até o outono, que é quando a taxa de crescimento se estabiliza antes da entrada do período de dormência das plantas (WILLIAMSON et al., 2002).

A prática da poda, associada a uma adubação balanceada nesta fase de crescimento vegetativo é capaz de promover o aumento da taxa fotossintética da planta, favorecendo assim o acúmulo de fotoassimilados que serão armazenados nas raízes e utilizados na produção (NOBEL, 2009; REMATALES; HANCOCK, 2012; HUANG; LI, 2015). Em um estudo realizado também no Hemisfério Norte com mirtilheiros ‘Misty’ do subgrupo Southern Highbush, o florescimento ocorreu durante a primavera, enquanto a maturação e colheita dos frutos ocorreram no verão (LEE et al., 2015), sendo a duração do período de colheita alterada em dias de acordo com diferentes sistemas de poda utilizados.

Mirtilheiros ‘Emerald’ e ‘Jewel’, também do subgrupo Southern Highbush, cultivados em Piracicaba, SP, Brasil e podados drasticamente no verão, apresentaram florescimento desde o inverno até meados do verão com produção de frutos que se iniciou no inverno e se estendeu até o fim do verão (MEDINA, 2016). A prática da poda pode ser uma importante estratégia de mercado para o produtor que almeja atingir preços mais competitivos em épocas de baixa oferta de frutos.

2.1.5 Fisiologia do mirtileiro

O estudo da fisiologia é essencial para interpretar as respostas de um organismo em relação aos fatores ambientais durante as diferentes fases do seu desenvolvimento. O monitoramento da atividade fotossintética, bem como o desempenho das variáveis que a compõe, são indicadores do desenvolvimento e estabelecimento de uma cultura, a qual dependerá diretamente dos carboidratos produzidos na fotossíntese e da partição dos mesmos em seus diferentes órgãos e nas diferentes fases de seu ciclo (TAIZ et al., 2017).

A atividade fotossintética consiste na captação de energia solar e do dióxido de carbono atmosférico (CO_2) pelas folhas através dos cloroplastos, nos quais, juntamente com água e clorofila, resultará na formação dos carboidratos responsáveis pela manutenção celular vegetal através do ciclo de Calvin-Benson. O CO_2 que será fixado nas reações da fotossíntese, é absorvido pelas folhas através de fendas estomáticas microscópicas, as quais também permitem a saída da água proveniente da transpiração foliar, responsável pela manutenção da temperatura interna da planta. (NOBEL, 2009; TAIZ et al., 2017).

A regulação da abertura estomática pode ser afetada por fatores como o estado hídrico da planta, umidade do ar, temperatura e principalmente pela incidência de luz no ambiente, condições estas que podem alterar a capacidade de difusão de gases e as relações hídricas da planta, favorecendo ou não a fotossíntese (TAIZ et al., 2017) e consequentemente, a produção dos carboidratos que serão utilizados para o suprimento de energia da planta para suas funções vitais e que serão armazenados por diferentes órgãos como caules, raízes e frutos.

Para mirtileiros, condições de altas temperaturas, déficit hídrico e excesso de luz solar podem levar ao aumento da transpiração das plantas, diminuindo a eficiência do uso da água e a assimilação do carbono atmosférico (HANCOCK et al., 2008; LOBOS et al., 2009). Além dos fatores ambientais, a arquitetura da planta também pode influenciar a síntese de carboidratos que são formados a partir da luz solar interceptada pelos pigmentos fotossintetizantes (clorofilas) presentes nas folhas (REMATALES; HANCOCK, 2012).

Os carboidratos então produzidos nas folhas, são os responsáveis pela energia que a planta utiliza em processos vitais como a respiração, síntese de proteínas, hormônios e outros compostos necessários ao seu metabolismo. Além das rotas metabólicas, os fotoassimilados também são distribuídos (partição), em tecidos vegetativos e reprodutivos sendo eles: folhas jovens, frutos, caules, raízes e sementes, os quais competem entre si e em sincronia durante o desenvolvimento da planta, de tal forma a promover seu estabelecimento e produtividade em um determinado ambiente (TAIZ et al., 2017).

O principal carboidrato transportado dos tecidos fotossintetizantes (fontes) até os tecidos heterotróficos (drenos) é a sacarose que, por ser sintetizada apenas durante o dia, é armazenada na forma de amido, um polissacarídeo de alto peso molecular degradado para suprir as demandas energéticas da planta durante a noite ou em situações adversas (HELDT, 2004). A incidência solar, estágio de desenvolvimento da planta e a presença de diferentes tipos de drenos além de influenciar a atividade fotossintética das fontes, também influenciam a demanda por carboidratos, sendo que a prioridade pode ser dos drenos mais próximos à fonte ou daqueles com maior tamanho e atividade metabólica (FLORE; LAKSO, 1989).

No Hemisfério Norte, foi observado que a assimilação de CO₂ de mirtilheiros do grupo Rabbiteye e Lowbush aumentou de acordo com a quantidade de luz incidida nas plantas, nas quais os maiores valores de fotossíntese ocorreram quando a radiação fotossinteticamente ativa atingiu valores em torno de 800 $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ (HICKLENTON et al., 2000; HUANG; LI, 2015). Em mirtilheiros do subgrupo Southern Highbush cultivados no Chile, a assimilação de CO₂ (A), condutância estomática (gs) e eficiência intrínseca do uso da água (A/gs) foram alteradas de acordo com a relação fonte-dreno das plantas, sendo que quanto maior a quantidade de frutos por ramo, maior a taxa fotossintética devido à maior demanda por carbono. Por outro lado, quanto menor a quantidade de drenos, maior acúmulo de carboidratos nas folhas, diminuindo assim a taxa fotossintética da planta (JORQUERA-FONTENA et al., 2016).

Referências

- ANTUNES, L. E. C.; PAGOT, E. Produção de Mirtilo. In: RUFATO, A. R., ANTUNES, L. E. C. **Técnicas de Produção de Framboesa e Mirtilo**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2016. 90 p.
- BASU, A. DU, M.; LEYVA, M. J.; SANCHEZ, K.; BETTS, N. M.; WU, M.; ASTON, C. E.; LYONS, T.. Blueberries Decrease Cardiovascular Risk Factors in Obese Men and Women with Metabolic SyndromE. **The Journal of Nutrition**, v. 140, n. 9, p. 1582–1587, 2010.
- BRAZELTON, C. **World blueberry acreage & production**. Folsom: U. S. Highbush Blueberry Council, 2016. 114 p.
- BREWER, G. J. et al. Age-related toxicity of amyloid-beta associated with increased pERK and pCREB in primary hippocampal neurons: reversal by blueberry extracts. **The Journal of Nutritional Biochemistry**, v. 21, p. 991–998, 2010.
- CALVETE, E. O. MARIANI, F.; WESP, C. L.; NIENOW, A. A.; CASTILHOS, T.; CECCHETTI, D. Fenologia, produção e teor de antocianinas de cultivares de morangueiro em ambiente protegido. **Rev. Bras. Frutic**, v. 30, n. 2, p. 396–401, 2008.

CANTUARIAS-AVILÉS, T. **Cultivo do mirtilheiro (*Vaccinium* spp.)**. Piracicaba: ESALQ, Divisão de Biblioteca e Documentação, 2010. 38 p. (Série Produtor Rural, 48).

CANTUARIAS-AVILÉS, T. SILVA, S. R.; MEDINA, R. B.; MORAES, A. F. G.; ALBERTI, M. F. 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, 2014.

GOUGH, R. E. **The Highbush Blueberry and Its Management**. CRC Press. P. 24-27. 1993.

FACHINELLO, J. C. Mirtilo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 2, p. 285-576, 2008.

FAO. **FAOSTAT: Production Crops**. 2018. Disponível em <<http://www.fao.org/faostat>>. Acesso em 22 jan 2018.

FITTER, A.; HAY, R. Temperature. In:_____ **Environmental Physiology of Plants**. Cap 5, 3 ed. Academic Press, p. 205-225, 2012.

FLORE, J. A. LAKSO A. N. Environmental and Physiological Regulation of Photosynthesis in Fruit Crops. **Horticultural Reviews**. v. 11, p. 111-146, 1989.

HANCOCK, J. F.; LYRENE, P.; FINN, C. E.; VORSA, N.; LOBOS, G. A. Blueberries and Cramberries. In: HANCOCK, J. F. **Temperate Fruits Crop Breeding - Germplasm to Genomics**. Springer Science. p. 115-150, 2008.

HELDT, H. W.; PIECHULLA, B. Polysaccharides are storage and transport forms of carbohydrates produced by photosynthesis. In:_____ **Plant Biochemistry**. Academic Press. p. 243-255, 2004.

HICKLENTON, P. R.; REEKIE, J. Y.; GORDON, R. J.; PERCIVAL, D. C. Seasonal Patterns of Photosynthesis and Stomatal Conductance in Lowbush Blueberry Plants Managed in a Two- year Production Cycle. **HORTSCIENCE**, v. 35, n. 1, p. 55–59, 2000.

HUANG, S. H.; LI, K. T. Dormant Season Fertigation Promotes Photosynthesis, Growth, and Flowering of “Blueshower” Rabbiteye Blueberry in Warm Climates. **Hortic. Environ. Biotechnol**, v. 56, n. 6, p. 756–761, 2015.

JACOBS, J.; JACOBS, G.; COOK, N. C. Chilling period influences the progression of bud dormancy more than does chilling temperature in apple and pear shoots. **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, v. 73, p. 333–339, 2002.

JEYABALAN, J. AQIL, F.; MUNAGALA, R.; ANNAMALAI, L.; VADHANAM, M. V.; GUPTA, R. Chemopreventive and Therapeutic Activity of Dietary Blueberry against Estrogen-Mediated Breast Cancer. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 62, n. 18, p. 3963–3971, 2014.

JORQUERA-FONTENA, E. et al. Rearrangement of leaf traits with changing source-sink relationship in blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) leaves. **Photosynthetica**, v. 54, n. 4, p. 508–516, 2016.

KOVALESKI, A. P.; DARNELL, R. L.; CASAMALI, B.; WILLIAMSON, J. G. Effects of Timing and Intensity of Summer Pruning on Vegetative Traits of Two Southern Highbush Blueberry Cultivars. **Hortscience**, v. 50, n. 1, p. 68–73, 2015.

LEE, S. G.; CHO, J. G.; SHIN, M. H.; OH, S. B.; KIM, H. L.; KIM, J. G. Effects of Summer Pruning Combined with Winter Pruning on Bush Growth, Yields, and Fruit Quality of “Misty” Southern Highbush Blueberry for Two Years after Planting. **Hortic. Environ. Biotechnol**, v. 56, n. 6, p. 740–748, 2015.

LI, T. et al. Rabbiteye blueberry prevents osteoporosis in ovariectomized rats. **Journal of Orthopaedic Surgery and Research**, v. 9, n. 1, p. 56, 2014.

LIU, Y.; XUE, S.; YONG, H.; ZHOU, F.; ZHANG, D.; BAOPING, J. Identification of Anthocyanin Components of Wild Chinese Blueberries and Amelioration of Light-Induced Retinal Damage in Pigmented Rabbit Using Whole Berries. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, n. 1, p. 356–363, 2011.

LOBOS, G. A.; REMATALES, J. B.; POZO, A. Physiological response of *Vaccinium corymbosum* ‘Elliott’ to shading nets in Michigan. **Acta Horticulturae**, n. 810, p. 465–470, 2009.

LYRENE, P. M. **Blueberry Plant Called ‘Emerald’**. US Plant Pat. 12.165, 2001a. 6 p.

LYRENE, P. M. **Blueberry Plant Named ‘Jewel’**. US Plant Pat. 11.807, 2001b. 5 p.

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

MCLEAY, Y.; BARNES, M. J.; MUNDEL, T.; HURST, S. M.; HURST, R. D.; STANNARD, S. R. Effect of New Zealand blueberry consumption on recovery from eccentric exercise-induced muscle damage. **Journal of the International Society of Sports Nutrition**, v. 9, n. 1, p. 19, 2012.

MEDINA, R. B. **Desempenho de novas cultivares de mirtilheiro de baixa exigência em frio em clima subtropical**. Piracicaba, 2016. 91 p. Dissertação de Mestrado – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP.

MÜLLER, J. L. **Developing pruning strategies for southern highbush blueberries ‘Star’, ‘Emerald’ and ‘Jewel: Intensity and combinations of pruning cuts**. África do Sul, 2011. p. 43-78. Dissertação de Mestrado - University of Stellenbosch.

NESMITH, D. S. Fruit development period of several rabbiteye blueberry cultivars. **Acta Horticulturae**, n. 715, p. 137–142, 2006.

NOBEL, P. S. Plants and Fluxes. In:_____ **Physicochemical and Environmental Plant Physiology**. 4 ed. Amsterdam. Academic Press. P. 476-478, 2009.

OGDEN, A. B.; VAN IERSEL, M. W. Southern highbush blueberry production in high tunnels: temperatures, development, yield, and fruit quality during the establishment years. **HortScience**, v. 44, n. 7, p. 1850-1856, 2009.

RASEIRA, M. C. B. Descrição da planta, melhoramento genético e cultivares. In: ANTUNES, L. E. C.; RASEIRA, M. C. B. **Cultivo do mirtilo (*Vaccinium* spp.)**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, p. 21-23, 2006.

REMATALES, J. B.; HANCOCK, J. F. **Blueberries**. Volume 21: Crop production science in horticulture. CABI, 2012. 324 p.

RUFATO, A. R.; ANTUNES, L. E. C. **Técnicas de produção de framboesa e mirtilo**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, p. 35, 2016.

SANTOS, A. M.; RASEIRA, M. C. B. **O Cultivo do Mirtilo**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2002.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

US Highbush Blueberry Council. 2018. Disponível em:< <http://ushbc.com.br>>. Acesso em: 22 jan. 2018.

WARD, N. A. Plant Pathology Fact Sheet: Blueberry Root Rot. **Cooperative Extension Service**. University of Kentucky - College of Agriculture, 2013.

WILLIAMSON, J. G.; KREWER, G.; MAUST, B. E.; MILLER, P. Hydrogen Cyanamide Accelerates Vegetative Budbreak and Shortens Fruit Development Period of Blueberry. **Hortscience**, v. 37, n. 373, p. 539–542, 2002.

WILLIAMSON, J. G.; LYRENE, P. M. Blueberry Varieties for Florida. **Horticultural Sciences Departament, UF/IFAS Extension**. 2004. 9 p.

WILLIAMSON, J.G.; OLMSTEAD, J.W.; ENGLAND, G.K.; LYRENE, P.M. Southern Highbush Blueberry Cultivars from the University of Florida. **Horticultural Sciences Departament, UF/IFAS Extension**. 2014. 10 p.

3 TEORES DE CARBOIDRATOS EM MIRTILEIROS ‘EMERALD’ E ‘JEWEL’ DE BAIXA EXIGÊNCIA EM FRIO, CULTIVADOS NO MUNICÍPIO DE PIRACICABA, SP, BRASIL

Resumo

A busca por uma alimentação balanceada têm resultado no aumento do consumo de frutas com grande potencial nutracêutico, como o mirtilo. Sua atividade antioxidante tem sido associada ao combate do envelhecimento precoce e à doenças como o câncer e Alzheimer. Mirtileiros são provenientes do Hemisfério Norte, de regiões de clima temperado onde durante o inverno há suficiente número de horas de frio (NHF) para a superação da dormência, florescimento e frutificação das plantas. Devido a cruzamentos genéticos realizados pela Universidade da Flórida, cultivares de menor exigência em NHF foram desenvolvidas e então, introduzidas no Brasil, possibilitando o plantio em regiões de clima subtropical com frutos sendo ofertados em uma estratégica janela de mercado. Entre essas cultivares estão ‘Emerald’ e ‘Jewel’, que apesar de se adaptarem a regiões sem frio hibernal, necessitam de informações que associem as fases de desenvolvimento da cultura com a síntese e repartição de carboidratos. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi quantificar o conteúdo de carboidratos presentes nos diferentes órgãos das plantas e relacioná-los às fases de crescimento vegetativo e reprodutivo desses mirtileiros, cultivados no município de Piracicaba, SP, Brasil, durante 2017. Avaliou-se o crescimento dos ramos e o número de fluxos vegetativos emitidos, o florescimento, a frutificação, a produção e os teores de amido, sacarose, carboidratos totais não-estruturais e açúcares solúveis totais em raízes, caules e folhas. Até o período do florescimento de ‘Emerald’ e ‘Jewel’, houve acúmulo de amido nas raízes e sacarose nas folhas para formação das estruturas reprodutivas. No período de frutificação, houve o consumo de amido de todas as partes das plantas e de sacarose das folhas de ‘Emerald’ e ‘Jewel’ para suprir a demanda energética da carga de frutos. ‘Emerald’ apresentou precocidade e maior produção que ‘Jewel’ devido à maior capacidade de translocar carboidratos durante a frutificação, especialmente amido e açúcares solúveis totais. A emissão de novos fluxos vegetativos em mirtileiros ‘Emerald’ e ‘Jewel’ favorece a síntese de sacarose e o acúmulo de amido que serão utilizados nas novas fases do ciclo da cultura. Manejos que proporcionem equilíbrio entre o crescimento vegetativo e reprodutivo dos mirtileiros podem resultar em melhor alocação de carboidratos, favorecendo a produção.

Palavras-chave: *Vaccinium* spp.; Southern Highbush; Amido; Sacarose; Produção

Abstract

The growing search for a balanced diet has increased the consumption of fruits with great nutraceutical potential, such as blueberries. Its antioxidant activity has been associated to the fight against premature aging, cancer and Alzheimer's disease. Blueberries are native to Northern Hemisphere, temperate regions wich during the winter, there are enough chilling hours to overcome dormancy, promoting budbreak and fruiting on plants. Due to cross-breeds carried out by the University of Florida, blueberry varieties of low-chilling requirement has been developed and then, introduced in Brazil enabling the planting of blueberries in regions of subtropical weather, with fruits being offered in a strategic market

window. Among these varieties, are ‘Emerald’ and ‘Jewel’, which, despite of being adapted to mild climates, require information that associates the crop development stages to its carbohydrates synthesis and partition. In this sense, the objective of this work was to quantify the carbohydrates contents in different parts of the plants and connect them to the vegetative and reproductive growth stages of blueberry plants grown in Piracicaba, Brazil in 2017. The growth and number of shoots, flowering, fruiting and yield were evaluated, so as the starch, sucrose, non-structural total carbohydrates and total soluble sugars contents in roots, stems and leaves. Until the flowering stage of ‘Emerald’ and ‘Jewel’, there was accumulation of starch in the roots and sucrose in the leaves in order to form reproductive structures. During the fruiting stage, occurred the consumption of starch from all parts of the plants and the consumption of sucrose from the leaves in ‘Emerald’ and ‘Jewel’ in order to supply the energetic demand of fruit load. ‘Emerald’ presented precocity and more yield than ‘Jewel’ due to its greater capacity in translocate carbohydrates during fruiting stage, specially starch and total soluble sugars. The emission of new vegetative shoots in ‘Emerald’ and ‘Jewel’ promote the sucrose synthesis and the starch accumulation that will be used during the new stages of the crop cycle. Cultural practices that provide balance between vegetative and reproductive growth of blueberry plants may result in better carbohydrates allocation, favouring yield.

Keywords: *Vaccinium* spp.; Southern Highbush; Starch; Sucrose; Yield

3.1 Introdução

O consumo de alimentos funcionais tem aumentado globalmente devido à busca por benefícios à saúde (SHUKITT-HALE, 2012). Nesse sentido, os mirtilos de destacam por serem ricos em antocianinas, pigmentos com alta atividade antioxidante capaz de combater radicais livres, o envelhecimento do organismo e doenças como o câncer (JEYABALAN et al., 2014), o Alzheimer (BREWER et al., 2010), sendo consumidos *in natura* e estando cada vez mais presentes na culinária e também na indústria de cosméticos (US Highbush Blueberry Council, 2018).

O mirtilheiro, por ser uma cultura proveniente de clima temperado, necessita de um determinado número de horas de frio (NHF) igual ou abaixo de 7,2 °C durante o inverno para que ocorra a quebra de dormência de suas gemas reprodutivas responsáveis pelo florescimento e frutificação que ocorrerão na primavera (CANTUARIAS-AVILÉS, 2010). Em países do Hemisfério Norte, onde os invernos atingem temperaturas congelantes esta demanda por horas de frio é atendida, mas para que as áreas de cultivo pudessem ser ampliadas, a Universidade da Flórida desenvolveu cultivares com menor exigência em NHF, possibilitando a expansão da produção de mirtilos para regiões de clima subtropical (LYRENE, 2008).

Mirtileiros ‘Jewel’ e ‘Emerald’, são exemplos de cultivares de menor exigência em NHF, resultantes do cruzamento entre mirtileiros do grupo Highbush e Rabbiteye e pertencentes ao subgrupo Southern Highbush (WILLIAMSON, et al., 2014). Estas cultivares têm sido avaliadas no Brasil, em clima Cwa, caracterizado por apresentar inverno seco e ameno e verão quente e úmido, sendo uma alternativa de renda ao fruticultor por ofertar frutos durante o período de entressafra do Hemisfério Norte e da região Sul do Brasil (MEDINA, 2016).

Apesar de se adaptarem à regiões sem frio hibernal, é fundamental conhecer as épocas de ocorrência das diferentes fases do desenvolvimento dessas cultivares, para que sejam aprimorados os manejos a serem adotados, visando aumentar a produtividade (WILLIAMSON, et al., 2014). Também é importante associar as informações das fases de desenvolvimento da cultura com a fisiologia das plantas, principalmente em regiões que apresentam condições edafoclimáticas diferentes do seu habitat de origem, situação que pode afetar a capacidade fotossintética e consequentemente a síntese de carboidratos (sacarose e amido) que serão particionados e alocados nos diferentes órgãos vegetais (FITTER; HAY, 2012).

A disponibilidade destes carboidratos, bem como o consumo deles (relação fonte-dreno) nos diferentes estágios de desenvolvimento da planta, determina o metabolismo e o crescimento dos tecidos que necessitam destas fontes de energia para que possam expressar todo seu potencial, resultando assim em boas produtividades (TAIZ et al., 2017).

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi quantificar o conteúdo de carboidratos presentes nos diferentes órgãos da planta e relacioná-los às fases de crescimento vegetativo e reprodutivo de mirtileiros ‘Emerald’ e ‘Jewel’, cultivados no município de Piracicaba, SP, Brasil.

3.2 Material e Métodos

O experimento foi realizado durante o ano de 2017 na chácara Catavento, localizada no município de Piracicaba, SP (22° 46’ 03’’ de altitude, 47° 32’ 40’’ de longitude, 890 metros de altitude, clima Cwa segundo a classificação de Köppen-Geiger). Plantas de mirtileiros ‘Emerald’ e ‘Jewel’ de 7 anos de idade, espaçadas de 2,00 x por 0,64 metros, foram conduzidas em vasos de 12 litros contendo substrato comercial à base de casca de pinus, fertirrigadas de acordo com as recomendações para a cultura (CANTUARIAS-AVILÉS, 2010) e mantidas sob cobertura plástica. Dados médios de temperatura média,

máxima e mínima e umidade relativa no ambiente interno foram obtidos com DataLogger (AKSO – AK172-V2) (Anexo A), enquanto os dados externos, referentes a essas mesmas variáveis foram obtidos da Estação Meteorológica da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” ESALQ / USP, distante aproximadamente 7,0 km da área experimental (Anexo B).

Dez plantas de cada cultivar foram podadas a uma altura de 20 centímetros em 07/12/2016, trinta dias após o término da colheita dos frutos e avaliadas a partir de março de 2017 após a emissão dos novos ramos, quanto às fases de:

(i) Crescimento vegetativo e brotação: em três ramos selecionados por planta, foram contados 12 nós a partir do ápice meristemático dos ramos e feita uma marcação nesta região. O comprimento dos ramos foi medido semanalmente desde a região previamente marcada até o último par de folhas, com o auxílio de uma trena graduada em centímetros. Calculou-se o comprimento médio dos 30 ramos para ambas as cultivares, subtraindo do comprimento da semana atual o valor da semana anterior, sendo o resultado expresso em crescimento médio mensal (cm). As brotações oriundas dos ramos selecionados foram contabilizadas, considerando seus fluxos secundários e terciários, com os valores expressos em porcentagem mensal do número médio de fluxos emitidos.

(ii) Florescimento, frutificação e colheita: foram avaliados semanalmente nos mesmos três ramos das avaliações de crescimento vegetativo. A duração do período de florescimento e frutificação foi computada pela contagem do número de flores e frutos, considerando para esses últimos, o período compreendido desde o intumescimento do ovário floral até sua colheita. Os dados foram expressos em porcentagem (%).

(iii) Produção de frutos: foi computado o número e peso de frutos nas 10 plantas marcadas, resultando em frutos planta⁻¹ e na produção em kg planta⁻¹.

(iv) Produtividade: foi computada multiplicando-se o valor de produção em kg planta⁻¹ pelo número de plantas cultivadas no hectare, que é de 7.812 plantas distribuídas no espaçamento de 2,00 x 0,64 metros.

Para as análises laboratoriais de carboidratos, foram realizadas quatro coletas de raízes, caules e folhas em diferentes fases do desenvolvimento dos mirtilheiros, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1. Épocas de coleta de amostras de raízes, caules e folhas para análises laboratoriais de carboidratos em mirtileiros ‘Emerald’ e ‘Jewel’ cultivados em Piracicaba, SP. 2017.

Épocas de coleta	Datas de coleta nas cultivares	
	‘Emerald’	‘Jewel’
Poda	07/12/2016	07/12/2016
Pico de Florescimento	01/08/2017	05/09/2017
Pico de Frutificação	12/09/2017	20/09/2017
Pico Vegetativo	21/11/2017	04/12/2017

Nas análises de carboidratos, determinou-se: açúcares solúveis totais (AST), sacarose (SAC) e amido (AMI). Pela soma de AST + AMI foi determinado o conteúdo de carboidratos totais não-estruturais (CTNE) de forma indireta. Para as análises laboratoriais do conteúdo de carboidratos não-estruturais foram coletadas amostras de raiz grossa (> 1mm de diâmetro), raiz fina (< 1mm de diâmetro), caule herbáceo, caule lenhoso (lignificado) e folhas de uma planta de cada cultivar em quatro épocas distintas do desenvolvimento, sendo elas: no dia da poda (trinta dias após o término da colheita dos frutos), pico de florescimento, pico de frutificação e pico vegetativo. As amostras foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até a obtenção de valores de massa seca constantes, para então serem moídas em moinho tipo Willye (Marconi, TE-3), armazenadas em sacos de papel e mantidas em câmara fria a 10 °C até o momento de serem analisadas em laboratório.

Extração do conteúdo de amido (AMI): foi determinado nas folhas, raízes e caules, segundo Amaral et al. (2007). Foram pesados em Eppendorfs de 2 mL, 10 mg de amostras secas e moídas, feitas quatro extrações com a adição de 500 µL de etanol 80% e incubação em banho-maria a 80°C por 20 minutos, centrifugando por 2 minutos e após a quarta extração as amostras foram secas em temperatura ambiente por 24 horas sob luz UV para evitar contaminação. Após a secagem do material, foi adicionado 500 µL da enzima α -amilase (120 U mL⁻¹) diluída em tampão MOPS 10 mM, pH 6,5 nas amostras, as quais foram incubadas em banho-maria a 75 °C por 30 minutos. Em seguida, foi adicionado novamente 500 µL de solução de α -amilase e as amostras incubadas a 75°C por 30 minutos. As amostras foram resfriadas até a temperatura de 50°C, nas quais foi adicionado 500 µL da enzima amilo-glucosidase (30 U/mL) diluída em tampão acetato de sódio 100 mM, pH 5,0, que permaneceram incubadas em banho-maria a 50°C por 30 minutos. Em seguida, foi adicionado novamente 500 µL da solução de amilo-glucosidase e as amostras novamente incubadas a

50°C por 30 minutos. Na última etapa, foi adicionado 100 µL de ácido perclórico 0,9 M para cessar a reação e precipitar as proteínas.

As amostras foram congeladas em freezer (-20 °C) para serem quantificadas segundo a metodologia de Amaral et al. (2007). Em Eppendorfs de 1,5 mL utilizou-se uma alíquota de 20 µL de cada amostra, adicionados 50 µL de água destilada e 750 µL de glicose PAP Liquiform (GODPOD). Utilizou-se como curva padrão, solução de glicose nas concentrações 0, 10, 20, 30, 40 e 50 µL, em Eppendorfs de 1,5 mL, os quais foram preenchidos com água destilada até completarem 50 µL e 750 µL de glicose PAP Liquiform (GODPOD).

A solução foi incubada em banho-maria a 30 °C por 15 minutos e o conteúdo de amido (AMI) foi determinado em leitor de microplacas ELISA, em comprimento de onda de 490 nm. As leituras da curva padrão e das amostras foram feitas em triplicata e o conteúdo de amido foi expresso em miligramas de amido por gramas de matéria seca (mg.g ms⁻¹).

Extração dos açúcares solúveis totais (AST) e sacarose (SAC): realizadas pelo método MCW. Para a extração e a purificação dos compostos, 75 mg de tecido vegetal seco e moído das amostras de folhas, raízes e caule, foi embebido em 3 mL de solução de metanol: clorofórmio: água (MCW) na proporção 12:5:3 segundo metodologia adaptada de Bieleski e Turner (1966). A solução foi mantida em geladeira a 5 °C por dois dias. Acrescentou-se água e clorofórmio, na proporção de 1,2:1,8 e os frascos foram agitados e mantidos em geladeira por mais 24 horas. Após a separação das fases, foi coletado o sobrenadante (fração aquosa-metanólica) e feita a concentração das amostras em banho maria a 50°C até que metade do volume evaporasse. A solução foi quantificada em provetas com 1,5 mL e armazenada sob resfriamento em tubos Eppendorf.

A determinação de açúcares solúveis totais (AST) foi feita pelo método do fenol-sulfúrico (DUBOIS et al., 1956). Para a quantificação nas amostras, um volume de 10 µL do extrato de MCW foi pipetado em tubos de ensaio e após essa etapa, o volume das amostras foi completado com água mili-Q para 490 µL. Em seguida, foi adicionado 500 µL de fenol 5% e 2000 µL de ácido sulfúrico p.a. Os tubos foram agitados até a total homogeneidade da solução e a absorbância foi medida em espectrofotômetro (Hitachi, U-1900) no comprimento de onda de 490 nm. Como reta-padrão para conversão em quantidade de açúcar, foi utilizada uma solução de glicose nas concentrações de 20, 40, 80, 120 e 200 µg.

A sacarose (SAC) foi determinada segundo Van Handel (1968) e Dubois et al. (1956). Para a quantificação nas amostras, um volume de 15 µL do extrato de MCW foi pipetado em tubos de ensaio e após essa etapa, o volume das amostras foi completado com água mili-Q para 485 µL. Acrescentou-se 500 µL de hidróxido de potássio a 30% nos tubos que foram

vedados e incubados em banho-maria a 100 °C por 10 minutos. Em seguida, foi adicionado 500 µL de fenol a 5% e 2000 µL de ácido sulfúrico p.a. Os tubos foram agitados até a total homogeneidade da solução e a absorbância foi medida em espectrofotômetro (Hitachi, U-1900) no comprimento de onda de 490 nm. Como reta-padrão foram usadas soluções contendo 0, 20, 40, 80, 120, 200 e 250 µg de sacarose. Os conteúdos de AST e SAC foram expressos em miligramas de glicose por grama de matéria seca (mg.g ms⁻¹) e miligrama de sacarose por grama de matéria (mg.g ms⁻¹).

O experimento foi disposto em delineamento inteiramente casualizado, sendo avaliadas 10 plantas por cultivar. Os dados referentes ao desenvolvimento vegetativo e reprodutivo e aos teores de carboidratos foram submetidos a análises descritivas através de gráficos que expressaram sua evolução ao longo das avaliações. Os dados de produção obtidos foram analisados por meio do software Statistical Analysis System (SAS v.9.3; SAS Institute, Cary, NC), transformados em raiz (x+k), submetidos à análise de variância e comparados pelo teste Tukey (p < 0,01).

3.3 Resultados e Discussão

Para ambas as cultivares, os maiores teores de amido foram encontrados nas raízes grossas, estruturas típicas de armazenamento nos mirtilheiros (REMATALES; HANCOCK, 2012), independentemente da época de coleta. Na primeira coleta realizada no dia da poda (trinta dias após o término da colheita dos frutos da safra anterior), os teores de amido encontrados nas raízes de ambas as cultivares foram próximos, sendo 97,9 e 99,1 mg.g ms⁻¹ nas raízes grossas e 74,8 e 66,5 mg.g ms⁻¹ nas raízes finas de ‘Emerald’ e ‘Jewel’, respectivamente (Figuras 1A, 1E). Na Flórida, valores semelhantes de teores de amido foram encontrados por Swain e Darnell (2002) em raízes de mirtilheiros ‘Sharpblue’ do subgrupo Southern Highbush, logo após a época de colheita.

Após a poda drástica realizada, houve incremento nos teores de amido em todos os órgãos das plantas até o pico de florescimento. Este aumento ocorreu devido às novas brotações oriundas da poda, que resultaram no maior crescimento dos ramos entre os meses de março e abril, sendo este crescimento médio de 2,05 cm em ‘Emerald’ e 4,20 cm em ‘Jewel’ (Figuras 2A, 2B), promovendo a fotossíntese e o acúmulo de carboidratos, uma vez que durante esta fase, os poucos drenos que haviam correspondiam apenas às folhas novas que ainda não se encontravam autossuficientes quanto à fotossíntese (Figuras 1A, 1E) (TAIZ et al., 2017).

Figura 1. Teores de amido (AMI), sacarose, (SAC), açúcares solúveis totais (AST) e carboidratos totais não-estruturais (CTNE) em diferentes órgãos e nas diferentes fases do desenvolvimento de mirtileiros ‘Emerald’ (A, B, C e D) e ‘Jewel’ (E, F, G e H) cultivados em Piracicaba, SP. 2017.

Nas condições edafoclimáticas do Havaí, Zee et al. (2006) também observaram maior vigor de mirtileiros ‘Jewel’ em relação a ‘Emerald’, assim como Müller (2011) em experimentos realizados na África do Sul, após a prática da poda drástica realizada no mês de dezembro, como realizado neste trabalho. Resultados contrários foram observados por

Medina (2016), onde a cultivar ‘Emerald’ se mostrou mais vigorosa que ‘Jewel’, o que pode ser justificado por possíveis alterações nas condições ambientais e nas práticas culturais realizadas em seu estudo (ANTUNES et al., 2008).

Figura 2. Crescimento médio de ramos (cm), emissão de fluxos vegetativos secundários e terciários (%) e porcentagem de flores e frutos em mirtilleiros ‘Emerald’ (A e C) e ‘Jewel’ (B e D) cultivados em Piracicaba – SP, no período de março a dezembro de 2017.

Desde a poda até o pico de florescimento, os teores de amido nas raízes apresentaram pouco incremento em ambas as cultivares (Figuras 1A, 1E), sendo este incremento de 10% em ‘Emerald’ e 7% em ‘Jewel’. No entanto, houve maiores aumentos nos teores de amido nos caules herbáceos e lenhosos, os quais nesta fase, apresentaram incremento de 20,4 e 29,4 mg.g ms^{-1} em ‘Emerald’ e de 20,6 e 23,6 mg.g ms^{-1} em ‘Jewel’, respectivamente (Figuras 1A e 1E). O maior acúmulo de carboidratos nos caules pode ser atribuído a translocação dos fotoassimilados provenientes da parte aérea das plantas e pela diminuição do crescimento dos ramos a partir do mês de maio, que ocorreu de forma similar entre as cultivares, cessando em julho (Figuras 2A, 2B).

Os menores incrementos nos teores de amido durante o florescimento das cultivares foram detectados nas folhas, no entanto, foi onde se encontrou os maiores teores de sacarose, de 267,7 e 278,8 mg.g ms^{-1} em ‘Emerald’ e ‘Jewel’ respectivamente (Figuras 1B, 1F). Este ocorrido pode ser explicado pela alta demanda de sacarose pelas flores, órgãos em desenvolvimento, não fotossintetizantes e muito próximos às folhas (HOPKINS; HÜNER,

2004), especialmente num período em que não foi observado crescimento de ramos para ambas as cultivares e houve baixa emissão de novos fluxos vegetativos particularmente para ‘Jewel’ (Figuras 2A, 2B). Aumento nos teores de sacarose têm sido correlacionados com a fase de florescimento, pois segundo Vaz et al. (2004), participam da indução floral como substância sinalizadora juntamente com hormônios e RNAm específicos. ‘Emerald’ apresentou um início de florescimento mais precoce em relação a ‘Jewel’, assim como observado por Medina (2016), que resultou em um pico mais antecipado também em torno de um mês (Figuras 2C, 2D).

Em ambas as cultivares, os teores de açúcares solúveis totais em todos os órgãos vegetais, com exceção das raízes finas de ‘Emerald’, apresentaram queda entre a fase da poda até a fase de florescimento (Figuras 1C, 1G). Maust et al. (1999) detectaram decréscimo de 25% no teor de açúcares solúveis nos caules de mirtilheiros ‘Misty’ e ‘Sharpblue’ de dois anos de idade (ambas pertencentes ao subgrupo Southern Highbush) durante a fase de florescimento e após passarem por período de dormência, enquanto no presente trabalho os decréscimos foram de 37% e 2% em ‘Emerald’ e ‘Jewel’, respectivamente. Os teores de açúcares solúveis totais se apresentaram na maioria das amostras, superiores aos teores de sacarose, justamente por considerarem também os teores de glicose e frutose presentes nos órgãos da planta (LOESCHER et al., 1990).

Em mirtilheiros, tanto o amido como a sacarose são consumidos desde o aparecimento dos frutos até o final da colheita, o que foi confirmado no período de frutificação (Figuras 1A, 1B, 1E e 1F) que em ‘Emerald’ se iniciou em junho, atingindo porcentagem máxima no fim do mês de agosto e finalizando em dezembro (Figura 2C), enquanto em ‘Jewel’ este teve início em julho, com pico em setembro, finalizando em novembro (Figura 2D), o que resultou na antecipação da produção de ‘Emerald’ em relação a ‘Jewel’, fato também constatado por Medina (2016).

Durante a fase de frutificação, houve queda brusca dos teores de amido em todos os órgãos de ambas as cultivares sendo que a redução dos teores em ‘Emerald’ variou entre 30,0 e 39,2 mg.g ms⁻¹ e em ‘Jewel’, de 28,4 a 45,8 mg.g ms⁻¹ em comparação com a fase anterior, o que representa queda de 35% e 28% nas raízes grossas; 39% e 42% nas raízes finas; 44% e 50% nos caules lenhosos; 53% e 45% nos caules herbáceos e 47% e 60% nas folhas, respectivamente (Figuras 1A, 1E). Essa ocorrência se deve à utilização do amido para suprir a alta demanda energética da carga de frutos em que se encontravam as plantas, visto que os mesmos são drenos de maior prioridade durante esta fase de desenvolvimento (Figuras 2C, 2D) (DICKINSON, 2001; PREISS, 2009). Resultados contrários foram observados em raízes

de mirtilheiros ‘Sharpblue’ do subgrupo Southern Highbush cultivados nas condições edafoclimáticas da Flórida, Estados Unidos, e que passaram por período de dormência, nas quais os teores de amido diminuíram durante a floração e aumentaram até a colheita dos frutos (MAUST et al., 1999). Possíveis flutuações e contrariedades nos padrões de alocação e partição de carboidratos entre diferentes experimentos realizados com plantas do mesmo gênero e/ou grupo, podem ser consequência das diferentes condições de cultivo em que as plantas foram estabelecidas que influenciam no seu estado hídrico, nutricional, sanidade, duração dos estágios de desenvolvimento e maturação dos órgãos (folhas, frutos, caules e raízes) e também do efeito de fatores ambientais como temperatura e concentração de gases (MAGEL et al., 2000).

A sacarose presente nas folhas, que havia aumentado em ambas as cultivares até o período de florescimento, foi consumida durante a frutificação, fase de maior consumo de energia, confirmando que a alta demanda por este carboidrato durante esta fase é suprida principalmente pelas folhas. As cultivares apresentaram teores de sacarose bastante próximos, de 190,8 mg.g ms⁻¹ em ‘Emerald’ e 191,4 mg.g ms⁻¹ em ‘Jewel’ (Figuras 1B, 1G) e uma diminuição desses teores nas folhas durante a fase de frutificação que também foi similar entre as cultivares, de 28% e 31% em ‘Emerald’ e ‘Jewel’, respectivamente. A sacarose encontrada nas folhas, além de ser a principal fonte de energia para o desenvolvimento dos frutos e por estar presente também nos demais órgãos da planta, pode ser consumida por outros drenos como novas folhas, flores e raízes (TAIZ et al., 2017). Tal fato é sugerido pela flutuação dos seus teores nos diferentes órgãos das plantas de ambas as cultivares nesta fase (Figuras 1B, 1F).

Ainda durante a frutificação, ‘Emerald’ apresentou diminuição dos teores de açúcares solúveis totais em todos os órgãos, com exceção dos caules lenhosos que tiveram um pequeno aumento (Figura 1C). Em ‘Jewel’, os açúcares solúveis totais sofreram redução dos teores apenas nas raízes, padrão semelhante ao dos carboidratos totais não-estruturais, sugerindo que durante a frutificação, as raízes também são importantes fontes destes carboidratos para suprir a demanda energética dos drenos (Figuras 1G, 1H).

As maiores quedas nos teores de amido e açúcares solúveis totais, observadas no período de frutificação de ‘Emerald’ (Figuras 1A, 1C) são devidas à maior produtividade da cultivar em relação a ‘Jewel’ (Tabela 2). Zee et al. (2006) também verificaram maior valor desta variável para ‘Emerald’ do que para ‘Jewel’ com 2.097 kg ha⁻¹ e 937,7 kg ha⁻¹ respectivamente, assim como Medina (2016) que observou épocas similares de oferta dos frutos também para ‘Emerald’ e ‘Jewel’ com 2.347,7 kg ha⁻¹ e 1.038,5 kg ha⁻¹

respectivamente. Produtividades semelhantes às deste estudo também foram obtidas por Antunes et al. (2008) em mirtilheiros ‘Bluegem’ (2.770 kg ha⁻¹), ‘Briteblue’ (3.629 kg ha⁻¹), ‘Powderblue’ (2.259 kg ha⁻¹) e ‘Bluebelle’ (3.703 kg ha⁻¹) pertencentes ao grupo Rabbiteye e cultivados em Pelotas, RS.

Tabela 2. Números de frutos por planta, produção (kg planta⁻¹) e produtividade (kg ha⁻¹) de mirtilheiros ‘Emerald’ e ‘Jewel’ cultivados em Piracicaba, SP, entre junho e dezembro de 2017.

Cultivares	Parâmetros de Produção*		
	frutos planta ⁻¹	kg planta ⁻¹	kg ha ⁻¹
Emerald	342,8 a	0,438 a	3.420,8 a
Jewel	376,4 a	0,369 b	2.884,2 b

* Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey (p < 0,01).

Na frutificação, os teores de açúcares solúveis totais nos caules lenhosos apresentaram padrão similar nas duas cultivares, porém, nos caules herbáceos de ‘Jewel’ esses teores aumentaram, enquanto que em ‘Emerald’ estes diminuíram em relação a fase de florescimento (Figuras 1C, 1G). Nesse período, houve decréscimo no consumo dos carboidratos totais, que em ‘Emerald’ foi de aproximadamente 40% nas raízes e de 7% nos caules, enquanto em ‘Jewel’ foi de 30% e 15% em raízes e caules, respectivamente (Figuras 1D, 1H). Nas folhas, o teor de açúcares solúveis totais em ‘Emerald’ foi de 127,22 mg.g ms⁻¹ enquanto que em ‘Jewel’ o teor foi de 387,86 mg.g ms⁻¹, sugerindo que ‘Emerald’ utilizou maiores quantidades de açúcares redutores (glicose e frutose) na fase de frutificação que ‘Jewel’ (Figuras 1C, 1D, 1G, 1H). Esses resultados foram semelhantes aos obtidos por Swain e Darnell (2001) para mirtilheiros ‘Sharpblue’ de dois anos de idade, cultivados em vasos nas condições climáticas da Flórida, que verificaram uma diminuição de 30% desses teores nas raízes e 40% nos caules entre o florescimento e a colheita.

Tanto o amido como a sacarose voltam a ser sintetizados e acumulados a partir da retomada do crescimento vegetativo (DARNELL; BIRKHOLD, 1996), que neste trabalho ocorreu a partir da emissão de novos fluxos vegetativos. Em ‘Jewel’, a máxima porcentagem da emissão desses novos fluxos, em torno de 60%, ocorreu em novembro, enquanto que em ‘Emerald’, esse valor foi em torno de 50%, ocorrendo no início de dezembro (Figuras 2A, 2B). Esses novos fluxos precederam a fase final do florescimento (Figuras 2C, 2D) assim como observado por Coletti (2009) ao estudar a fenologia de mirtilheiros ‘Elliot’, do grupo Highbush.

Na fase do pico vegetativo, ‘Emerald’ apresentou teores de amido nas raízes grossas e no caule lenhoso 30% e 20% a mais do que em ‘Jewel’. Para os demais órgãos, os teores de amido encontrados nesta fase foram próximos entre as cultivares (Figuras 1A, 1E). Em relação à sacarose, os maiores teores foram encontrados nas raízes, seguido das folhas e por último, nos caules (Figuras 1B, 1F) nas duas cultivares. O aumento do teor de sacarose nas raízes sugere que os fotoassimilados sintetizados estão sendo utilizados para o crescimento radicular que, segundo Rematales e Hancock (2012), ocorre em mirtilheiros desde a época de frutificação até antes do período de dormência. Com relação aos açúcares solúveis totais, as folhas apresentaram os maiores teores, seguidas das raízes e por último dos caules, padrão ocorrido em ambas as cultivares nesta fase de pico vegetativo (Figuras 1C, 1G). Os carboidratos totais não-estruturais foram encontrados em maiores quantidades nas raízes grossas e folhas, seguido das raízes finas e caules, padrão encontrado em ambas as cultivares (Figuras 1D, 1H).

Nas raízes de ‘Emerald’, os teores de sacarose foram maiores durante o pico vegetativo do que na fase de frutificação, enquanto em ‘Jewel’ os teores se mantiveram similares. Em folhas e caules de ambas as cultivares detectou-se diminuição dos teores de sacarose entre estas duas fases (Figuras 1B, 1F), o que sugere que este açúcar está sendo utilizado como fonte de energia para a emissão dos novos fluxos vegetativos (Figuras 2A, 2B), que enquanto não estão fotossinteticamente ativos, são os principais drenos (DICKINSON, 1991; TAIZ et al., 2017).

3.4 Conclusões

- Até o período do florescimento de ‘Emerald’ e ‘Jewel’, houve acúmulo de amido nas raízes e sacarose nas folhas para formação das estruturas reprodutivas;
- No período de frutificação, houve o consumo de amido de todas as partes das plantas e de sacarose das folhas de ‘Emerald’ e ‘Jewel’ para suprir a demanda energética da carga de frutos.
- ‘Emerald’ é mais precoce e produtiva que ‘Jewel’ por apresentar maior capacidade de translocar carboidratos durante a frutificação, especialmente amido e açúcares solúveis totais;
- A emissão de novos fluxos vegetativos em mirtilheiros ‘Emerald’ e ‘Jewel’ favorece a síntese de sacarose e o acúmulo de amido, que serão utilizados nas novas fases do ciclo da cultura.

- Manejos que proporcionem equilíbrio entre o crescimento vegetativo e reprodutivo dos mirtilheiros, pode favorecer a alocação dos fotoassimilados responsáveis pela frutificação, tornando a planta mais eficiente nas relações fonte-dreno, suprimindo assim, as demandas energéticas da mesma de modo que haja incremento nas variáveis produtivas.

Referências

AMARAL, I. V.; GASPARG, M. COSTA, P. M. F. Novo método enzimático rápido e sensível de extração e dosagem de amido em materiais vegetais. **Hoehnea**. v. 34, n. 4, p. 425-431, 2007.

ANTUNES, L. E. C.; CONÇALVES, E. D.; RISTOW, N. C.; CARPENEDO, S.; TREVISAN, R. Fenologia, produção e qualidade de frutos de mirtilo. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 43, n. 8, p. 1011-1015, 2008.

BIELESKI, R. L.; TURNER, N. A. Separation and Estimation of Amino Acids in Crude Plant Extracts by Thin-Layer Electrophoresis and Chromatograph. **Analytical biochemistry**. v. 17, p. 278-293, 1966.

BREWER, G. J. et al. Age-related toxicity of amyloid-beta associated with increased pERK and pCREB in primary hippocampal neurons: reversal by blueberry extracts. **The Journal of Nutritional Biochemistry**, v. 21, p. 991-998, 2010.

CANTUARIAS-AVILÉS, T. **Cultivo do mirtilheiro (*Vaccinium spp.*)**. Piracicaba: ESALQ, Divisão de Biblioteca e Documentação, 2010. 38 p. (Série Produtor Rural, 48).

COLETTI, R. **Fenologia, produção e superação da dormência do mirtilo em ambiente protegido**. Passo Fundo, 2009. 87 p. Dissertação de Mestrado. Universidade de Passo Fundo.

DARNELL, R. L.; BIRKHOLD, K. B. Carbohydrate Contribution to Fruit Development in Two Phenologically Distinct Rabbiteye Blueberry Cultivars. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** v. 121, n. 6, p. 1132-1136, 1996.

DICKINSON, R. E. Assimilate distribution and storage. In: RAGHAVENDRA, A. S. **Physiology of trees**. New York: John Wiley. p. 51-85. 1991.

DUBOIS, M., GILLES, K. A., HAMILTON, J. K., REBERS, P. T., & SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical chemistry**. v. 28, n. 3, p. 350-356, 1956.

FITTER, A.; HAY, R. Temperature. In:_____ **Environmental Physiology of Plants**. Cap 5, 3 ed. Academic Press, p. 205-225, 2012.

HOPKINS, W. G.; HÜNER, N. P. A. Allocation, Translocation and Partitioning of Photoassimilates. In:_____ **Introduction to Plant Physiology**. 3 ed. Wiley, 2004.p. 123-166.

JEYABALAN, J. AQIL, F.; MUNAGALA, R.; ANNAMALAI, L.; VADHANAM, M. V.;

GUPTA, R. Chemopreventive and Therapeutic Activity of Dietary Blueberry against Estrogen-Mediated Breast Cancer. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 62, n. 18, p. 3963–3971, 2014.

LOESCHER, W. H.; MCCAMANT, T.; KELLER, J. D. Carbohydrates Reserves, Translocation and Storage in Woody Plant Roots. **HortScience**. v. 25, n. 3, 1990.

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

MAGEL, E.; EINIG, W.; HAMPP, R. Carbohydrates in trees. In: GUPTA, A. K.; NAUR, N. **Carbohydrate Reserves in Plants - Synthesis and Regulation**. Elsevier Science. p 317-336, 2000.

MAUST, B. E.; WILLIAMSON, J. G.; DARNELL, R. L. Effects of Flower Bud Density on Vegetative and Reproductive Development and Carbohydrate Relations in Southern Highbush Blueberry. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** v. 124, n. 5, p. 532–538, 1999.

MEDINA, R. B. **Desempenho de novas cultivares de mirtilheiro de baixa exigência em frio em clima subtropical**. Piracicaba, 2016. 91p. Dissertação de Mestrado – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP.

MÜLLER, J. L. **Developing pruning strategies for southern highbush blueberries ‘Star’, ‘Emerald’ and ‘Jewel: Intensity and combinations of pruning cuts**. South Africa, 2011. p 43-78. Dissertação de Mestrado - University of Stellenbosch.

PREISS, J. Biochemistry and Molecular Biology of Starch Biosynthesis. In: BEMILLER, J.; WHISTLER R. **Starch: Chemistry and Technology**. Academic Press, p 84-85, 2009.

REMATALES, J. B.; HANCOCK, J. F. **Blueberries**. Volume 21: Crop production science in horticulture. CABI, 2012. 324 p.

SHUKITT-HALE, B. Blueberries and Neuronal Aging. **Gerontology**. v. 58, p. 518–523, 2012.

SWAIN, P. A. W.; DARNELL, R. L. Differences in Phenology and Reserve Carbohydrate Concentrations Between Dormant and Nondormant Production Systems in Southern Highbush Blueberry. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** v. 126, n. 4, p. 386–393, 2001.

SWAIN, P. A. W.; DARNELL, R. L. Production Systems Influence Source Limitations to Growth in ‘Sharpblue’ Southern Highbush Blueberry. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** v. 127, n. 3, p. 409-414, 2002.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2017, 858 p.

US Highbush Blueberry Council, 2018. Disponível em:< <http://ushbc.com.br>>. Acesso em: 22 jan. 2018.

VAN HANDEL, E. Direct microdetermination of sucrose. **Analytical biochemistry**. v. 22, n. 2, p 280-283, 1968.

VAZ, A. P. A.; SANTOS, H. P.; ZAIDAN, L. B. P. Floração. In: KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. São Paulo: Guanabara Koogan, p 374-375, 2004.

WILLIAMSON, J. G.; OLMSTEAD, J. W.; ENGLAND, G. K.; LYRENE, P. M. Southern Highbush Cultivars from the University of Florida. **Horticultural Sciences Departament, UF/IFAS Extension**. 2014. 10 p.

ZEE, F.; HUMMER, K.; NISHIJIMA, W.; KAIL, R.; STRAUSS, A.; YAMASAKI, M.; HAMASAKI, R. T. Preliminary Yields of Southern Highbush Blueberry in Waimea, Hawai'i. Manoa: University of Hawaii, **Cooperative Extension Service**. 2006. 8 p. (Fruits and Nuts, 12).

4 FOTOSSÍNTESE EM MIRTILEIROS ‘EMERALD’ E ‘JEWEL’, DE BAIXA EXIGÊNCIA EM FRIO HIBERNAL, CULTIVADOS EM PIRACICABA, SP, BRASIL.

Resumo

O mirtilheiro, cultura típica de clima temperado, tem se difundido para regiões onde predominam temperaturas mais altas. A síntese dos carboidratos essenciais para o desenvolvimento da planta e dos frutos, pode passar por alterações quando as condições climáticas não são favoráveis, afetando a fotossíntese e consequentemente, a produção. ‘Emerald’ e ‘Jewel’, cultivares de mirtilheiros de menor exigência em frio hibernar, desenvolvidas pela Universidade da Flórida, são tolerantes à altas temperaturas, podendo ser indicadas para regiões de clima subtropical. Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho fotossintético destes mirtilheiros, cultivados no município de Piracicaba, SP, sob cobertura plástica quanto às variáveis de trocas gasosas, índice de área foliar e teor de clorofila durante o ano de 2017. O incremento da fotossíntese de acordo com a radiação fotossinteticamente ativa (PAR), acompanhado do índice de área foliar e teores de clorofila foram maiores em ‘Emerald’ que em ‘Jewel’, no entanto, em situações de temperaturas altas e baixa umidade relativa (UR), a fixação de CO₂ foi afetada pelos altos valores de transpiração em ambas as cultivares.

Palavras-chave: *Vaccinium* spp.; Trocas gasosas; Clorofila; Índice de área foliar

Abstract

The consumption of functional food with nutraceutical activities like blueberries, a typical temperate crop, has spread to regions where higher temperatures prevail. Its photosynthetic performance, which results in the synthesis of the essential carbohydrates needed for the plant and fruit development, can undergo changes once the climatic conditions are not suitable, which can alter the photosynthesis and consequently, the yield. 'Emerald' and 'Jewel', low-chilling cultivars developed by the University of Florida, presents tolerance to high temperatures and have been cultivated in subtropical climate regions such as Piracicaba, Southeastern Brazil, where these cultivars were evaluated regarding its photosynthetic variables, chlorophyll content and leaf area index in 2017. The increase of gas exchange according to the photosynthetically active radiation (PAR), followed by leaf area index and chlorophyll contents were higher in 'Emerald' than in 'Jewel', however, in higher temperatures and low RH, CO₂ fixation was affected by high transpiration in both cultivars.

Keywords: *Vaccinium* spp.; Gas exchange; Chlorophyll; Leaf area index

4.1 Introdução

O consumo de mirtilos têm crescido mundialmente por apresentar alta atividade antioxidante e estar associado, entre outros benefícios, ao combate de doenças como o câncer

e Alzheimer (BREWER et al., 2010; JEYABALAN et al., 2014). A crescente demanda pelos frutos, juntamente ao atual cenário de mudanças climáticas, exige que espécies de interesse agrônomo sejam cultivadas em ambientes nem sempre adequados à sua fisiologia, que podem resultar em interferências no seu metabolismo e produtividade (REMATALES; HANCOCK, 2012).

Nesse sentido, é de extrema importância estudos com ênfase em entender os mecanismos fisiológicos das plantas cultivadas, uma vez que variáveis ambientais como temperatura do ar, incidência de luz solar e umidade afetam o desempenho fotossintético, responsável pela síntese de açúcares e carboidratos que suprirão a demanda energética dos frutos e influenciarão na produtividade (BERNARDES, 1987).

A temperatura é um fator determinante na distribuição geográfica de uma espécie vegetal podendo limitar sua produtividade, já que afeta o mecanismo estomático responsável pela difusão do carbono atmosférico no interior das folhas e também, por controlar a saída da água através da transpiração foliar fundamental à manutenção da temperatura interna vegetal (HOPKINS; HÜNER, 2004; SAGE; KUBIEN, 2007).

Espera-se modificações no desempenho fotossintético dos mirtilheiros (*Vaccinium* spp.) quando estes são cultivados em ambientes com temperatura, luminosidade e umidade relativa diferentes das regiões de origem. Em clima subtropical, estas variáveis podem causar alterações na fisiologia da planta, no entanto, o importante é que o suprimento de carbono atmosférico seja garantido sem que haja efeitos negativos resultantes das altas temperaturas da região (REMATALES; HANCOCK, 2012).

Cultivares de mirtilheiro de menor exigência em frio hibernar e maior tolerância à altas temperaturas como ‘Emerald’ e ‘Jewel’, desenvolvidas pela Universidade da Flórida, são indicadas para regiões de clima subtropical (CANTUARIAS-AVILÉS et al., 2014), desde que se comprove que seu desempenho e produtividade não sejam prejudicados pelas condições climáticas. Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho fotossintético destes mirtilheiros, cultivados no município de Piracicaba, SP, sob cobertura plástica, quanto às variáveis de trocas gasosas, índice de área foliar e teor de clorofila.

4.2 Material e Métodos

O experimento foi realizado durante o ano de 2017 na chácara Catavento, localizada no município de Piracicaba, SP (22° 46’ 03’’ de latitude Sul e 47° 32’ 40’’ de longitude Oeste, clima Cwa segundo a classificação de Köppen-Geiger). Plantas de mirtilheiros ‘Emerald’ e

‘Jewel’ de 7 anos de idade, no espaçamento de 2,00 x 0,64 metros foram conduzidas em vasos de 12 litros contendo substrato comercial à base de casca de pinus, fertirrigadas de acordo com as recomendações para a cultura (CANTUARIAS-AVILÉS, 2010) e mantidas sob cobertura plástica branca. Dados médios de temperatura média, máxima e mínima e umidade relativa no ambiente interno foram obtidos com DataLogger (AKSO – AK172-V2) (Anexo A), enquanto os dados externos, referentes a essas mesmas variáveis foram obtidos da Estação Meteorológica da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” ESALQ / USP, distante aproximadamente 7,0 km da área experimental (Anexo B).

Em plantas de ambas as cultivares, foram realizadas as seguintes avaliações:

(i) Medidas de trocas gasosas: as avaliações de trocas gasosas e radiação fotossinteticamente ativa (PAR) foram realizadas com um analisador de gases por infravermelho (IRGA) modelo LCi (ADC – BioScientific Ltd.), operando em sistema aberto e com concentração de CO₂ de 385 $\mu\text{mol mol}^{-1}$. As variáveis avaliadas foram: assimilação de CO₂ (*A*) [$\mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$]; transpiração (*E*), [$\text{mmol (H}_2\text{O) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$]; condutância estomática (*g_s*), [$\text{mol (H}_2\text{O) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$] e concentração intercelular de CO₂ (*C_i*) [$\mu\text{mol (CO}_2\text{) mol}^{-1}$]. A partir destas variáveis, foi calculada a eficiência instantânea de carboxilação (*A/C_i*), ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$) e a eficiência do uso da água (*A/E*) ($\mu\text{mol mmol}^{-1}$) (FLEXAS et al., 2001; MACHADO et al., 2005). As medidas foram realizadas entre os meses de fevereiro de 2017 (60 dias após a poda das plantas) até dezembro de 2017, totalizando 10 medidas dentro deste período. Para cada medida, foi utilizada 1 folha madura por planta em um total de 5 plantas por cultivar a cada época de medida. As medidas foram realizadas no período diurno (entre 9:30h às 11:00h) sob condições naturais de luminosidade, umidade relativa e temperatura do ar do ambiente em que as plantas foram cultivadas.

(ii) Índice de área foliar (IAF) e teor de clorofila: para medidas de IAF por planta ($\text{m}^2 \text{ folha m}^{-2} \text{ solo}^{-1}$), foi utilizado medidor portátil de interceptação de radiação solar LAI-2000 Plant Canopy Analyzer (PCA, LiCor) a cada dois meses em 10 plantas de cada cultivar. O teor de clorofila foliar foi medido com auxílio de clorofilômetro digital modelo CFL 1030 Falker nas mesmas épocas e folhas das medições das trocas gasosas.

O experimento foi disposto em delineamento inteiramente casualizado, sendo avaliadas 5 plantas por cultivar. Os dados referentes à assimilação de CO₂ (*A*), condutância estomática (*g_s*), transpiração (*E*) e concentração intercelular de CO₂ (*C_i*) foram submetidos à análise de variância e comparados pelo teste Tukey ($p < 0,01$). Os dados referentes aos índices de área foliar (IAF) foram submetidos à análise de variância e comparados pelo teste Scott-Nott ($p < 0,05$). Os dados de clorofila foram submetidos à análise descritiva, sendo

expressos através de gráficos que expressassem sua evolução no decorrer das avaliações e as análises estatísticas foram realizadas por meio do software Statistical Analysis System (SAS v.9.3; SAS Institute, Cary, NC).

4.3 Resultados e Discussão

(i) Medidas de trocas gasosas

As variáveis fisiológicas de ambas as cultivares apresentaram respostas diferentes de acordo com a temperatura do ar, umidade relativa (UR) e radiação fotossinteticamente ativa (PAR) no momento das avaliações (Figura 3). Quanto maiores os valores de PAR, maior a assimilação de CO₂ (*A*). No entanto, condições de alta temperatura e baixa UR afetaram a condutância estomática (*g_s*) e consequentemente a fotossíntese das cultivares (Figura 3B).

Entre 200 e 600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de PAR observou-se um aumento para a maioria dos valores de assimilação de CO₂ (*A*) em ambas as cultivares (Figura 3A). Aos 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de PAR, ‘Emerald’ e ‘Jewel’ apresentaram valores de *A* semelhantes entre si, com a média de 4,2 $\mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Figura 3A), resultados que correspondem aos observados em mirtilheiros ‘Augusta’ e ‘Brunswick’ do grupo Lowbush cultivados no Canadá, que sob condições similares de temperatura e luminosidade, apresentaram aproximadamente 4,0 $\mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (HICKLENTON et al., 2000). Resultados diferentes foram encontrados em mirtilheiros ‘Blueshower’ do grupo Rabbiteye cultivados em casa de vegetação na China, os quais apresentaram valores menores de *A* com aproximadamente 2,5 $\mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (HUANG; LI, 2015), enquanto que na Coreia, mirtilheiros ‘Bluecrop’ do grupo Highbush apresentaram valores maiores de *A*, ficando em torno dos 7,0 $\mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (RHO et al., 2012). Para esse mesmo valor de PAR (200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), quando a temperatura do ar esteve em torno dos 19 °C e UR em 60%, foram observados os menores valores de transpiração (*E*) com a média de 1,0 $\text{mmol (H}_2\text{O) m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para ambas as cultivares, resultado que pode ser associado à baixa condutância estomática (*g_s*) obtida devido às condições climáticas (Figuras 3B e 3C).

Figura 3. Assimilação de CO_2 , A (A), condutância estomática, g_s (B) e transpiração, E (C) de mirtilleiros 'Emerald' e 'Jewel' cultivados em Piracicaba, SP, sob cobertura plástica em função da radiação fotossinteticamente ativa (PAR). Chácara Catavento, 2017.

Com o aumento da temperatura e do PAR até $600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, a assimilação de CO_2 (A) em 'Jewel' também foi crescente, assim como seus valores correspondentes de g_s , E e de eficiência de carboxilação (A/C_i), o que resultou em um decréscimo na eficiência do uso da água (A/E) (Figuras 3 e 4). Este comportamento é justificado pelo fato de que a abertura estomática (g_s) é influenciada pela luz e permite a entrada do carbono atmosférico nas folhas, nas quais juntamente com a água e a enzima ribulose - 1,5 – bifosfato carboxilase/ oxigenase (RuBisCO), farão parte das reações de fixação do CO_2 no Calvin-Benson (TAIZ et al., 2017). Kim et al. (2011) e Jorquera-Fontena et al. (2016) também constataram em estudos sobre as respostas fotossintéticas de mirtilleiros, que as variáveis A e g_s estão positivamente correlacionadas como mostra a figura 5, uma vez que o carbono atmosférico a ser incorporado na fotossíntese, penetra nas folhas através das fendas estomáticas nelas presentes. No entanto, também é pelos estômatos que ocorre a saída de água para o resfriamento da planta através do processo de transpiração, que se eleva conforme a temperatura do ar aumenta. Desta forma, os estômatos são mediadores da homeostase do organismo vegetal para que a assimilação do

carbono atmosférico não seja feita às custas de perdas excessivas de água decorrente da transpiração, levando a planta ao déficit hídrico e a seus efeitos deletérios (HOPKINS; HÜNER, 2004; TAIZ et al., 2017).

Figura 4. Eficiência do uso da água (A/E) (A) e eficiência de carboxilação (A/Ci) (B) de mirtilleiros 'Emerald' e 'Jewel' cultivados em Piracicaba, SP, sob cobertura plástica em função da radiação fotossinteticamente ativa (PAR). Chácara Catavento, 2017.

Figura 5. Correlação entre a assimilação de CO₂ (A) e condutância estomática (g_s) de mirtilleiros 'Emerald' e 'Jewel' cultivados em Piracicaba, SP, sob cobertura plástica. Chácara Catavento, 2017.

O aumento na assimilação de CO₂ (A) também ocorreu em 'Emerald' na faixa entre 200 e 600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de PAR, sendo superior à 'Jewel' apenas na medição onde o PAR atingiu 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Durante esta medição, o valor de g_s encontrado em 'Emerald' foi

duas vezes maior do que em 'Jewel', resultando também em maiores valores de (E) e A/C_i (Figuras 3 e 4).

O menor valor de A associado ao menor valor de g_s em 'Jewel' durante as medições realizadas sob altas temperaturas ($> 38\text{ }^{\circ}\text{C}$), sugere que esta cultivar pode ter sofrido um estresse, que resultou em alta taxa respiratória e no aumento da concentração interna de CO_2 , fatores que levam ao fechamento estomático durante tais condições climáticas (HOPKINS; HÜNER, 2004).

O aumento da UR para aproximadamente 50%, queda da temperatura do ar para $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ e PAR em $650\text{ }\mu\text{mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$, foram as condições nas quais as cultivares apresentaram valores médios semelhantes para as variáveis fotossintéticas. A assimilação de CO_2 (A) de $8,0\text{ }\mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2}\text{ s}^{-1}$, a transpiração (E) de $3,40\text{ mmol (H}_2\text{O) m}^{-2}\text{ s}^{-1}$, a abertura estomática de $0,19\text{ mol (H}_2\text{O) m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ resultou nos altos valores da eficiência do uso da água (A/E) e de carboxilação (A/C_i) em ambas as cultivares, o que sugere que nestas condições ambientais, as plantas apresentaram abertura estomática suficiente para a absorção do carbono atmosférico, sem que houvesse perda de água em excesso devido a transpiração (Figuras 3 e 4). Entre as medições de 650 e $700\text{ }\mu\text{mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ de PAR, 'Emerald' não apresentou alteração na assimilação de CO_2 (A), mantendo seu valor em torno de $8,0\text{ }\mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2}\text{ s}^{-1}$, apesar de ter sido observado aumento de temperatura e transpiração (E). Em 'Jewel', houve um pequeno decréscimo no valor de A na medição realizada aos $700\text{ }\mu\text{mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ de PAR, resultado associado à queda do valor de g_s (Figura 3).

As medições realizadas com PAR em $850\text{ }\mu\text{mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ foram as que apresentaram menores valores de assimilação de CO_2 (A) decorrentes dos menores valores de condutância estomática (g_s). A baixa abertura estomática observada (g_s), está associada à UR de 27%, situação extrema em que através do acúmulo de ácido abscísico (ABA) a planta fecha seus estômatos como estratégia contra a perda de água excessiva para o ambiente (HOPKINS; HÜNER, 2004). Nas condições desta medição, 'Emerald' obteve maiores valores de A , g_s e consequentemente de E , apresentando menor eficiência do uso da água que 'Jewel' (Figuras 3 e 4).

Entre 850 até $1.000\text{ }\mu\text{mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ de PAR, as cultivares apresentaram valores crescentes de assimilação de CO_2 (A), assim como a condutância (g_s) devido à elevação da UR, possibilitando maior eficiência de carboxilação (A/C_i), porém menor eficiência do uso da água (A/E) devido ao aumento da transpiração (E) (Figuras 3 e 4). Quando a medição foi realizada com $1.000\text{ }\mu\text{mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ de PAR, 'Emerald' apresentou seu maior valor de A , de $12,9\text{ }\mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ e 'Jewel', seu segundo maior valor, que foi de $9,7\text{ }\mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2}\text{ s}^{-1}$. Tais

valores foram semelhantes aos encontrados por Roloff et al. (2004) em mirtilheiros ‘Bluecrisp’ também pertencentes ao subgrupo Southern Highbush cultivados na Geórgia (EUA), que variaram entre 10,0 e 12,0 $\mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Jorquera-Fontena et al. (2016) ao avaliarem a fotossíntese de mirtilheiros ‘Brigitta’ do grupo Highbush, cultivados no Chile em pleno sol e com PAR em 1.500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, também observaram valores de A de aproximadamente 12,5 $\mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Dentre as medições realizadas, as cultivares ‘Emerald’ e ‘Jewel’ apresentaram melhor desempenho fotossintético quando a temperatura no momento das medições se encontrava em torno dos 20 °C, UR em 50% e PAR em 650 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, pois com estas condições, foi observado que a condutância estomática (g_s) possibilitou valores relativamente altos de assimilação de CO_2 (A) sem perda excessiva de água decorrente da transpiração (E), o que foi sustentado pelas altas eficiências de carboxilação (A/C_i) e de uso da água (A/E) (Figuras 3 e 4). Nas condições climáticas em que o presente trabalho foi avaliado, ‘Emerald’ obteve maiores valores de assimilação de CO_2 (A), condutância estomática (g_s) e concentração intercelular de CO_2 (C_i), resultando em um maior desempenho fotossintético frente à ‘Jewel’ (Tabela 3).

Tabela 3. Desempenho fotossintético de mirtilheiros ‘Emerald’ e ‘Jewel’ cultivados em Piracicaba, SP, no período de fevereiro a dezembro de 2017.

Variáveis**	Cultivar*	
	Emerald	Jewel
Assimilação de CO_2 (A)	7,26 A	6,53 B
Condutância estomática (g_s)	0,20 A	0,16 B
Transpiração (E)	3,97 A	3,85 A
Concentração intercelular de CO_2 (C_i)	283,28 A	274,72 B

*Médias seguidas de letras diferentes na linha diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,01$).

** Variáveis expressas em: $A = \mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; $g_s = \text{mol (H}_2\text{O) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; $E = \text{mmol (H}_2\text{O) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e $C_i = \mu\text{mol (CO}_2\text{) mol}^{-1}$.

(ii) Índice de área foliar (IAF) e teor de clorofila

Os valores médios de IAF foram maiores em ‘Emerald’ que em ‘Jewel’. Em ‘Emerald’ o maior IAF ocorreu no mês de outubro (4,382), enquanto em ‘Jewel’, observou-se valores mais uniformes para esta variável no decorrer das medições, sendo junho o mês de destaque (3,787) (Tabela 4).

Tabela 4. Índice de área foliar (IAF) em mirtilheiros ‘Emerald’ e ‘Jewel’ cultivados em Piracicaba, SP, medido em diferentes datas. Chácara Catavento, 2017.

Datas das Medições	Cultivar	
	Emerald*	Jewel*
Abril/2017	3,051 c A	2,785 b A
Junho/2017	2,615 c B	3,787 a A
Agosto/2017	2,748 c A	2,178 b A
Outubro/2017	4,382 a A	2,390 b B
Dezembro/2017	3,566 b A	2,715 b B

* Médias seguidas por letras diferentes, minúsculas na vertical e maiúsculas na horizontal, diferem entre si pelo teste Scott-Nott ($p < 0,05$).

Os maiores valores de IAF em ‘Emerald’ indicam que a maior área ocupada pelas plantas desta cultivar resulta em maior interceptação da radiação solar, ou seja, sua arquitetura resultante da copa com crescimento mais aberto e horizontal corroborou com o rendimento fotossintético para esta cultivar (REMATALES; HANCOCK, 2012). Os menores valores de IAF em ‘Jewel’ resultam de um crescimento mais verticalizado para plantas desta cultivar, que resulta em uma copa mais compacta e com maior sobreposição de folhas quando comparada a ‘Emerald’. Segundo Hopkins e Hüner (2004), o sombreamento das folhas, bem como a verticalização destas em relação à incidência da luz, diminui a eficiência de captação do PAR necessário à fotossíntese que pode ser prejudicada e consequentemente, influenciar no ganho de biomassa pela planta.

As clorofilas *a* e *b*, pigmentos responsáveis pela absorção da radiação necessária para a fotossíntese (TAIZ et al., 2017) apresentaram uma tendência em acompanhar os valores de assimilação de CO_2 (*A*) em ‘Emerald’, com exceção apenas da medição realizada com PAR em $850 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, na qual a fotossíntese em ambas as cultivares foi afetada pela baixa UR e alta temperatura do ar (Figura 6A).

Esta tendência também foi observada em ‘Jewel’, no entanto, houve queda nos teores de clorofila quando os valores de *A* foram altos (com PAR em $600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Figura 6), resultado que pode estar associado com a alta condutância estomática (g_s) detectada em ‘Jewel’ durante esta medição, que favoreceu a assimilação do CO_2 mesmo com baixos teores de clorofila (Figura 3B). Apesar dos teores de clorofila serem fundamentais na captação de luz a ser utilizada na fotossíntese (TAIZ et al., 2017), a assimilação do carbono atmosférico foi limitada por condições climáticas adversas que levaram ao fechamento estomático, o que pode resultar em queda da produção de biomassa e dos frutos de mirtilheiros, respectivamente.

Figura 6. Teores de clorofila em mirtilheiros ‘Emerald’ (A) e ‘Jewel’ (B) cultivados em Piracicaba, SP, sob cobertura plástica em função da radiação fotossinteticamente ativa (PAR). Chácara Catavento, 2017.

4.4 Conclusões

- Mirtilheiros ‘Emerald’ apresentam melhor desempenho fotossintético que ‘Jewel’, representado pelos maiores valores de assimilação de CO₂ (A), condutância estomática (g_s), concentração intercelular de CO₂ (C_i) e eficiência de carboxilação (A/C_i).
- Condições ambientais de alta temperatura do ar ($> 35\text{ }^{\circ}\text{C}$) e baixa UR ($< 40\%$) afetam o mecanismo fotossintético dos mirtilheiros ‘Emerald’ e ‘Jewel’;
- Valores baixos de condutância estomática reduzem a eficiência fotossintética dos mirtilheiros ‘Emerald’ e ‘Jewel’;
- ‘Emerald’ apresenta maior IAF, que indica maior projeção da copa e menor sobreposição de folhas quando comparada a ‘Jewel’;
- Teores de clorofila estão associados a assimilação de CO₂ em mirtilheiros ‘Emerald’ e ‘Jewel’.

Referências

- BERNARDES, M. S. Fotossíntese no dossel das plantas cultivadas. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O. YAMADA, T. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Potafos, p. 13-48, 1987.
- BREWER, G. J. et al. Age-related toxicity of amyloid-beta associated with increased pERK and pCREB in primary hippocampal neurons: reversal by blueberry extracts. **The Journal of Nutritional Biochemistry**, v. 21, p. 991–998, 2010.
- CANTUARIAS-AVILÉS, T. **Cultivo do mirtileiro (*Vaccinium* spp.)**. Piracicaba: ESALQ, Divisão de Biblioteca e Documentação, 2010. 38 p. (Série Produtor Rural, 48).
- CANTUARIAS-AVILÉS, T. SILVA, S. R.; MEDINA, R. B.; MORAES, A. F. G.; ALBERTI, M. F. 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, 2014.
- FLEXAS J., GULÍAS, J., JONASSON S., MEDRANO H., MUS, M. Seasonal patterns and control of gas exchange in local populations of the Mediterranean evergreen shrub *Pistacia lentiscus* L. **Acta Oecologica**. v. 22, n. 1. p. 33–43, 2001.
- HICKLENTON, P. R.; REEKIE, J. Y.; GORDON, R. J. PERCIVAL, D. C. Seasonal Patterns of Photosynthesis and Stomatal Conductance in Lowbush Blueberry Plants Managed in a Two-year Production Cycle. **Hortscience**. v. 35, n. 1, p. 55–59, 2000.
- HOPKINS, W. G.; HÜNER, N. P. A. Energy Conservation in Photosynthesis: CO₂ Assimilation. In: _____ **Introduction to Plant Physiology**. 3 ed. Wiley, 2004. p. 89-121.
- HUANG, S.; LI, K. Dormant Season Fertigation Promotes Photosynthesis, Growth, and Flowering of ‘Blueshower’ Rabbiteye Blueberry in Warm Climates. **Hortic. Environ. Biotechnol.** v. 56, n. 6, p. 756-761, 2015.
- JEYABALAN, J. AQIL, F.; MUNAGALA, R.; ANNAMALAI, L.; VADHANAM, M. V.; GUPTA, R. Chemopreventive and Therapeutic Activity of Dietary Blueberry against Estrogen-Mediated Breast Cancer. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 62, n. 18, p. 3963–3971, 2014.
- JORQUERA-FONTENA, E.; ALBERDI, M.; REYES-DÍAZ, M.; FRANCK, N. Rearrangement of leaf traits with changing source-sink relationship in blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) leaves. **Photosynthetica**. v. 54, n. 4, p. 508-516, 2016.
- KIM, S. J.; DUK, J. Y.; TAE-CHOON, K.; HEE, J. L. Growth and photosynthetic characteristics of blueberry (*Vaccinium corymbosum* cv. Bluecrop) under various shade levels. **Scientia Horticulturae**. v. 129, p. 486–492, 2011.
- MACHADO, E. C.; SCHMIDT, P. T.; MEDINA C. L.; RIBEIRO, R. V. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. **Pesq. agropec. bras.** Brasília, v. 40, n. 12, p. 1161-1170, 2005.

REMATALES, J. B.; HANCOCK, J. F. Blueberries. Volume 21: Crop production science in horticulture. CABI, 2012. 324 p.

RHO, H.; YU, D. J.; KIM, S. J.; LEE, H. J. Limitation Factors for Photosynthesis in 'Bluecrop' Highbush Blueberry (*Vaccinium corymbosum*) Leaves in Response to Moderate Water Stress. *J. Plant Biol.* v. 55, p. 450-457, 2012.

ROLOFF, I.; SCHERM, H.; van IERSEL, M. W. Photosynthesis of blueberry leaves as affected by Septoria leaf spot and abiotic leaf damage. **Plant Dis.** v. 88, p. 397-401. 2004.

SAGE, R. F.; KUBIEN, D. S. The temperature response of C3 and C4 photosynthesis. **Plant, Cell and Environment.** v. 30, p. 1086-1106, 2007.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal.** 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2017, 858 p.

ANEXOS

Anexo A

Anexo A – Médias mensais de temperatura média (Tmed), máxima (Tmax), mínima (Tmin), (°C) e umidade relativa do ar (%) internas à cobertura plástica em Piracicaba, SP, Brasil, entre fevereiro a dezembro de 2017 obtidas com DataLogger (AKSO – AK172-V2).

Mês	Tmed (°C)	Tmax (°C)	Tmin (°C)	UR (%)
Fev/17	25,3	40,5	15,9	86
Mar/17	24,0	39,6	13,4	80
Abr/17	22,4	38,9	11,9	75
Mai/17	19,8	33,8	10,2	81
Jun/17	17,2	34,1	3,9	81
Jul/17	15,8	32,6	3,7	75
Ago/17	18,3	37,2	5,7	76
Set/17	22,7	39,2	7,1	64
Out/17	23,9	41,9	12,1	75
Nov/17	24,0	42,0	9,8	77
Dez/17	26,2	43,4	16,1	76

Anexo B

Anexo B – Médias mensais de temperatura média (Tmed), máxima (Tmax), mínima (Tmin), (°C) e umidade relativa do ar (%) externas à cobertura plástica em Piracicaba, SP, Brasil, entre fevereiro a dezembro de 2017. Estação Meteorológica da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” ESALQ / USP.

Mês	Tmed (°C)	Tmax (°C)	Tmin (°C)	UR (%)
Fev/17	26,2	31,5	20,9	83
Mar/17	24,5	30,6	18,4	77
Abr/17	22,5	28,3	16,7	77
Mai/17	20,5	26,2	14,8	81
Jun/17	18,4	25,1	11,8	78
Jul/17	17,4	25,3	9,3	68
Ago/17	19,3	26,3	12,3	70
Set/17	23	32,1	13,9	55
Out/17	23,8	30,3	17,3	71
Nov/17	23,3	29,6	16,9	73
Dez/17	25,2	31,0	19,4	76