

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

**Fisiologia da produção da framboeseira (*Rubus idaeus*) relacionada
a fatores ambientais e culturais**

Ricardo Bordignon Medina

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor
em Ciências. Área de concentração: Fisiologia e
Bioquímica de Plantas

**Piracicaba
2021**

Ricardo Bordignon Medina
Engenheiro Agrônomo

**Fisiologia da produção da framboeseira (*Rubus idaeus*) relacionada a
fatores ambientais e culturais**

Orientador:
Prof. Dr. **MARCEL BELLATO SPÓSITO**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor
em Ciências. Área de concentração: Fisiologia e
Bioquímica de Plantas

Piracicaba
2021

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

Medina, Ricardo Bordignon

Fisiologia da produção da framboeseira (*Rubus idaeus*) relacionada a fatores ambientais e culturais / Ricardo Bordignon Medina. -- Piracicaba, 2021.

88 p.

Tese (Doutorado) -- USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Telas fotosseletivas 2. Cwa 3. Subtropical 4. Sombreamento 5. Anatomia
6. Fenologia 7. Podas I. Título

Dedico

A todos os amantes das pequenas frutas.

Aos produtores rurais, que incansavelmente, de sol a sol, cumprem a missão de alimentar a população.

Aos pesquisadores que travam batalhas diárias para realizar suas pesquisas, buscando elucidar questões científicas e trazer inovações para um mundo mais sustentável.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelas constantes bênçãos em minha vida.

À ESALQ/USP por ser a minha casa nos últimos 14 anos.

À minha família, pelo apoio incondicional em todos os momentos da minha vida. Por serem fundamentais na minha trajetória até aqui.

À Yane Caroline dos Anjos Bezerra, pelo companheirismo e imenso apoio na trajetória do meu doutorado e na minha vida. Por ser a base que mantém de pé a minha vida.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Marcel Bellato Spósito, pela orientação, ensinamentos, apoio e amizade ao longo desta etapa.

Ao Prof. Dr. Paulo Hercílio Viegas Rodrigues, pela troca de experiências de cultivos sob telas, pela amizade e por gentilmente ceder a casa de vegetação utilizada em experimentos desta tese.

Ao Prof. Dr. Ricardo Kluge, pela amizade, pela troca de experiências sobre pós-colheita e por gentilmente ceder seu laboratório para as análises de pós-colheita que compõem esta tese.

À equipe PColheit, pelas amizades e inúmeras ajudas prestadas nas análises laboratoriais que compõem esta tese.

À Profa. Dra. Beatriz Appezzato-da-Glória, pelas orientações sobre anatomia vegetal e por gentilmente ceder seu laboratório para as análises anatômicas que compõem esta tese.

À Maria Solizete Granzioi Silva, pelos anos de amizade e orientações de apoio à pós-graduação.

Ao produtor e consultor Rodrigo Veraldi Ismael, pelas discussões técnicas acerca das pesquisas realizadas nesta tese, além do fornecimento de mudas para ensaios realizados nesta tese.

À Profa. Dra. Jaqueline Visioni Tezotto-Uliana, pela amizade ao longo dos anos e por me incentivar a trabalhar com framboesas.

Ao Prof. Dr. Sergio Ruffo, pelas orientações iniciais destes experimentos e pelas contribuições científicas como membro da banca examinadora desta tese.

Aos Professores Dr. Garry Gao, Dra. Chieri Kubota e os membros de suas equipes na The Ohio State University, pelo apoio científico, amizade e financiamento durante meu intercâmbio. Aos meus colegas de Columbus, Victor, Paula e Daher.

Ao Prof. Dr. Paulo Mazzafera, pelo auxílio com as análises de amido em raiz, e pela rica discussão sobre compostos fenólicos de framboeseiras.

Ao produtor e amigo Luis Milner, pela orientação da fertirrigação das plantas e trocas de experiências no cultivos de *berries*.

Ao Técnico Agrícola Éder de Araújo Cintra, pelos longos anos de amizade, por ser um “pai” para mim durante toda a minha trajetória na ESALQ.

Aos grandes amigos que fiz durante minha passagem pela Pós-Graduação da ESALQ e que muito somaram à minha trajetória, em especial ao Matheus Luis Docema (Chicão), Caio Morais de Alcântara Barbosa, Thais Silvestre, Márcia Gonçalves Dias, Estevan Cason (Larva).

À Eliana Garcia, pela revisão e formatação desta tese.

À Capes pelas bolsas de estudo e PDSE a mim concedidas.

Ao CNPq, pela bolsa de estudos a mim concedida.

Aos colegas de pós-graduação aos docentes e funcionários da ESALQ/USP que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

Scientia Vincet
"Vencerás pela ciência"
Lema da Universidade de São Paulo.

SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT.....	11
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	13
REFERÊNCIAS.....	16
2. SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE FRAMBOESEIRAS REMONTANTES EM REGIÃO DE CLIMA SUBTROPICAL.....	19
RESUMO.....	19
ABSTRACT.....	19
2.1 INTRODUÇÃO.....	20
2.2 CONCLUSÃO.....	21
REFERÊNCIAS.....	22
3. FISIOLOGIA DA PRODUÇÃO DE FRAMBOESEIRAS CULTIVADAS SOB TELAS FOTOSSELETIVAS EM AMBIENTE PROTEGIDO.....	26
RESUMO.....	26
ABSTRACT.....	26
3.1 INTRODUÇÃO.....	27
3.2 CONCLUSÃO.....	28
REFERÊNCIAS.....	29
4. ANATOMIA FOLIAR DE FRAMBOESEIRAS CULTIVADAS SOB TELAS FOTOSSELETIVAS EM AMBIENTE PROTEGIDO.....	31
RESUMO.....	31
ABSTRACT.....	31
4.1 INTRODUÇÃO.....	32
4.2 CONCLUSÃO.....	33
REFERÊNCIAS.....	34
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	40
ANEXOS.....	42

RESUMO

Fisiologia da produção da framboeseira (*Rubus idaeus*) relacionada a fatores ambientais e culturais

A framboeseira é apreciada pelo seu sabor agradável e aspecto atrativo. Seu cultivo tipicamente ocorre em regiões frias de alta latitude e com cultivares tradicionais que exigem pronunciada estação fria para florescer e frutificar. Restrita ao sul do Brasil e à países de clima temperado, a produção não acompanha a crescente demanda nacional e internacional ao longo do ano, resultando em lacunas mercadológicas interessantes à exploração comercial. A extensão do cultivo para regiões subtropicais é uma forma de tentar suprir esta demanda. Para tal, é necessário o uso de cultivares remontantes, sem exigência de frio hibernar, e telas fotosselativas para mitigar o estresse de calor e de radiação solar que prejudicam essa espécie no subtropico e, adicionalmente, melhorar o espectro da luz incidente nas plantas. Concomitantemente, sistemas de manejo, principalmente de podas precisam ser estudados nessas condições de clima. Alterações nas condições de cultivo resultam em mudanças na anatomia das folhas e no comportamento fisiológico e fenológico das plantas que precisam ser investigadas e compreendidas para dar suporte ao desenvolvimento agrônomo esperado em regiões não tradicionais de clima tropical e subtropical. Esses aspectos acima mencionados compreendem as investigações dessa tese na região subtropical de Piracicaba, SP, em dois ciclos produtivos com a cultivar remontante Heritage e é apresentada em três experimentos específicos. No primeiro, foram estudados o desenvolvimento vegetativo, radicular, a produção total e épocas de colheita, bem como parâmetros físico-químicos e bioquímicos da qualidade dos frutos em três sistemas de produção e podas. Os diferentes sistemas não alteraram a boa qualidade das frutas produzidas, porém modificam a produção total e intervalo de colheitas. Sistemas com um ou dois despontes induzem duas ou três colheitas por haste, sendo a produção maior durante dois ciclos do que o sistema com produção apical apenas. Na segunda investigação, foram estudadas as características de quantidade e qualidade de luz do espectro de radiação incidente sob as telas fotosselativas preta, vermelha e azul, influenciando as taxas de assimilação de CO₂, desenvolvimento vegetativo, florescimento, frutificação e qualidade dos frutos. A pleno sol, framboeseiras sofrem fotoinibição, enquanto que sob as telas, a atividade fotossintética é favorecida. A época de florescimento, colheita, quantidade de frutos por haste, tamanho e peso de frutos, teor de antocianinas, acidez e sólidos solúveis variam de acordo com a tela utilizada. Esses resultados indicam a viabilidade da cultura em clima subtropical, como também sugerem novas oportunidades de mercado com o monitoramento da qualidade visando nichos específicos de mercado, oferecimento de frutas por tempo mais longo, otimização de mão-de-obra e melhor valor de comercializações. Na terceira investigação, foram estudados os aspectos morfoanatômicos, fisiológicos e bioquímicos das folhas de plantas cultivadas sob as telas vermelha, preta, azul e cinza, em resposta à quantidade e qualidade da luz recebida. Essas telas influenciaram a reflectância espectral das folhas, teor de clorofilas, carotenoides e assimilação de CO₂, modificando também a espessura total das folhas. O parênquima paliçádico foi reduzido sob as telas cinza e azul, com área foliar inversamente relacionada a espessura deste parênquima, enquanto que a radiação fotossinteticamente ativa incidente é diretamente proporcional à espessura. A densidade estomática foi alterada, mas não o índice estomático. Plantas a pleno sol

apresentaram menores taxas fotossintéticas e menor teor de clorofila. Esse efeito positivo na fotossíntese evidencia a mitigação do estresse devido ao excesso de radiação, tendo a intensidade de luz maior influência que a qualidade nas alterações morfoanatômicas, bioquímicas e fisiológicas. Os resultados indicam ser viável cultivar framboeseira em clima subtropical e monitorar a qualidade dos frutos produzidos.

Palavras-chave: Telas fotosseletivas, Cwa, Subtropical, Sombreamento, Anatomia, Fenologia, Podas

ABSTRACT

Physiology of red raspberry (*Rubus idaeus*) related to environmental and cultural aspects

Raspberry (*Rubus idaeus*) is appreciated for its pleasant taste and attractive appearance. This berry is traditionally cultivated in temperate regions at high latitudes using high chill demanding cultivars. The growing areas are limited to temperate regions abroad and, in Brazil, to Southern states. The production from traditional areas alone doesn't fulfill the increasing year-round demand of the local and international market, creating an interesting market gap for raspberry growers. Efforts are being made to extend crop areas to subtropical regions, using primocanes cultivars that doesn't require cold temperatures to induce flower buds, and photoselective nets that alter light spectrum and mitigate heat and solar radiation stresses that affect this species in the subtropic. At the same time, cultural practices, especially pruning, and harvesting methods need to be investigated in this unusual climate condition. Changes in the growing conditions alter leaves morphoanatomy, as well as physiological and phenological aspects of plants that need to be investigated and understood to support agricultural development in warm non-traditional regions. Those above-mentioned aspects comprised the overall content of this dissertation growing the primocane raspberry 'Heritage' in Piracicaba, SP, Brazil for two complete crop cycles and are presented in three specific trials. In the first one it was investigated vegetative growth, root development, and starch accumulation, yield, harvest seasons, as well as physicochemical and biochemical parameters of raspberry plants in three different production and pruning systems. The good quality of raspberries was not affected by the systems. On the other hand, yield and harvesting times however were strongly affected, with double or triple-cropping promoted by successive tippings having the highest total yield distributed in 14 months in two cycles, as compared to single primocane harvests. In the second trial, raspberries were grown under red, black, and blue photoselective nets, and the effect of the light spectrum and intensity modification in the carbon assimilation, vegetative growth, flowering, and fruiting of plants, as well as physicochemical parameters of fruits, were investigated. At the full sun, plants showed photoinhibition, whereas nets improved photosynthetic activity. The flowering and harvesting period, as well as yield, fruit weight, size, soluble solids content, titratable acidity, and anthocyanins, are affected by the type of photoselective net. These results not only indicate the viability of growing raspberries in warm Cwa climate conditions, but may represent new business opportunities, monitoring fruit quality aiming at niche markets, but also extending harvest season, achieving better selling prices. In the third experiment, morphoanatomical, physiological, and biochemical responses of raspberry leaves, grown at full sun and under red, black, blue, and gray photoselective nets as to light intensity and quality were investigated. The light transmitted by nets affected the leaf reflectance, area, thickness, cell arrangement, chlorophyll and carotenoid content, and CO₂ assimilation. Plants under blue and gray nets received the lowest photosynthetic photon flux density, had thinner but broader leaves. Leaf plasticity was observed for stomatal density, but not for stomatal index. The full sun leaves showed the lowest photosynthetic rates and lowest chlorophyll content. The positive effect of photoselective nets in photosynthesis highlights the protective effect of nets against photoinhibition and indicates that light intensity has more influence on leaf plasticity than light quality. The results observed in this thesis

indicate the viability of growing raspberries in the warm subtropical region and the monitoring of fruit quality under a controlled environment.

Keywords: Photoselective nets, Cwa, Subtropical, Shading, Anatomy, Phenology, Pruning

1. INTRODUÇÃO GERAL

O perfil do mercado nacional e mundial de frutas tem sofrido consideráveis mudanças, com acentuada diversificação qualitativa. Outrora não comercializadas, frutas nativas, exóticas e de apreciação somente familiar têm sido continuamente incorporadas a um novo mercado consumidor, ávido por diferentes produtos com sabores que evocam épocas, lugares ou situações agradáveis. Associado a um marketing expressivo e a uma crescente disposição da população para aquisição de frutas com valores adicionais à saúde, essa tendência tem resultado em uma sólida demanda de consumo que estimula sobremaneira a expansão da produção. Entre os setores mercadológicos com essa característica, encontra-se a comercialização de um grupo chamado “frutas vermelhas”, das quais podemos destacar as framboesas, mirtilos, amoras e morangos. Este grupo possui como característica comum, grande quantidade de antocianinas, responsáveis pela coloração que dá nome ao grupo, bem como pela atividade antioxidante das frutas.

Fruta de sabor peculiar e agradável, a framboesa (*Rubus idaeus* L.) apresenta comprovadamente propriedades antioxidante, anti-inflamatória, anticancerígena e cardioprotetora. Tais propriedades incentivam uma crescente demanda mundial pelo seu consumo (De Souza et al., 2014; Si et al., 2015; Klewicka et al., 2020). Tradicionalmente cultivada em regiões de clima temperado, a produção global de framboesa ainda está majoritariamente concentrada no Hemisfério Norte. Rússia, México, Sérvia, Estados Unidos da América e Polônia são os maiores produtores de framboesas, respondendo por 73% do volume total produzido em 2019 (FAO, 2021). Entretanto, o melhoramento genético, as mudanças no ambiente de produção com consequentes alterações na fisiologia das plantas e a adequação de manejo, tem possibilitado um significativo aumento da oferta de frutas com a expansão das áreas de cultivo para regiões não tradicionais (Medina, 2016; Kempler; Hall, 2013), atendendo uma demanda outrora suprida exclusivamente pela importação.

As cultivares de framboeseiras são classificadas em remontantes (ou *primocanes*) e não-remontantes (ou *floricanes*), que se diferenciam pelo hábito de frutificação. As cultivares não-remontantes apresentam ciclo bianual. Durante o primeiro ano, as hastes se desenvolvem vegetativamente na primavera e verão, passam pela indução floral no outono, entram em dormência sob baixas temperaturas no inverno e produzem frutos na primavera e verão do segundo ano (Gambardella et

al., 2015). O cultivo de variedades não-remontantes a campo fica restrito a regiões de inverno com baixas temperaturas por longos períodos de tempo, uma vez que, em regiões de clima quente, a quantidade insuficiente de horas de frio prejudica o desenvolvimento e a brotação das gemas dormentes (Pritts, 2008). Algumas estratégias são realizadas para viabilizar a produção de framboesas em regiões de clima quente ou para produções fora de época. Uma das estratégias utilizadas consiste na vernalização de cultivares não-remontantes em câmaras frias para produzir framboesas em períodos não convencionais ou em áreas sem frio hibernal (Pitsioudis et al., 2001). Embora efetivo, este processo é financeiramente dispendioso devido à necessidade de estrutura e mão-de-obra específicas.

As cultivares remontantes, por sua vez, possuem ciclo anual, e produzem frutos no ápice das hastes que se desenvolveram naquele ano (Palonen et al., 2021; Strik, 2010). A indução floral neste grupo ocorre independentemente do fotoperíodo ou da temperatura (Gambardella et al., 2015), além de poderem ser despontadas para uma segunda produção na mesma haste (Dale et al., 2005). A utilização de cultivares de framboeseiras remontantes é uma alternativa economicamente mais viável para produções em regiões sem frio hibernal, uma vez que as plantas têm o potencial de produzirem frutas o ano todo em condições de cultivo protegido (Dale et al., 2005). Framboeseiras 'Heritage', 'Autumn Bliss', 'Autumn Britten', 'Caroline', 'Himbo Top', 'Polka' e 'Sugana' são algumas das cultivares remontantes plantadas em várias regiões do mundo (Weber, 2013).

A cultivar Heritage foi desenvolvida na Universidade de Cornell, nos Estados Unidos da América, no final dos anos 60. Suas hastes são eretas e firmes e os frutos podem ser utilizados na forma *in natura* como na indústria. Por ser uma cultivar não patenteada e altamente adaptável, é amplamente utilizada em alguns países (Leiva et al., 2017; Weber, 2013). Entretanto, apesar da alta adaptabilidade de framboeseiras 'Heritage' em diversos países, em clima subtropical, devido ao excesso de radiação solar em determinadas épocas do ano, torna-se necessária a adoção de técnicas para mitigar alguns efeitos que possam prejudicar o desenvolvimento das plantas (Leiva et al., 2017)

Diversas são as técnicas utilizadas para modificar o ambiente de cultivo. Entre elas, destaca-se o uso de telas fotosseletivas em cultivo protegido visando modificar o comprimento de onda e o espectro de radiação que incide sobre as plantas, mitigando alguns efeitos da radiação e temperaturas excessivas, reduzindo a

quantidade de luz incidente, além de fornecer proteção contra agentes bióticos e abióticos (Manja; Aoun, 2019; Aoun; Manja, 2020).

Além desses efeitos benéficos diretos, o uso de telas fotosselativas pode promover mudanças na fisiologia e fenologia de plantas cultivadas (Manja; Aoun, 2019). As plantas necessitam de luz para sintetizar carboidratos no processo de fotossíntese, e possuem preferência por determinados comprimentos de onda para realizar tais funções (Taiz; Zeiger, 2004). As adaptações das plantas no seu aparato fotossintético em resposta às condições de luminosidade do ambiente em que estão submetidas afetam seu crescimento global (Engel; Poggiani, 1991), suas fases fenológicas e mesmo a qualidade dos frutos produzidos.

Os tratos culturais empregados também podem influenciar em muito o sucesso da cultura em determinados ambientes. A adoção de diferentes sistemas de produção baseados em manejo de poda depende do hábito de frutificação e do ambiente de cultivo, possuindo especial importância em espécies frutíferas, modificando o acúmulo de compostos de reserva das plantas e a qualidade de seus frutos. Desta forma, o manejo da poda deve ser específico para o ambiente em que a espécie está sendo cultivada. As recomendações de poda de framboeseira normalmente são oriundas dos países tradicionais no cultivo desta espécie ou do estado do Rio Grande do Sul, onde a fisiologia e fenologia das plantas são completamente diferentes das cultivadas em clima subtropical, com temperaturas mais quentes, como o Cwa (Köppen; Geiger, 1928). Estudos de diferentes sistemas de poda e produção que promovam alterações benéficas na fisiologia das plantas, resultando em acúmulo e melhor uso de fotoassimilados, refletindo favoravelmente na quantidade, qualidade e época de colheita dos frutos produzidos são de suma importância tanto para o entendimento dos ciclos produtivos, como para recomendação prática de manejo da framboeseira cultivada em clima subtropical.

O entendimento adequado desses vários fatores, suas interações e implicações podem determinar a viabilidade econômica da cultura em regiões não tradicionais, a abertura de novos mercados e oportunidades inéditas de inclusão social em regiões outrora marginais.

Nesta tese, os diferentes manejos de poda, com distintos sistemas de produção, o uso de telas fotosselativas, que regula a quantidade e a qualidade de luz, e as implicações desses fatores nas modificações anatômicas, fisiológicas e bioquímicas das plantas nestes novos ambientes de produção foram estudados para

avaliação de seus efeitos e a viabilidade de seu uso para se cultivar a framboeseira em regiões subtropicais. Neste contexto, a Tese foi dividida em três capítulos como se pretende publicar:

Capítulo 2: Sistemas de produção de framboeseiras remontantes em região de clima subtropical.

Capítulo 3: Fisiologia da produção de framboeseiras cultivadas sob telas fotosseletivas em ambiente protegido.

Capítulo 4: Anatomia foliar de framboeseiras cultivadas sob telas fotosseletivas em ambiente protegido.

Referências

Aoun, M., Manja, K. (2020). Effects of a photoselective netting system on Fuji and Jonagold apples in a Mediterranean orchard. *Scientia Horticulturae* 263:109104.

Dale, A., Pirgozliev, S., King, E. M., Sample, A. (2005). Scheduling primocane-fruiting raspberries (*Rubus idaeus* L.) for year-round production in greenhouses by chilling and summer-pruning of canes. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 80(3), 346-350.

De Souza, V. R., Pereira, P. A. P., da Silva, T. L. T., de Oliveira Lima, L. C., Pio, R., Queiroz, F. (2014). Determination of the bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Brazilian blackberry, red raspberry, strawberry, blueberry and sweet cherry fruits. *Food Chemistry*, 156, 362-368.

Engel, V. L., Poggiani, F. (1991). Estudo da concentração de clorofila nas folhas e seu espectro de absorção de luz em função do sombreamento em mudas de quatro espécies florestais nativas. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 3(1), 39-45.

Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO). Faostat. (2021). Available at: <<http://faostat.fao.org/>>. Access on: 8 May 2021.

Gambardella, M., Contreras, E., Alcalde, J., Neri, D. (2015). Phenotyping primocane fruiting trait in raspberry (*Rubus idaeus*). In *XI International Rubus and Ribes Symposium*, 1133 (pp. 67-74).

Kempler, C. H. A. I. M., Hall, H. K. (2013). World raspberry production and marketing: industry changes and trends from 1960. *Raspberries*, 2010, 213-234.

Klewicka, E., Sójka, M., Ścieszka, S., Klewicki, R., Milczarek, A., Lipińska, L., & Kołodziejczyk, K. (2020). The antimycotic effect of ellagitannins from raspberry (*Rubus idaeus* L.) on *Alternaria alternata* ŁOCK 0409. *European Food Research and Technology*, 246(7), 1341-1349.

Köppen, W.; Geiger, R. (1928). *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. Wall-Map 150cmx200cm.

- Leiva, C., Schmidt, C., Gajardo, G., Rodríguez, A. (2017). Manual técnico y productivo y económico bajo condición actual y clima proyectado al 2030. *Publicación CIREN*, (216).
- Manja, K., Aoun, M. (2019). The use of nets for tree fruit crops and their impact on the production: A review. *Scientia Horticulturae* 246: 110-122.
- Medina, R. B. (2016). *Desempenho de novas cultivares de mirtilheiro de baixa exigência em frio em região subtropical* (Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo).
- Palonen, P., Laine, T., Mouhu, K. (2021). Floricane yield and berry quality of seven primocane red raspberry (*Rubus idaeus* L.) cultivars. *Scientia Horticulturae*, 285, 110201.
- Pitsioudis, A., Latet, G., Meesters, P. (2001). Out of season production of raspberries. In *VIII International Rubus and Ribes Symposium*, 585 (pp. 555-560).
- Pritts, M. (2008). Primocane-fruiting raspberry production. *HortScience*, 43(6), 1640-1641.
- Si, X., Chen, Q., Bi, J., Wu, X., Yi, J., Zhou, L., Li, Z. (2016). Comparison of different drying methods on the physical properties, bioactive compounds and antioxidant activity of raspberry powders. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(6), 2055-2062.
- Strik, B. C. (2010). Flowering and fruiting on command in berry crops. In *XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (IHC2010): International Symposium on Rubus and Ribes*, 926 (pp. 197-214).
- Taiz, L.; Zeiger, F. (2004) *Fisiologia Vegetal*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed. p. 719.
- Weber, C. (2013). Cultivar development and selection. In: Funt, R. C.; Hall, H. K., Eds. *Raspberries*. CABI, Wallingford, UK. (pp 55–72).

2. SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE FRAMBOESEIRAS REMONTANTES EM REGIÃO DE CLIMA SUBTROPICAL

Resumo

O cultivo de framboesas é limitado a regiões temperadas de alta latitude devido à necessidade de baixas temperaturas para florescimento e frutificação da maioria das cultivares. Entretanto, cultivares remontantes como 'Heritage' representa uma possível alternativa para regiões subtropicais. Avaliaram-se, para esta cultivar em clima Cwa, três sistemas de produção em cultivo protegido e sombreado durante dois ciclos de cultivo. Todos os sistemas foram conduzidos com duas hastes por vaso. No primeiro sistema de produção (SP1) a frutificação se deu nas gemas apicais, seguida de poda drástica ao final da colheita. No segundo sistema de produção (SP2) realizou-se um desponte após a produção no ápice para induzir a brotação de gemas subapicais, resultando em uma segunda colheita na mesma haste. No terceiro sistema de produção (SP3), um desponte adicional foi efetuado após a segunda colheita, proporcionando assim uma terceira colheita na mesma haste. O SP1 apresentou a menor produção total. Porém, ao final dos ciclos, apresentou plantas com maiores massas frescas e secas e raízes com maior teor de amido. A distribuição da colheita no SP1 foi concentrada entre os meses de agosto e novembro no primeiro ciclo, e de março a junho no segundo ciclo, enquanto que o SP2 proporcionou colheitas de agosto a fevereiro no primeiro ciclo, e de março a setembro no segundo ciclo. O SP3 possibilitou colheitas contínuas que se iniciaram em agosto de 2019 e se estenderam até outubro de 2020, quando o ensaio foi finalizado. Os sistemas de produção tiveram pouco efeito sobre o teor de sólidos solúveis, acidez titulável e teor de antocianinas nos dois ciclos de cultivo. Essas variáveis parecem relacionar-se mais às épocas de instalação do que à condução do experimento. Os resultados obtidos evidenciam a viabilidade de produção de framboeseiras remontantes 'Heritage' em clima subtropical (Cwa) com a produção de frutos de qualidade comercial por 14 meses em dois ciclos, sendo as colheitas distribuídas nos meses conforme o sistema de produção utilizado, principalmente SP2 e SP3.

Palavras-chave: *Rubus idaeus*; Poda; Escalonamento; sombreamento; Desenvolvimento; Colheita; Qualidade de frutos.

Abstract

Raspberries production is limited to cold temperate areas of high latitude due to the requirement of low temperatures for flowering and fruiting. However, primocane cultivars are possible alternatives that suit subtropical regions. Raspberry 'Heritage' was investigated in the Cwa climate of Piracicaba, Brazil, in three production systems (PS) during two crop cycles. In the PS1, after primocane fruiting, the canes were hard pruned at ground level. In the PS2, after primocane fruiting, the canes were tipped for inducing subapical bud break, resulting thus in a second harvest as a floricanes, followed by pruning at ground level. In the PS3, after the second harvest, the canes were tipped again for the induction of a third harvest. The PS1 had the lowest yield. However, after two cycles, this system showed the highest fresh and dry root weight, and starch content. Harvests of PS1 were concentrated from August to November in the first cycle and from March to June in the second cycle, whereas in PS2, harvests

were from August to February in the first cycle and from March to September in the second one. The PS3 had continuous harvests, starting in August 2019 extending to October 2020 when the experiment was terminated. Production systems had little influence on soluble solids, titratable acidity, or anthocyanins content in both cycles. Those variables seem to be more related to the harvest season than to the type of the production system. The results demonstrated the viability to cultivate primocane 'Heritage' raspberry in Cwa subtropical climate producing commercial fruits for 14 months in two cycles, with harvests distributed along the months according to the production system adopted, mainly PS2 and PS3.

Keywords: *Rubus idaeus*; Pruning; Scheduling; Shading; Development; Harvest; Fruit quality

2.1 Introdução

A framboesa (*Rubus idaeus* L.) é tradicionalmente cultivada em regiões de clima temperado. A produção global encontra-se majoritariamente no Hemisfério Norte, sendo Rússia, México, Sérvia, Estados Unidos da América e Polônia os maiores produtores, respondendo por 73% do total produzido em 2019 (FAO, 2021). Com exceção do México, os grandes produtores têm suas colheitas concentradas no verão até meados de outono do Hemisfério Norte. Contudo, o aumento da demanda do mercado por framboesas frescas impulsionou o desenvolvimento de novas estratégias para suprir o mercado desta fruta o ano todo, com produções fora da época tradicional de colheita e expansão das áreas de cultivo para regiões de clima quente (Gambardella et al., 2015; Heide; Sønsteby, 2011; Dale et al., 2005).

As cultivares de framboesas são classificadas em remontantes (ou *primocanes*) e não-remontantes (ou *floricanes*), de acordo com seu hábito de frutificação. O primeiro grupo se refere a cultivares que produzem frutos no ápice das hastes que se desenvolveram naquele ano, além de poderem ser despontadas para uma segunda produção na mesma haste no mesmo ano. As cultivares remontantes não necessitam de temperaturas baixas nem passar por um período de dormência para que ocorra a indução de gemas floríferas (Strik, 2010; Takeda, 1993; Vasilakakis et al., 1980). Já as cultivares não-remontantes apresentam ciclo bianual. Neste grupo, as hastes se desenvolvem vegetativamente durante a primavera e verão, e necessitam passar por períodos de baixas temperaturas para entrar em dormência durante o inverno, para florescer e produzir frutos na primavera e verão do segundo ano (Gambardella et al., 2015). O uso de cultivares não-remontantes a campo fica restrito a regiões de inverno com baixas temperaturas por longos períodos de tempo, uma vez que, em regiões de

clima quente, a quantidade insuficiente de horas de frio prejudica o desenvolvimento e a brotação das gemas dormentes (Pritts, 2008).

A utilização de cultivares de framboeseiras remontantes se mostra uma alternativa economicamente mais viável para produções em regiões sem frio hibernal, uma vez que as plantas têm o potencial de produzirem frutas o ano todo em condições de cultivo protegido (Dale et al., 2005). Framboeseiras 'Heritage', 'Autumn Bliss', 'Autumn Britten', 'Caroline', 'Himbo Top', 'Polka' e 'Sugana' são algumas das cultivares remontantes plantadas em várias regiões do mundo (Weber, 2013). Trabalhos indicam que cultivares remontantes não possuem juvenilidade, uma vez que a indução floral ocorre a partir do quinto nó (Sønsteby and Heide, 2009). Contudo, o fenótipo de cada cultivar é fortemente dependente da interação entre o ambiente de cultivo e a constituição genética da cultivar, alterando, entre outros parâmetros, a capacidade de remontância das plantas (Gambardella et al., 2015). Estudos indicam que cultivares remontantes produzem frutos apenas no ápice das hastes, necessitando, entretanto, de certa quantidade de frio para produzir também em gemas subapicais (Keep, 1961). Por outro lado, trabalhos com framboeseiras remontantes mostraram produções no ápice dos ramos sem frio hibernal por três anos consecutivos (Dale et al., 2001), e produções sem frio hibernal em hastes despontadas, embora menores do que aquelas vernalizadas (Dale et al., 2005). Desta forma, estudos são necessários sobre tipos de poda e o resultante desempenho de framboeseiras remontantes visando a expansão do cultivo para áreas de clima quente. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar sistemas de produção com diferentes tipos de poda e seus impactos no desenvolvimento, produção e qualidade de frutos da framboeseira remontante 'Heritage', cultivada em clima quente (Cwa).

2.2 Conclusão

Em condições de clima subtropical (Cwa), a framboeseira remontante 'Heritage' cultivada em sistema com podas subapicais, com duas ou três colheitas em uma mesma haste apresentam maior produção no período do que o sistema com apenas uma colheita; prolongam o período de produção de frutos, ininterruptamente, por dois ciclos completos de produção, durante 14 meses; e não afetam a qualidade das frutas produzidas, em seus teores de antocianinas, sólidos solúveis e acidez titulável. Framboeseiras que são submetidas a podas subapicais tem menor reserva de

carboidratos no sistema radicular quando comparadas a uma poda drástica, o que pode reduzir a longevidade dessas plantas.

Referências

Carew, J. G., Mahmood, K., Darby, J., Hadley, P., Battey, N. H. (2003). The Effect of Temperature, Photosynthetic Photon Flux Density, and Photoperiod on the Vegetative Growth and Flowering of Autumn Bliss' Raspberry. *Journal of the American Society for horticultural science*, 128(3), 291-296.

Conradie, W. J., Carey, V. A., Bonnardot, V., Saayman, D., Van Schoor, L. H. (2002). Effect of different environmental factors on the performance of Sauvignon Blanc grapevines in the Stellenbosch/Durbanville districts of South Africa. I. Geology, soil, climate, phenology and grape composition. *South African Journal for Enology and Viticulture*, 23(2), 78-91.

Dale, A., Pirgozliev, S., King, E. M., Sample, A. (2005). Scheduling primocane-fruiting raspberries (*Rubus idaeus* L.) for year-round production in greenhouses by chilling and summer-pruning of canes. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 80(3), 346-350.

Dale, A., Gilley, A., Kent, E. M. (2001). Performance of primo-cane fruiting raspberries grown in the greenhouse. *Journal of the American Pomological Society*, 55, 27–33.

Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. T., Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28(3), 350-356.

Fernandez, G. E., Pritts, M. P. (1996). Carbon supply reduction has a minimal influence on current year's red raspberry (*Rubus idaeus* L.) fruit production. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 121(3), 473-477.

Gambardella, M., Contreras, E., Alcalde, J., Neri, D. (2015). Phenotyping primocane fruiting trait in raspberry (*Rubus idaeus*). In *XI International Rubus and Ribes Symposium*, 1133 (pp. 67-74).

Heide, O. M., Sønsteby, A. (2011). Physiology of flowering and dormancy regulation in annual and biennial-fruiting red raspberry (*Rubus idaeus* L.) - a review. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 86(5), 433-442.

Jaakola, L., Määttä-Riihinen, K., Kärenlampi, S., Hohtola, A. (2004). Activation of flavonoid biosynthesis by solar radiation in bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) leaves. *Planta*, 218(5), 721-728.

Keller, J. D., Loescher, W. H. (1989). Nonstructural carbohydrate partitioning in perennial parts of sweet cherry. *Journal of the American Society for Horticultural Science (USA)*.

- Kozłowski, T. T. (1992). Carbohydrate sources and sinks in woody plants. *The botanical review*, 58(2), 107-222.
- Maro, L. A. C., Pio, R., Guedes, M. N. S., Abreu, C. M. P. D., Moura, P. H. A. (2014). Environmental and genetic variation in the post-harvest quality of raspberries in subtropical areas in Brazil. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 36, 323-328.
- Mazur, S. P., Nes, A., Wold, A. B., Remberg, S. F., Aaby, K. (2014). Quality and chemical composition of ten red raspberry (*Rubus idaeus* L.) genotypes during three harvest seasons. *Food chemistry*, 160, 233-240.
- Moore, P. P., Perkins-Veazie, P., Weber, C. A., & Howard, L. (2008). Environmental effect on antioxidant content of ten raspberry cultivars. In *IX International Rubus and Ribes Symposium 777* (pp. 499-504).
- Pitsioudis, A., Latet, G., Meesters, P. (2001). Out of season production of raspberries. In *VIII International Rubus and Ribes Symposium*, 585 (pp. 555-560).
- Pritts, M. (2008). Primocane-fruiting raspberry production. *HortScience*, 43(6), 1640-1641.
- Rao, A. V., Snyder, D. M. (2010). Raspberries and human health: a review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(7), 3871-3883.
- Sartori, I. A., Koller, O. C., Theisen, S., Souza, P. V. D. D., Bender, R. J., Marodin, G. A. B. (2007). Efeito da poda, raleio de frutos e uso de fitorreguladores na produção de tangerinas (*Citrus deliciosa* Tenore) cv. Montenegrina. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 29, 5-10.
- Sønsteby, A., Heide, O. (2009). Effects of photoperiod and temperature on growth and flowering in the annual (primocane) fruiting raspberry (*Rubus idaeus* L.) cultivar "Polka". *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*. 84: 439-446.
- Strik, B. C. (2010). Flowering and fruiting on command in berry crops. In *XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (IHC2010): International Symposium on Rubus and Ribes*, 926 (pp. 197-214).
- Takeda, F. (1993). Chilling affects flowering of primocane-fruiting 'Heritage' red raspberry. In *VI International Symposium on Rubus and Ribes*, 352 (pp. 247-252).
- Vasilakakis, M. D., BH, M. (1980). Low temperature and flowering of primocane-fruiting red raspberries. *HortScience*, 15 (3), 750-751.
- Weber, C. (2013). Cultivar development and selection. In: Funt, R. C.; Hall, H. K., Eds. *Raspberries*. CABI, Wallingford, UK. (pp 55-72).
- Wozniak, W., Radajewska, B., Reszelska-Sieciechowicz, A., Dejwor, I. (1996). Sugars and acid content influence organoleptic evaluation of fruits of six strawberry cultivars from controlled cultivation. In *III International Strawberry Symposium*, 439 (pp. 333-336).

3. FISIOLOGIA DA PRODUÇÃO DE FRAMBOESEIRAS CULTIVADAS SOB TELAS FOTOSSELETIVAS EM AMBIENTE PROTEGIDO

Resumo

O consumo de framboesa (*Rubus idaeus* L.) é crescente nos mercados nacional e internacional. É uma cultura de alto valor agregado, tradicionalmente cultivada em regiões frias e altas latitudes, restritas ao sul do Brasil e ao exterior. Estudou-se o comportamento da cultivar Heritage (remontante) em condições de clima subtropical submetida a telas fotosselativas preta, vermelha e azul. Caracterizou-se o espectro da radiação e a luz diária integrada a pleno sol e sob cada tela. Durante os dois ciclos, avaliou-se a taxa de assimilação de carbono, comprimento, diâmetro, massa fresca e seca de hastes, época de emissão de botões florais, número de flores e frutos colhidos. Foram também determinados parâmetros de produção e qualidade pós-colheita de frutos, como número, massa fresca, teor de sólidos solúveis, acidez titulável, pH e teor de antocianinas. A tela preta causou pouca alteração no desenho do espectro da luz solar plena, apresentando maior densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos comparada às telas vermelha e azul. No verão e na primavera, framboeseiras sob telas fotosselativas tiveram maior assimilação de CO₂ em comparação com plantas cultivadas a pleno sol, que sofreram fotoinibição. Não houve diferença no comprimento das hastes, porém, as sob tela azul apresentaram menores diâmetro, massa fresca e seca e maior área foliar. As telas vermelha e preta induziram a emissão de botões florais mais precocemente que plantas cultivadas sob telado azul, que atrasaram o florescimento e a colheita em duas semanas. Não houve diferença quanto ao número total de flores formadas sob as diferentes telas, mas as telas vermelha e preta proporcionaram maior produção total e de frutos comercializáveis apesar de menores que os sob tela azul. Os menores frutos foram produzidos em hastes sob tela vermelha e os maiores, sob tela azul. As frutas sob tela vermelha apresentaram maior média do teor de antocianinas e sólidos solúveis durante o ciclo e pH mais alto em comparação com as frutas sob tela preta e azul. A utilização de diferentes telas fotosselativas, inclusive a alternância delas ao longo do ciclo seria de grande interesse agrônômico ao viabilizar a produção de framboesas em regiões não convencionais e permitir melhor controle das características físicas e fisiológicas dos frutos produzidos, proporcionando assim, atrativas e variadas opções mercadológicas.

Palavras-chave: *Rubus idaeus*; Qualidade de luz; Espectro; Comprimentos de onda; Sombreamento; Desenvolvimento; Colheita; Qualidade de frutos

Abstract

Raspberry (*Rubus idaeus*) consumption is increasing in the national and international markets. It is a high-value crop traditionally cultivated in temperate regions at high latitudes abroad, restricted in Brazil to the Southern region. It was investigated the physiological development of the primocane-fruiting raspberry cv. 'Heritage' in a subtropical climate under black, red, and blue photosensitive nets. The radiation spectrum and the daily light integral in full sun and under each net were characterized. During two harvest cycles, it was evaluated carbon assimilation rate, length, diameter, fresh and dry cane weight as well as flowering stage, number of

flowers, and marketable fruits. It was also measured post-harvest quality components of fruits such as number, weight, diameter, soluble solids, titratable acidity, pH and total anthocyanins content. The black net caused little modification in the spectrum of full sunlight showing higher photosynthetic photon flux density compared to red and blue nets. In Summer and Spring, raspberries under photoselective nets had higher CO₂ assimilation, as compared to full sun exposure that caused photoinhibition. Among different nets, there was no difference in the length of canes but those under the blue net showed reduced diameter, fresh and dry weight but larger leaf area. The flowering and harvest period under the blue net was delayed by two weeks, as compared to red and black nets. The total number of flowers was similar under different nets but the red and black ones had higher yields and a higher number of marketable fruits, though smaller than the ones under the blue net. The smallest fruits were produced under the red net and the largest under the blue net. Fruits under the red net had more anthocyanins and soluble solids content, and higher pH than those under black and blue nets. Comprehensive investigations on the cultivation of raspberry under different photoselective nets considering a mix of selective nets could result in new horticultural strategies to increase production by extending the cultivation to non-conventional subtropical areas, allowing better control of physical and physiological characteristics of fruits, and allowing off-season fruit production during periods of high market prices.

Keywords: *Rubus idaeus*; Light quality; Spectrum; Wavelength; Shading; Development; Photosynthesis; Harvest; Fruit quality

3.1 Introdução

O mercado mundial de frutas tem se tornado cada vez mais diversificado, competitivo e aberto a novidades em relação à comercialização de frutas nativas e exóticas, com diferentes cores, sabores, aromas, formatos e ricas em compostos benéficos à saúde (Silva et al., 2011). A framboesa vermelha (*Rubus idaeus* L.) é uma cultura de alto valor agregado que vem apresentando grande crescimento de consumo nos últimos anos (Zurawicz et al., 2018). O aumento da demanda desta fruta está fortemente relacionado à procura pelos benefícios à saúde humana conferido pelo elevado conteúdo de compostos bioativos. Os polifenóis de framboesas, principalmente antocianinas e elagitaninos, estão relacionados ao combate a estresses oxidativos no organismo humano (Chen et al., 2019). Devido a essa característica, o consumo de framboesas tem sido associado ao controle e prevenção de doenças e disfunções crônicas como obesidade, cardiopatias, diabetes, vários tipos de câncer, inflamações e degeneração neural (Torronen et al., 2013; De Souza et al., 2014; Si et al., 2015; Noratto et al., 2016).

A framboeseira é tradicionalmente cultivada em regiões de clima temperado, e se encontra majoritariamente no Hemisfério Norte, em países como a Rússia, México, Sérvia, Estados Unidos da América e Polônia, os quais são os maiores produtores

dessa fruta, respondendo por 73% do total produzido no mundo em 2019 (FAO, 2021). Embora a produção comercial esteja concentrada em regiões temperadas, o melhoramento genético, o uso de técnicas inovadoras de cultivo, as modificações no manejo da cultura e nos ambientes de cultivo vêm impulsionando a expansão da produção para áreas não tradicionais, o que aumenta a oferta de frutos fora da época de produção dos principais mercados (Medina et al., 2018; Kempler; Hall, 2013), além de atender demandas de outros mercados, outrora suprida exclusivamente pela importação.

Diversas são as estratégias utilizadas para modificar o ambiente de cultivo, a fim de proporcionar condições favoráveis para a produção. Entre elas, o uso de telas fotosseletivas em cultivo protegido é uma técnica empregada para modificar o comprimento de onda e o espectro de radiação incidente sobre a cultura, mitigando assim alguns efeitos da radiação e das temperaturas excessivas, reduzindo a quantidade de luz incidente, além de propiciar proteção adicional contra agentes bióticos e abióticos (Manja; Aoun, 2019; Aoun; Manja, 2020). A tela preta, por ser opaca, reduz a intensidade da luz sem modificar a qualidade espectral da radiação (Ilić; Fallik, 2017). As telas fotosseletivas coloridas, além de causarem espalhamento dos feixes de luz, que podem ter influência no crescimento e desenvolvimento das hastes, ainda modificam o espectro de luz que atinge as plantas abaixo delas (Manja; Aoun, 2019).

O uso de telas fotosseletivas afeta a fisiologia e fenologia de plantas cultivadas (Manja; Aoun, 2019). O seu uso ainda é restrito e não há informações sobre os efeitos dessas alterações de espectro sobre o crescimento, fenologia e produção de framboeseiras em região de clima subtropical. Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar os aspectos fisiológicos e fenológicos de framboeseiras cultivadas sob diferentes cores de telas fotosseletivas em clima Cwa.

3.2 Conclusão

Framboeseiras cultivadas sob telas fotosseletivas são favorecidas nas atividades fotossintéticas, em clima Cwa, na época de primavera e o verão, em comparação com plantas cultivadas a pleno sol, que sofrem fotoinibição.

Plantas cultivadas sob a tela azul têm o período de colheita atrasado e menor produção, em comparação com as colheitas de plantas cultivadas sob as telas vermelha e preta.

Frutos de plantas sob tela vermelha são menores e possuem maior teor de antocianinas que aqueles produzidos sob a tela azul.

Referências

- Aoun, M., Manja, K. (2020). Effects of a photoselective netting system on Fuji and Jonagold apples in a Mediterranean orchard. *Scientia Horticulturae* 263:109104.
- Bastías, R. M., Grappadelli, L. (2012). Light quality management in fruit orchards: physiological and technological aspects. *Chil. J. Agric. Res.* 72 (4), 574–581.
- Carew, J. G., Mahmood, K., Darby, J., Hadley, P., Battey, N. H. (2003). The Effect of Temperature, Photosynthetic Photon Flux Density, and Photoperiod on the Vegetative Growth and Flowering of 'Autumn Bliss' Raspberry. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 128(3), 291-296.
- Chen, L., Li, K., Liu, Q., Quiles, J. L., Filosa, R., Kamal, M. A., Wang, F., Kai, G., Zou, X., Teng, H., Xiao, J. (2019). Protective effects of raspberry on the oxidative damage in HepG2 cells through Keap1/Nrf2-dependent signaling pathway. *Food and Chemical Toxicology*, 133, 110781.
- De Souza, V., Pereira, P. A. P., Da Silva, T. L. T., Lima, L. C. O., Pio, R., Queiroz, F. (2014). Determination of the bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Brazilian blackberry, red raspberry, strawberry, blueberry and sweet cherry fruits. *Food Chemistry* 156: 362–368.
- Dussi, M. C., Giardina, G., Sosa, D., Junyent, R. G., Zecca, A., Reeb, P. (2005). Shade nets effect on canopy light distribution and quality of fruit and spur leaf on apple cv. Fuji. *Spanish Journal of Agricultural Research*, (2), 253-260.
- Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO). Faostat. (2021). Available at: <<http://faostat.fao.org/>>. Access on: 8 May 2021.
- Ilić, Z. S., Fallik, E. (2017) Light quality manipulation improves vegetable quality at harvest and postharvest: a review. *Environ. Exp. Bot.* 139 (79–90).
- Kalaitzoglou, P., Van Ieperen, W., Harbinson, J., van der Meer, M., Martinakos, S., Weerheim, K., Nicole, C. and Marcelis, L.F. (2019). Effects of continuous or end-of-day far-red light on tomato plant growth, morphology, light absorption, and fruit production. *Frontiers in Plant Science*, 10, p.322.
- Kempler, C., Hall, H. K. (2013). World raspberry production and marketing: Industry changes and trends from 1960. In: Funt RC, Hall HK, eds. *Raspberries*. Wallingford: CABI, 213-234.
- Köppen, W.; Geiger, R. (1928). *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. Wall-Map 150cmx200cm.
- Lawlor, D. W., Cornic, G. (2002). Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, Cell & Environment* v. 25, p. 275– 294.

- Manja, K., Aoun, M. (2019). The use of nets for tree fruit crops and their impact on the production: A review. *Scientia Horticulturae* 246: 110-122.
- Medina, R. B., Cantuarias-Avilés, T. E., Angolini, S. F., Da Silva, S. R. (2018). Performance of 'Emerald' and 'Jewel' blueberry cultivars under no-chill incidence. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 48(2): 147-152.
- Mittler, R. (2006). Abiotic stress, the field environment and stress combination. *Trends in Plant Science* v.11, p.15–19.
- Noratto, G., Chew, B. P., Ivanov, I. (2016). Red raspberry decreases heart biomarkers of cardiac remodeling associated with oxidative and inflammatory stress in obese diabetic db/db mice. *Food & Function*, v. 7, n. 12, p. 4944-4955.
- Shahak, Y. (2008). Photo-selective netting for improved performance of horticultural crops. A review of ornamental and vegetable studies carried out in Israel. *Acta Horticulturae*. 770, 161-168.
- Si, X., Chen, Q., Bi, J., Wu, X., Yi, J., Zhou, L., Li, Z. (2015). Comparison of different drying methods on the physical properties, bioactive compounds and antioxidant activity of raspberry powders. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 96(6): 2055-2062.
- Silva, J. A. A. D., Grizotto, R. K., Miguel, F. B., Bárbaro, I. M. (2011). Caracterização físico-química de frutos de clones de doviális (*Dovyalis abyssinica* Warb). *Revista Brasileira de Fruticultura*, 33, 466-472.
- Stamps, R. H. (2009). Use of colored shade netting in horticulture. *HortScience* 44 (2), 239–241.
- Szalay, K., Keller, B., Rák, R., Péterfalvi, N., Kovács, L., Souček, J., Jung, A. (2020). Artificial solar radiation protection of raspberry plantation. *Progress in Agricultural Engineering Sciences*, v. 16, p. 141-150.
- Torres, A. P., Lopez, R. G. (2010). Measuring daily light integral in a greenhouse. *Purdue Extension: West Lafayette, IN, USA*, 7.
- Treder, W., Mika, A., Buler, Z., Klamkowski, K. (2016). Effects of hail nets on orchard light microclimate, apple tree growth, fruiting and fruit quality. *Acta Sci. Pol-Hortorum Cultus*, 15 (3), 17–27.
- Torronen, R., Kolehmainen, M., Sarkkinen, E., Poutanen, K., Mykkänen, H., Niskanen, L. (2013). Berries reduce postprandial insulin responses to wheat and rye breads in healthy women. *The Journal of Nutrition*, 143(4), 430-436.
- Zurawicz, E., Studnicki, M., Kubik, J., Pruski, K. (2018). A careful choice of compatible pollinizers significantly improves the size of fruits in red raspberry (*Rubus idaeus* L.). *Scientia Horticulturae*, v. 235, p. 253-257.

4. ANATOMIA FOLIAR DE FRAMBOESEIRAS CULTIVADAS SOB TELAS FOTOSSELETIVAS EM AMBIENTE PROTEGIDO

Resumo

O cultivo protegido e a utilização de telas fotosseletivas são opções para modificar e ampliar os ambientes e épocas de produção de plantas frutíferas. Mudanças no ambiente relativas à intensidade e qualidade da luz induzem respostas morfo métricas e fisiológicas nas plantas, como no crescimento, produtividade, taxa de fotossíntese, e síntese de metabólitos secundários. No entanto, pouco é conhecido sobre mudanças na anatomia das folhas que justifiquem as modificações na fisiologia e fenologia das plantas. Neste estudo avaliaram-se aspectos anatômicos e fisiológicos de folhas de framboeseiras cultivadas sob diferentes telas fotosseletivas em resposta à quantidade e a qualidade da luz recebida. Framboeseiras cv. Heritage foram cultivadas a pleno sol e em casa de vegetação sob telas fotosseletivas vermelha, azul, preta e cinza em região de clima Cwa. Avaliou-se a reflectância espectral da folha, mudanças morfoanatômicas, teor de clorofilas, carotenoides e assimilação de CO₂. A espessura total da folha foi dependente da espessura do parênquima paliçádico, sendo maior em folhas cultivadas a pleno sol e menor sob telas de cor cinza e azul. A área foliar foi inversamente relacionada à espessura do parênquima paliçádico e à radiação fotossinteticamente ativa. Esta plasticidade das folhas alterou a quantidade de estômatos por área, porém não alterou o índice estomático. Plantas a pleno sol tiveram menores teores de clorofila e apresentaram menores taxas de assimilação de CO₂. O efeito positivo das telas de sombreamento na fotossíntese das folhas pode estar relacionado à mitigação de estresses causados pelo excesso de radiação. Framboeseiras demonstram boa capacidade de adaptação aos diferentes ambientes de cultivo. As telas de sombreamento promovem alterações morfológicas, anatômicas, bioquímicas e fisiológicas dos atributos foliares. A intensidade da luz é mais determinante para a plasticidade da folha do que a qualidade da luz.

Palavras-chave: *Rubus idaeus*; Sombreamento; Plasticidade fenotípica; Morfoanatomia; Reflectância; Espectro de luz; Fluxo de fótons

Abstract

The controlled environment and photoselective nets are interesting options for extending the growing area and harvest season of fruit crops. Modifications in intensity and quality of light induce morphometric and physiological responses of plants as well as in their growth rate, yield, photosynthesis rate, and secondary metabolites production. However, little is known about the accompanying changes in the anatomy of leaves that explain such changes in the physiology and phenology of the plants. In this investigation, the leaf anatomy and physiology of raspberries grown under different photoselective nets were studied. Plants of cv. Heritage were grown in full sun and in a controlled environment under black, red, blue, and gray nets in a Cwa climate region. Light intensity and quality, spectral leaf reflectance (SLR), morphoanatomical changes, chlorophyll and carotenoid content, and CO₂ assimilation were evaluated. Overall, leaf

thickness was dependent on the thickness of palisade parenchyma, being thicker in leaves of plants grown under full sun and thinner under gray and blue nets. Leaf area was inversely related to the thickness of the palisade parenchyma and to the PAR that reached the plant canopy. Such leaf phenotypic plasticity increased the stomatal density per area, though the stomatal index remained unchanged. Under full sun, plants had less chlorophyll and lower CO₂ assimilation. The beneficial effect of shading nets in the photosynthesis of the leaves could be related to the mitigation of light stress caused by the excess of radiation. The raspberries presented good adaptation to the different growing environments. Photosensitive nets caused several morphological, anatomic, biochemical, and physiological modifications in the raspberry leaves influenced more by the intensity than by the quality of the incident light.

Keywords: *Rubus idaeus*, Shading, Phenotypic plasticity, Morphoanatomy, Reflectance, Light spectrum, Photon flux

4.1 Introdução

A cultura da framboesa (*Rubus idaeus* L.) é pouco explorada no Brasil, mas apresenta enorme potencial de crescimento devido à demanda crescente pelos seus frutos (Barbosa et al., 2019). Suas características atrativas de aparência e sabor, aliadas a capacidade antioxidante, anti-inflamatória, anticancerígena e cardioprotetora contribuem para o aumento desta demanda (De Souza et al., 2014; Si et al., 2015; Klewicka et al., 2020). O interesse por framboesas frescas durante todo o ano encoraja o desenvolvimento de novas tecnologias de manejo visando a expansão das áreas cultivadas para regiões não tradicionais, ampliando assim o período de colheita (Darnell et al., 2006; Kempfer; Hall, 2013; FAO, 2021). Por ser originário de clima temperado, o cultivo de framboesas no subtropical necessita de manejo específico para permitir ou melhorar o desenvolvimento das plantas.

O cultivo protegido é uma técnica aplicada no campo, principalmente para modificar os componentes do microclima, possibilitando assim que a produção seja viável e ocorra em diferentes estações do ano ou em áreas onde o plantio da cultura não é recomendado. Neste cenário, o uso de telas sobre o cultivo pode alterar o ambiente de produção, mitigando alguns efeitos da radiação excessiva ao reduzir a luz e o calor do local, assim como proteger a cultura de chuvas, granizo, vento e pássaros (Aoun; Manja, 2020). As telas comuns de sombreamento, como as de cor preta, cinza e branca, reduzem a radiação solar que por elas passam sem mudar muito as proporções das frações de luz, ou seja, afetam a quantidade, mas não a qualidade da luz (Arthurs et al., 2013; Manja; Aoun, 2019). As telas fotosselativas, diferentemente das telas comuns, são confeccionadas com materiais que modificam,

de diferentes formas, a interação com a luz em termos de absorção, reflectância e transmitância. As telas fotosselativas azuis e vermelhas, além de reduzir o total de radiação solar, afetam também a qualidade da luz ao modificar o espectro e transmitir diferentes proporções das luzes de cor azul, vermelha e vermelha-distante (Arthurs et al., 2013; Tafoya et al., 2018).

As plantas, devido a sua plasticidade que confere adaptação ao ambiente circundante (Žádníková et al., 2015), respondem às mudanças no ambiente modificando a sua morfologia, fisiologia e anatomia (Schlichting, 1986; Sultan, 2000; Gratani, 2014). As folhas, órgãos primários captadores de luz para a realização da fotossíntese, apresentam diversas reações de plasticidade em resposta às mudanças na quantidade e qualidade da luz (Baraldi et al., 1998; Zheng; Van Labeke, 2017; Chen et al., 2020). As folhas totalmente expostas ao sol são normalmente mais espessas, com maior densidade estomática e menor área foliar que as folhas sombreadas (Oguchi et al., 2018; Öunapuu-Pikas; Sellin, 2020). No entanto, ainda são pouco conhecidos os efeitos do ambiente sob telas fotosselativas, na plasticidade morfológica, anatômica e fisiológica das folhas (Solomakhin; Blanke, 2010). Neste estudo, foram avaliadas as características anatômicas, morfométricas e fisiológicas das folhas de framboeseira cultivadas em diferentes ambientes e sob telas fotosselativas.

4.2 Conclusão

Nas condições de clima subtropical, plantas de framboeseira a pleno sol apresentam menor área foliar, menor eficiência fotossintética e maior espessamento de parênquima.

Plantas sob tela de cor cinza possuem maior área foliar e maior eficiência fotossintética quando comparadas com plantas cultivadas sob telas preta, vermelha e azul.

Framboeseiras demonstram boa capacidade de adaptação aos diferentes ambientes de cultivo. As telas de sombreamento promovem alterações morfológicas, anatômicas, bioquímicas e fisiológicas em folhas de framboeseiras relacionadas possivelmente a um escape ao sombreamento.

A intensidade da luz é mais determinante na plasticidade da folha do que a qualidade da luz.

Referências

- Aoun, M., Manja, K. (2020). Effects of a photoselective netting system on Fuji and Jonagold apples in a Mediterranean orchard. *Scientia Horticulturae*, 263, 109104.
- Arthurs, S. P., Stamps, R. H., Giglia, F. F. (2013). Environmental modification inside photoselective shadehouses. *HortScience*, 48(8), 975-979.
- Baraldi, R.; Rapparini, F.; Rotondi, A.; Bertazza, G. (1998). Effects of simulated light environments on growth and leaf morphology of peach plants. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, v. 73, n. 2, p. 251-258.
- Barbosa, C. M. A., Martins, M. M. V., Spósito, M. B. (2019). Panorama das exportações e importações brasileiras de framboesas e amoras pretas *in natura*. In: X Seminário brasileiro sobre pequenas frutas, Vacaria. *Anais do X seminário brasileiro sobre pequenas frutas*, v.1.
- Bastías, R. M., Losciale, P., Chieco, C., Corelli-Grappadelli, L. (2021). Red and Blue Netting Alters Leaf Morphological and Physiological Characteristics in Apple Trees. *Plants*, 10(1), 127.
- Buschmann, C.; Lenk, S.; Lichtenthaler, H. K. (2012). Reflectance spectra and images of green leaves with different tissue structure and chlorophyll content. *Israel Journal of Plant Sciences*, 60(1-2), 49-64.
- Chen, L. L.; Zhang, K.; Gong, X. C.; Wang, H. Y.; Gao, Y. H.; Wang, X. Q.; Zeng, Z. H.; Hu, Y. G. (2020). Effects of different LEDs light spectrum on the growth, leaf anatomy, and chloroplast ultrastructure of potato plantlets *in vitro* and minituber production after transplanting in the greenhouse. *Journal of Integrative Agriculture* 19(1): 108-119.
- Costa, B. N. S.; Costa, I. J. S.; Souza, G. A.; Santos, D. N.; Silveira, F. A.; Melo, E. T.; Martins, A. D.; Pasqual, M.; Setotaw, T. A.; Rodrigues, F. A. (2018). Anatomical modifications of *Butia capitata* propagate under colored shade nets. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 90, n. 4, p. 3615-3624.
- Croft, H.; Chen, J. M. (2017). Leaf pigment content. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. Oxford: Elsevier Inc, 1-22.
- Darnell, R. L., Alvarado, H. E., Williamson, J. G., Brunner, B., Plaza, M., Negrón, E. (2006). Annual, off-season raspberry production in warm season climates. *HortTechnology*, 16(1), 92-97.
- De Souza, V. R., Pereira, P. A. P., da Silva, T. L. T., de Oliveira Lima, L. C., Pio, R., Queiroz, F. (2014). Determination of the bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Brazilian blackberry, red raspberry, strawberry, blueberry and sweet cherry fruits. *Food Chemistry*, 156, 362-368.
- Evans, J. R. (1999). Leaf anatomy enables more equal access to light and CO₂ between chloroplasts. *The New Phytologist*, 143(1), 93-104.

Evans, J. R.; Poorter, H. (2001). Photosynthetic acclimation of plants to growth irradiance: the relative importance of specific leaf area and nitrogen partitioning in maximizing carbon gain. *Plant Cell Environ.* 24, 755–767.

Filella, I.; Penuelas, J. (1994). The red edge position and shape as indicators of plant chlorophyll content, biomass and hydric status. *International Journal of Remote Sensing*, v. 15, n. 7, p. 1459-1470.

Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO). Faostat. (2021). Available at: <<http://faostat.fao.org/>>. Access on: 8 May 2021.

Gotame, T. P. (2014). Understanding the effects of temperature on raspberry physiology and gene expression profiles. 174 p. [*Ph.D thesis*] – Aarhus University, Aarslev, 2014.

Gratani, L. (2014). Plant phenotypic plasticity in response to environmental factors. *Advances in Botany*, 2014.

Gregoriou, K.; Pontikis, K.; Vemmos, S. (2007). Effects of reduced irradiance on leaf morphology, photosynthetic capacity, and fruit yield in olive (*Olea europaea* L.). *Photosynthetica*, v. 45, n. 2, p. 172-181.

Hammer, Ø.; Harper, D. A.; Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia electronica* 4(1): 9. http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm.

Hanba, Y.; Kogami, H.; Terashima, I. (2002). The effect of growth irradiance on leaf anatomy and photosynthesis in *Acer* species differing in light demand. *Plant, Cell and Environment*, v. 25, n. 8, p. 1021-1030.

Hiscox, J. D.; Israelstam, G. F. (1979). A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *Canadian Journal of Botany* 57(12): 1332-1334.

Ivanova, L. A.; P'yankov, V. I. (2002). Structural adaptation of the leaf mesophyll to shading. *Russian Journal of Plant Physiology*, v. 49, n. 3, p. 419-431.

Jacquemoud, S.; Ustin, S. (2019). Leaf Optical Properties in Different Wavelength Domains. In *Leaf Optical Properties* (pp. 124-169). Cambridge: Cambridge University Press.

Kalaitzoglou, P., Van Ieperen, W., Harbinson, J., van der Meer, M., Martinakos, S., Weerheim, K., ... & Marcelis, L. F. (2019). Effects of continuous or end-of-day far-red light on tomato plant growth, morphology, light absorption, and fruit production. *Frontiers in Plant Science*, 10, 322.

Karnovsky, M. J. (1965). A formaldehyde–glutaraldehyde fixative of high osmolality for use in electron microscopy. *Journal of Cell Biology* 27: 137–138.

Kempler, C.; Hall, H. K. (2013). World raspberry production and marketing: Industry changes and trends from 1960. In: Funt, R. C.; Hall, H. K., eds. *Raspberries*. CABI, Wallingford, UK. (pp 213-234).

Klewicka, E., Sójka, M., Ścieszka, S., Klewicki, R., Milczarek, A., Lipińska, L., & Kołodziejczyk, K. (2020). The antimycotic effect of ellagitannins from raspberry (*Rubus idaeus* L.) on *Alternaria alternata* ŁOCK 0409. *European Food Research and Technology*, 246(7), 1341-1349.

Kim, G.; Yano, S.; Kozuka, T.; Tsukaya, H. (2005). Photomorphogenesis of leaves: Shade-avoidance and differentiation of sun and shade leaves. *Photochemical and Photobiological Sciences*, v. 4, n. 9, p. 770-774.

Köppen, W.; Geiger, R. (1928). *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. Wall-Map 150cmx200cm.

Lee, D. W.; Oberbauer, S. F.; Johnson, P.; Krishnaplay, B.; Mansor, M.; Mohamad, H.; Yap, S. K. (2000). Effects of irradiance and spectral quality on leaf structure and function in seedlings of two Southeast Asian *Hopea* (Dipterocarpaceae) species. *American Journal of Botany*, v. 87, n. 4, p. 447-455.

Li, Y.; Xin, G.; Liu, C.; Shi, Q.; Yang, F.; Wei, M. (2020). Effects of red and blue light on leaf anatomy, CO₂ assimilation and the photosynthetic electron transport capacity of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) seedlings. *BMC Plant Biology*, 20(1), 1-16.

Manja, K.; Aoun, M. (2019). The use of nets for tree fruit crops and their impact on the production: A review. *Scientia Horticulturae* 246: 110-122.

Martins, J. R.; Alvarenga, A. A.; Castro, E. M.; Silva, A. P. O.; Oliveira, C.; Alves, E. (2008). Anatomia foliar de plantas de alfavaca-cravo cultivadas sob malhas coloridas. *Ciência Rural*, v. 39, n. 1, 82-87.

Oguchi, R.; Onoda, Y.; Terashima, I.; Tholen, D. (2018). Leaf anatomy and function. In: Adams III, W. W.; Terashima, I. eds. *The Leaf: A Platform for Performing Photosynthesis. Advances in Photosynthesis and Respiration (Including Bioenergy and Related Processes)*. Springer: Cham, 97-139.

Õunapuu-Pikas, E.; Sellin, A. (2020). Plasticity and light sensitivity of leaf hydraulic conductance to fast changes in irradiance in common hazel (*Corylus avellana* L.). *Plant Science* 290: 110299.

Paul, V.; Sharma, L.; Pandey, R.; Meena, R. C. (2017). Measurements of stomatal density and stomatal index on leaf/plant surfaces. *Manual of ICAR Sponsored Training Programme for Technical Staff of ICAR Institutes on "Physiological Techniques to Analyze the Impact of Climate Change on Crop Plants"*, 27.

Pacheco, F. V.; Silveira, H. R. O.; Alvarenga, A. A.; Alvarenga, I. C. A.; Pinto, J. E. B. P.; Lira, J. M. S. (2013). Gas Exchange and production of photosynthetic pigments of *Piper aduncum* L. grown at different irradiances. *American Journal of Plant Sciences*, v. 04, n. 12, 114-121.

R Core Team. (2018). R: A language and environment for statistical computing. *R Foundation for Statistical Computing*. Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.

Rasband, W. S. (2018). *Image J*. Maryland: Bethesda, United States National Institute of Health. Available at: <http://rsb.info.nih.gov/ij/>. Access on: 12 Feb. 2020.

- Retta, M. A.; Abera, M. K.; Berghuijs, H. N.; Verboven, P.; Struik, P. C.; Nicolai, B. M. (2020). *In silico* study of the role of cell growth factors in photosynthesis using a virtual leaf tissue generator coupled to a microscale photosynthesis gas exchange model. *Journal of Experimental Botany*, 71(3), 997-1009.
- Ribeiro, A. S.; Ribeiro, M. S.; Bertolucci, S. K. V.; Bittencourt, W. J. M.; Carvalho, A.; Tostes, W. N.; Alves, E.; Pinto, J. E. B. P. (2018). Colored shade nets induced changes in growth, anatomy and essential oil of *Pogostemon cablin*. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 90, n. 2, 1823-1835.
- Sakai, W. S. (1973). Simple method for differential staining of paraffin-embedded plant material using toluidine blue O. *Stain Technology* 48(5): 247-249.
- Sasidharan, R.; Chinnappa, C. C.; Staal, M., Elzenga; J. T. M., Yokoyama; R., Nishitani, K., (2010). Light quality-mediated petiole elongation in arabidopsis during shade avoidance involves cell wall modification by xyloglucan endotransglucosylase/hydrolases. *Plant Physiol.* 154, 978–990.
- Schlichting, C. D. (1986). The evolution of phenotypic plasticity in plants. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 17(1), 667-693.
- Si, X., Chen, Q., Bi, J., Wu, X., Yi, J., Zhou, L., Li, Z. (2016). Comparison of different drying methods on the physical properties, bioactive compounds and antioxidant activity of raspberry powders. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(6), 2055-2062.
- Silva, R. A. L.; Soares, J. D. R.; Dias, G. M. G.; Pasqual, M.; Chagas, E. A.; Gavilanes, M. L. (2015). Cultivo de tamarindo sob malhas coloridas: Plasticidade anatômica foliar. *Ciência Rural*, v. 45, n. 2, p. 238-244.
- Smith, H., & Whitelam, G. C. (1997). The shade avoidance syndrome: multiple responses mediated by multiple phytochromes. *Plant, Cell & Environment*, 20(6), 840-844.

- Soares, J. D. R., Dias, G. D. M. G., Silva, R. A. L., Pasqual, M., Labory, C. R. G., Asmar, S. A., & Ramos, J. D. (2017). Photosynthetic pigments content and chloroplast characteristics of tamarind leaves in response to different colored shading nets. *Australian Journal of Crop Science*, 11(3), 296-299.
- Solomakhin, A.; Blanke, M. (2010). The microclimate under coloured hailnets affects leaf and fruit temperature, leaf anatomy, vegetative and reproductive growth as well as fruit colouration in apple. *Annals of Applied Biology* 156(1): 121-136.
- Souza, G. S.; Castro, E. M.; Soares, A. M.; Santos, A. R.; Alves, E. (2011). Teores de pigmentos fotossintéticos, taxa de fotossíntese e estrutura de cloroplastos de plantas jovens de *Mikania laeviagata* Schultz Bip. Ex Baker grown under colored nets. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 32, sup. 1, p 1843-1854.
- Taiz, L.; Zeiger, F. (2004) *Fisiologia Vegetal*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed. p. 719.
- Sultan, S. E. (2000). Phenotypic plasticity for plant development, function and life history. *Trends in Plant Science*, 5(12), 537-542.
- Tafoya, F. A., Juárez, M. G. Y., Orona, C. A. L., López, R. M., Alcaraz, T. D. J. V., Valdés, T. D. (2018). Sunlight transmitted by colored shade nets on photosynthesis and yield of cucumber. *Ciência Rural*, 48.
- Takemyia, A.; Inoue, S.; Doi, M.; Kinoshita, T.; Shimazaki, K. (2005). Phototropins promote plant growth in response to blue light in low light environments. *Plant Cell*, v. 17, n. 4, p, 1120-1127.
- Tsunoyama, Y.; Morikawa, K.; Shiina, T.; Toyoshima, Y. Blue light specific and differential expression of a plastid σ factor, Sig5 in *Arabidopsis thaliana*. *Federation of European Biochemical Societies Letters*, v, 516, n. 1-3, p. 225-228.
- Wellburn, A. R. (1994). The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of Plant Physiology* 144(3): 307-313.
- Yano, S.; Terashima, I. (2004). Developmental process of sun and shade leaves in *Chenopodium album* L. *Plant, Cell and Environment*, v. 2004, n. 6, p. 781-793.
- Žádníková, P., Smet, D., Zhu, Q., Straeten, D. V. D., Benková, E. (2015). Strategies of seedlings to overcome their sessile nature: auxin in mobility control. *Frontiers in Plant Science*, 6, 218.
- Zheng, L., Van Labeke, M. C. (2017). Long-term effects of red-and blue-light emitting diodes on leaf anatomy and photosynthetic efficiency of three ornamental pot plants. *Frontiers in Plant Science*, 8, 917.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A framboesa é uma fruta saborosa, visualmente atrativa e muito demandada por possuir compostos benéficos à saúde humana. Comercialmente, a produção tem alto valor agregado, sendo uma opção de cultivo muito interessante para pequenos produtores rurais, com mão de obra familiar.

Os Estados Unidos da América têm uma situação peculiar em relação à framboesa. São o quarto maior país produtor e, apesar disso, os maiores importadores dessa fruta no mundo (US\$ 1,5 bilhões/ano). As importações ocorrem principalmente nos períodos de outubro a maio, quando boa parte das áreas produtoras do país está sob temperaturas baixas e pouca disponibilidade de luz.

O Brasil é altamente dependente da importação de framboesas, sendo a carência de informações acerca da fisiologia das plantas e de técnicas de cultivo em regiões não tradicionais um dos fatores que mais limitam a expansão das áreas de cultivo e conseqüentemente da produção desta fruta no país.

Assim, existe um enorme potencial de mercado no Brasil que, para ser explorado, necessita de novas informações científicas e técnicas de cultivo bem como de conhecimentos adicionais sobre a fisiologia da planta que permita a expansão das áreas produtoras do sul do país a regiões diferentes, e de mudanças na forma de cultivo empregado nessas regiões tradicionais que propiciem épocas diferenciadas de colheita para suprir as atuais lacunas de comercialização.

Demonstrou-se nesta tese que o uso de telas fotosseletivas em cultivo protegido em ambiente de alta luminosidade, bem como o manejo da poda em situações de ausência de dormência das plantas quando cultivadas em regiões não tradicionais de clima subtropical como Piracicaba, SP, se mostraram importantes ferramentas para viabilizar o cultivo de framboeseiras nessa região. A alteração da quantidade e qualidade da luz incidente na cultura, além das intervenções de tratamentos culturais durante o desenvolvimento da planta traz impactos favoráveis na fisiologia que se refletem em respostas tanto fenológicas como bioquímicas das plantas. Estas alterações permitem entre outros benefícios a alteração na produtividade das plantas e a ampliação da janela produtiva, com produções em épocas de menor oferta e conseqüentemente de maiores preços no mercado. Além disso, o adequado controle do ambiente e sistema de cultivo nessa região de clima Cwa, pode proporcionar oportunidades suplementares para melhorar a qualidade das frutas, tanto em

aspectos visuais como tamanho e massa fresca, como em aspectos bioquímicos de compostos bioativos com propriedades antioxidantes.

As respostas diferenciais das framboeseiras às diferentes telas fotosseletivas estudadas neste trabalho indicaram a existência de novas oportunidades de mercado. Verificou-se não somente a possibilidade agrônômica do estabelecimento de uma cultura de alto valor agregado em uma região não convencional e de clima quente (Cwa), como também demonstrou a possibilidade de se utilizar uma combinação de diferentes telas fotosseletivas para diferentes objetivos. As telas azuis, por proporcionarem frutos com maior diâmetro, podem ser utilizadas para produção de frutas para nichos de mercado com preços mais altos por framboesas de maior calibre, como as docerias. Já as plantas cultivadas sob tela vermelha produzem maior quantidade de framboesas, e com maior teor médio de antocianinas e sólidos solúveis, o que pode ser desejável para indústria alimentícia, farmacêutica e cosmética. Além disso, o desencontro parcial das colheitas obtido em plantas sob telas azul e vermelha poderá incrementar o lucro da atividade ao otimizar a mão de obra nas colheitas, obter melhores preços de venda em época de menor oferta e fidelizar mercados como comércio de frutas durante um período de tempo mais longo.

Este trabalho contribui, portanto para o conhecimento científico e aplicado sobre a fisiologia e a produção de framboeseiras, propiciando subsídios técnicos para a expansão do cultivo tanto para regiões que não são tradicionalmente cultivadas, como também para a produção de frutas em épocas de mercado mais favoráveis.

Cabe salientar ainda a peculiar situação geográfica de Piracicaba, SP, muito próxima a Campinas, SP, onde se localiza aeroporto de Viracopos, estabelecido terminal de exportação de frutas e flores para a Europa e Estados Unidos, atrativos mercados para a entressafra da framboesa.

ANEXOS

Anexo A. Médias mensais de temperatura média (Tmed), umidade relativa média (URmed), temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin), radiação solar global (Rad Glob) e radiação líquida (Rad Liq) em Piracicaba, SP, de janeiro de 2017 a setembro de 2021. Fonte: Série de Dados Climatológicos do Campus Luiz de Queiroz de Piracicaba, SP.

	2017					
	Tmed (°C)	URmed (%)	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Rad Glob (MJ m ⁻² d ⁻¹)	Rad Liq (MJ m ⁻² d ⁻¹)
Janeiro	24,1	82,1	30,3	20,2	19,3	9,9
Fevereiro	25,3	73,9	32,3	19,9	22,8	12,1
Março	23,5	77,0	30,5	18,5	20,4	10,0
Abril	21,9	77,1	28,3	16,6	15,9	7,1
Maio	19,9	81,4	26,2	14,9	13,1	5,3
Junho	17,9	78,1	25,1	11,6	12,4	4,5
Julho	17,0	68,4	25,2	9,5	13,7	5,4
Agosto	19,2	69,5	26,6	12,6	14,6	5,8
Setembro	23,2	55,1	32,1	14,4	21,8	8,9
Outubro	23,3	71,0	30,4	17,5	18,7	9,1
Novembro	22,7	73,0	29,6	17,2	22,4	11,5
Dezembro	24,3	75,7	31,0	19,7	21,4	10,9
	2018					
	Tmed (°C)	URmed (%)	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Rad Glob (MJ m ⁻² d ⁻¹)	Rad Liq (MJ m ⁻² d ⁻¹)
Janeiro	23,7	80,5	30,3	19,5	20,0	10,3
Fevereiro	23,6	75,6	30,1	18,7	20,5	10,2
Março	24,8	78,9	32,0	19,9	20,5	10,6
Abril	22,5	73,0	29,5	16,5	18,0	7,9
Maio	19,9	71,4	27,8	13,0	14,9	6,0
Junho	20,5	72,6	27,5	13,6	11,5	4,2
Julho	19,4	62,5	28,6	10,7	14,4	4,8
Agosto	18,3	73,0	25,7	12,1	14,6	5,7
Setembro	21,2	71,0	28,7	14,9	17,4	7,7
Outubro	22,7	77,0	29,0	17,6	19,2	9,7
Novembro	23,2	75,6	29,4	18,3	18,5	9,3
Dezembro	25,2	69,2	32,2	19,2	24,4	12,7
	2019					
	Tmed (°C)	URmed (%)	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Rad Glob (MJ m ⁻² d ⁻¹)	Rad Liq (MJ m ⁻² d ⁻¹)
Janeiro	26,2	73,6	33,4	20,4	23,9	12,9

Fevereiro	24,1	78,3	30,2	19,5	18,2	9,3
Março	24,0	79,7	30,1	19,4	19,2	10,2
Abril	23,1	79,2	30,1	17,9	17,2	8,6
Mai	21,0	79,9	27,9	15,6	13,5	5,9
Junho	19,3	73,2	27,0	12,6	13,5	5,3
Julho	17,3	71,0	26,0	9,8	14,8	5,5
Agosto	19,3	66,8	27,7	12,1	16,3	6,8
Setembro	23,1	67,1	30,5	15,9	18,1	8,5
Outubro	25,2	62,8	33,6	17,9	23,0	11,1
Novembro	23,7	75,4	30,6	18,3	20,7	10,7
Dezembro	24,3	77,2	30,6	19,2	20,5	10,7

2020

	Tmed (°C)	URmed (%)	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Rad Glob (MJ m ⁻² d ⁻¹)	Rad Liq (MJ m ⁻² d ⁻¹)
Janeiro	24,4	79,6	31,0	19,6	21,0	11,3
Fevereiro	23,4	84,9	29,1	19,6	16,3	8,8
Março	23,3	74,2	30,3	17,6	21,3	11,1
Abril	21,4	72,1	28,9	14,7	18,8	9,1
Mai	18,0	69,8	26,5	10,5	15,0	6,7
Junho	19,7	77,2	27,2	13,5	12,2	5,7
Julho	19,5	68,1	27,8	11,9	15,0	7,1
Agosto	19,8	64,9	27,6	11,9	15,6	6,9
Setembro	24,1	57,6	33,1	16,0	18,9	9,4
Outubro	24,5	62,7	32,5	17,8	19,4	9,3
Novembro	23,1	68,5	31,2	16,7	25,0	13,1
Dezembro	24,0	80,4	30,5	19,5	20,4	11,0

2021

	Tmed (°C)	URmed (%)	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Rad Glob (MJ m ⁻² d ⁻¹)	Rad Liq (MJ m ⁻² d ⁻¹)
Janeiro	25,0	80,4	31,8	20,6	20,5	11,2
Fevereiro	24,2	77,4	31,0	19,0	21,3	11,6
Março	24,4	77,6	31,5	19,2	19,2	11,1
Abril	21,2	72,9	28,3	15,1	17,1	8,4
Mai	19,2	71,9	27,2	12,4	14,1	6,3
Junho	18,0	75,8	25,5	11,5	12,2	5,3
Julho	16,4	61,0	26,2	7,8	14,8	5,9
Agosto	20,3	60,3	29,1	12,7	16,7	7,3
Setembro	24,2	57,7	33,7	16,3	19,2	9,1