



GUILHERME LOCATELLI

**ADAPTABILITY, STABILITY AND LEAF ANATOMY
ANALYSIS FOR APPLE TREE SELECTION IN
SUBTROPICAL REGIONS**

**LAVRAS - MG
2018**

GUILHERME LOCATELLI

**ADAPTABILITY, STABILITY AND LEAF ANATOMY ANALYSIS FOR APPLE
TREE SELECTION IN SUBTROPICAL REGIONS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador
Prof. Dr. Rafael Pio

**LAVRAS - MG
2018**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha
Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados
informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Locatelli, Guilherme.

Adaptability, stability and leaf anatomy analysis for apple tree
selection in subtropical regions / Guilherme Locatelli. - 2018.
101 p.

Orientador(a): Rafael Pio.

.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2018.
Bibliografia.

1. *Malus domestica Borkh.* 2. Inverno ameno. 3. Déficit
hídrico. I. Pio, Rafael. . II. Título.

GUILHERME LOCATELLI

**ANÁLISES DE ADAPTABILIDADE, ESTABILIDADE E ANATOMIA FOLIAR
PARA SELEÇÃO DE MACIEIRAS EM REGIÕES SUBTROPICAIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 19 de setembro de 2018.

Dr. Flávio Gabriel Bianchini UFSCAR

Dra. Leila Aparecida Salles Pio UFLA

Dr. Adriano Teodoro Bruzi UFLA

Dr. Evaristo Mauro de Castro UFLA

Prof. Dr. Rafael Pio
Orientador

**LAVRAS – MG
2018**

À minha família e amigos.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, por me amparar nos momentos difíceis, dar-me força interior para superar as dificuldades, mostrar o caminho nas horas incertas e me suprir em todas as minhas necessidades.

Aos meus pais, José Aparecido Locatelli e Maria Regina Campaner Locatelli, exemplos de pessoas a serem seguidas, pelos grandes ensinamentos de vida, amor, apoio e estímulo constantes para a concretização deste trabalho. E também pelos conselhos e amparo, em momentos de insegurança, acreditando e investindo em meu potencial, o que me incentiva a crescer.

Aos meus tios, Roberto Tadashi Sakazaki, Elisabete Campaner e Lucimara Campaner por serem meus segundos pais, no momento em que estive cursando minha graduação na Universidade Federal de Roraima, acolhendo-me como filho, deixando-me ensinamentos que levarei para a vida inteira e por me apoiarem a fazer o mestrado.

À minha família, tios, tias, primos, primas, ao meu irmão e à minha avó materna. À minha grande companheira, namorada, amiga, responsiva que me ajudou muito neste período em que estamos cursando o mestrado e doutorado juntos e deixo-lhe aqui o meu agradecimento por tê-la conhecido e me tornado seu namorado.

À Universidade Federal de Lavras, em especial, ao Departamento de Agricultura, pela oportunidade de realização do Doutorado em Fitotecnia.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Rafael Pio, pelos ensinamentos, pela confiança, ao me escolher como seu orientando, companheirismo, incentivo e amizade. Por ser também um exemplo a ser seguido. Sua participação foi fundamental para a realização deste trabalho.

A presente pesquisa foi realizada com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), meu agradecimento pelo aporte financeiro.

O presente estudo foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – código de financiamento 001 e com a concessão da bolsa de estudos.

Aos funcionários do Departamento de Agricultura, setor de Fruticultura, Arnaldo, Evaldo e Sr. Dedé, pela ajuda na execução das atividades.

Ao Prof. Dr. Lee Kalcsits e a todos os amigos do Tree Fruit Research and Extension Center – Washington State University pela troca de experiências, receptividade e pelos momentos inesquecíveis compartilhados.

Aos membros da banca, Dr. Flávio Gabriel Bianchini, Dr. Evaristo Mauro de Casto, Dr. Adriano Teodoro Bruzi e Dra. Leila Aparecida Salles Pio.

Aos meus amigos do Pomar e de outros departamentos e, como dizem “Essa família é muito unida...”. Fechou com 10!!

RESUMO

A macieira (*Malus domestica* Borkh.) pertencente à família *Rosaceae* é uma frutífera de clima temperado com exigência de horas de frio variando entre 100 e 2000 horas. Quando introduzida em outras regiões climáticas diferentes de sua origem, modifica o seu comportamento na superação da endodormência, fenologia, estruturas vegetativas e produção. Os programas de melhoramento de macieira no Brasil desenvolveram algumas cultivares com baixa exigência em horas de frio o que tem possibilitado a expansão do cultivo dessa cultura para regiões subtropicais. Além disso, os estresses ambientais, como o hídrico, podem ser um entrave para a correta exploração da cultura nessas novas regiões. Nesse contexto, objetivou-se com este estudo avaliar a adaptabilidade e estabilidade de cultivares de macieira com baixa necessidade de frio, em local de clima subtropical, além de realizar estudos anatômicos de folhas de cultivares de macieira, submetidas ao estresse hídrico e, também, ao sombreamento. Foram realizados 3 experimentos; no primeiro experimento, objetivou-se avaliar a adaptabilidade e a estabilidade de produção de cultivares de macieira introduzidas, em região de clima subtropical no Brasil, adotando uma abordagem univariada e um índice de seleção. A adoção de um índice de seleção proporcionou maior confiança, para a seleção de cultivares macieira, para regiões subtropicais. As cultivares ‘Eva’ e ‘Julieta’ foram as que apresentaram maior adaptabilidade e estabilidade de produção para regiões subtropicais. O segundo experimento consistiu em comparar as características anatômicas de folhas de macieira, em dois ambientes distintos (seca e chuva) sob condições tropicais, por meio de estudos qualitativos e quantitativos dessas características anatômicas. As folhas de macieira possuem características anatômicas que podem propiciar a produção dessa fruteira, em locais com déficit hídrico, em regiões subtropicais. Ainda que existir divergência genética entre as cultivares de macieira estudadas com relação a características anatômicas, as cultivares ‘Gala Real’, ‘Eva’ e ‘Baronesa’ apresentam características morfológicas anatômicas com potencial de adaptação em locais com déficit hídrico. E o terceiro experimento teve como objetivo avaliar o efeito do sombreamento, utilizando malhas fotoconversoras de diferentes cores sobre características da anatomia foliar, em plantas de macieira da cultivar ‘Honeycrisp’ e, para isso, foram coletadas folhas dessa cultivar, que se desenvolveram sob três colorações de telas (Azul, Vermelho e Branco (pérola), além das folhas que se desenvolveram a céu aberto. As diferentes cores de malhas fotoconversoras modificam algumas características da anatomia foliar de macieira da cultivar ‘Honeycrisp’. A malha de coloração azul propicia maior área de xilema, maior diâmetro de vasos de xilema e maior densidade estomática. A malha fotoconversora de coloração vermelha propicia maior número de vasos de xilema. A malha de coloração branco (pérola) propicia melhor funcionalidade estomática e maior espessura do floema.

Palavras-chave: *Malus domestica* Borkh. Inverno ameno. Déficit hídrico. Sombreamento.

ABSTRACT

The apple tree (*Malus domestica* Borkh.) belonging to the *Rosaceae* family. It is a fructiferous from temperate climate with exigency of cold hours varying from 100 to 2000 hours. When introduced in other climatic regions different from its origin, modifies its behavior in overcoming endo-numbness, phenology, vegetative structures and production. Apple trees breeding programs in Brazil have developed some cultivars with low demand in cold hours which has allowed the cultivation expansion of this crop to subtropical regions. In addition, environmental stresses, such as water, can be an obstacle to the correct crop exploitation in these new regions. In this context, the objective in this study was to evaluate the adaptability and stability of apple cultivars with low cold needs in a subtropical climate, as well as to perform anatomical studies of apple cultivars leaves submitted to water stress and also to shading. There were realized 3 experiments: in the first experiment, the objective was to evaluate the adaptability and stability of apple cultivars production introduced in a subtropical climate region in Brazil, adopting an univariate approach and a selection index. The adoption of a selection index provided greater confidence for the selection of apple cultivars for subtropical regions. The cultivars 'Eva' and 'Julieta' were the ones that presented greater adaptability and stability of production for subtropical regions. The second experiment consisted in comparing the leaf anatomical characteristics of apple trees in two distinct environments (drough and rainy) under tropical conditions by means of qualitative and quantitative studies of these anatomical characteristics. Apple trees leaves have anatomical characteristics that can propitiate the fruit tree productions, in places with water deficit, in subtropical regions. Although there is genetic divergence between the apple tree cultivars studied, regarding to anatomical characteristics, the cultivars 'Gala Real' 'Eva' and 'Baronesa' present anatomical morphological characteristics with potential of adaptation in places with water deficit. And the third experiment had as an objective to evaluate the shading effect, using photoconverting mesh of different colors, on the leaf anatomy characteristics in apple tree plants from the 'Honeycrisp' cultivar, and for this, were collected from leaves of this cultivar, which were developed under three colorations of screens (Blue, Red and White (pearl)), in addition to the leaves that developed in the open sky. The different photoconverting mesh colors modify some characteristics of apple tree leaf anatomy from the 'Honeycrisp' cultivar. The blue color mesh provides a larger area of xylem, larger diameter of xylem vessels and greater stomatal density. The red color photoconverting mesh provides a greater number of xylem vessels. The white (pearl) color mesh provides better stomatal functionality and greater phloem thickness.

Keywords: *Malus domestica* Borkh.. Mild winter. Water deficit. Shading.

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE	10
	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
1	INTRODUÇÃO	10
2	REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1	Origem e distribuição no mundo e no Brasil	12
2.2	Cultivares de macieira	14
2.2.1	‘Royal Gala’	14
2.2.2	‘Honeycrisp’	14
2.2.3	Cultivares recomendadas para as condições subtropicais e tropicais	15
2.2.3.1	‘Eva’ (IAPAR – 75)	15
2.2.3.2	‘Julieta’ (‘IPR Julieta’)	16
2.2.3.3	‘Princesa’	16
2.2.3.4	‘Baronesa’	17
2.2.3.5	‘Rainha’ (IAC 8-31)	18
2.2.3.6	‘Imperatriz’ (EPAGRI 404)	18
2.3	Dormência	19
2.3.1	Modelos de estimativa da superação da dormência	22
2.4	Anatomia Foliar	26
2.4.1	Estresse hídrico	28
2.4.2	Efeitos de alterações microclimáticas na anatomia, produção e qualidade de maçãs	30
2.5	Análises de adaptabilidade e estabilidade	33
2.5.1	Índice Z	33
2.5.2	GGE Biplot	34
	REFERÊNCIAS	36
	SEGUNDA PARTE - ARTIGOS	43
	EXPERIMENTO 1	43
	ARTIGO 1 - Adaptability and Phenotypic Stability of Apple Cultivars in a Subtropical Climate	43
	EXPERIMENTO 2	62
	ARTIGO 2 - Anatomia foliar de macieiras em períodos sazonais sob condições subtropicais	62
	EXPERIMENTO 3	86
	ARTIGO 3 - Anatomia foliar de macieira cv ‘Honeycrisp’ cultivadas sob malhas fotoconversoras	86

PRIMEIRA PARTE

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1 INTRODUÇÃO

A macieira (*Malus domestica* Borkh.) pertencente à família *Rosaceae* é uma frutífera de clima temperado com exigência de horas de frio variando entre 100 e 2000 horas. No Brasil há relatos do primeiro cultivo de macieira, em 1926, na região de Valinhos-SP (BLEICHER, 2002; PETRI et al., 2011). A macieira começou a ser explorada no Brasil, na década de 60, principalmente, nos estados da região Sul, em Santa Catarina e Rio Grande do Sul (FREIRE et al., 1994). Porém, com a criação dos centros de pesquisas como a Empresa de Pesquisa e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri), o Instituto Agronômico de Campinas (IAC) e o Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR), foi possível a introdução de novas cultivares adaptadas às diferentes regiões de cultivo no Brasil.

A participação do Brasil na produção mundial é pequena ficando apenas com a décima segunda colocação. A China é o maior produtor mundial e, em 2016, produziu mais de 44 milhões de toneladas de maçã o que representa 49% da produção mundial (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO, 2018). No mesmo ano, o Brasil produziu 1.049.251 toneladas, em uma área de 33.981 ha, o que representa uma produtividade média de 30,8 t ha⁻¹. A região Sul produz mais de 98% de toda a produção nacional (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2018). O Estado de Minas Gerais é o quarto maior produtor nacional e produziu 5.116 toneladas, em 213 ha em 2016, o que representa um rendimento de 24 t ha⁻¹, bem abaixo da média nacional (IBGE, 2018).

Existe um grande potencial, para a expansão da produção de maçãs em regiões de inverno ameno, como é o caso do estado de Minas Gerais, e uma alternativa, para a seleção de novas cultivares com propriedades agronômicas, sensoriais e fenológicas, é o uso de índices de seleção. Pela incorporação de todos os fenótipos medidos em índices agregados, como, por exemplo, a utilização do índice Z, no qual os maiores valores corresponderam ao índice favorável e os menores valores ao índice desfavorável à seleção (MENDES; RAMALHO; ABREU, 2009) e, também, a utilização do método GGE Biplot (*genotype main effects + genotype environment interaction*), no qual é possível computar os componentes principais e, também, fornece uma medida de variabilidade capturada por cada um dos componentes

(YAN, 2002; YAN; TINKER, 2006), possibilitam-se selecionar genótipos mais adaptáveis para a produção (RAMALHO et al., 2012). Ou seja, de uma maneira geral, nas etapas de melhoramento, comumente os dados ou caracteres avaliados, são trabalhados de maneira individual. Isso implica maior tempo gasto nas etapas e, assim, os processos de seleção e indicação de novas cultivares demanda maior tempo. Com a utilização de análise multivariada, este tempo pode ser reduzido, pois, neste caso, os dados são trabalhados de maneira conjunta reduzindo etapas e favorecendo na rapidez da obtenção dos resultados. Portanto a análise multivariada constitui uma ferramenta que possui grande aplicabilidade nas etapas de melhoramento genético e auxilia o melhorista (COUTINHO, 2017).

Além disso, os estresses ambientais dessas novas áreas de cultivo podem ser um entrave, para a correta exploração da cultura, e a seca tem sido considerada por muitos autores como o principal estresse ambiental na agricultura. As plantas que crescem sob déficit hídrico podem desenvolver estratégias que lhes possibilita passarem por esse estresse, e muitos autores têm realizado estudos morfológicos, principalmente em folhas, por se tratar de um órgão que se adapta rapidamente, para a seleção de cultivares, progênies ou acessos de diferentes espécies ao estresse hídrico e conseguem evidenciar que essas alterações podem ser herdadas (OLIVEIRA et al., 2018).

Objetivou-se com este estudo avaliar a adaptabilidade e a estabilidade de cultivares de macieira com baixa necessidade de frio, em local de clima subtropical, além de realizar estudos anatômicos de folhas de cultivares de macieira submetidas ao estresse hídrico e, também, ao sombreamento.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Origem e distribuição no mundo e no Brasil

A macieira é originária da região de Cáucaso, no Leste da China. Ela é pertencente à família *Rosaceae*, subfamília *Maloidae*, gênero *Malus*. Há indícios de que o desenvolvimento dessa espécie tenha iniciado há 20.000 anos (PETRI; LEITE, 2008).

A espécie de macieira mais cultivada no mundo é considerada um complexo híbrido interespecífico, designado *Malus domestica* Borkh (KORBAN; SKIRVIN, 1984) ou *M. domestica* Borkh (PHIPPS et al., 1990). A origem e os ancestrais desta espécie permanecem desconhecidos. Em 1803, foi descrita, pela primeira vez, a espécie *Malus domestica* e acreditava-se que tenha se originado de um híbrido das espécies *M. sylvestris*, *Malus dasycphyllus* Borkh. e *Malus praecox* Borkh. Atualmente, existe a hipótese de que a *Malus sieversii* Roem (Ledeb.), cultivada nas montanhas da Ásia Central, em altitudes de 1200 a 1800 m, é a espécie que deu origem à *M. domestica* Borkh (JUNIPER; WATKINS; HARRIS, 1998). Durante o final do Século XIX e no Século XX, cultivares encontradas ou melhoradas, na Europa, Rússia, América do Norte, Nova Zelândia, Japão e Austrália, foram distribuídas em todo o mundo, formando a base de produção mundial de maçãs em nível comercial (WAY et al., 1990).

No Brasil, o primeiro cultivo comercial ocorreu, em 1926, provavelmente, no município de Valinhos-SP, pelo produtor Batista Bignet, com a cv. 'Ohio Beauty' e, em 1927, José Trombetta, comercializou mudas desta cultivar. Entre 1940 e 1960, havia no município de Valinhos cerca de 500 mil a 1 milhão de plantas de macieira, principalmente, da cultivar Ohio Beauty, que era conhecida também como Valinhos. No final da década de 60, com as orientações do instituto Agrônomo de Campinas, o cultivo da macieira expandiu-se enormemente no Vale de Parapanema em São Paulo (BREICHER, 2002; PETRI et al., 2011).

O desenvolvimento da pomicultura, no Brasil, pode ser dividido em três períodos: (a) formação da estrutura de produção, até o final dos anos 1980; (b) intensificação e consolidação, na década de 1990; (c) reestruturação da produção, com implementação dos programas de produção integrada de maçãs, que se iniciou no final da década de 1990, buscando obter produtos mais limpos e sistemas de produção menos agressivos ao ambiente. A partir do ciclo 2002/2003, iniciou-se a certificação dos pomares. Nesta fase, buscou-se melhor qualidade de produção, segurança alimentar e conservação ambiental, visando atender

os anseios de consumidores mais conscientes e exigentes (MELLO, 2004; PEREIRA; SIMIONI; CARIO, 2010).

Em termos de pesquisa com macieira, o passo inicial foi dado, em 1928, com a criação da Estação Experimental de São Roque, pertencente ao Instituto Agronômico de Campinas - SP, com a introdução de 72 cultivares de macieira, a maioria de origem Europeia. Entre 1935 e 1944, o produtor Albino Brueckner selecionou uma cultivar que recebeu o nome de Brasil, também conhecida como Brueckner do Brasil, que provavelmente é originária de uma semente da cv. Gravensteiner, sendo muito plantada no Estado de São Paulo. Em 1947, o engenheiro agrônomo Orlando Regitano iniciou um programa de melhoramento de fruteiras de clima temperado, no Instituto Agronômico de Campinas, do qual resultou a obtenção da cultivar de macieira Rainha, lançada em 1975 (OJIMA et al., 1993).

Em Santa Catarina, a partir da década de 1970, a Estação Experimental de São Joaquim, vinculada à Secretaria Estadual da Agricultura e liderada pelo pesquisador Pedro Alcântara Ribeiro, impulsionou os trabalhos na cultura da macieira, tendo a colaboração do governo Japonês na pessoa do técnico Kenshi Oshirozawa. Do mesmo modo, a Estação Experimental de Videira, pertencente ao Ministério da Agricultura e liderada pelo pesquisador Mário de Pellegrin, implantou, em 1968, uma coleção de cultivares, principalmente, com as do grupo Delicious. Este trabalho também se estendeu, a partir de 1970, ao acompanhamento da coleção de macieiras da Empresa Sociedade Agrícola Fraiburgo, em que já constavam as cvs. Gala e Fuji, identificadas como PX 1035 e Tohoku 7, respectivamente. Também neste mesmo período, a antiga Estação Experimental de Cascata, atualmente pertencente ao Centro Nacional de Pesquisa de Clima Temperado (CPACT) da Embrapa, em Pelotas, desenvolvia trabalhos com coleções de macieira (PETRI et al., 2011).

A partir de 1973, o Estado de Santa Catarina, por meio da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Santa Catarina (EMPASC) e de sua sucessora Empresa de Pesquisa e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri), ampliou as pesquisas com a macieira e estabeleceu um programa de melhoramento genético, lançando inúmeras cultivares, com destaque para a Fuji Suprema, Catarina, Daiane, Monalisa e Condessa. Na década de 1980, também o IAPAR, no Paraná, desenvolveu pesquisas em melhoramento genético, lançando a cultivar Eva, de baixa exigência em frio, hoje plantada em regiões quentes, inclusive, na Bahia (PETRI et al., 2011).

Atualmente, noventa países produzem maçãs no mundo, mas somente quinze se destacam e são responsáveis por cerca de 82% da produção mundial (FAO, 2018). A China lidera o *ranking* mundial, produzindo quase metade do volume total (49%), embora apresente

rendimento médio de 18,6 toneladas por hectare, abaixo de países como Chile (36,6 t ha⁻¹), Brasil (30,8 t ha⁻¹) e Argentina (30,1 t ha⁻¹). A grande produção chinesa se deve à maior área cultivada com macieiras no mundo (48,8%). Seguindo a China, os principais produtores de maçãs, por ordem decrescente de produção, são Estados Unidos, Turquia, Polônia, Itália, Índia, França, Chile, Irã, Rússia, Argentina, Brasil, Chile, Alemanha, Argentina, Japão, Ucrânia, Coreia, África do Sul, Usbequistão, Espanha e Hungria (FAO, 2018).

2.2 Cultivares de macieira

2.2.1 ‘Royal Gala’

Mutação espontânea da cultivar Gala, descoberta em 1971 por H. V. Hove, na Nova Zelândia e introduzida comercialmente, em 1974, a planta é de porte semivigoroso, com ramos bem distribuídos abertos e grande quantidade de folhas. Emite grande quantidade de órgãos de frutificação e, geralmente, apresenta grande quantidade de flores. A floração ocorre entre o final da segunda quinzena de setembro e o final da segunda quinzena de outubro, dependendo do microclima, sendo mais precoce em regiões mais frias. Apresenta desuniformidade na maturação dos frutos, requerendo vários repasses na colheita, o que onera seu custo de produção (CAMILO; DENARDI, 2006).

O fruto é todo colorido e vermelho-estriado, brilhante, de tamanho pequeno a médio. O formato é redondo-cônico, polpa de coloração amarelo-creme, firme, crocante, succulenta, bem balanceada em ácidos e sólidos solúveis. O sabor do fruto é subácido e varia de leve e bem equilibrado a bastante aromático, dependendo do grau de maturação (CAMILO; DENARDI, 2006).

2.2.2 ‘Honeycrisp’

Cultivar obtida pelo cruzamento entre as cultivares ‘Macoun’ e ‘Honeygold’, em 1960, como parte do programa de melhoramento da Universidade de Minnesota (*University of Minnesota*) para desenvolver cultivares de inverno rigoroso e frutos de qualidade, suas plantas apresentam vigor moderado (LUBY; BEDFORD, 1992).

Os frutos são arredondados com 7 a 9 cm de diâmetro, o fruto é 60 a 90% vermelho sob fundo amarelo, a polpa é creme e grossa, moderadamente rígida. A coloração vermelha

somente é atingida se o fruto for exposto à radiação solar. A polpa do fruto possui muita suculência e crocância (LUBY; BEDFORD, 1992).

Os frutos possuem excelentes características de armazenamento com a permanência da textura e do sabor por 6 meses em ambiente refrigerado e sem atmosfera modificada (LUBY; BEDFORD, 1992).

A época de colheita ocorre 15 de setembro a 10 de outubro em Minnestoa, normalmente, porém a melhor colheita ocorre na quarta semana de setembro. As maçãs colhidas mais precocemente possuem sabor suave, enquanto as colhidas tardiamente podem possuir forte aroma (LUBY; BEDFORD, 1992).

2.2.3 Cultivares recomendadas para as condições subtropicais e tropicais

As principais cultivares de macieiras, encontradas no mercado nacional, originam-se da região Sul da Brasil, além das importadas, ou seja, produzidas em condições climáticas de baixas temperaturas. A seguir, são listadas algumas cultivares de macieiras com potencial para serem exploradas em condições subtropicais e tropicais (PIO et al., 2014).

2.2.3.1 ‘Eva’ (IAPAR – 75)

Cultivar obtida pelo cruzamento entre as cultivares ‘Anna’ e ‘Gala’ foi desenvolvida pelo Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR. Suas plantas apresentam vigor moderado a baixo e seus ramos são de crescimento semiereto e compacto. Floresce e frutifica com grande intensidade em esporões, brindilas e gemas laterais de ramos do ano, sendo recomendado o raleio de frutos (PIO et al., 2014).

A época de maturação dos frutos, em regiões de inverno ameno, inicia-se na segunda quinzena de novembro e se estende até o término da primeira quinzena de janeiro. A produção dessa cultivar é, relativamente alta, chegando a produzir, em média, 156 frutos, com calibre médio de 130 g, o que gera uma produtividade próxima a 31 t/ha, já no segundo ciclo produtivo. A polpa é firme e moderadamente ácida (0,6 g de ácido málico em 100 g de polpa), com, aproximadamente, 15% de sólidos solúveis (PIO et al., 2014).

Seus frutos de tamanho médio são de formato cônico, com epiderme vermelho-escarlate com estrias leves sobre fundo creme-amarelado, semelhante à coloração da cultivar ‘Gala’. Podem ser armazenados por até quatro meses à temperatura de 0°C. Necessita de 200 a 350 horas de frio. Quando satisfeita a necessidade em frio dessa cultivar e adotada uma

adequada superação artificial da dormência, o enfolhamento é satisfatório, com bom equilíbrio entre folhas e frutos (PIO et al., 2014).

2.2.3.2 ‘Julieta’ (‘IPR Julieta’)

Cultivar desenvolvida pelo IAPAR, sendo mais precoce que a ‘Eva’ (aproximadamente, 15 dias), serve, também, como sua polinizadora e se adapta muito bem a condições de inverno ameno. A época de maturação dos frutos, em regiões de inverno ameno, inicia-se no início de novembro e se estende até o término da primeira quinzena de janeiro (PIO et al., 2014).

Seus frutos são de tamanho médio, possuem bom aspecto comercial, boa coloração, com sabor doce e levemente acidulado e apresentam a vantagem de entrar para o mercado entre os meses de novembro a janeiro. Quando bem manejadas, podem chegar a produzir 35 t/ha. As frutas podem ser armazenadas por 30 a 45 dias de câmara fria (PIO et al., 2014).

É uma cultivar resistente à mancha-foliar-da-macieira e sofre pouco ataque de oídio, sarna e ácaros. A exigência de frio dessa cultivar está entre 200 e 300 horas. Quando satisfeita a necessidade em frio dessa cultivar e adotada uma adequada superação artificial da dormência, o enfolhamento é satisfatório, com bom equilíbrio entre folhas e frutos (PIO et al., 2014).

2.2.3.3 ‘Princesa’

Selecionada pela EPAGRI, em 1982, na Estação Experimental de Caçador, foi lançada no ano de 1986. Foi obtida de plantas resultantes de lote de sementes enviadas à instituição pela Universidade Estadual de New Jersey, sementes essas oriundas da hibridação entre o clone ‘NJ 56’ e a cultivar ‘Anna’. Cultivar precoce, semivigorosa, de copa semiaberta, frutificando preferencialmente em esporões e gemas laterais de ramos do ano, é uma cultivar muito produtiva, demandando atenção no raleio de frutos, principalmente, nos primeiros anos pós-plantio (PIO et al., 2014).

A época de maturação dos frutos, em regiões de inverno ameno, inicia-se na segunda quinzena de novembro e se estende até o término de janeiro. A produção dessa cultivar é, relativamente boa, chegando a produzir, em média, 95 frutos, com calibre médio de 145 g, o que gera uma produtividade próxima a 29 t/ha, já no segundo ciclo produtivo. A polpa é

moderadamente ácida (0,5 g de ácido málico em 100 g de polpa), com, aproximadamente, 13% de sólidos solúveis (PIO et al., 2014).

Seus frutos são de formato redondo-cônicos e simétricos. Podem ser armazenados em câmara fria por dois meses, no máximo. A epiderme é lisa, brilhante, vermelho-estriada, sobre fundo amarelo e sem “russeting”. Sua polpa é crocante, suculenta, firme e de coloração branco-creme (PIO et al., 2014).

É uma cultivar muito suscetível ao oídio, porém nem tanto à sarna. Adapta-se em regiões que ofereçam de 250 a 450 horas de frio, sendo desaconselhável seu cultivo em regiões mais frias com ocorrência de geadas tardias. Quando satisfeita a necessidade em frio dessa cultivar e adotada uma adequada superação artificial da dormência, o enfolhamento é satisfatório, com bom equilíbrio entre folhas e frutos (PIO et al., 2014).

2.2.3.4 ‘Baronesa’

Com restrição, somente para regiões mais frias (maior altitude), lançada em 1997, foi desenvolvida pela EPAGRI, na Estação Experimental de Caçador e foi obtida pelo cruzamento entre as cultivares ‘Fuji’ e ‘Princesa’. Suas plantas são vigorosas, com hábito de crescimento fechado, o que requer forte arqueamento de ramos, para a formação adequada da copa, melhoria da produção e coloração das frutas. Frutifica intensamente em esporões, brindilas e gemas laterais de ramos do ano, necessitando intenso raleio de frutos (PIO et al., 2014).

A época de maturação dos frutos, em regiões de inverno ameno, inicia-se na segunda quinzena de dezembro e se estende até a segunda quinzena de fevereiro. A produção dessa cultivar é, relativamente alta, chegando a produzir, em média, 138 frutos, com calibre médio de 130 g, o que gera uma produtividade próxima a 39 t/ha, já no segundo ciclo produtivo. A polpa é firme e moderadamente ácida (0,4 g de ácido málico em 100 g de polpa), com, aproximadamente, 12% de sólidos solúveis (PIO et al., 2014).

Seus frutos de formato arredondado possuem epiderme vermelho-opaca, com estrias leves sobre fundo esverdeado. Podem ser armazenados por 6 a 8 meses em atmosfera controlada. Sua polpa é muito crocante, muito suculenta, assemelhando-se à da cultivar ‘Fuji’ (PIO et al., 2014).

Necessita de condições climáticas que ofereçam pelo menos 500 horas de frio para um bom florescimento e conseqüente frutificação, adaptando-se melhor em regiões de inverno ameno e úmido, em locais com maiores altitudes. É uma cultivar resistente à mancha-foliar-

de-glomerella, moderadamente resistente à sarna e ao oídio e suscetível à podridão amarga (PIO et al., 2014).

2.2.3.5 ‘Rainha’ (IAC 8-31)

Com restrição, somente para regiões mais frias (maior altitude), essa cultivar, lançada em 1975, pelo Instituto Agrônômico (IAC), foi obtida por hibridação controlada entre as cultivares ‘Golden Deliciu’s’ e ‘Valinhense’. Suas plantas são semivigorosas e produtivas, porém apresentam queda de frutificação na pré-colheita, sinalizando ao adequado fornecimento de micronutrientes para favorecer a maior retenção dos frutos na planta (PIO et al., 2014).

A época de maturação dos frutos, em regiões de inverno ameno, inicia-se na segunda quinzena de dezembro e se estende até o término de janeiro. A produção dessa cultivar é relativamente boa, chegando a produzir, em média, 73 frutos, com calibre médio de 180 g, o que gera uma produtividade próxima a 20 t/ha, já no segundo ciclo produtivo. A polpa é macia e moderadamente ácida (0,6 g de ácido málico em 100 g de polpa), com, aproximadamente, 12% de sólidos solúveis (PIO et al., 2014).

Seus frutos de formato redondo-cônico, quando sombreados, não desenvolvem coloração adequada da epiderme. A epiderme não apresenta “russeting” e é de coloração amarela com estrias vermelhas sobre fundo vermelho-amarelado (PIO et al., 2014).

É uma cultivar suscetível à sarna, ao oídio e à podridão amarga. Embora tenha excelente adaptação a regiões de inverno ameno, quando cultivada em áreas abaixo de 1.300 metros de altitude, necessita de tratamento químico para a indução da florada. O enfolhamento é moderadamente satisfatório, com poucos frutos fixados na planta, em relação às demais cultivares recomendadas para regiões subtropicais. Porém essa menor frutificação é compensada para a produção de frutas de elevado calibre (PIO et al., 2014).

2.2.3.6 ‘Imperatriz’ (EPAGRI 404)

Cultivar desenvolvida pela EPAGRI na estação experimental de Caçador em 1996. Originária do cruzamento entre ‘Gala’ e ‘Mollie’s Delicius’, a planta é de porte semivigoroso, com ramos semiabertos, folhas grandes e copa compacta. Possui exigência em frio hibernal de 500 a 600 horas. Possui excelente enfolhamento, produzindo bastantes gemas florais ao longo dos ramos. A frutificação concentra-se em esporões. Na regiões abaixo de 1.300 m, ao Sul do

Brasil, floresce a partir da terceira semana de setembro, os frutos tendem a amadurecer na mesma época que a cultivar ‘Gala’. Pode ser polinizada por cultivares diploides com floração coincidentes, tais como ‘Fred Hough’ e a ‘Primícia’ (PIO et al., 2014).

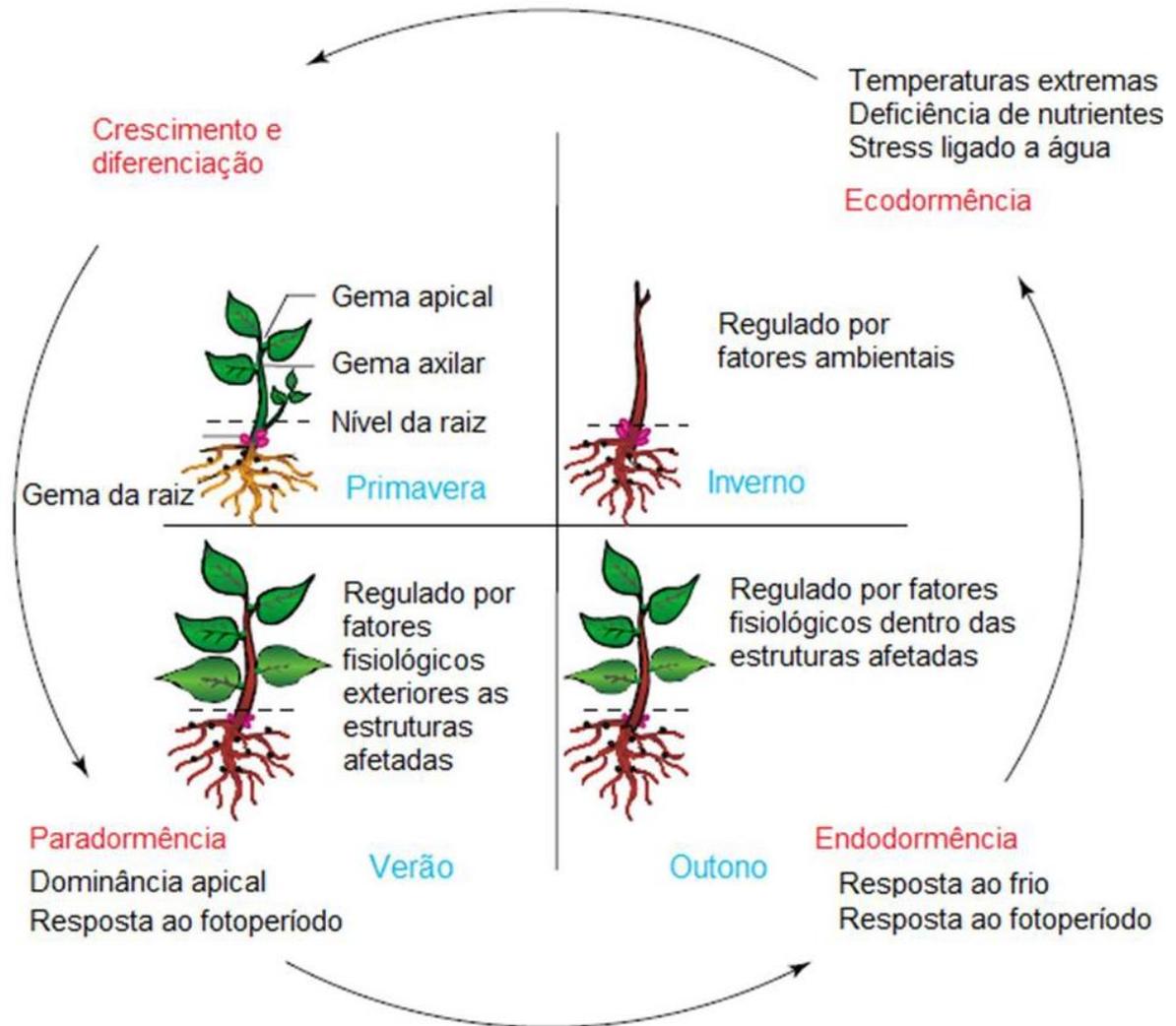
Os frutos possuem epiderme lisa, brilhante e de coloração vermelho-estriada sobre fundo amarelo. Em condições favoráveis, podem apresentar “russeting” nas imediações da cavidade peduncular. O fruto tem formato oblongo-cônico, tamanho de médio a grande. A polpa é amarelo-creme, firme, crocante, suculenta e com sabor subácido e agradável (PIO et al., 2014).

2.3 Dormência

Em climas temperados e subtropicais, as frutíferas caducifólias se caracterizam por apresentar período vegetativo e repouso hibernar bem definidos. Durante o inverno, as temperaturas médias diárias devem ser baixas o suficiente para inibir o crescimento da macieira. Ainda que as temperaturas aumentem em algum momento, as gemas são incapazes de brotar. Neste caso, é possível afirmar que a planta está em estado de latência ou dormência (MARTÍNEZ DE TODA, 1991). A dormência é definida como o período em que a planta não apresenta sinais de atividade metabólica e, visivelmente, o crescimento está suspenso. Esse processo é comum nas frutíferas de clima temperado e, apesar de não apresentar crescimento visual, a planta continua com seu desenvolvimento, preparando as gemas, para a saída da dormência, brotação e início de um novo ciclo vegetativo (LEITE et al., 2014).

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

Figura 1 - Diagrama dos sinais e estações típicas do ano, correspondentes aos diferentes tipos de dormência vegetal.



Fonte: Adaptado de Horvath et al. (2003).

Na endodormência ou dormência verdadeira, estabelece-se a percepção de um estímulo ambiental (baixas temperaturas e/ou alteração no fotoperíodo), durante o outono e inverno, gerando uma condição fisiológica que paralisa o crescimento da planta. Portanto a endodormência plena ocorre, quando há uma profunda redução das atividades metabólicas das gemas, e a superação deste processo acontece, somente depois de terem sido satisfeitas as necessidades intrínsecas de frio das gemas, permitindo retomar o desenvolvimento da brotação (LEITE et al., 2014). Destaca-se que a demanda de frio, para a superação da endodormência, é uma característica genética e muito variável entre genótipos de macieira (PETRI et al., 2006).

Já, na ecodormência, a ausência de desenvolvimento da gema é provocada por condições ambientais desfavoráveis, como temperaturas extremas, deficiência de nutrientes e

estresses hídricos, que mantêm a gema em estado quiescente, embora ela esteja fisiologicamente apta para se desenvolver e iniciar a brotação (HORVATH et al., 2003; LEITE et al., 2014). Esta dormência ocorre, no início do ciclo de crescimento (Figura 1), após a superação da endodormência, quando as gemas dependem da disponibilidade de temperaturas altas e hidratação (chuvas) na primavera, para retomar o seu ciclo de crescimento (ROHDE; BHALERÃO, 2007).

Muitas anomalias podem ocorrer, quando frutíferas de clima temperado são cultivadas em regiões de inverno ameno, em que não ocorre frio em qualidade e quantidade suficientes e, conseqüentemente, a não eliminação da endodormência. De modo geral, ocorrem brotação e florescimento erráticos, que consiste na redução no número de gemas brotadas e na velocidade de crescimento, formação de rosetas, encurtamento dos internódios, crescimento verticalizado, baixo pegamento e deformação dos frutos, alteração no sabor e, em condições severas, a morte da planta (DENNIS JUNIOR, 1987; EREZ; COUVILLON, 1987; HAUAGGE, 2000; LEITE et al., 2014; MAUGET; RAGEAU, 1988; PETRI et al., 2006). A redução da brotação, associada ao desenvolvimento de folhas de tamanho pequeno nas gemas, que brotam, leva a uma diminuição importante na área foliar total da planta, reduzindo a densidade e tamanho de esporões para o ano seguinte (LEITE et al., 2014). Cultivares de macieira, que normalmente florescem na mesma época, podem apresentar uma defasagem de até 15 dias em locais onde as necessidades de frio não são satisfeitas, o que acarreta problemas na polinização e, conseqüentemente, na produção, além de dificultar os tratamentos fitossanitários e o raleio químico (LEITE et al., 2014; PETRI et al., 2006). Além disso, os frutos provenientes de flores tardias permanecem menos tempo na planta, produzindo frutos de tamanho menor e qualidade inferior (PETRI et al., 2006).

Em regiões de inverno ameno no período hibernal, têm-se empregado práticas de manejo que permitem alcançar um padrão adequado de brotação. Entre tais práticas, destacam-se a incisão anelar de ramos e tronco, o arqueamento de ramos, a desfolha e o frio artificial em mudas, além da utilização de produtos químicos (PETRI et al., 2006). Entre os produtos químicos usados, para a superação artificial da dormência, destacam-se o óleo mineral, cianamida hidrogenada (H_2CN_2), dinitro-ortho-cresol, cianamida cálcica ($CaCN_2$) e thidiazuron (PETRI et al., 2006).

2.3.1 Modelos de estimativa da superação da dormência

Modelos agrometeorológicos, biometeorológicos ou bioclimáticos nada mais são que estudos ou formas de análises qualitativas e quantitativas da ação dos elementos ambientais sobre o desenvolvimento vegetal (BRAGA, 1995). As condições ambientais que influenciam decisivamente o crescimento e/ou desenvolvimento vegetal são: temperatura (do ar e do solo), fotoperíodo, radiação solar e precipitação pluvial (disponibilidade de água no solo).

Em razão do número elevado de fatores ambientais, aliado à complexidade das interações envolvidas em qualquer estudo clima-planta, a grande maioria dos modelos fenológicos tem sido conduzida, a partir da comparação do desenvolvimento vegetal com um simples elemento ambiental, notadamente, a temperatura média do ar (BRUNINI, 1975). Inúmeros trabalhos de pesquisa já foram realizados neste sentido, relacionando a temperatura do ar ou do solo, ou o fotoperíodo com desenvolvimento e/ou crescimento vegetal (ALTHOFF; BRAGA; VIEIRA, 1987; BERLATO; SUTILI, 1976; BRUNINI et al., 1976; DAMARIO; PASCALE, 1971; COCHRANE; SMITH, 1976; LUCHESI; MONTENEGRO; VILLA NOVA, 1977; ROBERTSON, 1968).

Dentre os métodos usados, para estimar o acúmulo de frio necessário para a superação da dormência, o modelo de horas de frio abaixo ou iguais a 7,2°C, durante o período de maio a setembro, foi o primeiro a surgir. Esse modelo foi desenvolvido por Weinberger (1950), na Califórnia, Estados Unidos, trabalhando com cultivares de pessegueiro. Segundo Erez (2000), os princípios de que o requerimento em frio é quantitativo e pode ser mensurado pela exposição a determinado número de horas de frio e de que existe uma temperatura crítica abaixo da qual o frio é efetivo na dormência, são as principais contribuições estabelecidas pelo método de Weinberger (1950). Entretanto, em razão da constatação de que temperaturas acima de 7,2°C exercem influência na superação da dormência, sobretudo, em espécies e cultivares de menor necessidade em frio (COUVILLON; EREZ, 1985), questionou-se a forma como um processo regulado internamente poderia estar relacionado a uma temperatura fixa. Dessa forma, novos métodos foram desenvolvidos, com o passar do tempo, com objetivo de prever a superação da dormência, em relação a uma faixa de temperatura mais ampla, denominados de modelos de unidades de frio (UF).

Os modelos de unidades de frio se baseiam numa formulação passível de ser aplicada em anos com regimes diferentes de temperatura. Estes modelos consideram uma maior abrangência de temperaturas efetivas, para a superação da dormência e incorporam efeitos negativos para temperaturas elevadas. O propósito dos modelos é avaliar a evolução da

dormência, de acordo com qualidade do frio acumulado, durante o período de outono e inverno, conferindo pesos às ações de frio em cada temperatura. Diversos modelos foram desenvolvidos nessa linha (Horas de Frio Ponderadas Erez e Lavee (1971); Modelo de Utah – Richardson, Seeley e Walker (1974) e Modelo de Carolina do Norte – Shaltout e Unrath (1983).

O modelo de Horas de Frio Ponderadas se fundamenta na conversão horária de determinadas temperaturas em unidades de frio, sendo acumuladas até atingirem um total que, teoricamente, corresponde ao final do período de dormência de uma determinada cultivar. Erez e Lavee (1971) observaram que, sob condições controladas, a temperatura de 6°C contribui mais para o repouso completo de cultivares de pessegueiro e que temperaturas entre 3° e 8°C contribuem em cerca de 90% como horas de frio realmente efetivas, para as cultivares superarem a dormência. Já, a temperatura de 10°C contribui apenas com 50%, a metade do potencial conferido pelas baixas temperaturas. Os autores observaram, também, que flutuações de temperatura no inverno fariam como que se fosse necessário aumento do número de horas de frio, para elevar a brotação e que o efeito negativo das altas temperaturas depende do tempo que elas permanecem e da sua intensidade. Exposições de 2 a 4 h a 21°C não acarretam em prejuízo, porém, quando superiores à 8 h, ocorre efeito anulador das unidades de frio. Em temperatura mais alta, em torno de 24°C, 2 h de exposição já pode promover um efeito anulador. Apesar desta consideração inovadora sobre o efeito negativo de altas temperaturas, os autores deste modelo de Horas de Frio Ponderadas (EREZ; LAVEE, 1971) não incorporaram essa ponderação no cálculo de unidades de frio.

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

Tabela 1 - Unidades de frio para diferentes intervalos de temperatura (°C), segundo o modelo de Utah.

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

Fonte: Richardson, Seeley e Walker (1974).

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

Tabela 2 - Unidades de frio, para diferentes intervalos de temperatura (°C), segundo o modelo de Carolina do Norte (SHALTOUT; UNRATH, 1983).

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

Fonte: Shaltout e Unrath (1983).

Para a validação dos modelos de Utah e Carolina do Norte, Richardson, Seeley e Walker (1974) e Shaltout e Unrath (1983) consideraram o estágio de floração das frutíferas de

clima temperado (pessegueiro e macieira) como marco fenológico a ser estimado. Para isso, foram comparadas datas de floração observadas a campo com datas de floração estimadas por requerimento de frio, para a superação da dormência, baseado no cálculo de unidades de frio, acrescido ao requerimento de calor, para a ocorrência da floração, baseado no acúmulo de energia horária acima de 4,5°C após o término da dormência. Os modelos foram considerados precisos, já que as diferenças encontradas entre as datas observadas e estimadas de floração foram pequenas.

Para estimar o requerimento de calor, para a ocorrência da floração, Richardson, Seeley e Walker (1974 citado por DIAS, 1987), desenvolveram a escala de “*Growing Degree Hours Celsius*” (GDH°C), cujas unidades de calor são calculadas, subtraindo-se 4,5 graus de cada valor horário, entre 4,5°C e 25°C. Temperaturas acima de 25°C são assumidas como sendo 25°C, sendo o maior acúmulo para uma hora de 20,5 GDH°C. Temperaturas iguais ou inferiores a 4,5°C não são consideradas. O limite de 4,5°C representa a temperatura base requerida para que pessegueiros e macieiras se desenvolvam. Por meio desse estudo, Richardson, Seeley e Walker (1974) demonstraram que, embora o frio seja fundamental para a superação natural da dormência, nas demais etapas fenológicas, sua disponibilidade deixa de ser importante em detrimento do calor que, por sua vez, passa a ser o elemento que rege o desenvolvimento vegetal. Na literatura, não há informações que mostrem variação no parâmetro de temperatura base, considerando contrastes de cultivares com maior e menor exigência em frio, sendo este um importante fator a ser investigado para ajustes nos modelos de predição da fenologia.

Portanto o frio é considerado o principal fator exógeno envolvido na superação da endodormência de plantas de clima temperado. Na presença de baixas temperaturas, ocorre alteração do balanço hormonal, havendo aumento do nível de hormônios promotores de crescimento e diminuição do nível de inibidores de crescimento (LAVEE, 1974). Segundo Hauagge (2000), existem dois fatores principais que determinam a adaptação de fruteiras de clima temperado, em regiões quentes, sendo o primeiro a capacidade de um dado cultivar brotar, florescer e produzir frutos e, segundo, a habilidade de produzir frutos de qualidade em temperaturas, na maioria das vezes, superiores à ótima. O primeiro fator é determinado, principalmente, pela necessidade de frio da espécie/cultivar. Em ambos os casos, geralmente, existe variabilidade que pode ser recombinação pelo melhoramento genético. Cada cultivar necessita de determinado período sob baixas temperaturas para que ocorra a superação da endodormência (OJIMA et al., 1984). A soma de horas com temperaturas inferiores a 7,2 °C é um dos métodos utilizados para calcular a necessidade de frio das plantas de clima temperado.

No entanto, segundo Erez e Lavee (1971) e Samish, Lavee e Erez (1967), temperaturas superiores a 7,2 °C, também, podem ser efetivas na abertura de gemas. Estudos já comprovaram que temperaturas de até 12,4 °C, ainda, exercem influência sobre a dormência das plantas, principalmente, em cultivares de baixa necessidade de frio (PETRI; HERTER, 2004; RICHARDSON; SEELEY; WALKER, 1974).

Basicamente, os fatores que determinam a adaptação de frutas de clima temperado, em regiões tropicais, são a aptidão de a cultivar brotar, florescer, crescer satisfatoriamente e produzir frutos de qualidade em temperaturas que, geralmente, são superiores à média ótima. Estes fatores estão diretamente relacionados com a necessidade de frio da espécie e/ou cultivar (CITADIN, 2001).

2.4 Anatomia Foliar

A folha é composta por três sistema de tecidos. O sistema dérmico que forma a epiderme e reveste a superfície foliar. O sistema fundamental que constitui o mesofilo da lâmina foliar e o córtex da nervura mediana e do pecíolo. E, por último, o sistema vascular que constitui os tecidos vasculares das nervuras (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009).

Na folha madura, geralmente, não ocorre crescimento secundário, a não ser em algumas exceções no pecíolo de algumas espécies (CASTRO et al., 2009). Variações decorrentes de pressões ambientais são observadas nos tecidos foliares na tentativa de adaptação da planta a diferentes pressões, podendo se estabelecer como uma característica da planta, ao longo do tempo, ou ainda sofrendo modificações quantitativas mais plásticas e menos fixas (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009). Ademais, segundo Castro, Pereira e Paiva (2009), esta adaptações ocorrem, durante o desenvolvimento da folha, a sua ortogênese e não em uma folha já madura, chamada do ponto de vista fisiológico de folha completamente expandida.

A epiderme é frequentemente uniestratificada, em corte transversal, aparece como uma camada de células de formato tubular. Além disso, a parede celular externa produz um revestimento, denominado cutícula, que permite à planta dificultar a transpiração diretamente por células epidérmicas (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009). As funções básicas da epiderme são proteção mecânica, realizar trocas gasosas por meio dos estômatos e evitar a perda de água pela planta (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009).

Os estômatos são pequenas aberturas que podem ser formadas de diferentes elementos mais especializados (células), constituindo uma abertura denominada ostíolo, geralmente, de

forma oval, duas células-guarda que circundam o ostíolo e são responsáveis pela sua abertura ou fechamento e, ainda, uma câmara subestomática (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009). Os estômatos podem ocorrer, em qualquer parte das plantas, no entanto são mais comuns e abundantes nas folhas. O número de estômatos por unidade de área epidérmica (Densidade Estomática) é extremamente variável entre as espécies e até mesmo entre indivíduos da mesma espécie, dependendo das condições ambientais. Segundo Castro, Pereira e Paiva (2009), a densidade estomática (DE) pode estar relacionada com a resposta ambiental e pode ser calculada como abaixo:

$$DE = \frac{\text{Número de Estomátos}}{\text{Unidade de Área (mm}^2\text{, cm}^2\text{, etc)}}$$

Uma maior densidade estomática pode permitir uma abertura, em um espaço de tempo menor permitindo uma captação adequada de CO₂, evitando a transpiração, assim, a planta pode apresentar uma maior capacidade fotossintética (BATISTA et al., 2010).

Outras características, a serem medidas nos estômatos, são o diâmetro polar (DP) e diâmetro equatorial (DE), que podem ser relacionados com a funcionalidade (F) dos estômatos, pela relação DP e DE, visto que quanto maior a relação, mais funcional será o estômato (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009).

$$F = \frac{\text{Diâmetro Polar}}{\text{Diâmetro Equatorial}}$$

Os estômatos são estruturas importantes para a produção vegetal, pois representam a porta de entrada e saída dos gases para fotossíntese, processo primordial relacionado à produtividade vegetal (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009).

O parênquima é relativamente simples em sua morfologia, porém é imensamente complexo em termos de sua fisiologia, pois inúmeras funções metabólicas dos vegetais são realizadas, direta ou indiretamente, por algum tipo de célula parenquimática. As funções do parênquima são a realização da fotossíntese, respiração, trocas gasosas e, além de armazenar diferentes tipos de substâncias, o parênquima tem como função, também, a secreção e excreção de substâncias e a cicatrização ou regeneração de lesões e ferimentos (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009). No mesófilo, tecido em que é encontrado o parênquima, ele pode ser diferenciado em parênquima paliçádico e esponjoso (folha dorsiventral).

O parênquima paliçádico é representado por células alongadas e com pouco espaço intercelulares aparente. É um tecido rico em cloroplastídeos e o principal tecido relacionado à fotossíntese que exhibe este tipo de tecido. Normalmente este tecido está localizado junto à face adaxial da folha, recebendo maior incidência de luz, aumentando a eficiência na fotossíntese dessas plantas. O tecido pode possuir uma ou mais camadas celulares e, dependendo da espécie, este é um tecido que pode sofrer influência de características ambientais (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009). O parênquima esponjoso possui células de formato irregular que promove a formação de um tecido rico em espaços intercelulares, em razão da dificuldade de encaixe entre uma célula e outra. Esses espaços são importantíssimos, para o acúmulo de gases nas trocas gasosas, assim, os estômatos, localizados na parte abaxial das folhas, podem abrir menos e uma quantidade considerável de gases entrar no mesófilo e ficar retido, nesses espaços intercelulares e, posteriormente, ser fixado o CO₂ pelo parênquima paliçádico (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009).

Os sistemas de condução são constituídos pelo xilema e floema. O xilema é o principal tecido condutor de água e íons minerais. E o floema é o tecido condutor de substâncias orgânicas elaboradas pela fotossíntese. Como são distribuídos de diversos tipos celulares, são classificados como tecidos complexos (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009). Os feixes vasculares nas folhas são denominados nervuras e todo o sistema que formam é chamado de venação. Os feixes vasculares podem variar grandemente em número na nervura central e no pecíolo das folhas pecioladas. Esta variação em número pode, inclusive, ser uma resposta a estímulos ambientais. Os feixes são, na maioria dos casos, colaterais e possuem floema de um lado e xilema do lado oposto. Nestas folhas, geralmente, o xilema está voltado para a face adaxial e o floema para a face abaxial (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009).

2.4.1 Estresse hídrico

Diferentes espécies têm desenvolvido fascinantes mecanismos, para enfrentar a baixa quantidade de água no substrato, evitando-a ou tolerando-a (LAMBERS; CHAPIN; PONS, 1998), por modificações na morfologia externa, na histologia, na citologia e na fisiologia da planta (DICKISON 2000). A deficiência no suprimento hídrico pode conduzir ao fechamento estomático e ao movimento de folhas, mecanismos estes que evitam perda de água (OSMOND et al., 1987). Sob estresse hídrico, as plantas também podem alterar a espessura, a área foliar e características anatômicas (LAMBERS; CHAPINS; PONS, 1998), assim como a

taxa de transpiração, a condutância estomática e a taxa fotossintética (CALBO; MORAES, 2000).

A deficiência de água ocorrida em plantas, durante a diferenciação celular das folhas, determina redução irreversível da área e do espessamento foliar e aumento da densidade estomática (ZAGDANSKA; KOSDOJ, 1994). Além disso, o parênquima paliçádico, na maioria dos casos, é mais desenvolvido que o esponjoso e, algumas vezes, pode ocorrer apenas o parênquima paliçádico. Este fato otimiza a fotossíntese e diminui os espaços intercelulares do restante do mesofilo (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009).

Castro, Pereira e Paiva (2009) afirmam que condições ambientais como estresse hídrico alteram o tamanho e a densidade dos estômatos, com o intuito de auxiliar a planta na tolerância desta condição. Em ambientes com menor disponibilidade hídrica, verifica-se diminuição no tamanho dos estômatos, para que haja menor perda de água da planta, para o ambiente pela transpiração, havendo o simultâneo aumento de sua densidade, contribuindo para o equilíbrio das trocas gasosas (BATISTA et al., 2010). Fato este que pode compensar a perda de área foliar comum, em plantas sob estresse hídrico (BATISTA et al., 2010), como relatado por Pinto et al. (2008), que observaram redução na área foliar e número de folhas de diferentes espécies sob estresse hídrico.

Ainda, de acordo com Castro, Pereira e Paiva (2009), pode ocorrer o desenvolvimento de tecidos subepidérmicos para a retenção de água, a chamada hipoderme, muito comum em plantas xerófitas e algumas epífitas. As folhas desenvolvem epiderme com cutícula mais espessa, que isola os tecidos internos e evita a transpiração por suas características hidrofóbicas.

Com relação às estruturas anatômicas das plantas, há estudos, por exemplo, associando a presença de hipoderme à deficiência hídrica do substrato, acumulando, muitas vezes, mucilagem nos vacúolos, de modo a evitar a perda excessiva de água na transpiração. A presença de mucilagem é descrita por Silva, Acevedo e Silva (2001), para plantas xéricas, como alternativa de diminuir a perda hídrica. Essa secreção também é encontrada em plantas aquáticas, mas com uma função contrária. Segundo Sculthorpe (1967), a presença de mucilagem em plantas aquáticas impede a entrada excessiva de água, diminuindo a diferença de potenciais hídricos entre o meio externo e interno e, assim, diminuindo a velocidade de entrada de água no vegetal.

Em ambientes alagados, o parênquima esponjoso apresenta amplos espaços intercelulares, como reserva de ar, enquanto em ambientes xéricos apresenta-se mais

compactado, com reduzidos espaços intercelulares (DICKISON, 2000; MAUSETH, 1988), ou até mesmo ausente (SILVA; ACEVEDO; SILVA, 2001).

2.4.2 Efeitos de alterações microclimáticas na anatomia, produção e qualidade de maçãs

Em plantas cultivadas em ambiente protegido, as interações ocorrem de forma diferente, em relação àquelas a céu aberto, por alterações nos diferentes elementos micrometeorológicos. Essas alterações podem determinar mudanças nas características fenológicas, fenométricas, fisiológicas e anatômicas das plantas. Uma vez que há abundância de luz, os tecidos parenquimáticos, paliçádico e lacunoso tendem a ter várias camadas, de forma que pode haver uma absorção e dispersão de luz, visando a não prejudicar a vitalidade foliar. Normalmente as “folhas de sol” têm maior espessura que as “folhas de sombra” e, além de mais camadas de células paliçádicas, estas também são mais alongadas (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009).

A eficiência das telas antigranizo, para a proteção de pomares e seus efeitos na interceptação da radiação solar, na qualidade dos frutos, na redução de golpes de sol (queimaduras nos frutos), avaliações de sistemas e custo de instalação, alterações no microclima de pomares e suas influências no crescimento e desenvolvimento das plantas tem sido abordada em vários trabalhos de pesquisa. Porém, ainda, existem poucas informações e conhecimentos relacionados ao efeito e à eficiência dessas técnicas em relação à macieira no Brasil (AMARANTE et al., 2007, 2009; LEITE; PETRI; MONDARDO, 2002; YURI, 2003).

Em experimento conduzido em pomares de macieira ‘Gala’ e ‘Fuji’, em Fraiburgo, SC, durante cinco anos, Leite, Petri e Mondardo (2002) avaliaram a proteção por tela preta a danos de granizo nos frutos e a influência de diferentes níveis de sombreamento sobre a produção. Estes autores verificaram que a tela é eficiente para proteger maçãs contra danos provocados pelo granizo. A temperatura do ar sob tela, medida em termômetros de máxima e mínima, entre 10 e 14 h (horário local), foi mais baixa que a céu aberto em 1,0 °C a 1,5 °C. Houve tendência de maior crescimento dos ramos, menor porcentagem de gemas floríferas com frutos, menor atividade das abelhas, menor intensidade de cor dos frutos e incidência de *russeting* sob tela. Além disso, a tela não influenciou o tamanho de frutos, teor de sólidos solúveis totais, acidez, amido, firmeza de polpa e produção por planta. Os efeitos do sombreamento sobre a produção variaram de ano para ano, conforme as condições meteorológicas (LEITE; PETRI; MONDARDO, 2002).

Na Argentina, foram avaliadas as características das folhas e o desenvolvimento dos frutos de macieira da cultivar ‘Braebur’ sob tela de sombreamento (GARRIZ; COLAVITA; ALVAREZ, 2001). Em ambientes sombreados, houve redução, no entanto a área foliar não foi alterada. Os frutos se mostraram sensíveis quanto ao sombreamento com baixo acúmulo de Sólidos Solúveis além de menor tamanho e com pouca coloração vermelha. Com relação às folhas, o sombreamento reduziu o limbo foliar, o parênquima paliádico e esponjoso, porém a densidade estomática não foi alterada (GARRIZ; COLAVITA; ALVAREZ, 2001).

Em Israel, telas de sombreamento coloridas (vermelha, azul, cinza, pérola, branca e branca-vermelha) foram testadas, a fim de avaliar influências na qualidade de frutos (SHAHAK et al., 2004). As telas não reduziram o “pegamento” de frutos e influenciaram positivamente o seu tamanho. Estes efeitos foram atribuídos ao maior potencial da água na planta, medido ao meio-dia, indicativo de menor déficit de água em plantas sob tela. Além disso, verificou-se que a temperatura máxima do ar, no dossel sob tela, foi menor que a céu aberto, em 3 °C a 6 °C. Os autores também verificaram que os frutos produzidos sob tela de cor cinza tiveram maior intensidade de cor.

Smit (2007) avaliou, também, a influência de telas coloridas (preta, azul, cinza) sobre frutos da cultivar ‘Granny Smith’. Houve redução de golpes de sol nos frutos somente pelas telas preta e azul. Todas as telas avaliadas aumentaram a massa dos frutos, porém reduziram a firmeza de polpa e o teor de sólidos solúveis totais. Sob tela preta, a intensidade da cor dos frutos foi significativamente menor que a céu aberto. A viabilidade das sementes, cor de fundo da epiderme, acidez titulável, degradação de amido, *russeting* e a ocorrência de danos por *Fusicladium pyrorum* nos frutos não foram afetados pelas coberturas testadas (SMIT, 2007).

Em Vacaria, RS, Amarante et al. (2007, 2009) avaliaram o efeito de telas antigranizo (branca e preta) sobre a densidade de fluxo e a qualidade da radiação solar disponibilizada às plantas e, ainda, seus impactos na fotossíntese, rendimento e qualidade dos frutos. Concluíram que a tela antigranizo preta ocasiona redução na quantidade e na qualidade da radiação solar disponível, resultando em deficiência na cor vermelha dos frutos, aumento no teor de clorofila total e na área foliar específica e redução da taxa fotossintética potencial. As telas antigranizo branca e preta reduziram a ocorrência de golpes de sol, mas não tiveram efeito sobre a severidade de *russeting* e sobre o número de sementes por fruto (AMARANTE et al., 2007, 2009).

As cultivares de maçã ‘Fuji Kiku 8’, com frutos de coloração intensa e ‘Pinova’, com frutos de pouca cor, foram cultivadas sobre porta-enxerto M9, em espaçamento 3,5 x 1 m, na

Alemanha. Foi avaliada a influência de telas antigranizo vermelha-preta, vermelha-branca, verde-preta e branca, instaladas sobre as plantas logo após o florescimento (SOLOMAKHIN; BLANKE, 2008). Verificou-se que a transmissividade da luz verde e vermelha foi reduzida em 12%, 14%, 18% e 23% pelas telas branca, vermelha-branca, vermelha-preta e verde-preta, respectivamente. No entanto, quanto à luz transmitida, não houve alteração na razão vermelho:vermelho distante, que poderia interferir no sistema fitocromo e, conseqüentemente, no crescimento das plantas. Em termos de crescimento das plantas sob tela, a cultivar 'Fuji' demonstrou ser mais propensa e sensível aos efeitos adversos que a 'Pinoval'. O teor de clorofila das folhas aumentou em até 46% sob tela verde-preta, enquanto a temperatura do ar foi reduzida em 0,2 °C. Em dias com céu limpo, a fotossíntese não foi reduzida sob telas, mas foi reduzida em 21% na condição de céu nublado, com conseqüente redução na transpiração. Quanto ao crescimento vegetativo, houve redução do diâmetro do tronco e aumento do número e comprimento dos ramos do ano, além de redução da indução floral e do retorno da floração na primavera seguinte. O tamanho dos frutos sob tela foi maior que a céu aberto, mas sem diferenças no rendimento (SOLOMAKHIN; BLANKE, 2008).

Na Alemanha, Solomakhin e Blanke (2010a) verificaram que a temperatura do ar foi reduzida em 1,3 °C e a umidade relativa foi aumentada em 2 a 5% sob tela antigranizo, em relação ao pomar a céu aberto. A temperatura do solo a 5 cm profundidade foi mais baixa (0,5 a 1 °C) sob telas vermelha-preta e verde-preta, mas foi até 0,9 °C mais elevada sob telas branca e vermelha-branca, em comparação com solo a céu aberto. Macieiras sob telas escuras desenvolveram folhas com epiderme mais fina e com menos camadas de células no parênquima paliçádico. Em um dia ensolarado, a temperatura das folhas foi 3,5°C menor sob telas escuras e 2,5 °C sob tela branca que a céu aberto. A epiderme dos frutos sob tela teve mais clorofila, porém menos antocianina. Telas vermelha-preta e verde preta reduziram a qualidade das maçãs, resultando em frutos com menor firmeza, acidez, teor de açúcar e de vitamina C. No entanto a razão açúcar/acidez, considerada como indicadora de sabor dos frutos, não foi afetada pelas coberturas (SOLOMAKHIN; BLANKE, 2010b).

Nas mesmas condições dos trabalhos anteriores, realizados na Alemanha, Hunsche, Blanke e Noga (2010) verificaram que as modificações no microclima de pomares sob telas antigranizo influenciam o crescimento vegetativo, porém não a ponto de provocar alterações na micromorfologia, na quantidade de cera cuticular e na espessura das folhas de macieiras. Com isto, os autores descartaram a necessidade de adaptar práticas de manejo de pragas e doenças, como formulação de agrotóxicos, sua dose e forma de aplicação, quando são utilizadas telas antigranizo.

2.5 Análises de adaptabilidade e estabilidade

Como a resposta fenotípica de cada genótipo quanto às variações ambientais é, em geral, diferente e reduz a correlação entre os valores fenotípicos e genotípicos. É necessário que se realize grande número de avaliações dos genótipos, nos diferentes ambientes de cultivo, para se ter segurança na seleção ou na recomendação de cultivares. Porém, somente estudos de quantificação e da natureza da interação genótipo x ambiente não proporcionam informações detalhadas sobre o comportamento de cada genótipo quanto às variações ambientais (CRUZ et al., 2012). Assim, análises de adaptabilidade e estabilidade podem auxiliar na recomendação de cultivares, uma vez que possibilitam identificar genótipos de desempenho previsível e que sejam responsivas às variações ambientais (SILVA; DUARTE, 2006).

Diversas metodologias de adaptabilidade e estabilidade já foram propostas no intuito de avaliar genótipos em vários ambientes. Existem métodos baseados em análise de variância (ANNICCHIARICO, 1992; PLAISTED; PETERSON, 1959; WRICKE, 1965), regressão linear (CRUZ et al., 1989; EBERHART; RUSSELL, 1966; FINLAY; WILKINSON, 1963; TAI, 1971), métodos não paramétricos (CARNEIRO, 1998; LIN; BINNS, 1988; ROCHA et al., 2005), métodos de centroides múltiplos (NASCIMENTO et al., 2015), modelos lineares mistos Reml/Blup (RESENDE, 2004), métodos bayesianos (COUTO et al., 2015), regressão quantílica (BARROSO et al., 2015) e redes neurais artificiais (BARROSO et al., 2013; NASCIMENTO et al., 2013).

A grande quantidade de métodos de adaptabilidade e estabilidade reflete a importância dos estudos em relação à interação genótipos x ambientes. Na escolha do método ou métodos a serem empregados, devem-se considerar aspectos como o número de ambientes disponíveis, precisão requerida, tipo de informação desejada, facilidade de análise e de interpretação dos resultados (CRUZ et al., 2012). Também é preciso considerar que alguns métodos são alternativos, enquanto outros são complementares, podendo ser utilizados conjuntamente (CARGNELUTTI FILHO et al., 2009).

2.5.1 Índice Z

Para o índice Z, a variável padronizada Z_{ij} é obtida pelo estimador: $Z_{ij} = (y_{ij} - \bar{y}_{.j})/s_j$, em que Z_{ij} é o valor da variável padronizada da população i ($i = 1, 2, \dots, n$) na repetição j ($j = 1, 2, 3, \dots, n$); y_{ij} é a observação da variável da população i na repetição j ; $\bar{y}_{.j}$ é a média geral da

variável das diversas populações na repetição j e s_j é o desvio-padrão fenotípico da variável da repetição j (MENDES; RAMALHO; ABREU, 2009).

Como a variável Z_{ij} assume valores negativos e positivos, faz-se a soma de um valor às suas estimativas, para tornar impossível a ocorrência de valores negativos. Após a padronização das variáveis, é obtido o somatório $Z_{ij} (n \sum_{k=1} Z_{ij})$ por parcela, que corresponde ao somatório das variáveis padronizadas. A variável $(n \sum_{k=1} Z_{ij})$ é utilizada como índice de seleção (índice Z), no qual os maiores valores corresponderam ao índice favorável e os menores valores ao índice desfavorável à seleção (MENDES; RAMALHO; ABREU, 2009).

2.5.2 GGE Biplot

Na metodologia GGE Biplot (*genotype main effects + genotype environment interaction*), proposto por Yan et al. (2000), considera-se o efeito principal de genótipo mais a interação genótipo e ambiente. Ambas as análises, baseadas em gráficos biplot, representam graficamente uma matriz de dados.

No Método GGE o co-seno do ângulo entre dois ambientes corresponde à correlação genética entre eles. Outros tipos de biplots não apresentam essa propriedade (YAN et al., 2007), o que torna essa metodologia mais eficiente em relação a outras técnicas baseadas em biplot (YAN, 2011). Tal metodologia é descrita da seguinte maneira:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \Phi_{ij}$$

Em que:

Y_{ij} : é o desempenho esperado do genótipo i no ambiente j ;

μ : é a média geral das observações;

α_i : é o efeito principal do genótipo i ;

β_j : é o efeito principal do ambiente j ;

Φ_{ij} : é a interação entre o genótipo i e o ambiente j .

Logo a variação fenotípica, nessa análise, é resultante do efeito genotípico (α_i), do ambiente (β_j) e da interação entre genótipo e ambiente (Φ_{ij}) (YAN; KANG, 2003). Nesta metodologia, apenas o efeito principal de genótipo (G) e do genótipo x interação ambiental (GE) são importantes, devendo ser considerados concomitantemente. Estima-se que o efeito

principal do ambiente não é relevante à seleção de cultivares. Isso se deve ao fato de que, na seleção de cultivares e formação de megaambientes, a capacidade adaptativa dos genótipos é mais importante em relação às condições agroclimáticas (CAMARGO-BUITRAGO et al., 2011). O modelo GGE biplot não separa G da GE, mantendo-os juntos em dois termos multiplicativos, que podem ser visualizados na equação:

$$Y_{ij} - \mu - \alpha_i - \beta_j = g_{i1}e_{i1} + g_{i2}e_{i2} + \mathcal{E}_{ij}$$

Em que:

Y_{ij} : é o rendimento esperado do genótipo i no ambiente j ;

μ : é a média geral das observações; α_i é o efeito principal do genótipo i ;

β_j : é o efeito principal do ambiente j ;

g_{i1} e e_{i1} : são os escores principais do genótipo i e ambiente j , respectivamente;

g_{i2} e e_{i2} : são os escores secundários para o genótipo i e ambiente j , respectivamente;

\mathcal{E}_{ij} : é o resíduo não explicado por ambos os efeitos.

Assim sendo, a construção do gráfico biplot no modelo GGE se dá por meio da dispersão simples de g_{i1} e g_{i2} para genótipos e e_{i1} e e_{i2} para ambientes. O escore primário é obtido pela decomposição do valor singular (SVD), nas três matrizes oriundas de uma tabela, que apresenta os valores de genótipos e ambientes. A SVD é importante na análise biplot, pois permite computar os componentes principais e, também, fornece uma medida da variabilidade capturada por cada um dos componentes (YAN, 2002; YAN; TINKER, 2006).

REFERÊNCIAS

- ALTHOFF, D. A; BRAGA, H. J; VIEIRA, H. J. **Determinação das melhores épocas de plantio do milho precoce e tardio para a região oeste de Santa Catarina.** Florianópolis: EMPASC, 1987. 37 p. (Documentos, 88).
- AMARANTE, C. V. T. et al. Disponibilidade de luz em macieiras ‘Fuji’ cobertas com telas antigranizo e seus efeitos sobre a fotossíntese, o rendimento e a qualidade dos frutos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 31, n. 3, p. 664-670, 2009.
- AMARANTE, C. V. T. et al. Radiação, fotossíntese, rendimento e qualidade de frutos em macieiras 'Royal Gala' cobertas com telas antigranizo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 7, p. 925-931, 2007.
- ANNICCHIARICO, P. Cultivar adaptation and recommendation from alfalfa trials in Northern Italy. **Journal of Genetics and Breeding**, Rome, v. 46, n. 1, p. 269–278, 1992.
- BARROSO, L. M. A. et al. Metodologia para análise de adaptabilidade e estabilidade por meio de regressão quantílica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 4, p. 290-297, 2015.
- BARROSO, L. M. A. et al. Uso do método de Eberhart e Russell como informação a priori para aplicação de redes neurais artificiais e análise discriminante visando a classificação de genótipos de alfafa quanto à adaptabilidade e estabilidade. **Revista Brasileira de Biometria**, Lavras, v. 31, n. 2, p. 176–188, 2013.
- BATISTA, L. A. et al. Anatomia foliar e potencial hídrico na tolerância de cultivares de café ao estresse hídrico. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 41, n. 3, p. 475-481, 2010.
- BERLATO, M. A.; SUTILI, V. R. Determinação das temperaturas-base dos subperíodos emergência-pendoamento e emergência-espigamento de três cultivares de milho (*Zea mays* L.). In: REUNIÃO TÉCNICA DO MILHO E SORGO, 21., 1976, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS, 1976. p. 523-527.
- BLEICHER, J. História da macieira. In: EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA. **A cultura da macieira.** Florianópolis, 2002. 743 p.
- BRAGA, H. J. **Previsão agrícola: uma nova abordagem - uso de scanner aerotransportável e redes neurais.** Florianópolis: 1995. 150 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.
- BRUNINI, O. et al. Determinação dos índices biometeorológicos para variedades de arroz IAC- 1246 e Pratão precoce. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 28, n. 8, p. 928-931, 1976.
- BRUNINI, O. **Relações solo-água-plantas em cultura de arroz em condições de sequeiro.** 1975. 126 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1975.
- CALBO, M. E. R.; MORAES, J. A. Efeitos da deficiência de água em plantas de *Euterpe oleracea* (açai). **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 23, p. 225-230, 2000.

- CAMARGO-BUITRAGO, I. et al. Identificación de megaambientes para potenciar el uso de genótipos superiores de arroz en Panamá. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 9, p. 1601-1069, 2011.
- CAMILO, A. P.; DENARDI, F. Cultivares: descrição e comportamento no sul do Brasil. In: _____. **A cultura da macieira**. Florianópolis: EPAGRI, 2006. 743 p.
- CARGNELUTTI FILHO, A. et al. Associação entre métodos de adaptabilidade e estabilidade em milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, p. 340-347, 2009.
- CARNEIRO, P. C. S. **Novas metodologias de análise da adaptabilidade e estabilidade de comportamento**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1998.
- CASTRO, E. M.; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R. **Histologia vegetal**: estrutura e função de órgãos vegetativos. Lavras: UFLA, 2009. 234 p.
- CITADIN, I. et al. Heat requirement for blooming and leafing in peach. **HortScience**, Alexandria, v. 36, n. 2, p. 305-307, Apr. 2001.
- COUTINHO, G. **Quince cultivars selection to tropical regions**. 2017. 84 p. Tese (Doutorado em Agronomia / Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.
- COUTO, M. F. et al. Eberhart and Russel's Bayesian method in the selection of Popcorn Cultivars. **Crop Science**, Madison, v. 55, n. 2, p. 571, 2015.
- COUVILLON, G. A.; EREZ, A. Effect of level and duration of high-temperatures on rest in the peach. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Mount Vernon, v. 110, p. 579-581, 1985.
- CRUZ, C. D. et al. An alternative approach to the stability analysis proposed by Silva and Barreto. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v. 12, p. 567-580, 1989.
- CRUZ, C. D. et al. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2012.
- DAMARIO, E. A.; PASCALE, A. I. Estimation de sumas de temperaturas efectivas normales para estudios agroclimáticos. **Revista de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad de Buenos Aires**, Buenos Aires, v. 19, n. 3, p. 109-124, 1971.
- DENNIS JÚNIOR, F. G. Producing temperate-zone fruits at low latitudes: an overview. **HortScience**, Alexandria, v. 22, n. 10, p. 1226-1227, Oct. 1987.
- DIAS, D. H. M. **Requerimento de frio en frutales caducifolios**. Ciudad de México: SARH, 1987. 58 p. (Tema Didáctico, 2).
- DICKISON, W. C. **Integrative plant anatomy**. Washington: Academic, 2000. 533 p.
- EBERHART, S. A.; RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties 1. **Crop Science**, Madison, v. 6, p. 36-40, 1966.

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

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

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

FINLAY, K.; WILKINSON, G. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v. 14, p. 742-754 1963.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Statistical data bases**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 20 jul. 2018.

FREIRE, C. J. S. et al. A cultura da maçã. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. 107 p. (Coleção Plantar, 19).

GARRIZ, I. P.; COLAVITA, G. M.; ALVAREZ, H. L. Leaf characteristics and fruit growth as influenced by shade in 'Braeburn' apple trees. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 48, n. 278, p. 437-444, 2001.

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

HAUAGGE, R. Melhoramento genético de frutíferas de clima temperado para adaptação a regiões subtropicais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE FRUTÍFERAS, 2., 2000, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: Editora da UFV, 2000. p. 56-81.

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

HUNSCHE, M.; BLANKE, M. M.; NOGA, G. Does the microclimate under hail nets influence micromorphological characteristics of apple leaves and cuticles? **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 167, n. 12, p. 974-980, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?=&t=resultados>>. Acesso em: 20 jul. 2018.

JUNIPER, B. E.; WATKINS, R.; HARRIS, S. A. The origins of the apple. **Acta Horticulturae**, The Hague, n. 484, p. 27-34, 1998.

KORBAN, S. S.; SKIRVIN, R. M. Nomenclature of the cultivated apple. **HortScience**, Alexandria, v. 19, n. 1, p. 177-180, 1984.

- LAMBERS, H.; CHAPIN, F. S.; PONS, T. L. **Plant Physiological Ecology**. New York: Springer-Verlag, 1998. 540 p.
- LANG, G. A. et al. Endo-, para- and ecodormancy: physiological terminology and classification for dormancy research. **Hortscience**, Alexandria, v. 22, n. 3, p. 371- 178, 1987.
- LAVEE, S. Dormancy and bud break in warm climates: considerations of growth regulator involvement. Symposium on growth regulators in fruit production, Long Ashton. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 34, n. 1, p. 225-233, 1974.
- LAVEE, S.; MAY, P. Dormancy of grapevine buds: facts and speculation. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, Adelaide, v. 3, p. 31-46, 1997.
- LEITE, G. B. et al. Cultivo da macieira In: PIO, R. **Cultivo de fruteiras de clima temperado em regiões subtropicais e tropicais**. Lavras: UFLA, 2014. cap. 2, p. 56-79.
- LEITE, G. B.; PETRI, J. L.; MONDARDO, M. Efeito da tela antigranizo em algumas características dos frutos de macieira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 714-716, 2002.
- LIN, C. S.; BINNS, M. R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar × location data. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 68, p. 193-198, 1988.
- LUBY, J. J.; BEDFORD, D. S. **Honeycrisp apple**. Minneapolis: University of Minnesota, 1992.
- LUCHESE, A. A.; MONTENEGRO, H. W. S.; VILLA NOVA, N. A. Estimativa de graus-dia acumuladas no ciclo de frutificação de cultivares de abacateiros (*Persea americana*, MILLER). **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, Piracicaba, v. 34, p. 317-325, 1977.
- MARTÍNEZ DE TODA, F. **Biología de la vid: fundamentos biológicos de La viticultura**. Madrid: Mundi-Prensa, 1991. 346 p.
- MAUGET, J. C.; RAGEAU, R. Bud dormancy and adaptation of apple tree to mild winter climates. **Acta Horticulturae**, Lauven, v. 232, n. 1, p. 101–108, 1988.
- MAUSETH, J. D. **Plant Anatomy**. Menlo Park: The Benjamin/Cummings Publishing Company, 1988. 560 p.
- MELLO, L. M. R. **Produção e mercado brasileiro de maçã**. Bento Gonçalves: EMBRAPA Uva e Vinho, 2004. p. 1-4. (Comunicado Técnico, 50.).
- MENDES, F. F.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Índice de seleção para escolha de populações segregantes do feijoeiro-comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, p. 1312-1318, 2009.
- NASCIMENTO, M. et al. Association between responses obtained using adaptability and stability methods in alfalfa. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 6, p. 2545–2554, 2013.

NASCIMENTO, M. et al. Multiple centroid method to evaluate the adaptability of alfalfa genotypes. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 62, n. 1, p. 30–36, 2015.

OJIMA, M. et al. Fruticultura de clima temperado. In: FURLANI, A. M. C.; VIÉGAS, G. P. **O melhoramento de plantas no Instituto Agronômico**. Campinas: Instituto Agronômico, 1993. p.157-194.

OJIMA, M. et al. **Fruticultura de clima temperado na Estado de São Paulo**: diagnóstico da situação econômica e cultural e atividades de pesquisa no IAC. Campinas: Instituto Agronômico, 1984. 72 p. (Boletim Técnico, 89).

OLIVEIRA, I. et al. Compared leaf anatomy and water relations of commercial and traditional *Prunus dulcis* (Mill.) cultivars under rain-fed conditions. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 229, p. 226–232, 2018.

OSMOND, C. B. et al. Stress physiology and the distribution of plants. **BioScience**, Washington, v. 37, p. 38-48, 1987.

PEREIRA, L. B.; SIMIONI, F. J.; CARIO, S. A. F. Evolução da produção de maçã em Santa Catarina: novas estratégias em busca de maior competitividade. **Ensaio FEE**, Porto Alegre, v. 31, n. 1, 2010.

PETRI, J. L. et al. Avanços na cultura da macieira no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 1, p. 48-56, 2011.

PETRI, J. L. Fatores edafoclimáticos. In: EMPRESA DE PESQUISA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA. **A cultura da macieira**. Florianópolis, 2006. p. 105-112.

PETRI, J. L.; HERTER, F. G. Dormência e indução à brotação. In: MONTEIRO, L. B. et al. **Fruteiras de caroço**: uma visão ecológica. Curitiba: Editora da UFPR, 2004. p. 119-128.

PETRI, J. L.; LEITE, G. B. Macieira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 4, p.1-3, 2008.

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

PHIPPS, J. B. et al. A checklist of the subfamily *Maloideae* (*Rosaceae*). **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 68, p. 2209–2269, 1990.

PINTO, C. M. et al. Crescimento, distribuição do sistema radicular em amendoim, gergelim e mamona a ciclos de deficiência hídrica. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 39, n. 3, p. 429-436, 2008.

PIO, R. et al. Dormência das fruteiras de clima temperado In: PIO, R. **Cultivo de fruteiras de clima temperado em regiões subtropicais e tropicais**. Lavras: UFLA, 2014. cap. 2, p. 123-157.

PLAISTED, R. L.; PETERSON, L. C. A technique for evaluating the ability of selections to yield consistently in different locations or seasons. **American Potato Journal**, Orono, v. 36 n. 11, p. 381–385, 1959.

RAMALHO, M. A. P. et al. Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas. In: _____. **Seleção simultânea para várias características**. Lavras: UFLA, 2012. 522 p.

RESENDE, M. D. V. **Métodos estatísticos ótimos na análise de experimentos de campo**. Colombo: Embrapa Florestas, 2004.

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

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

ROCHA, R. B. et al. Avaliação do método centroide para estudo de adaptabilidade ao ambiente de clones de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, p. 255–266, 2005.

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

SCULTHORPE, C. D. **The biology of aquatic vascular plants**. London: E. Arnold, 1967. 609 p.

SHAHAK, Y. et al. ColorNets: a new approach for light manipulation in fruit trees. **Acta Horticulturae**, The Hague, n. 636, p. 609-616, 2004.

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

SILVA, H.; ACEVEDO, E.; SILVA, P. Anatomia del tejido fotosintético de diez taxa de *Opuntia* establecidos en el secano árido mediterráneo de Chile. **Revista Chilena de História Natural**, Santiago do Chile, v. 74, p. 341-351, 2001.

SILVA, W. C. J.; DUARTE, J. B. Métodos estatísticos para estudo de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 1, p. 23–30, 2006.

SMIT, A. **Apple tree and fruit responses to shade netting**. 2007. 136 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Agricultura) - Universidade de Stellenbosch, Stellenbosch, 2007.

SOLOMAKHIN, A.; BLANKE, M. M. Can coloured hailnets improve taste (sugar, sugar: acid ratio), consumer appeal (colouration) and nutritional value (anthocyanin, vitamin C) of apple fruit? **Food Science and Technology**, Tsukuba, v. 43, n. 8, p. 1277-1284, 2010b.

SOLOMAKHIN, A.; BLANKE, M. M. Coloured hailnets alter light transmission, spectra and phytochrome, as well as vegetative growth, leaf chlorophyll and photosynthesis and reduce flower induction of apple. **Plant Growth Regulation**, New York, v. 56, n. 3, p. 211–218, 2008.

SOLOMAKHIN, A.; BLANKE, M. M. The microclimate under coloured hailnets affects leaf and fruit temperature, leaf anatomy, vegetative and reproductive growth as well as fruit coloration un apple. **Annals of Applied Biology**, Londres, v. 156, p. 121-136, 2010a.

TAI, G. C. C. Genotypic stability analysis and its application to potato regional trials. **Crop Science**, Madison, v. 11, p. 184-190, 1971.

WAY, R. D. et al. Apples (*Malus*). In: MOORE, J. N.; BALLINGTON, J. R. (Ed.). **Genetic resources of temperate fruit and nut crops**. Wageningen: International Society for Horticultural Sciences, 1990. p. 3-62.

WEINBERGER, J. H. Chilling requirements of peach varieties. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, Geneva, v. 56, p. 122-128, 1950.

WRICKE, G. Zur Berechnung der Ökovalenz bei Sommerweizen und Hafer. **Pflanzenzuchtung**, Berlin, v. 52, n. 1, p. 127–138, 1965.

YAN, W. et al. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE Biplot. **Crop Science**, Madison, v. 40, n. 3, p. 597-605, 2000.

YAN, W. et al. GGE Biplots vs. AMMI analysis of genotypeby- environment data. **Crop science**, Madison, v. 47, n. 2, p. 643-655, 2007.

YAN, W. GGE biplot vs. AMMI graphs for genotype-byenvironment data analysis. **Journal of the Indian Society of Agricultural Statistics**, New Delhi, v. 65, n. 2, p. 181-193, 2011.

YAN, W.; KANG, M. S. **GGE biplot analysis: a graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists**. Flórida: Boca Raton, 2003. 286 p.

YAN, W. Singular-value partitioning in biplot analysis of multienvironment trial data. **Agronomy Journal**, Madison, v. 94, n. 5, p. 990-996, 2002.

YAN, W.; TINKER, A. Biplot analysis of multi environment trial data: principles and applications. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 86, n. 3, p. 623-645, 2006.

YURI, H. M. **Gestão de risco de granizo pelo seguro e outras alternativas: estudo de caso em pomares de maçã de Santa Catarina**. 2003. 145 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

ZAGDANSKA, B.; KOZDOJ, J. Water stress-induced changes in morphology and anatomy of flag leaf of spring wheat. **Acta Societatis Botanicorum Poloniae**, Warszawa, v. 63, p. 61-66, 1994.

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

EXPERIMENTO 1

ARTIGO 1

Adaptability and Phenotypic Stability of Apple Cultivars in a Subtropical Climate

Artigo formatado de acordo com as normas da Revista Trees

Keywords: *Malus domestica*, Temperate fruit crops, Genotype × environment interaction, Plant breeding

Abstract –Apple (*Malus domestica* Borkh.) evolved as a temperate climate fruit crop. Breeding programs have selected cultivars with a lower chill requirement that are adapted to subtropical climates. Apple production in these regions is socioeconomically valuable since fruit is harvested earlier than cooler regions. Understanding the adaptability and phenotypic stability in subtropical climate regions across multiple cropping seasons is important to ensure high productivity. The aim here was to evaluate the adaptability and phenotypic stability of seven apple cultivars that have been selected for a subtropical climate region. The experiment was conducted in the experimental orchard of the Federal University of Lavras, Minas Gerais, Brazil, in a highland subtropical climate. Phenology and productivity was measured including the mean number of fruit per plant, fruit weight (g), production per plant ($\text{kg}\cdot\text{plant}^{-1}$), mean estimated yield ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$), and sum of chill hours, from four production cycles. Fruit quality was assessed for fruit from two production cycles. The data were subjected to analysis of variance and the mean values were compared by the Scott-Knott test at 5% significance. The genotype × environment interaction was analyzed by the GGE biplot method, in which one univariate (yield) analysis was carried out and another analysis for the Z index score. The Z selection index, the seasonal variation contributed significantly to the performance of each cultivar. Eva had the highest accumulated yield during the four production cycles and Imperatriz and Gala, had the lowest yields. Chilling requirements were the lowest for the cultivars ‘Princesa’, ‘Eva’ and ‘Julieta’. The cultivars Eva, Princesa and Julieta were the most stable for yield and also

for the Z index. Of the seven cultivars tested, Eva and Julieta were the most adaptable and stable in subtropical climate regions.

1 INTRODUCTION

Temperate, woody perennial species have adapted to survive winter conditions by requiring a chilling period to prevent early bud break under warm winter conditions that would increase the susceptibility to injury during winter. Apple needs exposure to a period of low temperatures ($\leq 7.2^{\circ}\text{C}$) during the winter to obtain good fruit yield and quality. However, the length of the chilling period is different for each cultivar. The winter chill requirements for apple ranges from less than 200 hours to more than 1000hours. Due to this genotypic variability in the chill requirement, apple production occurs on all five continents, including temperate climates as well as subtropical climates at high altitudes (Luby, 2003).

Breeding of commercial apple for subtropical regions has produced cultivars with low chilling requirements. Although the cultivar choices are limited relative to temperate growing regions, the availability of these cultivars has allowed the expansion of apple production to non-traditional regions. Furthermore, the adoption of temperate climate fruit cultivars that require a smaller number of chill hours when grown in regions with a mild winter means that fruit can be harvested out of season for temperate cultivars (Barbosa et al., 2010). The beginning of the harvest season in subtropical regions of Brazil occurs earlier relative to the traditional production regions of Rio Grande do Sul and Santa Catarina (Araújo et al., 2008). Earlier maturation occurs because of the warmer winter climate, which makes it possible to prune trees and chemically-induce bud break during winter since there is no frost risk (Bettiol Neto et al., 2011).

For fruit-bearing plants from temperate climates, endogenous and environmental factors interact differently for each genotype. The environmental conditions, characteristics of the locations where the genotype was developed, and the variation from one year to another, play an important role in determining the chill requirements for each genotype. These factors, combined, may affect the breaking of endodormancy in the buds (Viti et. al., 2010). There are genetic differences among the genotypes that can affect the depth of endodormancy (chilling requirement) and ecodormancy (heat requirement for bud break). The interaction between these factors may contribute to the adaptability and stability for bud development, fruit set, and shoot growth of different genotypes (Scariotto et. al., 2013). In apple breeding, various traits should be individually considered, including, sum of chill hours, and fruit quality. An

alternative for selecting new cultivars that have agronomic, sensory, and phenological properties is the use of selection indices. Through the incorporation of all the measured phenotypes into aggregate indices, it is then possible to select genotypes most adaptable for production (Ramalho et al., 2012). Selection indices have been used for other perennial crops (Resende, 2002). However, the use of a selection index in apple has not been used for genotypic selection for adaptability for subtropical apple production.

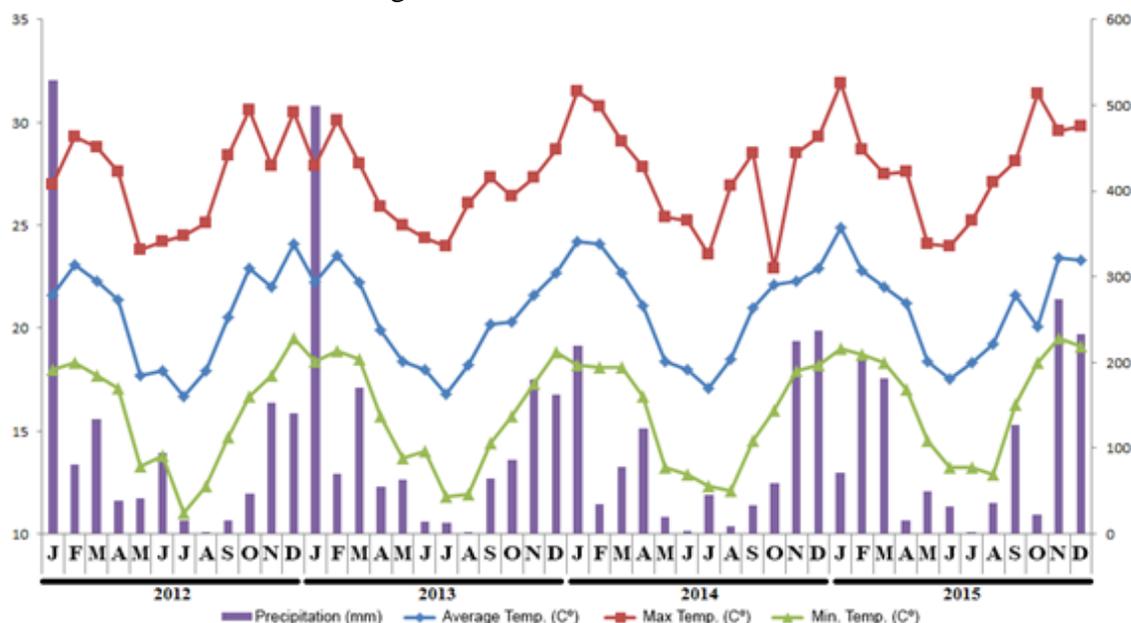
Complex traits of quantitative inheritance are highly influenced by environmental factors that can be predictable or unpredictable. Perennial plants that remain for various crop years in the field are more subject to the fluctuations inherent to these unpredictable factors. Analyses of adaptability and consistency are statistical procedures that allow identification of cultivars with a more stable response and those that are less plastic under scenarios of high environmental variability. Thus, it is important to evaluate new cultivars over several crop seasons to identify those with greater adaptability and phenotypic stability (Pelúzio et al., 2015). The aim of this study was to evaluate the adaptability and phenotypic stability of apple cultivars introduced in a subtropical climate region of Brazil through consideration of a range of agronomic traits, adopting a univariate approach and selection index. The adoption of a selection index would provide increased confidence for the selection of cultivars adaptable for apple production in subtropical climates.

2 MATERIALS AND METHODS

Plant material and experimental design

The experiment was conducted from 2012 to 2015 at the experimental orchard of the Federal University of Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brazil (21°14'S, 45°00'W) in a highland subtropical climate (841 m altitude). The climate in the experimental location is classified as a sub-tropical dry winter climate (Cwa) according to the Köppen classification (Dantas et al., 2007) with a cool and dry winter combined with a hot and humid summer. The mean temperature during the experimental period was 20.9°C, oscillating between 24.9°C and 17.1°C. The mean annual rainfall during this period was 1,166 mm (Figure 1). The soil is classified as a dystrophic oxisol.

Figure 1. Weather data from January 2012 to December 2015 in Lavras, MG, Brazil. Source: Lavras Main Climatological Station – UFLA/INMET.



The experiment was carried out in one location during four seasons. It was set up in a randomized block design with seven apple cultivars separated into four replications with three trees per replicate. The seven cultivars that were evaluated were ‘Eva’, ‘Rainha’, ‘Princesa’, ‘Julieta’, ‘Imperatriz’, ‘Baronesa’ and ‘Gala Real’ (Table 1) grafted onto ‘Marubakaido’ rootstock with a ‘M-9’ interstem. The trees were planted in the experimental orchard in June 2009 at a spacing of 3.0 x 1.5 m (2,222 plants ha⁻¹). After planting, the trees were trained to a central leader. Evaluation started during winter pruning of 2012, where trees had filled their allotted space three years after planting. Pruning and the induction of floral and vegetative bud break was carried out in June of each year when the buds were still dormant using 0.5% hydrogenated cyanamide applied during the second half of June for each year, Dormex® (Petri et al., 2002).

Table 1. List of the cultivars studied, description and origin.

Identification	Cultivars	Genealogy	Origin
1	Eva	Gala x Anna	Brazil
2	Princesa	NJ 56 x Anna	USA
3	Rainha	Golden Delicious x Valiense	Brazil
4	Julieta	Anna x Mollie’s Delicious	Brazil
5	Imperatriz	Somatic Mutation from Gala	New Zealand
6	Baronesa	Princesa x Fuji	Brazil
7	Gala Real	Mutation from Gala	New Zealand

Phenology

From 2012 to 2015, daily observations of flowering and fruiting patterns were made during the reproductive period and fruit development. From these observations, the dates of the start (5% flowers open) and end of flowering (95% or more of flowers open), beginning and end of harvest, and the length of time of flowering and harvest were calculated for each of the four production cycles. The number of chill hours (CH) required to break dormancy were calculated using the number of hours below 12°C from the first of May to the date of the beginning of flowering (5% open flowers) for each cultivar (Citadin et al., 2003). According to Petri et. al, 2012, working with apples, also cultivars 'Baronesa and 'Imperatriz', although there are many methods to accurate the chilling requirements (Mota, 1957; Erez and Lavee 1971; Richardson et al., 1974; Girealth & Buchanan, 1981; Shaltout and Unrath, 1983), the cultivars with low chilling requirements to overcome dormancy, need temperatures higher than those with high chilling requirements. Effective temperature in order to accumulate cold ranges according to the cultivar, and it is able reaching until 15° C in case of cultivar of lower demand in cold. The chilling hours in Lavras at the experiment considered below 12° C from April to September in 2012, 2013, 2014 and 2015 respectively were, 326, 292, 362 and 133 hours.

Productivity and fruit quality

At harvest, the number of fruit per plant, fruit weight (g), production per plant (kg plant^{-1}), and estimated yield (t ha^{-1}) were recorded for each of the four production cycles (2012 to 2015). The weights for each harvest day were combined to provide the total production per tree. The estimated yield was calculated by multiplying production by planting density ($2,222 \text{ plants ha}^{-1}$).

In 2014 and 2015, at the point of physiological maturity post-harvest quality was measured for four repetitions containing ten fruits each, randomly selected from each cultivar. Fruit firmness was measured for each fruit using an Effegi hand-operated penetrometer equipped with an 8 mm plunger and measuring firmness in the equatorial region of the fruit after removal of the epidermis. Total titratable acidity was determine by manually titration techniques with sodium hydroxide solution (0.1 N), expressed in grams of citric acid per 100 g of pulp. Soluble solids content (°Brix) was estimated using a handheld digital refractometer (DR 193 A).

Statistical Analysis

The data were subjected to analysis of variance, and the mean values were compared by the Scoot-Knott test at 5% significance using the SISVAR statistical program (Ferreira, 2014). Estimates of the coefficients of correlation were calculated by the Pearson method using the R statistical program (R core team, 2016) version 3.2.1 and package GGEBiplotGUI. The traits selected for standardization of the Z index were those that had the highest correlation. Traits that were redundant were excluded from the analysis leaving the following variables combined in the principal components, estimated production per plant, accumulated yield, and accumulation of chill hours (Table 2). The SAS program was used to calculate the Z index, called the sum of standardized variables index (Mendes et al., 2009).

Table 2. Simple Pearson correlation coefficient among the traits of mean fruit weight - g (1).number of fruits (2).production per plant – kg plant⁻¹ (3). yield – t ha⁻¹ (4).fruit height – mm (5).fruit diameter – mm (6).number of branches plant⁻¹ (7).plant height – m (8).canopy diameter – m (9).stem diameter – mm (10).trunk cross section area – TCSA (11).final size of the trunk cross section area – FSTCSA (12).accumulated yield (13).production efficiency (14).and chill hours cultivar⁻¹ (15).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	-	-0.90**	-0.81*	-0.81*	0.93**	0.97**	-0.97**	-0.84*	0.41	-0.50	-0.47	-0.42	-0.81*	-0.74	0.77*
2		-	0.98**	0.98**	-0.70	-0.80	0.82*	0.95**	-0.15	0.68	0.71	0.68	0.98**	0.64	-0.80*
3			-	1.00**	-0.57	-0.68	0.70	0.94**	-0.06	0.72	0.73	0.69	0.99**	0.63	-0.79*
4				-	-0.57	-0.68	0.70	0.94**	-0.06	0.72	0.73	0.69	0.99**	0.63	-0.79**
5					-	0.94**	-0.96**	-0.67*	0.45	-0.29	-0.21	-0.16	-0.58	-0.71	0.59
6						-	-0.96**	-0.69	0.58	-0.38	-0.35	-0.31	-0.68	-0.69	0.65
7							-	0.79*	-0.37	0.38	0.41	0.39	0.70	0.65	-0.67
8								-	0.06	0.60	0.67	0.66	0.94**	0.64	-0.82
9									-	0.19	0.33	0.36	-0.04	-0.51	0.08
10										-	0.88**	0.79*	0.76*	0.07	-0.67
11											-	0.99	0.75	-0.05	-0.63
12												-	0.71	-0.10	-0.58
13													-	0.60	-0.80
14														-	-0.58
15															-

Mean estimated production per plant, accumulated yield, and accumulation of chill hours were standardized per plot to allow for direct comparisons. The standardized variable Z_{ij} was obtained by the following estimator: $Z_{ij} = (y_{ij} - \bar{y}_{.j})/s_j$, in which Z_{ij} is the value of the standardized variable of the cultivars i ($i = 1, 2, \dots, 7$) in replication j ($j = 1, 2, 3, 4$); y_{ij} is the value of the variable of the cultivar i in replication j ; $\bar{y}_{.j}$ is the overall mean of the variable of the 7 cultivars in replication j and s_j is the standard deviation of the variable of replication j . After standardization of the variables, the sum $Z_{ij}(\sum_{k=1}^i Z_{ij})$ per cultivar was obtained, which corresponded to the sum of the four standardized variables. The value $\sum_{k=1}^i Z_{ij}$ was used as the selection index (Z index) in which the highest values correspond to the index favorable to the selection. After that, the following methods were used: Graphical Method (Nunes et al., 2005), for the study of adaptability and phenotypic stability of the cultivars and the GGE biplot method, which evaluates the effect of the genotype and of the genotype \times environment interaction (Yan et al., 2000).

The graphical method developed by Nunes et al. (2005) is based on standardization of the mean values of the cultivars evaluated in the experiments conducted in different environments according to the expression: $z_{ij} = (x_{ij} - \bar{x}_{.j})/s_j$. In this study, z_{ij} was replaced by the Z index, that is, the sum of the standardized variables. Standardization of the z_{ij} variable can assume positive and negative values; therefore, graphical visualization is easier through addition of a constant. Thus, the values of z_{ij} will always be positive. Standardization of the values of the Z index was used for construction of a diagram for each cultivar. The dimensions of the axes (environments) are equivalent to the values of the Z index for the cultivar i (1 to 7) in environment j (1, 2, 3, and 4).

The interaction between the years and the cultivars was presented through the GGE biplot method (genotype main effect and genotype by environment interaction), as described by Yan et al. (2000). Analysis was carried out as presented by Oliveira et al. (2010) using the R program, considering the simplified model of two principal components (Equation 1):

$$\bar{Y}_{ij} - \mu_j = \lambda_1 \gamma_{i1} \alpha_{j1} + \lambda_2 \gamma_{i2} \alpha_{j2} + \rho_{ij} + \bar{\epsilon}_{ij} \quad (1)$$

in which $\lambda_1 \gamma_{i1} \alpha_{j1}$ is the first principal component (PCA1) of the effect of genotypes (G) + the interaction (G \times E); $\lambda_2 \gamma_{i2} \alpha_{j2}$ is the second principal component (PCA2) of the effect of genotypes (G) + the interaction (G \times E); λ_1 and λ_2 are the eigenvalues associated with PCA1 and with PCA2; γ_{i1} and γ_{i2} are the scores of PCA1 and of PCA2, respectively, for genotypes;

α_{j1} and α_{j2} are the scores of PCA1 and of PCA2, concomitantly for environments, ρ_{ij} is the residue of the genotype \times environment interaction, corresponding to the principal components not retained in the model, and $\bar{\epsilon}_{ij}$ is the residue of the model with normal distribution, with zero mean, and variance σ^2/r (where σ^2 is the variance of the error between plots for each environment, and r is the number of replications). Statistical analyses were made as split plots in time, with time (production cycles) constituting the main plots and the cultivars the split plots. The estimate of precision was evaluated by the CV(%) and the accuracy. Mikhail e Ackermann (1976) affirmed accuracy refers to the degree of closeness of a estimate to its parameters.

3 RESULTS

Fruit production per plant, accumulated yield across four production cycles, and the estimated chilling requirements were significantly different among cultivars ($P < 0.05$). The estimates of accuracy (Table 3) reflect the precision with which the data were obtained. In this study, the values obtained for this parameter were higher than 0.80. The cultivars, Eva and Julieta, had the highest estimated yield at 22.15 and 20.70 t ha⁻¹, respectively. Imperatriz (3.60 t ha⁻¹) and Gala (1.98 t ha⁻¹) had the lowest estimated yield of the cultivars evaluated with a mean estimated yield of 3.6 and 1.98 t ha⁻¹, respectively. Eva had the highest accumulated yield during the four production cycles with 44.43 t ha⁻¹ and the cultivars, Imperatriz and Gala, had the lowest yields, with 6.35 and 4.01 t ha⁻¹, respectively.

Table 3. Mean phenotypic values of the estimated yield variables (EY, t ha⁻¹), accumulated yield (AY, t ha⁻¹), accumulation of chill hours (CH, number of hours below 12°C), duration of flowering (DF, in days) and duration of harvest (DH, in days) in apple cultivars in the years 2012, 2013, 2014 and 2015.

Cultivars	EY	AY	CH	DF	DH
Eva	22.15 a	44.43 a	131.00 d	96.00 a	85.50 a
Princesa	17.47 b	37.35 c	128.00 d	110.50 a	96.00 a
Rainha	8.13 d	16.37 e	139.93 c	60.00 b	55.00 b
Julieta	20.70 a	41.39 b	131.68 d	97.00 a	86.50 a
Imperatriz	3.60 e	6.35 f	175.93 a	30.50 c	19.00 d
Baronesa	13.86 c	28.98 d	144.75 c	94.50 a	61.00 b
Gala Real	1.98 e	4.01 f	159.75 b	20.00 d	34.00 c
Accuracy	0.82	0.90	0.99	0.92	0.85
C.V (%)	14.36	10.49	10.62	10.91	24.70

*Mean values followed by the same letter belong to the same group by the Scott-Knott test ($P \leq 0.01$).

Chilling requirements were the lowest for the cultivars ‘Princesa’, ‘Eva’ and ‘Julieta’ with 128, 131 and 131.68 chilling hours below 12°C, respectively. In contrast, the cultivar Imperatriz required an average of 175.93 chilling hours to begin flowering and break dormancy. The time of flowering and duration of harvest was significantly different among the cultivars evaluated in this study. Princesa, Julieta, Eva and Baronesa had the longest periods of flowering at 110.5, 97.0, 96, and 94.5 days, respectively. In contrast, Imperatriz had the shortest duration of flowering of only 30.5 days. This was primarily due to the low flowering rate because of poor climate adaptation, resulting from the high chilling demand. Princesa, Julieta and Eva had the longest harvest durations of 96, 86.5, 85.5 days, respectively and Imperatriz had the shortest harvest duration of 19 days. Although Imperatriz had the shortest harvest duration, this did not occur due to a uniform harvest, but rather as a consequence of low fruit set.

Total soluble solids (TSS) was significantly different among cultivars. The cultivars Eva, Rainha and Gala Real exhibited the highest TSS contents with 12.07, 12.04 and 12.39 °Brix, respectively (Table 4). Titratable acidity was the greatest in Eva, Rainha and Gala Real with titratable acidity of 0.51, 0.53 and 0.47 %, respectively whereas the Julieta and Baronesa were the least acidic cultivars. However, the greatest TSS/TA ratios, an indicator of sweetness, occurred in fruit harvested from the cultivars Baronesa and Julieta. Fruit firmness was not correlated to other fruit quality metrics, however it varied significantly among cultivars with Rainha, Imperatriz, Baronesa and Gala Real showing the greatest fruit firmness, followed by ‘Eva’. Princesa and Julieta were softer with an average 35.55 and 33.55 N, respectively.

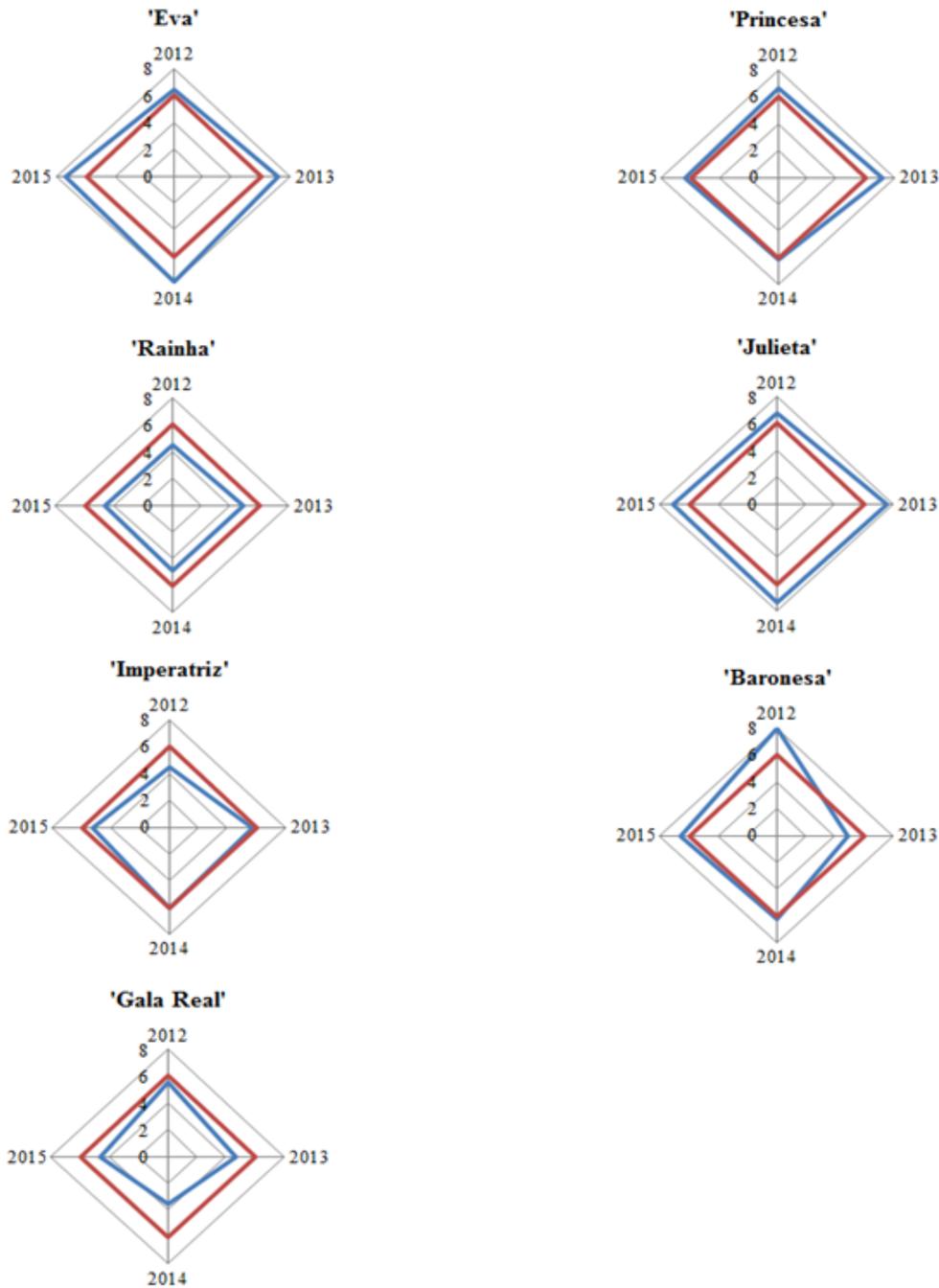
Table 4. Total soluble solids (TSS), total titratable acidity (TTA), TSS/TA ratio and firmness in fruits of different apple cultivars in 2014 and 2015. Letters denote significant differences among means. Mean values followed by the same letter belong to the same group by the Scott-Knott test ($P \leq 0.01$).

Cultivars	TSS (°Brix)	TTA (%)	Ratio (TSS/TTA)	Firmness (N)
Eva	12.07 a	0.51 a	23.66 b	44.23 b
Princesa	10.89 b	0.37 b	29.43 b	37.55 c
Rainha	12.04 a	0.53 a	22.72 b	55.25 a
Julieta	10.38 c	0.23 c	45.13 a	33.55 c
Imperatriz	11.32 b	0.40 b	28.30 b	55.45 a
Baronesa	9.04 d	0.22 c	41.09 a	51.89 a
Gala Real	12.39 a	0.47 a	26.36 b	52.40 a
CV (%)	6.46	13.52	10.39	10.61

*Mean values followed by the same letter belong to the same group by the Scott-Knott test ($P \leq 0.01$).

Selection index, incorporating many measured traits, was shown to be a valuable tool for cultivar choice in specific locations. The cultivars Eva and Julieta had the highest Z indices for estimated production per plant and accumulated yield over the four years of observation. Genotypes that had higher Z index were considered promising for selection since they showed superiority for most of the desired traits. Figure 2 represents seven apple cultivars introduced in a region of subtropical climate region. In addition, cultivars with higher Z indices had lower chill requirements for overcoming the winter period, suggesting that these cultivars are better adapted to the environment in which they were introduced and consequently, had better agronomic response than the others.

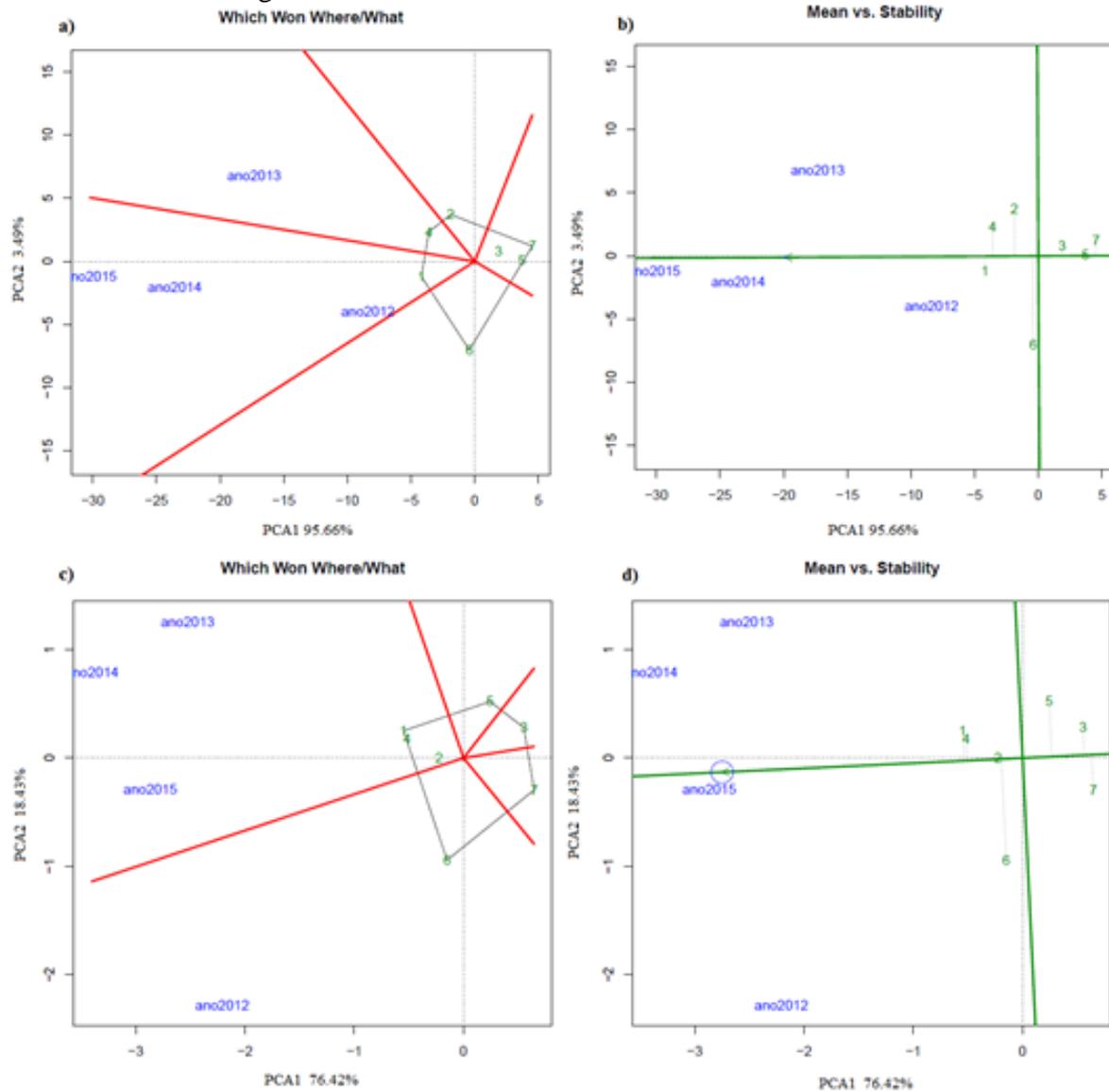
Figure 2. Graphical representation for the Z index (blue lines) for the traits of estimated production per plant, accumulated yield and accumulation of chill hours of seven apple cultivars in four years of production compared with the overall mean of the 7 cultivars in the four years (2012, 2013, 2014 and 2015).



The stability of horticultural traits are indicated using the GGE biplot (Figure 3). The GGE biplot analysis was used to provide a comprehensive assessment of year-to-year adaptability and phenotypic stability of each cultivar that was evaluated for yield and the Z summation index. The share of the genotype \times environment ($G \times E$) interaction through the GGE biplot analysis indicate that the principal components (PCA1 and PCA2) represented

99.15% and 99.85% of the sum of squares of $G \times E$ of the mean of yield and of the sum of the Z index, respectively. These components account for the majority of total variation through performance of the genotypes and their interaction with the environment ($G + G \times E$). Using the WhichWonWhere/What approach, Eva had the most stable yield (Figure 3a). In contrast, the GGE biplot of the Z index indicated that in addition to Eva, Princesa and Julieta also showed indications of stability and adaptability in a low chill environment (Figure 3c). The cultivars Eva, Princesa and Julieta were the most stable for yield and also for the Z index (Figure 3b and 3d). Analyzing the two components of the graphical representation, the best cultivar for yield would be Eva considering adaptability and phenotypic stability.

Figure 3. a) The polygon of the GGE biplot shows which apple cultivars obtained the best estimated yield according to the WhichWonWhere/What method. b) Mean values of performance and stability for estimated yield by the Mean vs. Stability method in the 2012, 2013, 2014 and 2015 crop years. c) The polygon of the GGE biplot shows which apple cultivars obtained the best performance in the crop years considering the Z index and d) Mean values of performance and stability for estimated production per plant, accumulated yield and accumulation of chill hours of apple cultivars by the Mean vs. Stability method in 2012, 2013, 2014 and 2015 considering the Z index. Codes numbers of the cultivars as in table 1.



The formation of two groups of environments can be seen (called mega-environments) for yield (Figure 3a). Mega-environment I is constituted of the years 2012, 2014 and 2015 and mega-environment II is the year 2013. In mega-environment I, the cultivar with the highest yield is Eva and in mega-environment II the cultivar Julieta. Similarly, in Figure 3c, there are two mega-environments, mega-environment I consisting of the years 2013, 2014 and 2015 and mega-environment II of the year 2012. The cultivars Eva, Princesa and Julieta showed

high productivity in mega-environment I while Baronesa showed high productivity in mega-environment II. The identification of two mega-environments was not associated with differences in temperature. The year 2012 was the third year of the plant in the field and the first year of production, that is why had low productivity, this is the main factor separating 2012 from the other years. In the WhichWonWhere analysis displayed in Figure 3a and 3c, Eva was distinct from other cultivars in both the univariate analysis (yield) and in the Z index. Additionally, in the Mean vs Stability approach and GGE biplot for the PCA2 which reveals that Eva was the most stable genotypes as indicated by its proximity to the zero axis.

4 DISCUSSION

The production of world apple is mainly located in temperate areas in which medium- to high-chill cultivars are widely growing (Castro et al., 2016). Subtropical regions are characterized by a milder winter in relation to temperate ones thus providing a climate with a smaller amount of chill for deciduous species to overcome the dormancy period. In a subtropical environment, the primary limitation on productivity is often chilling. Therefore, low-chill apple cultivars have high adaptation and adequate productivity in warm-winter areas, where traditional cultivars fail to produce a regular annual yield. These cultivars allowed the expansion of apple production into warmer areas (Hauagge and Cummins, 2001). Thus, cultivars with a lower chill requirement have a better response than those with high chilling requirements. These variations result from individual differences in the need for chill hours (Weinberger, 1956) in order to overcome endodormancy and for the need for heat to promote bloom (Citadin et al., 2001). Chilling can impact survivability, quantity and quality of bloom, and consistency of yield.

These cultivars are grown in very low-chill regions, less than 350 chill hours are satisfactory for growing these cultivars (Castro et al., 2015; Denardi et al., 1988; Hauagge and Tsuneta, 1999; Pommer and Barbosa, 2009).

The occurrence of simultaneous flowering of pollinating and productive cultivars coinciding in full flowering of both cultivars increases the probability of high fruit set (Soltész1996). More uniform flowering also results in uniformity of harvest and a shorter harvest time (Tomaz et al., 2010). The duration of the flowering period for the cultivars, Eva and Princesa, reported by Castro et al. (2016), were less (34 and 43 days, respectively) than those observed in this study. These cultivars showed a pattern of two primary bloom periods among the different years. This phenomenon was also observed in this study.

Yield, one of the critical factors affecting the adaptability of a particular apple genotype to a region, was highly variable among cultivars and across years. The values observed in this study were higher than those found by Chagas et al. (2012) who obtained estimated mean yields of 20.65 t ha⁻¹ for Eva and 1.85 t ha⁻¹ for Imperatriz in two production cycles. Some cultivars, like Rainha, exhibit low yield in subtropical climate regions. Even though this cultivar was selected to have a low chill requirement, when grown in locations with a mild winter, they often have a high rate of bud abortion even under cold conditions near their requirements (Lichou and Thiery, 1981; Mohamed, 2008; Zuniga et al., 1991).

In relation to fruit quality, Chitarra and Chitarra (2005) stated that the SS/TA ratio is an important indication of flavor, because it combines the sugars and acids of the fruit. During the maturation period, the SS/TA tends to increase because of reduction in acids and increase in sugars, the absolute value depending on the cultivar. Firmness is an important characteristic when studying fruit quality because of indications that greater fruit firmness at harvest can also limit early softening and delaying in ripening during storage due to inhibition of the action of ethylene (Blankenship and Dole, 2003).

Eva was released by Agronomic Institute of Paraná - IAPAR in 1999, showing low chilling requirements and high productivity, thus allowing production in regions with mild winter (Hauaggeand Tsuneta, 1999). According to Chagas et al. (2012), cultivar 'Eva' shows good adaptation to the climate conditions of eastern São Paulo (a subtropical region) given the good growth and fruit production, corroborating the results obtained in the present study. Eva and Princesa have been positively grown in Latin America, Africa, and the Middle East (Castro et al., 2015; Pommer and Barbosa, 2009).

Later IAPAR released the cultivar Julieta, which also showed low chill requirements, to be used as a pollinator of Eva (Pio, 2014).

In relation to GGE biplot analysis, Yan et al. (2001) indicate that the ideal genotype should show high yields and be stable in different environments. In this study, the first principal component (PCA1) indicates the adaptability of the genotypes, it is thus highly correlated with yield (Yan et al., 2000). The second principal component (PCA2) close to zero would indicate the most stable genotypes (Yan et al., 2000).

5 CONCLUSION

Thus, considering the univariate approach and the Z selection index concludes that during the study, there were two different environments present. Chilling was a main contributor to the separation of productivity across multiple years. The Eva and Julieta cultivars showed high productivity and stability in production and show wide adaptability and phenotypic stability in subtropical regions. These cultivars have promise in using as parents for the development of higher quality apple cultivars for subtropical climate regions.

6 REFERENCES

- Araujo JPC, Rodrigues A, Scarpore Filho JA, and Pio R (2008) Influência da poda de renovação e controle da ferrugem nas reservas de carboidratos e produção de pessegueiro precoce. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 30 (2): 331-335.
- Barbosa W, Chagas EA, Pommer CV, and Pio R (2010) Advances in low-chilling peach breeding at Instituto Agrônomico, São Paulo State, Brazil. *Acta Horticulturae*. 872:47-150.
- Bettiol Neto JE, Cia P, Chagas EA, Sanches J, Pio R, and Atoniali S (2011) Produção e atributos de qualidade de cultivares de marmeleiro na região Leste paulista. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 33:1035-1042.
- Blankenship SM, and Dole JM (2003) 1-Methylcyclopropene: a review. *Postharvest Biology and Technology*. 28: 1-25.
- Castro DC, Álvarez NH, Gabriel P, Micheloud N, Buyatti M, and Gariglio NF (2015) Crop loading studies on Caricia and Eva apples grown in a mild winter area. *Sci. Agric*. 72: 237–244.
- Castro DC, Cerino MC, Gariglio N, and Radice S (2016) Study of reproductive behaviour in low-chill apples in warmer zones of Argentina. *Scientia Horticulturae*. 199: 124-132.
- Chagas EA, Chagas PC, Pio R, Neto JEB, Sanches J, do Carmo SA, Cia P, Pasqual M, and Carvalho AS (2012) Produção e atributos de qualidade de cultivares de macieira nas condições subtropicais da região Leste paulista. *Ciência Rural*. 42: 1764-1769.
- Chitarra MIF, and Chitarra AB (2005) Pós-colheita de frutos e hortaliças: Fisiologia e manuseio. Lavras. 785.
- Citadin I, Raseira MCB, Herter FG, and da Silva JB (2001) Heat requirement for blooming and leafing in peach. *HortScience*. 36(2): 305-307.
- Citadin I, Raseira MCB, Quezada AC, and Silva JB (2003) Herdabilidade da necessidade de calor para a antese e brotação em pessegueiro. *Revista Brasileira de Fruticultura* 25:118-123.
- Dantas AAA, Carvalho LG, and Ferreira E (2007) Classificação e tendência climática em Lavras, MG. *Ciência e Agrotecnologia*. 31:1862-1866.
- Denardi F, Hough LF, and Camilo AP (1988) Princesa apple. *HortScience*. 23 (4):787.
- Erez A, and Lavee S (1971) The effect of climatic conditions on dormancy development of peach buds. I – Temperature. *Proceedings of the American Society for Horticultural science*. Alexandria. 96(6):711- 714.
- Ferreira DF (2014) Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. *Ciênc. agrotec*. 38: 109-112.

- Gilreath PR, and Buchanan DW (1981) Rest prediction model for lowchilling 'Sungold' nectarine. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, Alexandria. 106(4):426-429.
- Hauagge R, and Cummins JN (2001) Pome fruits genetic pool for production in warm climates. In: Erez, A. (Ed.), *Temperate Fruits Crops in Warm Climates*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. p267-304.
- Hauagge R, and Tsuneta M (1999) 'IAPAR 75 - Eva', 'IAPAR 76 - Anabela' e 'IAPAR 77 - Carícia' - Novas cultivares de macieira com baixa necessidade em frio. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 21:239-242.
- Lichou J, and Thiery D (1981) Comportement de quelquesvarietes de pommiers a l'ile de laReunion. *Fruits*. 36: 317-326.
- Luby JJ (2003) Taxonomic classification and brief history. In: *Apple: Botanic, production and uses* (Ferree DC, Warrington IJ). Oxon: CABI Publising, 634.
- Mendes FF, Ramalho MAP, and Abreu AFB (2009) Índice de seleção para escolha de populações segregantes do feijoeiro-comum. *PesquisaAgropecuáriaBrasileira*. 44: 1312-1318.
- Mikhail E, and Ackerman F (1976) *Observations and Least Squares*. University Pressof America. p 497.
- Mohamed AKA (2008) The effect of chilling, defoliation and hydrogen cyanamide on dormancy release, bud break and fruiting of Anna apple cultivar. *Sci. Hortic*. 118: 25-32.
- Mota FS (1957) Os invernos de Pelotas - RS, em relação às exigências das árvores frutíferas de folhas caducas. *Pelotas: Instituto Agrônomo do Sul*. 18: 39.
- Nunes JAR, Ramalho MAP, and Abreu AFB (2005) Graphical method in studies of adaptability and stability of cultivars. *Annual Report of the Bean Improvement Cooperative*. 48:182-183.
- Oliveira RLD, Von Pinho RG, Balestre M, and Ferreira DV (2010) Evaluation of maize hybrids and environmental stratification by the methods AMMI and GGE biplot. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*. 10:247-253.
- Petri JL, Palladini JA, and Pola AC (2002) Dormência e indução da brotação da macieira. In: EPAGRI. *A cultura da macieira*. Florianópolis 261-298.
- Pelúzio JM, Fidelis RR, Giongo P, Silva JC, Cappellari D, Barros HB (2015) Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de soja em quatro épocas de semeadura no sul do Estado do Tocantins. *Revista Ceres*. 55(1): 34-40.
- Pio R (2014) *Cultivo de fruteiras de clima temperado em regiões subtropicais e tropicais*. 1 st.edn. Lavras. 1, 652.
- Pommer CV, and Barbosa W (2009) The impact of breeding on fruit production in warm climates of Brazil. *Rev. Bras. Frutic*. 31, 612-634.
- Putti GL, Petri JL, and Mendez M (2003) Temperaturas efetivas para a dormência da macieira (*Malus domestica* Borkh.). *Revista Brasileira de Fruticultura*. Jaboticabal.25(2):210-212.
- Ramalho MAP, Abreu AFB, Santos JB, and Nunes JAR (2012) Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas. In: Ramalho M.A.P. *Seleção simultânea para varias características*. 1st. Edn. Lavras 1:522.
- Resende, MDV (2002) *Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes*. Embrapa Informação Tecnológica. Brasília 975.
- Richardson EA, Seeley SD, and Walker DR (1974) A model for estimating the completion of rest for 'Redhaven' and 'Elberta' peach trees. *HortScience*. Alexandria. 9(4):331-332.

- Scariotto S, Citadin I, Raseira MCB, Sachet MR, Penso GA (2013) Adaptability and stability of 34 peach genotypes for leafing under Brazilian subtropical conditions. *Scientia Horticulturae*. 155: 111-117.
- Shaltout AD, and Unrath CR (1983) Rest completion prediction model for 'Starkrimson Delicious' apples. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. Alexandria. 108(6):957-961.
- Soltész M (1996) Flowering. In: J. Nyéki, M. Soltész. *Floral biology of temperate zone fruit trees and small fruits*. Budapest: Akadémia Kiadó, p.80-132.
- Tomaz ZFP, Lima CSM, Gonçalves MA, Rufato L, Rufato AR (2010) Crescimento vegetativo, floração e frutificação efetiva do pessegueiro 'Jubileu' submetido a diferentes comprimentos de internódios. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 45(9): 973-979.
- Viti R, Andreini L, Ruiz D, Egea J, Bartolini S, Iacona C, Campoy JA (2010) Effect of climatic conditions on the overcoming of dormancy in apricot flower buds in two Mediterranean areas: Murcia (Spain) and Tuscany (Italy). *Scientia Horticulturae*. 124:217-224.
- Weinberger JH (1956) Prolonged dormancy trouble in peaches in the southeast in relation to winter temperatures. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 67: 107-112.
- Yan W, Hunt LA, Sheng Q, and Szlavnic Z (2000) Cultivar evaluation and megaenvironment investigation based on the GGE biplot. *Crop Sci.* 40:597-605.
- Yan W, Cornelius PL, Crossa J, and Hunt LA (2001) Two types of GGE biplots for analyzing multi-environment trial data. *Crop Science*. 41: 656-663.
- Zuniga HJ, Baraona M, and Blanco FA (1991) Estudio comparativo de la polinización natural y artificial de la manzana cultivar Ana (*Malus sp.*) en una region alta de Costa Rica. *Uniciencia*. 8: 43-47.

EXPERIMENTO 2

ARTIGO 2

Anatomia foliar de macieiras em períodos sazonais sob condições subtropicais

Artigo formatado de acordo com a NBR 6022 (ABNT, 2003), conforme exigido pela UFLA

Características anatômicas de macieira em ambientes distintos sob condições subtropicais

Resumo: O déficit hídrico é considerado o principal estresse ambiental na agricultura e a melhoria do crescimento e produção das plantas sob esse estresse é um dos principais objetivos que tem caminhado o melhoramento de plantas e o manejo cultural. A macieira é uma planta que sofre com o estresse hídrico. As plantas que se desenvolvem sob déficit hídrico podem desenvolver estratégias fisiológicas e anatômicas para sobreviverem ou até mesmo produzirem frutos nesses ambientes. Diante da importância e da falta de estudos com relação à anatomia foliar em macieira para locais onde ocorra déficit hídrico, afim de auxiliar programas de melhoramento genético dessa fruteira, seja para introdução de cultivares em regiões onde haja esse problema, como também selecionar possíveis progênies para futuros cruzamentos, objetivou-se comparar as características anatômicas de folhas de macieira em dois ambientes distintos (seca e chuva) sob condições tropicais. Foram coletadas doze folhas completamente expandidas de sete cultivares de macieira ('Eva', 'Rainha', 'Princesa', 'Julieta', 'Imperatriz', 'Baronesa', e 'Gala Real'), localizadas no pomar experimental da UFLA, em duas épocas: déficit hídrico (Setembro) e chuvoso (Fevereiro). Foram avaliadas 16 características anatômicas além da descrição anatômica das folhas de macieira. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 7x2. As médias foram submetidas ao teste Scott-Knott de agrupamento de médias ao nível de 5% de probabilidade de erro. Foi feito também uma análise de divergência genética, de agrupamento das cultivares e de componentes principais com base nas características anatômicas avaliadas nas duas épocas. As folhas de macieira possuem características anatômicas que podem propiciar a produção dessa fruteira em locais com déficit hídrico, em regiões subtropicais. Existe divergência genética entre as cultivares de macieira estudadas com relação às características anatômicas. As cultivares 'Gala Real', 'Eva' e 'Baronesa' apresentam características morfológicas anatômicas com potencial de adaptação em locais com déficit hídrico.

Palavras-chave: *Malus domestica* Borkh., Déficit hídrico, Microscopia óptica, Microscopia eletrônica de varredura.

Abstract: Drought is the main environmental stress in agriculture and the improvement of the growth and production of the plant under this stress is one of the main objectives that has been the improvement of the plant and cultural management. The apple tree is a plant that suffers from water stress. Plants that growing under drought can develop anatomical and physiological strategies to survive or even produce fruits in these environmental. In view of the importance and lack of studies in relation to the foliar anatomy in apple trees for places

where water deficit occurs, in order to support programs of genetic improvement of this fruit, either to introduce cultivars in regions where there is this problem, as well as to select possible progenies for future crosses, the aim was to characterize and determine the genetic diversity based on the leaf anatomy of seven apple cultivars in two seasonal periods (water deficit and precipitation) in subtropical region. Twelve fully expanded leaves of seven apple cultivars (subtropical. Foram coletadas doze folhas completamente expandidas de sete cultivares de macieira ('Eva', 'Rainha', 'Princesa', 'Julieta', 'Imperatriz', 'Baronesa', and 'Gala Real') were collected in the UFLA experimental orchard, in two seasons: water deficit (September) and precipitation (February). Sixteen anatomical characteristics were evaluated in addition to the anatomical description of the leaves of apple trees. The experimental design was completely randomized in a 7x2 factorial scheme. The averages were submitted to the Scott-Knott method of grouping means at the 5% level of error probability. An analysis of genetic divergence, grouping of cultivars and main components was also made based on the anatomical characteristics evaluated in the two seasons. The leaves of apple trees have anatomical characteristics that can propitiate the production of this fruit tree in places with water deficit, in subtropical regions. There is genetic divergence among the apple cultivars studied in relation to the anatomical characteristics. The cultivars 'Gala Real', 'Eva' and 'Baronesa' present anatomical morphological characteristics with potential of adaptation in places with water deficit.

Keywords: *Malus domestica* Borkh., Water deficit, Optical microscopy, Scanning electron microscopy.

1 INTRODUÇÃO

O déficit hídrico é considerado o principal estresse ambiental na agricultura e a melhoria do crescimento e produção das plantas sob esse estresse é um dos principais objetivos que tem caminhado o melhoramento de plantas e o manejo cultural (CATTIVELLI et al., 2008; QUEIROZ-VOLTAN et al., 2014). Em macieiras (*Malus domestica*), o cultivo em ambientes com déficit hídrico afeta a massa das maçãs, reduzindo a produção (EBEL; EVANS, 2001). Podem ocorrer também alterações bioquímicas nas folhas em condições de déficit hídrico, desencadeando mudanças durante os estágios iniciais, ocasionando o aumento a concentração de substâncias protetoras (substâncias oxidantes) (SIRCELJ et al, 2005). Amendoeiras cultivadas em déficit hídrico, desenvolvem diversos mecanismos adaptativos como: ajuste osmótico, mudanças na propriedade de elasticidade das células e tecidos, abscisão foliar, regulação estomática, além da presença de um sistema radicular profundo (OLIVEIRA et al, 2018).

Mais uma particularidade das plantas que crescem sob déficit hídrico é o desenvolvimento de estratégias que permitam a realização de fotossíntese. Uma importante estratégia é a redução do potencial osmótico celular (BATISTA et al, 2010), por meio de acúmulo de solutos líquidos (WRIGHT et al, 1997; MORGAN 1984). Este mecanismo

resulta na manutenção do turgor celular e na abertura dos estômatos, acumulando solutos como carboidratos, amino ácidos e ácidos orgânicos (CHARTZOULAKIS et al, 1999; NUNES et al, 1989).

Além de alterações fisiológicas e bioquímicas, as folhas das plantas submetidas ao déficit hídrico sofrem também alterações morfológicas. Mudanças na região do limbo foliar, com aumento da espessura da cutícula, espessamento das epidermes adaxial e abaxial, espessamento dos parênquimas paliçádico e esponjoso, são evidências de que as plantas podem responder de forma adaptativa a diferentes ambientes (GRISI et al, 2008; QUEIROZ-VOLTAN et al., 2014; BOSABALIDIS; KOFIDIS, 2002; CASTANHEIRA et al, 2016; OLIVEIRA et al, 2018; BATISTA et al, 2010).

Muitos autores têm realizado estudos morfológicos principalmente em folhas, por se tratar de um órgão que se adapta rapidamente, para a seleção de cultivares, progênies ou acessos de diferentes espécies ao déficit hídrico e conseguem evidenciar que essas alterações podem ser herdadas (GRISI et al, 2008; QUEIROZ-VOLTAN et al., 2014; BOSABALIDIS; KOFIDIS, 2002; CASTANHEIRA et al, 2016; OLIVEIRA et al, 2018; VIANA 2015; BATISTA et al, 2010). De fato, uma das principais características avaliadas para a descrição de folhas de plantas para adaptação ao déficit hídrico incluem propriedades estomáticas e relações hídricas (ZOKAEE-KHOSROSHAHI et al., 2014). A divergência genética por meio de técnicas multivariadas tem sido utilizada em programas de melhoramento genético para auxiliar na predisposição de variabilidade genética (IVOGLO et al., 2008; MOREIRA et al., 2009; AZEVEDO et al., 2013).

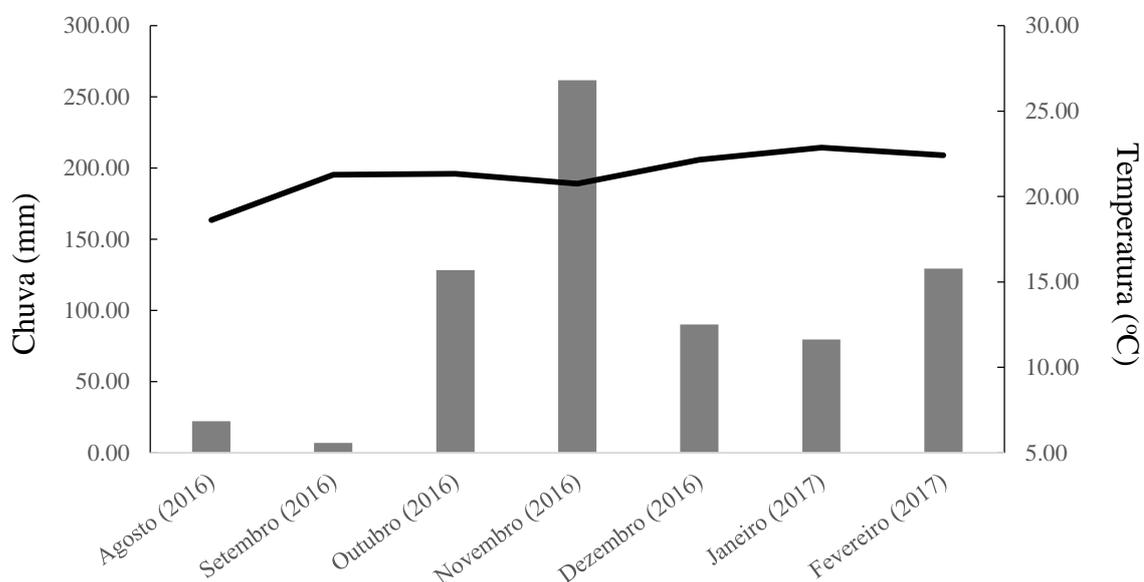
Diante da importância das mudanças nas estruturas internas das folhas em macieira para locais onde ocorra déficit hídrico, afim de auxiliar o início de programas de pré melhoramento genético, seja para introdução de cultivares em regiões secas, como também selecionar possíveis progênies para futuros cruzamentos, objetivou-se comparar as características anatômicas de folhas de macieira em dois ambientes distintos (seca e chuva) sob condições tropicais.

2 METODOLOGIA

Esse experimento foi realizado entre os anos de 2016 e 2017, utilizando sete cultivares de macieiras com sete anos de idade ('Eva', 'Rainha', 'Princesa', 'Julieta', 'Imperatriz', 'Baronesa', e 'Gala Real'). As macieiras foram dispostas em blocos ao acaso correspondendo a quatro blocos com três plantas, de cada cultivar, por bloco. O local possuía clima

subtropical, situado no município de Lavras, estado de Minas Gerais, Brasil (21°14'S, 45°00'W). A classificação climática regional é do tipo Cwa (subtropical de inverno seco), caracterizando-se pela presença de verões quentes e úmidos e invernos secos e frios (ALVARES et al. 2013). O solo é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico. Durante a realização do experimento as informações sobre precipitações mensais e temperatura média foram coletadas (Figura 1).

Figura 1. Precipitações e temperaturas médias mensais durante o período experimental.



Durante o experimento, foram preparadas amostras foliares da superfície epidérmica de todos os tratamentos (cultivares de macieira) para microscopia eletrônica de varredura. Para isso, segmentos da superfície abaxial, da região mediana das folhas, de cada cultivar foram fixados, separadamente, em Karnovsky modificado (Glutaraldeído 2,5%, formaldeído 2,5% em tampão cacodilato de sódio 0,05M, pH 7,2, CaCl₂ 0,001M), sendo pós fixados em solução de tetróxido de ósmio a 1%, e desidratados em soluções com concentrações crescentes de acetona (30%, 50%, 70%, 90% e 100%).

Posteriormente, as amostras foram levadas à secagem ao ponto crítico com CO₂ líquido em aparelho Balzers CPD 030[®]; montadas em suportes de alumínio (stubs) e cobertos com ouro (evaporador Balzers SCD 050[®]) para observação em microscópio eletrônico de

varredura LEO EVO 40[®]. As imagens de microscopia eletrônica foram geradas e registradas digitalmente em microscópio eletrônico de varredura LEO EVO[®] 40 (Carl Zeiss).

Para os estudos anatômicos quantitativos das folhas, foram coletadas doze folhas, completamente expandidas, do terço médio das plantas de cada cultivar. Em laboratório, as folhas foram tomadas ao acaso, sendo avaliadas três folhas, de cada acesso, sendo cada folha considerada como uma repetição. Foram feitas duas coletas, uma na época de déficit hídrico, no mês de setembro de 2016 e, outra na época de chuva, em fevereiro de 2017.

As folhas foram fixadas em solução de FAA^{70%} (formaldeído, ácido acético e álcool etílico 70% na proporção 1:1:18). Após 72 horas as folhas foram colocadas em nova solução de álcool 70% (v v⁻¹) visando a conservação do material (JOHANSEN, 1940). Segmentos de 0,25 cm² foram retirados da região mediana do limbo e da região da nervura principal, sendo que as mesmas foram desidratadas em série etílica e incluídas em hidroxietilmetacrilato Leica[®], seguindo protocolo do fabricante. Após a inclusão, cortes em secções transversais, foram realizados em micrótomo rotativo, com 8 µm de espessura, corados com Azul de Toluidina a 1% e montados em laminas com glicerina 50% (KRAUS; ARDUIN, 1997).

As secções paradérmicas foram feitas na epiderme da face abaxial, na região mediana foliar, utilizando-se lâmina de aço. Posteriormente, as secções foram clarificadas em solução de hipoclorito de sódio a 50%, lavadas em água destilada, coradas com safranina a 1% e montadas em glicerina 50% (KRAUS; ARDUIN, 1997). Nessa etapa foram preparadas três laminas por folha e avaliados três campos de visão por lâmina, utilizando-se lente objetiva com aumento de 20x. Posteriormente as lâminas foram observadas e fotografadas em microscópio óptico, modelo Olympus BX 60, acoplado à câmera digital Canon A630 para a captura das imagens.

As imagens foram analisadas com o software específico para medições de parâmetros anatômicos, ImageJ (1.44), obtendo-se a avaliação dos seguintes tecidos nas secções transversais do limbo foliar: espessura da epiderme da face abaxial (EAB), espessura da epiderme da face adaxial (EAD), espessura da cutícula da face adaxial (ECD), espessura do parênquima paliádico (PPA), espessura do parênquima esponjoso (PEP) e espessura do limbo foliar (ELF). Para a nervura foliar foram avaliados: área do xilema (AX), área do floema (AF), número de vasos do xilema (NVX), diâmetro dos vasos do xilema (DVX), espessura do Xilema (EXI) e espessura do floema (EFL). Nas secções paradérmicas, foram analisados: densidade estomática (DEN) (número de estômatos por mm²) e diâmetro polar dos estômatos (DPO), diâmetro equatorial dos estômatos (DEQ) que resultaram na funcionalidade estomática (FUN) (diâmetro polar/diâmetro equatorial dos estômatos).

Foi realizada a análise de variância (ANOVA) considerando o delineamento em DIC (delineamento inteiramente casualizado) no esquema fatorial 7 x 2 (7 cultivares x 2 épocas – seca e chuva) com três repetições. Após a análise de variância as médias foram submetidas ao teste Scott-Knott de agrupamento de médias ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Para quantificar a divergência entre os acessos foi empregada dissimilaridade com base no algoritmo de Gower (1971). Com as medidas de dissimilaridade foi realizada a análise de agrupamento pelo método hierárquico *Unweighted Pair-Group Method Using an Arithmetic Average* (UPGMA). Para testar a eficiência do método de agrupamento hierárquico, estimou-se o coeficiente de correlação cofenética (CCC) segundo metodologia descrita por Sokal e Rolf (1962). O ponto de corte do dendrograma formado pelo método de UPGMA foi definido conforme o proposto por Mojena (1977). Em acréscimo aos demais métodos multivariados, a análise de componentes principais foi empregada para detalhar mais as informações de diversidade entre os acessos. Segundo Cruz et al., (2004), este método se caracteriza por apresentar a importância das funções de forma decrescente, sendo que a função inicial expressa o máximo da variância entre os grupos de cultivares formados.

Todas as análises foram realizadas utilizando o aplicativo computacional em genética e estatística “Programa GENES” (CRUZ, 2013).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A área ocupada pelos vasos condutores, tanto xilema quanto floema, foram parâmetros que variaram, mesmo dentro da mesma cultivar, comprovado pelos maiores valores de variância (CV) (Tabela 1). O fator ambiental não influenciou na característica área do xilema e do floema. A média das sete cultivares na época de chuva foi de $8,17 \times 10^4 \mu\text{m}^2$, e na época de seca foi de $7,91 \times 10^4 \mu\text{m}^2$. O mesmo ocorreu com a área do floema e coincidentemente a média das cultivares para a época de chuvosa ($8,46 \times 10^4 \mu\text{m}^2$) foi superior à da época de déficit hídrico ($7,83 \times 10^4 \mu\text{m}^2$). Oliveira et al, (2018) comparando a anatomia foliar de cultivares comerciais e tradicionais de amendoeiras (*Prunus dulcis*) sob déficit hídrico, observaram grande variação na área ocupada pelos vasos condutores dentro das mesmas cultivares, no entanto em seu estudo ele encontrou diferenças entre as cultivares avaliadas, fato que não ocorreu neste trabalho.

Tabela 3. Área do xilema (AX), área do floema (AF), espessura do xilema (EXI) e espessura do floema (EFL), número de vasos de xilema (NVX) e diâmetro de vasos de xilema (DVX) de cultivares de macieira, estimados no período de chuva (fevereiro) e de seca (setembro) dos anos de 2016 e 2017.

Cultivar	AX (μm^2) $\times 10^4$		AF (μm^2) $\times 10^4$		EXI (μm)	
	Chuva	Seca	Chuva	Seca	Chuva	Seca
Eva	7.89 Aa	6.22 Aa	8.46 Aa	6.76 Aa	135.65 Aa	133.31 Ab
Princesa	9.38 Aa	8.84 Aa	8.59 Aa	9.22 Aa	114.91 Ba	157.23 Aa
Rainha	7.53 Aa	6.55Aa	8.00 Aa	7.16 Aa	134.02 Aa	143.77 Ab
Julietta	8.41 Aa	8.48 Aa	9.00 Aa	7.50 Aa	152.42 Aa	139.54 Ab
Imperatriz	7.83 Aa	8.28 Aa	9.05 Aa	8.89 Aa	143.27 Aa	164.84 Aa
Baronesa	9.58 Aa	6.91 Aa	9.13 Aa	6.62 Aa	155.60 Ba	124.51 Ab
Gala Real	6.58 Aa	10.05 Aa	6.97 Aa	8.69 Aa	133.20 Ba	171.80 Aa
Média	8.17	7.91	8.46	7.83	138.44	147.86
CV (%)	32.00		27.98		13.40	
Cultivar	EFL (μm)		NVX		DVX (μm)	
	Chuva	Seca	Chuva	Seca	Chuva	Seca
Eva	107.47 Aa	110.54 Aa	289.11 Aa	253.83 Ab	12.35 Ab	10.39 Bb
Princesa	106.69 Aa	107.62 Aa	172.05 Aa	193.22 Ab	15.96 Aa	12.04 Bb
Rainha	109.11 Aa	101.87 Aa	210.55 Aa	178.44 Ab	14.27 Ab	11.49 Bb
Julietta	114.72 Aa	102.89 Aa	242.72 Aa	252.22 Ab	13.97 Ab	11.96 Bb
Imperatriz	118.05 Aa	126.93 Aa	267.44 Aa	233.99 Ab	13.49 Ab	13.41 Aa
Baronesa	121.22 Aa	89.57 Ba	286.33 Aa	303.33 Aa	14.01 Ab	11.23 Bb
Gala Real	100.75 Aa	115.05 Aa	224.33 Ba	338.89 Aa	12.95 Ab	11.40 Bb
Média	111.15	107.78	241.79	250.56	13.86	11.70
CV (%)	15.25		19.72		7.04	

Médias seguidas pela mesma letra, minúsculas na coluna e maiúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade.

A espessura do xilema apresentou comportamento diferente em relação às duas épocas para algumas cultivares. As cultivares Princesa, Imperatriz e Gala Real obtiveram maior espessamento desse tecido na época de seca com 157,23, 164,84 e 171,80 μm respectivamente, enquanto que na época de chuva, essas mesmas cultivares apresentaram 114,91, 143,27 e 133,20 μm de espessura. Na época de chuvosa não houve diferença entre as cultivares e a média para essa característica foi de 138,44 μm de espessura (Tabela 1). Resultados semelhantes foram encontrados por Queiroz-Voltan et al. (2014), uma vez que o espessamento dos feixes vasculares possibilita um maior fluxo de seiva elaborada e de água e sais minerais na época seca, conferindo a essas plantas, características adaptativas favoráveis em condições de restrição hídrica.

Já para espessura do floema não houve diferença entre as épocas e nem entre as cultivares estudadas, com exceção da cultivar Baronesa, que apresentou maior espessura do floema sob condições de chuva. Normalmente, ocorre um maior espessamento deste tecido quando submetido ao déficit hídrico, conforme observado por Queiroz-Voltan et al. (2014) trabalhando com diferentes cultivares de cafeeiro. Medri et al. (2011) também não

encontraram diferença na espessura do floema na nervura de *Aegiphila sellowiana* Cham. (Lamiaceae) quando submetidas ao alagamento do substrato (Tabela 1).

Para a contagem do número de vasos de xilema, nota-se que houve diferença entre as cultivares para época de seca, em que ‘Baronesa’ e ‘Gala Real’ obtiveram maiores números de vasos, 303,33 e 338,89 respectivamente, em relação às demais cultivares, em condições de seca e, Gala Real ainda registrou maior número de vasos de xilema em condições de seca em relação as condições de época chuvosa (Tabela 1).

Todas as cultivares apresentaram maior diâmetro de vasos na época de chuva em relação a época com seca, com exceção da cultivar Imperatriz, que não houve diferença entre as duas épocas. Na época de seca justamente a cultivar Imperatriz apresentou maior diâmetro de vasos com 13,41 μm (Tabela 1).

Normalmente o que se espera quando as plantas são submetidas ao déficit hídrico e demonstram capacidade adaptativa, é que se aumente o número de vasos de xilema e reduza o diâmetro desses vasos para que dificulte a possibilidade de haver embolia de ar devido a esse estresse, o que pode prejudicar a condução da água pela planta. Carlquist (1977) afirma que elementos de vasos mais estreitos resistem mais a altas pressões na coluna d’água. Observa-se então que para estas duas características avaliadas, a cultivar melhor adaptada seria a Gala Real e a menos adaptada seria a ‘Imperatriz’. Oliveira et al. (2018) confirmaram em seus estudos que cultivares de amendoeiras que possuem maior frequência de vasos condutores e menor diâmetro desses vasos são menos susceptíveis à cavitação na coluna de água.

Trabalhos realizados evidenciaram diferenças significativas em características anatômicas em folhas de cafeeiro e plantas de oliveira quando submetidos ao déficit hídrico (BATISTA et al. 2010; VIANA, 2015; GRISI et al. 2008, BOSABALIDIS; KOFIDIS, 2002), de *Aegiphila sellowiana* Cham. (Lamiaceae) quando submetidas ao alagamento (MEDRI et al., 2011), ao sombreamento de plantas de cafeeiro e macieira (BALIZA et al., 2012; BOSCO, 2011), alguns até utilizam essas características como forma de realizar seleção de progênies com possível tolerância à seca, principalmente em estudos com a cultura do café (*Coffea arabica*) (CASTANHEIRA et al., 2016).

A espessura do parênquima paliçádico foi maior em todas as cultivares na época de seca, em relação a época de chuvosa (Tabela 2). Ressalta-se ainda que não houve diferença entre as cultivares estudadas em nenhuma das duas épocas. Batista et al. (2010), estudando anatomia foliar e potencial hídrico na tolerância de cultivares de cafeeiro ao déficit hídrico, encontraram que a espessura do parênquima paliçádico foi maior em cultivares que apresentaram maior potencial hídrico. O parênquima paliçádico está diretamente relacionado

com a fotossíntese e, um maior desenvolvimento desse tecido pode permitir maior fixação de CO₂ com uma abertura dos estômatos em curto espaço de tempo (CASTRO et al., 2009). Fazendo com que a eficiência do uso da água aumente por reduzir a transpiração, e assim, tendo maiores condições de sobreviver e de reproduzir em um ambiente de déficit hídrico (JONES, 1992).

Tabela 4. Espessura do parênquima paliçádico (PPA), espessura do parênquima esponjoso (PEP) e espessura do limbo foliar (ELF), espessura da epiderme adaxial (EAD), espessura da epiderme abaxial (EAB) e espessura da cutícula da epiderme adaxial (ECD) de cultivares de macieira, estimados no período de chuva (fevereiro) e de seca (setembro) dos anos de 2016 e 2017.

Cultivar	PPA (µm)		PEP (µm)		ELF (µm)	
	Chuva	Seca	Chuva	Seca	Chuva	Seca
Eva	70.16 Ba	122.41 Aa	82.36 Aa	94.10 Aa	184.32 Ba	250.83 Aa
Princesa	57.84 Ba	98.35 Aa	77.29 Aa	95.03 Aa	160.08 Ba	218.54 Aa
Rainha	64.44 Ba	118.69 Aa	86.38 Aa	85.38 Aa	177.96 Ba	227.70 Aa
Julieta	71.92 Ba	113.07 Aa	95.42 Aa	97.12 Aa	188.92 Aa	232.50 Aa
Imperatriz	67.55 Ba	103.24 Aa	101.89 Aa	105.94 Aa	188.76 Aa	225.00 Aa
Baronesa	76.74 Ba	119.81 Aa	88.54 Aa	101.47 Aa	186.73 Ba	247.22 Aa
Gala Real	71.39 Ba	136.65 Aa	86.01 Aa	89.08 Aa	174.75 Ba	253.26 Aa
Média	68.58	116.03	88.27	95.45	180.22	236.44
CV (%)	16.22		14.29		13.93	
Cultivar	EAD (µm)		EAB (µm)		ECD (µm)	
	Chuva	Seca	Chuva	Seca	Chuva	Seca
Eva	8.74 Bb	13.44 Aa	9.56 Bb	12.50 Aa	2.09 Ba	4.52 Aa
Princesa	10.30 Ba	13.32 Aa	9.53 Ab	10.85 Aa	2.12 Ba	4.07 Aa
Rainha	10.70 Ba	13.72 Aa	10.62 Aa	11.58 Aa	2.38 Ba	4.40 Aa
Julieta	12.00 Aa	13.30 Aa	10.64 Aa	11.40 Aa	2.20 Ba	3.73 Ab
Imperatriz	8.33 Bb	14.35 Aa	10.05 Ab	10.58 Aa	1.72 Ba	3.89 Ab
Baronesa	8.60 Bb	15.09 Aa	8.81 Bb	11.43 Aa	2.39 Ba	4.52 Aa
Gala Real	10.51 Ba	13.97 Aa	11.51 Aa	12.38 Aa	2.42 Ba	4.40 Aa
Média	9.89	13.89	10.11	11.53	2.19	4.22
CV (%)	12.76		8.50		11.92	

Médias seguidas pela mesma letra, minúsculas na coluna e maiúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade.

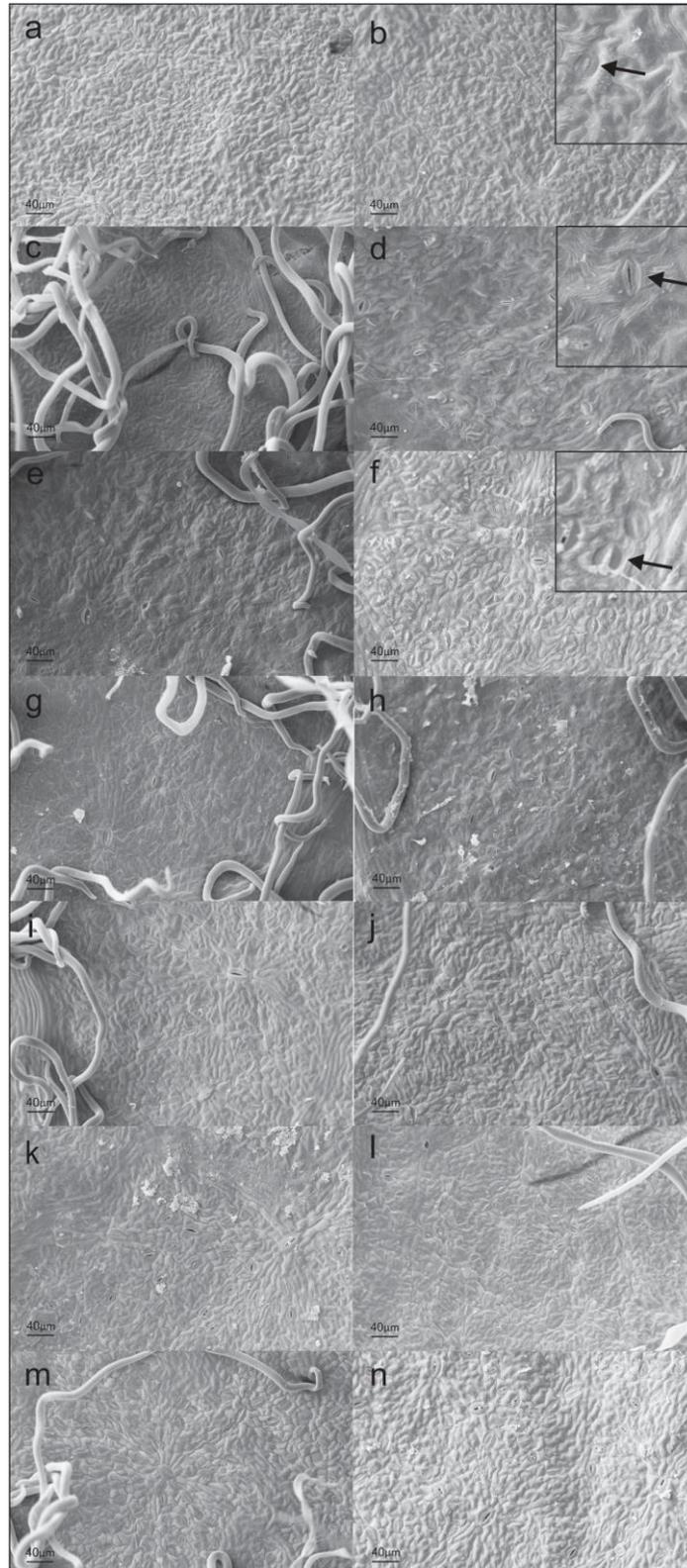
No parênquima esponjoso, não houve diferença entre as épocas e as cultivares, ou seja, a estrutura interna foliar das cultivares de macieira em regiões subtropicais, quando coletadas em época de seca espessar o parênquima paliçádico e não alterar a estrutura do parênquima esponjoso (Tabela 2). Este tecido está intimamente relacionado com o armazenamento de CO₂ na folhas (CASTRO et al., 2009), portanto nota-se que as plantas parecem ter desenvolvido mais seus parênquimas paliçádicos em detrimento do esponjoso para realizarem uma fotossíntese mais rápida ao invés de armazenarem o CO₂ (BATISTA et al., 2010).

A maioria das cultivares apresentaram limbo foliar mais espesso na época de seca, com exceção das cultivares Julieta e Imperatriz (Tabela 2). O aumento da espessura do limbo foliar no período de seca foi devido principalmente ao aumento da espessura do parênquima paliçádico e também um maior espessamento da cutícula da epiderme adaxial. Kramer (1983), afirma que o déficit hídrico está associado ao aumento do limbo foliar e do espessamento da cutícula, fato que foi evidenciado neste trabalho.

O espessamento da cutícula reduz a transpiração cuticular e essa mudança na estrutura da cutícula foi observada em todas as cultivares no período de deficiência hídrica. (Figura 3). O período de deficiência hídrica foi responsável por aumentar em 55% a espessura da cutícula em relação ao período de precipitação. Dessa forma, essa variável juntamente com as demais modificações anatômicas da folha são importantes mudanças que foram observadas e podem auxiliar as cultivares na redução da transpiração em períodos de menor disponibilidade hídrica. Em relação ao espessamento da cutícula entre as cultivares. As cultivares Eva, Princesa, Rainha, Baronesa e Gala Real foram as que apresentaram as maiores médias para o espessamento da cutícula, sugerindo que essas cultivares possam apresentarem melhor desempenho em locais com baixa precipitação, pois apresentam características anatômicas que possibilitam a essas plantas reduzirem a transpiração (Figura 2 Tabela 2).

Em relação a posição dos estômatos, o período de deficiência hídrica fez com que os estômatos se posicionassem abaixo da linha da epiderme (Figura 2B, D e F). Esse resultado é importante pois os estômatos posicionados abaixo da linha da epiderme podem auxiliar na redução da transpiração (Figura 2).

Figura 2. Imagem de microscopia eletrônica de varredura de diferentes cultivares de *Malus domestica* (Rosaceae) submetidos a dois períodos de precipitação. Precipitação (A, C, E, G, I, K e M) Déficit hídrico (B, D, F, H, J, L e N). A e B = Baronesa, C e D = Eva, E e F = Gala Real, G e H = Imperatriz, I e J = Julieta, K e L = Princesa, M e N = Rainha.



Houve um aumento na espessura das células da epiderme da face adaxial para a maioria das cultivares no período de seca em relação à época de chuva, exceto para a cultivar Julieta (Tabela 2). A média das cultivares na primeira época foi de 13,89 μm , enquanto que na segunda época foi de 9,89 μm . No período chuvoso, as cultivares também apresentaram variação no padrão de diferenciação anatômica na epiderme da face adaxial, sendo Eva, Imperatriz e Baronesa as cultivares que exibiram menor espessura com 8,74, 8,33 e 8,60 μm , respectivamente. Enquanto que sobre influência do déficit hídrico apresentaram, aumento da espessura da epiderme da face adaxial. Bosabalidis e Kofidis (2002), comparando os efeitos do déficit hídrico na anatomia foliar de cultivares de oliveira, observaram na epiderme da face adaxial redução no tamanho das células e aumento do número das mesmas na ordem de 31,6% sobre a influência de déficit hídrico em relação às plantas não submetidas a esse estresse. Segundo Oertli et al. (1990), o menor tamanho das células e a menor sinuosidade das paredes celulares periclinais da superfície da epiderme adaxial conferem significativa resistência ao colapso celular em condições de déficit hídrico.

Com relação a espessura da epiderme abaxial, foi constatado diferença entre as épocas estudadas para algumas cultivares, sendo observado que no período de maior chuva as cultivares Eva, Princesa, Imperatriz e Baronesa apresentaram menores valores para espessura da epiderme abaxial quando comparados ao período de seca, sendo que as cultivares Eva e Baronesa, para esse parâmetro, exibiram os maiores valores no período da seca com 12,50 e 11,43 μm respectivamente (Tabela 2).

Grisi et al (2008) trabalhando com avaliações anatômicas foliares em mudas de café ‘catuaí’ e ‘sirriema’ submetidas a estresse hídrico não encontraram diferença na espessura da das epidermes foliares das cultivares avaliadas. O espessamento da epiderme e do parênquima paliçádico pode ser capaz de aumentar a resistência ao déficit hídrico e permitir o desenvolvimento das plantas nessas condições por melhorar as relações hídricas e proteção ao tecido foliar (Bacelar et al., 2004).

A cutícula possui natureza lipídica, ou seja, a cutícula mais espessada pode evitar a perda de água excessiva por transpiração, sendo, portanto, um importante mecanismo de tolerância ao déficit hídrico (CASTRO et al., 2009). Como relatado a cutícula é um importante fator para atribuir como adaptação das cultivares à um ambiente com pouca disponibilidade de água, o que pôde ser observado no presente trabalho em que todas as cultivares estudadas espessaram a cutícula quando as folhas foram coletadas na época de seca, evidenciando uma capacidade adaptativa (Tabela 2). Ou seja, no período chuvoso, as cultivares apresentaram cutícula com um espessamento médio de 2,19 μm , enquanto que no

período de seca, os maiores valores de espessamento da cutícula foram: Eva (4,52 μm), Rainha (4,40 μm), Baronesa (4,52 μm) e Gala Real (4,40 μm) quando comparada com as demais cultivares. Viana (2015), quando avaliou característica anatômicas de folhas de acessos de cafeeiro, não encontrou diferença na espessura da cutícula adaxial quando os mesmos foram comparados em época de seca e de chuva.

Com relação ao diâmetro polar dos estômatos, nota-se que apenas a cultivar Princesa reduziu o diâmetro em condições de seca quando comparado ao período chuvoso. Na época da chuva, as cultivares apresentaram resultados distintos para esta característica, sendo que as cultivares Princesa e Julieta apresentaram maiores diâmetro polar dos estômatos, com 34,21 e 33,17 μm respectivamente (Tabela 3). Enquanto que na época de seca, as cultivares apresentaram resultados semelhantes com média de 30,03 μm pra diâmetro polar dos estômatos. Resultado semelhante foi observado também em alguma cultivares para o diâmetro equatorial dos estômatos sendo que a cultivar Princesa, Julieta e Baronesa apresentaram menores diâmetros na época de seca quando comparados com a época de chuva. Também na época de chuva, essas três cultivares apresentaram resultados, distintos em relação as demais, com maiores valores do diâmetro equatorial dos estômatos. Além disso, no período de seca, assim como para o diâmetro polar dos estômatos, as cultivares tiveram comportamento semelhante para diâmetro equatorial dos estômatos dos estômatos.

Tabela 5. Diâmetro polar dos estômatos (DPO), diâmetro equatorial dos estômatos (DEQ), funcionalidade estomática (FUN) (Relação DPO/DEQ) e densidade estomática (DEN) de cultivares de macieira, estimados no período de chuva (fevereiro) e de seca (setembro) dos anos de 2016 e 2017.

Cultivar	DPO (μm)		DEQ (μm)		FUN		DEN (estomas. mm^{-2})	
	Chuva	Seca	Chuva	Seca	Chuva	Seca	Chuva	Seca
Eva	29.03 Ab	29.99 Aa	18.31 Ab	16.41 Aa	1.58 Ba	1.82 Aa	284.99 Ab	156.54 Bc
Princesa	34.21 Aa	29.44 Ba	20.59 Aa	17.56 Ba	1.66 Aa	1.68 Ab	266.94 Ab	345.20 Aa
Rainha	29.98 Ab	31.65 Aa	18.08 Ab	18.63 Aa	1.65 Aa	1.70 Ab	412.10 Aa	386.68 Aa
Julieta	33.17 Aa	33.94 Aa	20.64 Aa	18.07 Ba	1.60 Ba	1.88 Aa	275.62 Ab	276.96 Ab
Imperatriz	27.15 Ab	30.16 Aa	17.32 Ab	18.19 Aa	1.56 Aa	1.66 Ab	290.53 Ab	286.33 Ab
Baronesa	29.83 Ab	26.60 Aa	19.81 Aa	17.11 Ba	1.51 Aa	1.55 Ab	347.87 Aa	338.51 Aa
Gala Real	27.01 Ab	28.41 Aa	17.26 Ab	17.90 Aa	1.56 Aa	1.59 Ab	297.04 Ab	367.95 Aa
Média	30.06	30.03	18.86	17.70	1.59	1.70	310.73	308.31
CV (%)	8.76		6.37		7.92		15.12	

Médias seguidas pela mesma letra, minúsculas na coluna e maiúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade.

Grisi et al. (2008) e Queiroz-Voltan et al. (2014), também encontraram resultados distintos para diâmetro polar e equatorial de estômatos de cultivares de cafeeiro quando submetidas ao déficit hídrico. A relação diâmetro polar/equatorial indica o formato dos

estômatos e, quando apresenta maior valor, indica uma maior funcionalidade do estômato, por seu formato elipsoide (CASTRO et al., 2009), sendo assim nota-se que apesar de algumas cultivares terem modificado tanto o diâmetro polar quanto o equatorial como o caso das cultivares Princesa e Baronesa esta alteração não modificou a eficiência estomática quando comparada as duas épocas (de chuva e de seca). As cultivares que obtiveram maior eficiência estomática na época de seca em relação à época de chuva foram a Eva e a Julieta, em que a segunda reduziu o diâmetro equatorial na época de seca, variação de resposta do diâmetro equatorial dos estômatos indica que essa característica seja menos definida do que o diâmetro polar, em consequência da variação da turgidez celular, a qual é determinante para os movimentos de abertura e fechamento estomático (TAIZ; ZEIGER 2004). Com relação a primeira cultivar não foi constatado diferença para nenhum dos dois diâmetros nas diferentes épocas, no entanto, a mesma cultivar apresentou menores médias de diâmetro polar e equatorial, na época de chuva, talvez isso possa ter influenciado na diferença da eficiência estomática.

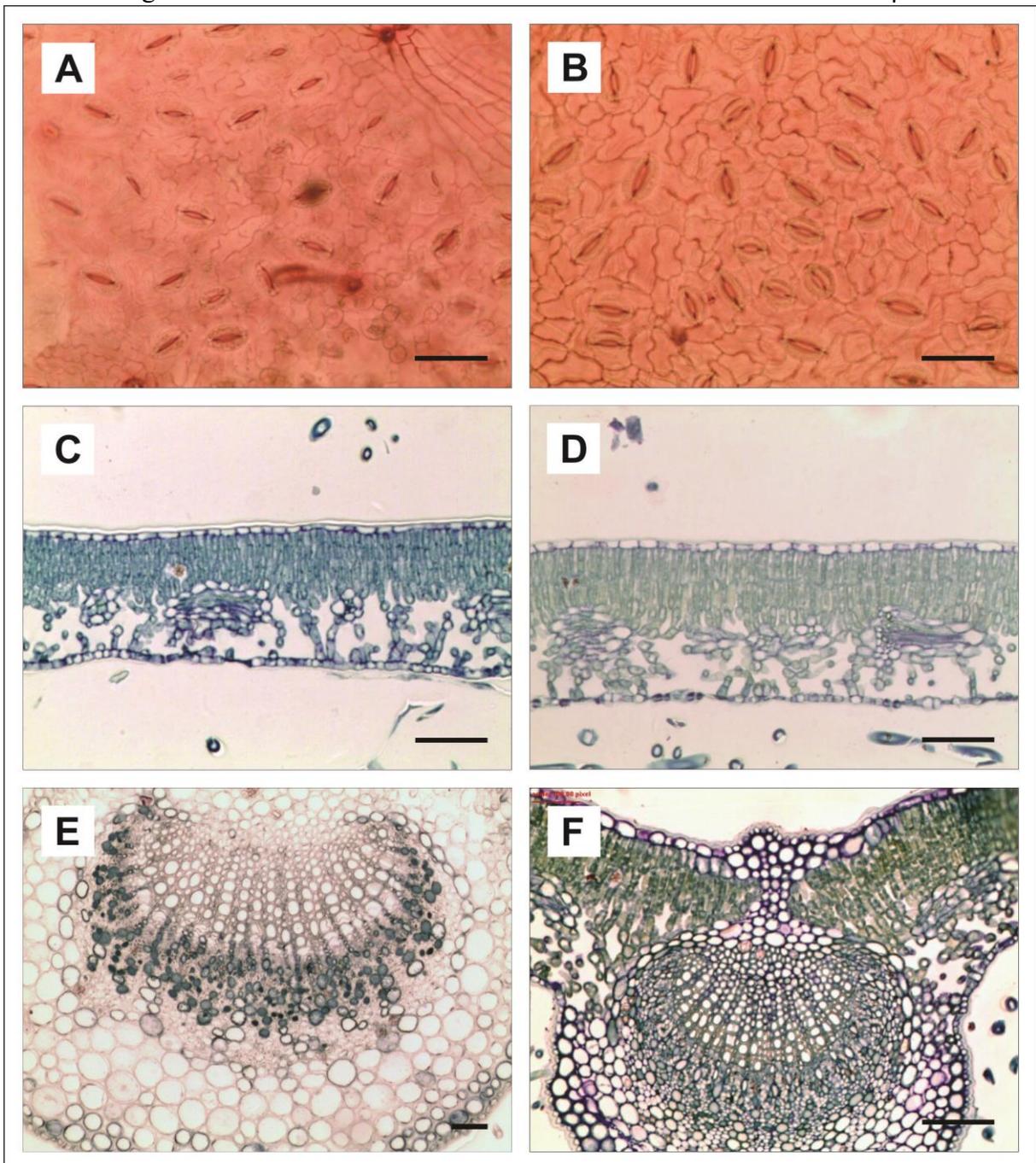
As cultivares Rainha e Baronesa apresentaram maior densidade estomática no período de chuva em relação às demais cultivares (Tabela 3). Já na época de seca, as cultivares Princesa, Rainha, Baronesa e Gala Real apresentaram maior densidade estomática. Talvez pelo fato da cultivar Eva ter reduzido a densidade estomática no período de chuva fez com que para esta única cultivar apresentasse diferença entre as duas épocas. Maior densidade estomática pode permitir uma abertura em um espaço de tempo menor, permitindo uma captação adequada de CO₂, evitando a transpiração excessiva, assim, a planta pode apresentar uma maior eficiência fotossintética (BATISTA et al., 2010).

Castro et al. (2009), afirmam que condições ambientais como déficit hídrico alteram o tamanho e a densidade dos estômatos, com o intuito de auxiliar a planta na tolerância desta condição. Em ambientes com menor disponibilidade hídrica, verifica-se diminuição no tamanho dos estômatos, para que haja uma menor perda de água da planta para o ambiente pela transpiração, havendo o simultâneo aumento de sua densidade, contribuindo para o equilíbrio das trocas gasosas (BATISTA et al., 2010). Fato este que pode compensar a perda de área foliar comum em plantas sob déficit hídrico (Batista et al., 2010), como relatado por Pinto et al. (2008), que observaram redução na área foliar e número de folhas de diferentes espécies sob déficit hídrico.

Tomando por exemplo as cultivares Eva, Baronesa e Gala Real que apresentaram o maior número de alterações anatômicas sobre a influência de diferentes regimes hídricos, observou-se que sob a influência de baixa disponibilidade de água ocorre um aumento da

densidade estomática, na Cultivar Eva, fato não observado nas cultivares Baronesa e Gala Real (Figura 3 A e B).

Figura 3. *Malus domestica* (Rosaceae). **A.** Visão paradérmica da face abaxial evidenciando a presença de estômatos da cultivar ‘Eva’ na época de chuva Bar 25 μm . **B.** Visão paradérmica da face abaxial evidenciando a presença de estômatos da cultivar ‘Eva’ em época de seca Bar 25 μm . **C.** Seção transversal do mesófilo foliar da cultivar ‘Eva’ na época de chuva Bar 50 μm . **D.** Seção transversal do mesófilo foliar da cultivar ‘Eva’ em época de seca Bar 50 μm . **E.** Seção transversal da folha na região da nervura central da cultivar ‘Gala Real’ na época de chuva Bar 25 μm . **F.** Seção transversal da folha na região da nervura central da cultivar ‘Gala Real’ em déficit hídrico Bar 50 μm .



Para essas três cultivares observou-se aumento da espessura da cutícula e da epiderme de ambas as faces da folha, sendo que as maiores médias de espessamento para cutícula e epiderme foram registradas na superfície adaxial (Figura 3 C e D).

Com relação ao mesofilo dorsiventral, a seca, para essas três cultivares, promoveu um aumento da espessura do parênquima paliçádico, não sendo observados variações significativas, no tamanho e ou espessura do parênquima esponjoso. Conseqüentemente o aumento da espessura das cutículas, epidermes e parênquima paliçádico acarretou em um aumento na espessura do limbo foliar como um todo (Figura 3 C e D).

Nas avaliações relacionadas aos feixes vasculares sob deficiência hídrica a cultivar Eva e Baronesa apresentaram aumento da espessura dos vasos de xilema, porém não apresentaram aumento significativo no número de vasos de xilema, sendo observado aumento desse parâmetro na cultivar Gala Real (Figura 3 E e F).

Esses resultados indicam que essas cultivares de maçã, apresentam plasticidade para modificar algumas características morfo-anatômicas em função da seca o que favorece seu estabelecimento tanto em ambientes com alta quanto com em baixa disponibilidade de água.

Para o estudo da divergência genética, as medidas de dissimilaridade, estimadas pela distância generalizada de *Gower*, entre os pares de genótipos componentes das sete cultivares avaliadas na época de chuva, apresentaram uma variação de 0,257 a 0,629, indicando a ampla variabilidade genética entre as cultivares (Tabela 4). Já no período de seca os pares de genótipos componentes das sete cultivares apresentaram variação de 0,257 a 0,600 (Tabela 4).

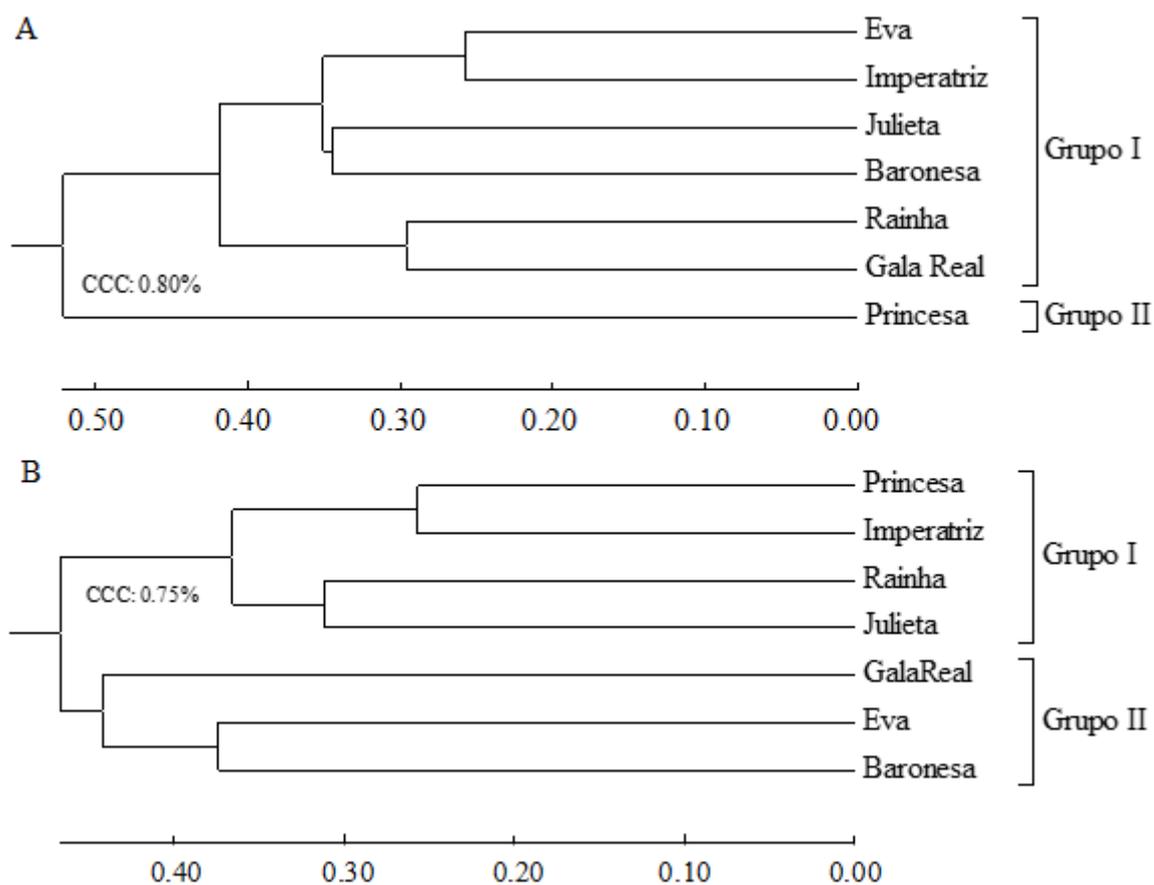
Tabela 6. Medidas de dissimilaridade entre cultivares de macieira, estimados no período de chuva (fevereiro) e de seca (setembro), com base no algoritmo de Gower.

		Chuva					
	Eva	Princesa	Rainha	Julieta	Imperatriz	Baronesa	Gala Real
Eva	0	0.457	0.333	0.357	0.257	0.336	0.330
Princesa		0	0.428	0.442	0.629	0.589	0.586
Rainha			0	0.385	0.440	0.459	0.296
Julieta				0	0.346	0.345	0.460
Imperatriz					0	0.365	0.407
Baronesa						0	0.536
Gala Real							0
		Seca					
	Eva	Princesa	Rainha	Julieta	Imperatriz	Baronesa	Gala Real
Eva	0	0.504	0.380	0.393	0.600	0.374	0.453
Princesa		0	0.338	0.314	0.257	0.510	0.417
Rainha			0	0.311	0.450	0.396	0.415
Julieta				0	0.362	0.470	0.505
Imperatriz					0	0.544	0.473
Baronesa						0	0.432
Gala Real							0

Nota-se que houve grande influência do ambiente sobre as características anatômicas avaliadas, pois o mesmo par de cultivares que foram considerados mais dissimilares na época de chuva foram as que foram mais similares na época de seca e os que foram mais similares na época de seca também foram mais dissimilares na época de chuva, como observado na tabela 4. O par de cultivares ‘Imperatriz’ e ‘Princesa’ são os mais distantes na época de chuva (0,629) e mais próximos na época de seca (0,257) com base na distância de *Gower*. E o par de cultivares ‘Imperatriz’ e ‘Eva’ foram os mais similares na época de chuva (0,257) e mais dissimilares na época de seca (0,600) também segundo distância de *Gower*. Isso evidencia o efeito do ambiente sobre as cultivares, pois a três cultivares envolvidas nessa análise são muito próximas geneticamente, pois a cultivar ‘Eva’ foi produzida a partir do cruzamento entre as cultivares ‘Gala’ e ‘Anna’, a cultivar Princesa foi originária do cruzamento entre as cultivares ‘NJ 56’ e ‘Anna’ e a cultivar Imperatriz foi originada a partir de uma mutação somática da cultivar ‘Gala’. Viana et al. (2018) encontraram divergência genética para características anatômicas de cafeeiro com resistência à ferrugem. Castanheira et al. (2016) evidenciam em seu trabalho para potencial utilização de características anatômicas na seleção de progênies de cafeeiro A variância genética é maior no período de seca, indicando que há maior variabilidade entre as progênies, nesse período.

Para o estudo da diversidade genética por meio do método UPGMA, considerou-se o corte próximo a 0,50 de distância tanto para época de de chuva quanto para o período de de seca, com base no método de Mojena (1977), obtendo-se a formação de 2 grupos nas duas épocas (Figura 4). O dendrograma apresentou valor cofenético alto 0,80 e 0,75 para época de chuva e de seca respectivamente. No entanto os grupos de cultivares formados nas duas épocas foram diferentes. Na época de chuva agrupou-se no primeiro as Cultivares Eva, Imperatriz, Julieta, Baronesa, Rainha e Gala Real ficando somente a cultivar Princesa no grupo 2 (Figura 4 A). Esse resultado evidencia o que foi apresentado na análise de divergência genética mostrando a distância que há principalmente entre as cultivares ‘Imperatriz’ e ‘Princesa’. Isso ficou evidenciado também na análise de componentes principais em que nota-se na Figura 5 A que a cultivar Princesa está totalmente isolada das demais, pois é a única que está presente no lado positivo dos componentes principais (CP) 1 e 2.

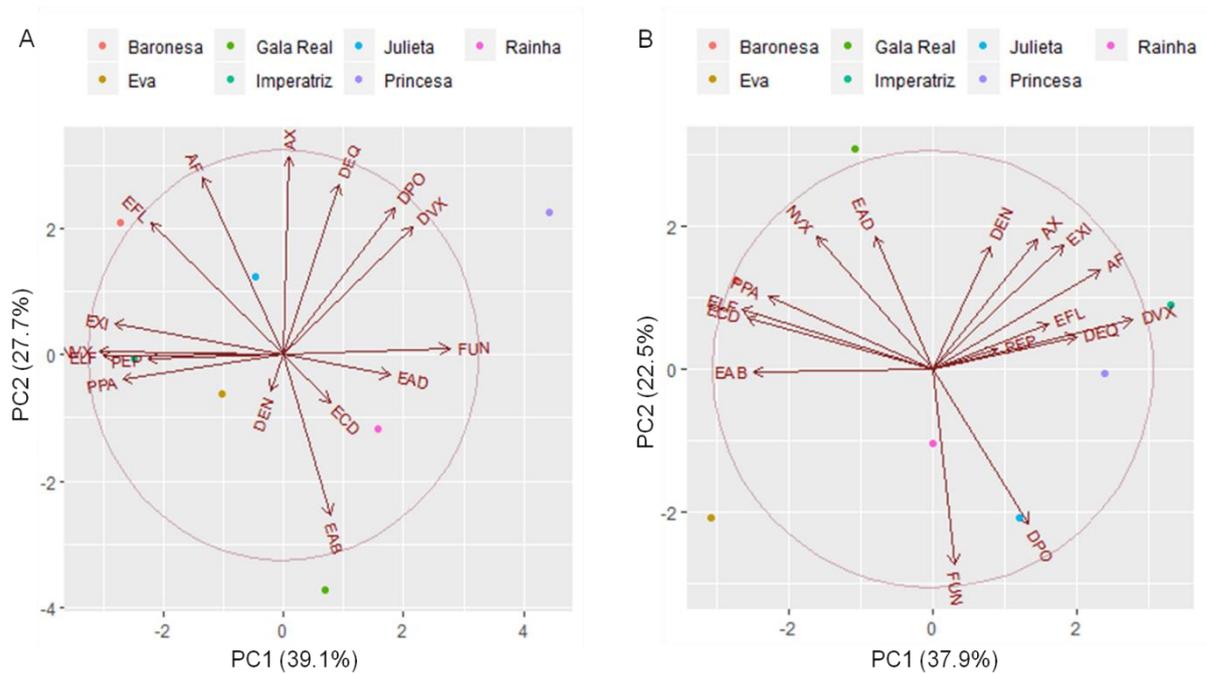
Figura 4. Dendograma do agrupamento entre cultivares de macieira, estimados no período de chuva (fevereiro - A) e de seca (setembro - B), obtido a partir do método hierárquico *Unweighted Pair-Group Method Using an Arithmetic Average*.



Como já relatado no período de seca houve também a formação de dois grupos distintos, no entanto no grupo 1 estão as cultivares Princesa, Imperatriz, Rainha e Julieta e no grupamento 2 as cultivares Gala Real, Eva e Baronesa (Figura 4 B). Esses resultados também confirmam a análise de divergência, em que as cultivares ‘Imperatriz’ e ‘Princesa’ nesse caso são mais próximas ficando num mesmo grupo e a cultivar ‘Eva’ está em outro grupamento. Fato que pode ser confirmado também pela análise de componentes principais (Figura 5 B), em que as cultivares do grupo 2 estão presentes no lado negativo do CP1 e as cultivares do grupo 1 estão localizadas no lado positivo da CP1.

Na análise de dispersão, observou-se que os dois primeiros componentes explicaram 66,8% da variância total acumulada na época de chuva e 60,4% na época de seca (Figura 5A e 5B). No período de chuva o primeiro componente (CP1) foi responsável por 39,1%, o segundo (CP2) por 27,7% (Figura 5A), e no período de seca o CP1 foi responsável por 37,9%, o CP2 por 22,5% (Figura 5B).

Figura 5. Análise de componentes principais obtida a partir de características anatômicas de folhas de macieira: A) Período de chuva (Fevereiro); B) Período de seca (Setembro).



No período de chuva as características anatômicas de folhas de macieira que mais contribuíram para a diferenciação das cultivares no CP1 foram NVX, ELF, EXI, sendo a cultivar ‘Baronesa’ que apresentou os maiores valores para essas características. No CP2 as características que mais contribuíram para essa diferenciação foram AX, AF e DEQ, em que a cultivar Baronesa apresentou maiores valores para AX e AF e a cultivar Julieta apresentou maiores valores para DEQ. Na época de seca as características anatômicas que mais influenciaram para a diferenciação das cultivares no CP1 foram ECD, ELF e DVX, em que as cultivares Eva, Baronesa e Gala Real se destacaram para a primeira característica, as cultivares Eva, Baronesa e Gala Real apresentaram maiores valores para a segunda característica e a cultivar ‘Imperatriz’ apresentou maior valor para a terceira característica. No eixo CP2 as características DPO, FUN e EAD foram as que mais contribuíram para a diferenciação das cultivares em que a ‘Julieta’ apresentou maiores resultados para as duas primeiras características e a cultivar ‘Baronesa’ apresentou maiores resultados para a terceira característica. Camposeo et al, (2011) encontrou correlação entre parâmetros anatômicos de folhas de mudas de amendoieiras selvagens e cultivadas sob o efeito de seca.

A análise de componentes principais foi importante para classificar as cultivares com relação às características anatômicas de folhas em macieira, e corrobora os resultados encontrados nas análises de divergência genética e de agrupamento. Como já relatado anteriormente Castanheira et al. (2016) mostraram em seu estudo que na época de seca a variação genética para características anatômicas é maior, portanto serão utilizados esses resultados para propor cultivares que mostraram maior plasticidade das folhas para possivelmente se comportarem de forma satisfatória em ambientes sob escassez de água. Lembrando que este trabalho apresenta estudos preliminares pois os resultados foram avaliados em apenas um ano de cultivo. Sendo as cultivares do grupo 2 do dendograma apresentado na figura 4 B possuem potencial para se adaptar a regiões com seca. Não foi possível afirmar neste trabalho possíveis cultivares para utilização em futuros trabalhos de melhoramento genético para obtenção de cultivares com tolerância à seca, pois houve grande influência do ambiente em diversas características anatômicas, como pôde ser observado na análise de divergência genética, mesmo alguns autores afirmando que características anatômicas podem ter alta herdabilidade (VIANA et al., 2018).

4 CONCLUSÕES

Existe divergência genética entre as cultivares de macieira estudadas com relação às características anatômicas.

As cultivares ‘Gala Real’, ‘Eva’ e ‘Baronesa’ apresentam estrutura interna foliar com potencial de adaptação em locais com seca.

5 REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, p.711-728 2013.

AZEVEDO, A.M.; ANDRADE JÚNIOR, V.C.; OLIVEIRA, C.M.; FERNANDES, J.S.C.; PEDROSA, C.E.; DORNAS, M.F.S.; CASTRO, B.M.C. Seleção de genótipos de alface para cultivo protegido: divergência genética e importância de caracteres. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.31, p.260-265, 2013.

BACELAR, E., CORREIA, C., MOUTINHO-PEREIRA, J., GONCALVES, B., LOPES, J., TORRES-PEREIRA, J., 2004. Sclerophylly and leaf anatomical traits of five field-grown olive cultivars growing under drought conditions. **Tree Physiol.** 24, 233–239.

BALIZA, D. P.; CUNHA, R. L.; GUIMARÃES, R. J.; BARBOSA, J. P.; ÁVILA, F. W.; PASSOS, A. Physiological characteristics and development of coffee plants under different shading levels. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.7, n.1, p.37-43, 2012.

BATISTA, L.A.; GUIMARÃES, R.J.; PEREIRA, F.J.; RODRIGUES CARVALHO, G.; CASTRO, E.M.D. Anatomia foliar e potencial hídrico na tolerância de cultivares de café ao estresse hídrico. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.41, n.3, p.475-481, 2010.

BOSABALIDIS, A.M.; KOFIDIS, G. Comparative effects of drought stress on leaf anatomy of two olive cultivars. **Plant Science, Limerick**, v. 163, p. 375-379, 2002.

BOSCO L. C. **Alterações microclimáticas causadas por cobertura antigranizo e efeito sobre o desenvolvimento e produção de macieiras**. Tese Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 203p., Porto Alegre-RS, 2011.

CAMPOSEO, S., PALASCIANO, M., VIVALDI, G., GODINI, A., 2011. Effect of increasing climatic water deficit on some leaf and stomatal parameters of wild and cultivated almonds under Mediterranean conditions. **Sci. Hort.** 127, 234–241.

CARLQUIST, S. Ecological factors in wood evolution: a loric approach. **American Journal of Botany**, Saint Louis, v. 64, p. 887-896, 1977.

CASTANHEIRA, D.T.; REZENDE, T.T.; BALIZA, D.P.; GUEDES, J.M.; CARVALHO, S.P.; GUIMARÃES, R.J.; VIANA, M.T.R. Potencial de utilização de características anatômicas e fisiológicas na seleção de progênies de cafeeiro. **Coffee Science**, Lavras, v.11, n.3, p.374-385, 2016.

CASTRO, E.M.; PEREIRA, F.J.; PAIVA, R. **Histologia vegetal: estrutura e função de órgãos vegetativos**. Lavras: UFLA, 2009. 234 p.

CATLIN, P. Root system and root physiology. In: MICKE, W.C. (Ed.), **Almond Orchard Management**. Univ. California, Division of Agriculture and Natural Resources, 1996, p. 107–112 (Publ. No. 3364).

CATTIVELLI, L., FULVIA, R., FRANZ, W., MAZZUCOTELLI, E., MASTRANGELO, A., FRANCA, E., TONDELLI, A., STANCA, A. Drought tolerance improvement in crop plants: an integrated view from breeding to genomics. **Field Crops Res.** v.105, p.1–14, 2008.

CHARTZOULAKIS, K., PATAKAS, A., BOSABALIDIS, A.M. Changes in water relations, photosynthesis and leaf anatomy induced by intermittent drought in two olive cultivars. **Environ. Exp. Bot.** v.42, p.113-120. 1999.

CRUZ, C.D. **Programa Genes: aplicativo computacional em genética estatística**. Viçosa, MG: UFV. Software, 2013.

CRUZ, C. D., REGAZZI, A. J., CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3ª ed. Viçosa, UFV. 2004. 480p.

EBEL, R.C., PROEBSTING, E.D.; EVANS, R.G. Apple Tree and Fruit Responses to Early Termination of Irrigation in a Semi-arid Environment. **Hortscience**, v.36, n.7, p.1197-2001, 2001.

ESAU, K. **Anatomia das plantas com sementes**. São Paulo: E Blucher, 1974. 293p.

GOLDHAMER, D.; VIVEROS, M. Effects of preharvest irrigation cutoff durations and postharvest water deprivation on almond tree performance. **Irrig. Sci.** v.19, p.125–131, 2000.

GOWER, J. C. A general coefficient of similarity and some of its properties. **Biometrics**, v. 27, n. 4, p. 857-874, 1971.

GRISI, F.A.; ALVES, J.D.A.; CASTRO, E.C.; OLIVEIRA, C.; BIAGIOTTIS, G.; MELO, L.A. Avaliações anatômicas foliares em mudas de café ‘catuai’ e ‘siriema’ submetidas ao estresse hídrico. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 6, p. 1730-1736, 2008.

IVOGLO, M.I.L.A.N.A.G.; FAZUOLI, L.C.; BAIÃO DE OLIVEIRA, A.C.; BOLLER GALLO, P.A.U.L.O.; MISTRO, J.C.; BERNADETE SILVAROLLA, M.A.R.I.A.; TOMA-BRAGHINI, M.A.S.A. Divergência genética entre progênies de café robusta. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.2, p.823-831, 2008.

JOHANSEN, D.A. **Plant microtechnique**. New York: McGraw- Hill, 1940. 523p.

JONES, H. G. **Plants and microclimate**. 2. ed. New York: Cambridge University, 1992. 428 p.

KRAMER, P., 1983. Water relations of plants. **Agronomy** 70, 630–634.

KRAUS, J.E.; ARDUIM, M. **Manual básico de métodos em morfologia vegetal**. Seropédica: EDUR, 1997. 198 p.

MEDRI, C.; MEDRI, M. E.; RUAS, E. A.; SOUZA, L. A.; MEDRI, P. S.; SAYHUN, S.; BIANCHINI, E.; PIMENTA, J. A. Morfoanatomia de órgãos vegetativos de plantas juvenis de *Aegiphila sellowiana* Cham. (Lamiaceae) submetidas ao alagamento do substrato. **Acta Botanica Brasilica**, Feira de Santana, v. 25, n. 2, p. 445-454, 2011.

METCALFE, C.R.; CHALK, L. **Anatomy of dicotyledons: leaves, stems, and wood in relation to taxonomy with notes on economic uses**. Orford: Clarendon, 1950. V.1.

MOJENA, R. Hierarchical grouping methods and stopping rules: An evaluation. **The Computer Journal**, v. 20, n. 4, p. 359-363, 1977.

MOREIRA, R.M.P.; FERREIRA, J.M.; TAKAHASHI, L.S.A.; VANCONCELOS, M.E.C.; GEUS, L.C.; BOTTI, L. Potencial agrônomo e divergência genética entre genótipos de feijão-vagem de crescimento determinado. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.30, n. suplemento 1, p.1051-1060, 2009.

MORGAN, J.M. Osmoregulation and water stress in higher plants. **Ann. Rev. Plant Physiol.** v.35, p.299-319. 1984.

- NUNES, M.A., CATARINO, F., PINTO, E. Strategies for acclimation to seasonal drought in *Ceratonia siliqua* leaves. **Physiol. Plant.** v.77, p.150-156. 1989.
- OERTLI, J.J.; LIPS, S.H.; AGAMI, M. The strength of sclerophyllous cells to resist collapse due to negative turgor pressure. **Acta Oecologia.** v.11, n.2, p.281-289, 1990.
- OLIVEIRA, I., MEYERB, A., AFONSO, S. GONÇALVES, B. 2018. Compared leaf anatomy and water relations of commercial and traditional *Prunus dulcis* (Mill.) cultivars under rain- fed conditions. **Sci. Hortic.** 229, 226–232.
- PINTO, C. M. et al. Crescimento, distribuição do sistema radicular em amendoim, gergelim e mamona a ciclos de deficiência hídrica. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 03, p. 429-436, 2008.
- QUEIROZ-VOLTAN, R. B.; NARDIN, C.F.; FAZUOLI, L.C.; BRAGHINI, M.T. Caracterização da anatomia foliar de cafeeiros arábica em diferentes períodos sazonais. **Biotemas**, Florianópolis, v. 27, n. 4, p. 1-10, 2014.
- ROMERO, P.; BOTÍA, P.; GARCÍA, F. Physiological Response of Almond (*Amygdalus Communis* L.) to Water Stress: Cell Turgor and Osmotic Adjustment. **V Simposium Hispano-Portugués de Relaciones Hídricas en las Plantas**, Madrid, p.117–122, 2000.
- SHACKEL, K. Physiological aspects of water use. In: MICKE, W.C. (Ed.), **Almond Production Manual**. Univ. California, Div. Agric. Natural Resources, 1996, p. 113–115
- SIRCELJ, H., TAUSZ, M., GRILL, D., BATIC, F. Biochemical responses in leaves of two apple tree cultivars subjected to progressing drought. **Journal of Plant Physiology**, V.162, P.1308-1318. 2005.
- SOUZA, W.M.; SANTOS, C.A.; DUARTE, M.; BARDAL, D.; Morfo-anatomia das folhas da nespereira – *Eriobotrya japônica* Lindl., Rosaceae. **Revista Brasileira de Farmacognosia**. v.13, n.1, p.41-49, 2003.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.
- TORRECILLAS, A.; SÁNCHEZ-BLANCO, M.; RUIZ-SÁNCHEZ, M. Response of Woody Crops to Water Deficits. Water Relations and Yield. **V Simposium Hispano-Portugués de Relaciones Hédricas en las Plantas**, Madrid, p. 23–35, 2000.
- VIANA, M.T.R. **Anatomia foliar de acessos de café resistente à ferrugem do banco de germoplasma de Minas Gerais**. Dissertação Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, 66p., 2015.
- VIANA, M. T. R.; GUEDES, J. M.; MAURI, J.; SILVA, E. A.; CASTANHEIRA, D. T.; DA GAMA, T. C. P.; GUIMARÃES, R. J. Variabilidade genética em genótipos de café resistentes à ferrugem utilizados em programas de melhoramento. **Scientia Agraria Paranaensis**, v.17, n.1, p.80-89, 2018
- WRIGHT, P.R., MORGAN, J.M., JESSOP, R.S. Turgor maintenance by osmoregulation in *Brassica napus* and *B. juncea* under field conditions. **Ann. Bot.** v.80, p.313-319, 1997

ZOKAEE-KHOSROSHAHI, M., ESNA-ASHARI, M., ERSHADI, A., IMANI, A., 2014.
Morphological changes in response to drought stress in cultivated and wild almond species.
Int. J. Hortic. Sci. Technol. v.1, n. 1, p.79–92. 2014.

EXPERIMENTO 3

ARTIGO 3

Anatomia foliar de macieira cv ‘Honeycrisp’ cultivadas sob malhas fotoconversoras

Artigo formatado de acordo com a NBR 6022 (ABNT, 2003), conforme exigido pela UFLA

Resumo: A cultivar de macieira ‘Honeycrisp’ está sendo muito produzida em regiões do Norte dos Estados Unidos e Leste do Canadá. Os frutos dessa cultivar são susceptíveis à queimadura solar, danos causados pela alta incidência de radiação solar. Surgiu como alternativa para redução à queimadura solar a utilização de malhas fotoconversoras. No entanto, essas malhas fotoconversoras alteram o ambiente de cultivo sob as plantas e a fisiologia de crescimento das macieiras pode ser grandemente influenciada pela radiação recebida durante o crescimento. Diante disso o presente estudo objetivou-se avaliar o efeito do sombreamento, utilizando malhas fotoconversoras de diferentes colorações, sobre características da anatomia foliar da macieira ‘Honeycrisp’. O experimento foi realizado em um pomar comercial com quatro anos de idade em Quincy-WA. Em maio de 2017, após o pleno florescimento e polinização, três cores de malhas fotoconversoras [branco (perola), azul e vermelha] foram instaladas 4 m acima do solo e 1 m acima da copa das plantas ao longo de quatro fileiras de árvores. Além das malhas fotoconversoras, foi testado também o tratamento controle (céu aberto). Seis folhas completamente expandidas foram coletadas do terço médio de cada planta, onde as mesmas foram armazenadas em papel umedecido para posterior transporte ao laboratório de fisiologia vegetal do Tree Fruits Research and Extension Center da Universidade de Washington (WSU TFREC) em Wenatchee, WA. Em laboratório, as folhas foram tomadas ao acaso, sendo avaliadas três folhas de cada coloração de tela além do controle, sendo cada folha considerada como uma repetição. Foram avaliados nas secções transversais do limbo foliar: espessura da epiderme da face abaxial (EAB), espessura da epiderme da face adaxial (EAD), espessura da cutícula da face adaxial (ECD), espessura do parênquima paliçádico (PPA), espessura do parênquima esponjoso (PEP) e espessura do Limbo Foliar (ELF). E para a nervura foliar foram avaliados: Área do Xilema (AX), área do floema (AF), número de vasos do xilema (NVX), diâmetro dos vasos do xilema (DVX), espessura do Xilema (EXI) e espessura do floema (EFL). Nas secções paradérmicas, foram analisados: densidade estomática (DEN) (número de estômatos por mm²) e diâmetro polar dos estômatos (DPE), diâmetro equatorial dos estômatos (DEE) que resultaram na funcionalidade estomática (FUN) (diâmetro polar/diâmetro equatorial dos estômatos). A área do floema, diâmetro de vasos de xilema e densidade estomática são maiores em folhas coletadas em tela de coloração azul. Foi observado maior número de vasos de xilema em folhas retirada de tela de coloração vermelha. Já na tela de coloração branco (perola) foi encontrado melhor funcionalidade estomática e maior espessura do floema. Portanto, as diferentes cores de malhas fotoconversoras modificam as características da anatomia foliar de macieira da cultivar ‘Honeycrisp’.

Palavras-chave: *Malus domestica*; Tela antigranizo; estruturas morfoanatômicas.

Abstract: The ‘Honeycrisp’ apple cultivar is being heavily produced in regions of the Northern United States and Eastern Canada. The fruits of this cultivar are susceptible to sunburn, damage caused by the high incidence of solar radiation. An alternative to reduce sunburn was the use of photoconverters. However, these photoconverting screens alter the growing environment under the plants and the physiology of apple tree growth can be greatly influenced by the radiation received during growth. The objective of this study was to evaluate the effect of shading, using photoconverting meshes of different colors, on the characteristics of the ‘Honeycrisp’ apple tree leaf anatomy. The experiment was carried out in a commercial orchard with four years of age in Quincy-WA. In May 2017, after full bloom and pollination, three colors of photoconverting mesh [white (pearl), blue and red] were installed 4 m above the ground and 1 m above the canopy of plants along four rows of trees. In addition to the photoconverters, the control treatment (open sky) was also tested. Six fully expanded leaves were collected from the middle third of each plant, where they were stored on moist paper for later transportation to the University of Washington Tree Fruits Research and Extension Center (WSU TFREC) in Wenatchee, WA. In the laboratory, the leaves were taken at random, being evaluated three leaves of each coloring of screen besides the control, each leaf being considered as a repetition. The thickness of the adaxial epidermis (AE), thickness of the adaxial face cuticle (CUT), thickness of the palisade parenchyma (PP), spongy parenchyma thickness (SP) and leaf limb thickness (LL). The leaf area was evaluated: Xylem area (AX), phloem area (AF), number of xylem vessels (NXV), diameter of xylem vessels (DXV), Xylem thickness (EXI) and phloem thickness (EFL). In the parasideric sections, stomata density (DEN) (number of stomata per mm²) and polar diameter of the stomata (PD), equatorial diameter of the stomata (EQ) that resulted in the stomatal functionality (FUN) (polar diameter / equatorial diameter of stomata). The phloem area, xylem vessel diameter and stomata density are larger in leaves collected on a blue-colored screen. A greater number of xylem pots were observed in leaves removed from red-colored screen. On the screen of white (pearl) coloring, better stomata functionality and greater phloem thickness were found. Therefore, the different colors of photoconverter mesh modify the characteristics of the apple tree anatomy of the ‘Honeycrisp’ cultivar.

Keywords: *Malus domestica*, Hail netting, morphoanatomical structure.

1 INTRODUÇÃO

A cultivar de macieira ‘Honeycrisp’ foi desenvolvida em Minnesota e lançada em 1991 (BEDFORD, 2001). Desde então se tornou muito popular nos novos mercados de frutas do norte do Estados Unidos e Leste do Canadá, resultando em bons preços para os produtores (DE LONG et al., 2004). Porém, essa cultivar é muito susceptível a danos causados pelo excesso de radiação solar no verão, que coincide com a época em que as maçãs são produzidas, ocasionando a queimadura solar conhecida como *sunburn* (GLENN et al., 2002; LIPTON 1977; PARCHOMCHUK; MEHERIUK, 1996; SCHRADER et al., 2003; SCHUPP et al., 2002).

As maçãs são mais susceptíveis à queimadura solar do que a folhas por não possuírem um mecanismo eficiente de utilização e/ou dissipação de radiação solar (BLANKE; LENZ,

1989; JONES, 1981). Com a inadequação dos mecanismos de resistência e a susceptibilidade do fruto a queimaduras solares foi necessária a utilização de mecanismos externos, como as malhas fotoconversoras (também chamada de tela antigranizo ou telas de sombreamento), para reduzir os danos de queimadura solar sob os frutos (GINDABA; WAND, 2005).

O principal propósito das malhas fotoconversoras era proteger os frutos de danos ao granizo (SCOTT, 1988), porém, foi observado que essas malhas fotoconversoras também modificam o ambiente por ser mais favorável para o crescimento e desenvolvimento das plantas e frutos (SHAHAK et al., 2004; BASTÍAS et al., 2012; MCCASKILL et al., 2016). O uso dessas malhas fotoconversoras em macieiras tem aumentado a produção com a procura dos produtores em proteger tanto as plantas quanto os frutos de maçã da radiação solar excessiva (DO AMARANTE et al., 2011; SHAHAK et al., 2004a, 2004b). O excesso de radiação solar leva ao desenvolvimento de queimaduras solares em frutos, um distúrbio fisiológico que causa grandes perdas econômicas para os produtores (RACSKO; SCHRADER, 2012). As malhas fotoconversoras é um meio viável para reduzir o estresse das plantas durante extremos climáticos (MUPAMBI et al., 2018). E também podem proteger os frutos de danos por pássaros, morcegos, insetos e ventos fortes (ARTHURS et al., 2013; SHAHAK et al., 2004b; SMIT, 2007).

O estado de Washington nos Estados Unidos é um dos maiores produtores mundiais de maçã, no entanto nas principais regiões produtoras desse estado o clima é quente e seco, com alta intensidade luminosa. A condição de seca e alta temperatura limitam a presença de insetos e doenças enquanto que a alta intensidade luminosa pode aumentar a produtividade (SMITH, 2000). Sob essas condições, a temperatura excessiva da superfície dos frutos também podem causar queimaduras solares e outros distúrbios (WÜNSCHE et al., 2002; SCHRADER et al., 2003; RACSKO; SCHRADER, 2012).

A anatomia foliar pode ser grandemente influenciada pela radiação recebida durante o crescimento, uma vez que a folha é um órgão plástico, sendo ela afetada tanto nos primeiros estágios de desenvolvimento quanto nos estágios mais adultos, e sua estrutura interna adapta-se às condições externas do ambiente (HANBA et al., 2002; SCHLUTER et al., 2003; WHATLEY; WHATLEY, 1982). A intensidade e a qualidade espectral da radiação desempenham papel fundamental no desenvolvimento morfológico das plantas, visando uma melhor eficiência do aparato fotossintético na captação e na utilização da energia radiante (MARTINS et al., 2009).

As estruturas morfoanatômicas dos vegetais sofrem grande influência das condições ambientais em que vivem, embora a relação entre esses caracteres adaptativos e condições

ambientais, em muitos casos, seja difícil de estabelecer. Em anatomia vegetal o termo adaptação tem sido utilizado pra descrever certos caracteres anatômicos associados a determinadas condições ambientais de cultivo (REEVE; SHERMAN, 1993)

Estudos sobre mudanças climáticas tem mostrado que no futuro as temperaturas em regiões de cultivo tradicional de maçã podem aumentar (STÖCKLE et al., 2010), e a mitigação dos impactos das altas temperaturas será fundamental para manter a produtividade dos pomares e a alta qualidade dos frutos (KALCSITS et al., 2017). Mesmo pequenos aumentos na temperatura média em toda a região podem aumentar as temperaturas da superfície dos frutos acima dos limites aceitáveis e aumentar a suscetibilidade a queimaduras solares afetando negativamente a qualidade dos frutos (RACSKO; SCHRADER, 2012)

No presente estudo, objetivou-se avaliar o efeito do sombreamento, utilizando malhas fotoconversoras de diferentes cores, sobre características da anatomia foliar em plantas de macieira da cultivar ‘Honeycrisp’.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em um pomar comercial de quatro anos de idade cultivado com a cultivar ‘Honeycrisp’ sob porta-enxerto ‘Bud-9’, localizado próximo a Quincy – WA (47,23° N, 119,85° W). O pomar está num clima com temperatura média anual de 10,3 °C e precipitação de 198 mm. As temperaturas médias máximas diárias são 25,9, 30,4 e 29,9 °C para junho, julho e agosto, respectivamente, com uma precipitação típica durante esses meses de apenas 23 mm. A plantas foram conduzidas com quatro fios em treliça em V espaçadas 60 cm entre plantas e 3,7 m entre linhas (4.485 plantas/ha). Todas as plantas do pomar receberam a mesma quantidade de irrigação utilizando microaspersores.

Em maio de 2017, 30 dias após o pleno florescimento e polinização, três cores de malhas fotoconversoras: branco (perola), azul e vermelha foram instaladas 4 m acima do solo e 1 m acima da copa das plantas ao longo de quatro fileiras de árvores; foram utilizadas como parcela útil apenas duas fileiras centrais. As malhas fotoconversoras utilizadas são produtos comercialmente testados (Poly Sac Inc., Israel) que reduzem a entrada de luz 20-23 % aproximadamente. Além das malhas fotoconversoras foi testado também o tratamento controle (céu aberto).

Seis folhas completamente expandidas foram coletadas do terço médio de cada planta onde as mesmas foram armazenadas em papel umedecido para posterior transporte ao laboratório de fisiologia vegetal do Tree Fruits Research and Extension Center da

Universidade de Washington (WSU TFREC) em Wenatchee, WA. Em laboratório, as folhas foram tomadas ao acaso, sendo avaliadas três folhas de cada coloração de tela mais o controle, sendo cada folha considerada como uma repetição.

Antes das folhas serem fixadas foi realizado a impressão da epiderme face abaxial utilizando uma gota de adesivo instantâneo universal éster de cianoacrilato (Super-Bonder®) em uma lâmina histológica, conforme descrito em Segatto et al. (2004), para posterior mensuração e contagem dos estômatos. Nessa etapa foram preparadas três laminas por folha e avaliados três campos de visão por lâmina, utilizando-se lente objetiva com aumento de 20x.

Após realizada essa técnica as folhas foram fixadas em solução de formaldeído-ácido acético-álcool etílico 70% após 72 horas colocadas em nova solução de álcool 70% (v v-1) visando a conservação do material (JOHANSEN, 1940). Segmentos de 0,25 cm² foram retirados da região mediana do limbo e da região da nervura principal sendo que as mesmas foram desidratadas em série alcoólica-etílica (70, 80, 90, 100 e 100%) incluídas em parafina.

Após a inclusão, cortes em secções transversais, foram realizados em micrótomo rotativo, com 8 µm de espessura, corados com Azul de Toluidina a 1% e montados em laminas com glicerina 50% (KRAUS; ARDUIN, 1997);

Posteriormente as lâminas foram observadas e fotografadas em microscópio óptico, modelo Olympus BX 60, acoplado à câmera digital Canon A630 para a captura das imagens.

As imagens foram analisadas com o software específico para análise de imagens ImageJ (1.44) obtendo-se a avaliação dos seguintes tecidos nas secções transversais do limbo foliar: espessura da epiderme da face abaxial (EAB), espessura da epiderme da face adaxial (EAD), espessura da cutícula da face adaxial (ECD), espessura do parênquima paliçádico (PPA), espessura do parênquima esponjoso (PEP) e espessura do Limbo Foliar (ELF). E para a nervura foliar foram avaliados: Área do Xilema (AX), área do floema (AF), número de vasos do xilema (NVX), diâmetro dos vasos do xilema (DVX), espessura do Xilema (EXI) e espessura do floema (EFL).

Nas secções paradérmicas, foram analisados: densidade estomática (DEN) (número de estômatos por mm²) e diâmetro polar dos estômatos (DPE), diâmetro equatorial dos estômatos (DEE) que resultaram na funcionalidade estomática (FUN) (diâmetro polar/diâmetro equatorial dos estômatos).

Foram selecionadas 6 plantas dentro de cada cor de tela antigranizo e a céu aberto para a coleta das folhas. Portanto o delineamento utilizado foi o de blocos casualizados em que cada planta representou um bloco. Foi realizada a análise de variância (ANOVA) e após isso as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade de erro.

Todas as análises foram realizadas utilizando o aplicativo computacional em genética e estatística “Programa GENES” (CRUZ, 2008).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a tabela 1, que representa o resumo da análise de variância de 16 características anatômicas, sete delas apresentaram diferença significativa ao nível de 1% pelo teste F (AX, DVX, EAD, ECD, DPO, FUN e DEN), três apresentaram diferença a 5% de probabilidade pelo teste F (ELF, NVX e DEQ) e as características AF, EXI, PPA, PEP, EAB e ELF não apresentaram diferença significativa pelo teste F para as diferentes cores de malhas fotoconversoras avaliadas.

Tabela 1. Resumo da análise de variância, estimativas do coeficiente de variação ambiental (CV) das 16 características anatômicas foliares ⁽¹⁾ avaliadas de macieira (*Malus domestica*), cultivar ‘Honeycrisp’, sob quatro diferentes cores de malhas fotoconversoras, em Quincy-WA.

	Quadrados Médios																
	GL	AX x10 ⁴	AF x10 ⁴	EXI	EFL	NVX	DVX	PPA	PEP	EAD	EAB	ECD	ELF	DPO	DEQ	FUN	DEN
Malhas fotoconversoras	3	137432,48**	23794,04	250,38	598,60*	1437,19*	4,92**	245,58	608,03	5,04**	0,76	3,07**	210,23	10,12**	0,97*	0,03**	83,29**
Bloco	5	20212,53	12190,72	93,33	102,83	196,00	0,35	38,33	214,90	0,50	2,20	0,19	174,93	1,82	0,51	0,00	26,79
Resíduo	15	22035,22	29139,56	159,22	130,33	333,02	0,40	110,86	349,87	0,79	1,13	0,09	801,70	0,57	0,25	0,00	12,82
Média		7,98	7,31	148,71	103,97	168,16	11,68	116,54	148,33	18,19	13,61	4,18	299,79	23,93	16,09	1,49	51,43
CV (%)		18,61	23,36	8,49	10,98	10,85	5,39	9,03	12,61	4,89	7,80	7,13	9,44	3,15	3,09	3,38	6,96

(1) AX :área do xilema; AF: área do floema; NVX: número de vasos de xilema; EXI: espessura do xilema, EFL: espessura do floema; DVX: diâmetro de vasos de xilema; PPA: espessura do parênquima paliçádico; PEP: espessura do parênquima esponjoso; EAD: espessura da epiderme adaxial; EAB: espessura da epiderme abaxial; ECD: espessura da cutícula da epiderme adaxial; ELF: espessura do limbo foliar; DPO: diâmetro polar dos estômatos; DEQ: diâmetro equatorial dos estômatos; FUN: funcionalidade estomática (DPO/DEQ); DEN: densidade estomática. * e ** significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Para a característica área do xilema, quando as plantas foram cultivadas a céu aberto observou-se que houve uma redução significativa na área desse tecido condutor, talvez pelo fato de ter ocorrido também uma redução no número de vasos de xilema (Tabela 2).

Tabela 2. Área do xilema (AX), área do floema (AF), espessura do xilema (EXI), espessura do floema (EFL), número de vasos de xilema (NVX) e diâmetro de vasos do xilema (DVX) de macieira (*Malus domestica*), cultivar ‘Honeycrisp’, sob quatro diferentes cores de malhas fotoconversoras, em Quincy-WA.

Malhas fotoconversoras	AX (μm^2) x 10^4	AF (μm^2) x 10^4	EXI (μm)	EFL (μm)	NVX	DVX (μm)
Azul	9,38 a	7,09 a	153,73 a	90,97 b	171,26 ab	12,94 a
Vermelho	8,66 a	7,55 a	152,55 a	101,37 ab	185,82 a	11,70 b
Branco (Pérola)	7,99 ab	8,03 a	149,07 a	112,72 a	167,29 ab	10,89 b
Céu aberto	5,87 b	6,56 a	139,48 a	110,81 a	148,25 b	11,18 b
Média	7,98	7,31	148,71	103,97	168,16	11,68
CV(%)	18,61	23,36	8,49	10,98	10,85	5,39

Médias seguidas pela mesma letra minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em telas azuis e vermelhas, a área do xilema foram maiores, 9,38 e 8,66 μm^2 respectivamente. O número de vasos de xilema para a tela vermelha foi maior com relação às demais (185,82) e o tratamento céu aberto obteve o menor número médio de vasos (147,25). Castro et al. (2009) afirmam que é comum em ambientes com alta incidência luminosa a alteração da quantidade e disponibilidade do tecido vascular, a fim de promover adaptações para manter a condução de água e sais minerais. Em algumas características do tecido vascular como área do floema e espessura do xilema, não foram observadas diferenças quando comparado folhas retiradas das diferentes cores de tela com as coletadas a céu aberto.

A espessura do floema foi maior quando as folhas foram coletadas de plantas cultivadas a céu aberto e sob telas de coloração branco (pérola) (Tabela 2). O maior desenvolvimento da nervura principal em locais sombreados indica que a planta pode apresentar adaptabilidade nestes locais (CASTRO et al., 2007).

Não houve diferenças para as características PPA, PEP e ELF quando comparado as diferentes cores de malhas fotoconversoras (Tabela 3). Essas características normalmente modificam quando são submetidas a ambientes com sombreamento como evidenciado por Garriz et al. (2001) estudando o sombreamento nas características anatômicas de folhas de macieira ‘Braeburn’ em que as plantas cultivadas em ambiente sombreado reduziram a espessura do parênquima paliádico, esponjoso e do limbo foliar. Garriz et al. (1998) estudando a influência do sombreamento (80%) na anatomia de folhas de pereira também

encontraram diferenças na espessura do limbo foliar influenciada pelo espessamento do parênquima paliçádico quando não havia o sombreamento. Porém os mesmos autores não encontraram diferença na espessura do parênquima esponjoso assim como o observado no presente trabalho. Solomakhin e Blanke (2010) não encontraram diferença na espessura do parênquima paliçádico de cultivares de macieira submetidas ao sombreamento apesar de ter observado um aumento no número de camadas desse tecido quando as plantas foram cultivadas em ambiente sem o sombrite. Bosco (2011) trabalhando com folhas de macieira das cultivares ‘Royal Gala’ e ‘Fuji’ não encontrou diferença na espessura do limbo foliar quando as mesmas foram submetidas ao sombreamento e a céu aberto. Folhas expostas a maiores fluxos de radiação solar, geralmente, são mais espessas que aquelas sob menor incidência de radiação (TAIZ; ZEIGER, 2009). Segundo Pompelli et al. (2010) em condições de radiação direta a capacidade fotossintética por unidade de área foliar aumenta, resultando em maior espessura das folhas e maior número camadas de células no parênquima paliçádico, porém a plasticidade foliar pode variar entre e dentro da mesma espécie e até mesmo dentro da mesma cultivar (TAIZ; ZEIGER, 2009; XU et al., 2009).

Tabela 3. Espessura do parênquima paliçádico (PPA), espessura do parênquima esponjoso (PEP), espessura do Limbo foliar (ELF), espessura da epiderme adaxial (EAD), espessura da epiderme abaxial (EAB) e espessura da cutícula da epiderme adaxial (ECD) de macieira (*Malus domestica*), cultivar ‘Honeycrisp’, sob quatro diferentes cores de malhas fotoconversoras, em Quincy-WA.

Malhas fotoconversoras	PPA (μm)	PEP (μm)	ELF (μm)	EAD (μm)	EAB (μm)	ECD (μm)
Azul	111,94 a	146,00 a	291,78 a	17,56 b	13,38 a	4,08 b
Vermelho	113,21 a	156,64 a	302,54 a	19,55 a	14,07 a	3,68 b
Branco (Pérola)	115,06 a	155,62 a	299,30 a	17,87 b	13,72 a	3,73 b
Céu aberto	125,94 a	135,05 a	305,55 a	17,76 b	13,28 a	5,22 a
Média	116,54	148,33	299,79	18,19	13,61	4,18
CV(%)	9,03	12,61	9,44	4,89	7,80	7,13

Médias seguidas pela mesma letra minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A espessura da epiderme adaxial quando as plantas foram submetidas ao sombreamento em malhas fotoconversoras de coloração vermelha houve maior espessamento em relação às demais, já na epiderme abaxial não foi observado diferenças entre as plantas cultivadas nos diferentes ambientes. Solomakhin e Blanke (2010) encontraram diferença na espessura das epidermes de cultivares de macieira quando comparadas plantas em ambiente sombreado com tela verde-preta e sem sombreamento em que no sombreamento as folhas apresentaram menor espessura. Ainda segundo Solomakhin e Blanke (2010) esse maior

espessamento das epidermes além do aumento de número de camadas de tecido paliçádico influenciou no maior espessamento do limbo foliar em 27%. Oliveira et al. (2009) também encontraram diferença nas epidermes das faces adaxial e abaxial em folhas de *Artemisia vulgaris* quando cultivadas sob tela de coloração azul e vermelho.

Com relação à espessura da cutícula as plantas que estavam sendo cultivadas sob céu aberto obtiveram maior espessura (5,22 μm) em relação às demais. Geralmente a cutícula de folhas que crescem sob alta intensidade luminosa são mais espessas (GARRIZ et al., 1998, REYES et al., 1996).

Os estômatos das folhas cultivadas sob tela antigranizo de coloração branco (pérola) obteve maior diâmetro polar (25,54 μm) e nas folha cultivadas sob tela de cor vermelha apresentou maior diâmetro equatorial (16,43 μm), porem os estômatos das folhas da tela branco (pérola) apresentou 16,13 μm de diâmetro equatorial, fazendo com que os estômatos nessa coloração de tela se tornasse os mais funcionais quando comparados com os demais (Tabela 4). Em trabalhos realizados com plantas de alfavaca-cravo cultivadas sob malhas fotoconversoras Martins et al. (2009) observaram melhor funcionalidade dos estômatos quando as plantas foram cultivadas sob malhas de coloração azul. Diversos autores têm demonstrado estreita relação entre a luz azul e as respostas estomáticas (FRECHILLA et al., 2000; PARKS et al., 2001). Segundo Khan et al. (2002), quanto maior a relação diâmetro polar/equatorial, mais elipsóide é o estômato, podendo resultar em maior funcionalidade.

Tabela 4. Diâmetro polar dos estômatos (DPO), diâmetro equatorial dos estômatos (DEQ), funcionalidade estomática (FUN) (Relação DPO/DEQ) e densidade estomática (DEN) de macieira (*Malus domestica*), cultivar 'Honeycrisp', sob quatro diferentes cores de malhas fotoconversoras, em Quincy-WA.

Malhas fotoconversoras	DPO (μm)	DEQ (μm)	FUN	DEN (estomatos. mm^{-2})
Azul	23,74 b	16,29 ab	1,46 b	56,93 a
Vermelho	24,09 b	16,43 a	1,47 b	50,38 b
Branco (Pérola)	25,54 a	16,13 ab	1,59 a	48,78 b
Céu aberto	22,38 c	15,52 b	1,44 b	49,63 b
Média	23,93	16,09	1,49	51,43
CV(%)	3,15	3,09	3,38	6,96

Médias seguidas pela mesma letra minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A densidade estomática é extremamente variável entre as espécies e até mesmo entre indivíduos da mesma espécie, dependendo das condições ambientais (CASTRO et al., 2009). Lacher (2000) também afirma que a Quantidade, distribuição, tamanho, forma e mobilidade dos estômatos são características específicas de cada espécie e podem se alterar em função

das adaptações às condições ambientais As folhas de macieira quando cultivadas em tela antigranizo de coloração azul desenvolveram maior número de estômatos por unidade de área (56,93) mostrando que para esta espécie e principalmente para a cultivar ‘Honeycrisp’ houve variação com relação à densidade estomática quando cultivadas em diferentes cores de tela. Castro et al. (2007) avaliando adaptações anatômicas de folhas de *Mikania glomerata* Sprengel (Asteraceae), em três regiões distintas da planta, em diferentes níveis de sombreamento observaram que a maior densidade estomática foi atingida a 30% de sombreamento na região superior da planta. Martins et al. (2009) estudando a anatomia foliar de plantas de alfavaca-cravo cultivadas sob malhas fotoconversoras também encontraram maior densidade estomática quando as folhas das plantas foram submetidas à malhas fotoconversoras de coloração preta e vermelha.

Além do comportamento estomático, o número e o tamanho das células comuns da epiderme podem variar de maneira significativa entre plantas cultivadas em diferentes níveis de luz (ABRAMS; MOSTOLLER, 1995). Essas adaptações das células comuns e especializadas da epiderme são fundamentais para o processo de adaptação das plantas a diferentes condições ambientais, otimizando, principalmente, o processo de trocas gasosas entre perda de água por transpiração e absorção de CO₂, necessários à fotossíntese (CASTRO et al., 2007).

4 CONCLUSÕES

A malha de coloração azul propicia maior área de xilema, maior diâmetro de vasos de xilema e maior densidade estomática.

A malha fotoconversora de coloração vermelha propicia maior número de vasos de xilema.

A malha de coloração branco (pérola) propicia melhor funcionalidade estomática e maior espessura do floema.

5 REFERÊNCIAS

ABRAMS, M.D.; MOSTOLLER, S.A. Gas exchange, leaf structure and nitrogen in contrasting successional tree species growing in open and understored sites during a drought. **Tree Physiology**, v.15, n.6, p.361-70, 1995.

ARTHURS, S. P.; STAMPS, R. H.; GIGLIA, F. F. Environmental modification inside photoselective shadehouses. **HortScience**, v.48, p.975–979, 2013.

BASTÍAS, R. M.; MANFRINI, L.; CORELLI-GRAPPADELLI, L. Exploring the potential use of photo-selective nets for fruit growth regulation in apple. **Chil. J. Agric. Res.** v.72, n.2, p.224, 2012.

BEDFORD, D. Honeycrisp. **Compact Fruit Tree**, v.34, p.98–99, 2001.

BLANKE, M. M.; LENZ, F. Fruit photosynthesis. **Plant, Cell & Environment**, v.12, n.1, p.31-46, 1989.

BOSCO L.C. **Alterações microclimáticas causadas por cobertura antigranizo e efeito sobre o desenvolvimento e produção de macieiras**. Tese Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 203p., Porto Alegre-RS, 2011.

CASTRO, E. M. et al. Adaptações anatômicas de folhas de *Mikania glomerata* Sprengel (Asteraceae), em três regiões distintas da planta, em diferentes níveis de sombreamento. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 9, n. 2, p. 8-16, 2007.

CASTRO, E.M.; PEREIRA, F.J.; PAIVA, R. **Histologia vegetal: estrutura e função de órgãos vegetativos**. Lavras: UFLA, 2009. 234 p.

CRUZ, C.D. **Programa Genes: aplicativo computacional em genética estatística**. Viçosa, MG: UFV. Software, 2008.

DELONG, J. M.; PRANGE, R. K.; HARRISON, P. A. The influence of pre-storage delayed cooling on quality and disorder incidence in ‘Honeycrisp’ apple fruit. **Postharvest biology and technology**, v.34, n.3, p.353-358, 2004.

DO AMARANTE, C. V. T.; STEFFENS, C. A.; ARGENTA, L. C. Yield and fruit quality of ‘Gala’ and ‘Fuji’ apple trees protected by white anti-hail net. **Scientia Horticulturae**, v.129, p.79–85, 2011.

FRECHILLA, S. et al. Reversal of blue light-stimulated stomatal opening by green light. **Plant Cell Physiology**, v.41, n.2, p.171-176, 2000.

GARRIZ, P. I.; COLAVITA, G. M.; ALVAREZ, H. L. Fruit and spur leaf growth and quality as influenced by low irradiance levels in pear. **Scientia Horticulturae**, v.77, p. 195-205, 1998.

GARRIZ, P. I.; COLAVITA, G. M.; ALVAREZ, H. L. Leaf characteristic and fruit growth as influenced by shade in ‘Braeburn’ apple trees. **Revista Ceres**, v.48, n.278, p.437-444, 2001.

GINDABA, J.; WAND, S. J. Comparative effects of evaporative cooling, kaolin particle film, and shade net on sunburn and fruit quality in apples. **HortScience**, v.40, n.3, p.592-596, 2005.

GLENN, D. M.; PRADO, E.; EREZ, A. MCFERSON, J.; PUTERKA, G.J. A reflective, processed-kaolin particle film affects fruit temperature, radiation reflection, and solar injury in apple. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.127, n.2, p.188-193, 2002.

HANBA, Y.T. et al. The effects 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, 2002.

HANBA, Y.T. et al. The effects 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, 2002.

IGLESIAS, I.; ALEGRE, S. The effect of anti-hail nets on fruit protection, radiation, temperature, quality and profitability of 'Mondial Gala' apples. **J. Appl. Hortic.** v.8, p.91–100, 2006.

JOHANSEN, D.A. **Plant microtechnique**. New York: McGraw- Hill, 1940. 523p.

KALCSITS, L.; MUSACCHI, S.; LAYNE, D. R.; SCHMIDT, T.; MUPAMBI, G.; SERRA, S.; MENDOZA, M.; ASTEGGIANO, L.; JAROLMASJED, S.; SANKARAN, S.; KHOT, L. R. Above and below-ground environmental changes associated with the use of photoselective protective netting to reduce sunburn in apple. **Agricultural and forest meteorology**, v.237, p.9-17, 2017.

KHAN, P.S.S.V. et al. Growth and net photosynthetic rates of *Eucalyptus tereticornis* Smith under photomixotrophic and various photoautotrophic micropropagation conditions. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v.71, n.2, p.141-146, 2002.

KRAUS, J.E.; ARDUIM, M. **Manual básico de métodos em morfologia vegetal**. Seropédica: EDUR, 1997. 198 p.

JONES, H.G. Carbon dioxide exchange of developing apple (*Malus pumila* Mill.) fruits. **Journal of experimental botany**, v.32, n.6, p.1203-1210, 1981.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2000. 531p.

LIPTON, W.J. Ultraviolet radiation as a factor in sunburn and vein tract browning of cantaloupes. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** v.102, p.32–36, 1977.

MARTINS, J. R.; Alvarenga, A. A.; CASTRO, E. M.; SILVA, A. P. O.; OLIVEIRA, C.; ALVES, E. Anatomia foliar de plantas de alfavaca-cravo cultivadas sob malhas coloridas. **Ciência Rural**, v. 39, n. 1, 2009.

MCCASKILL, M. R.; MCCLYMONT, L.; GOODWIN, I.; GREEN, S.; PARTINGTON, D.L. How hail netting reduces apple fruit surface temperature: a microclimate and modelling study. **Agric. For. Meteorol.** v.226, p.148–160, 2016.

MIDDLETON, S. G.; MCWATERS, A. D. Maximising Apple Orchard Productivity Under Hail Netting. Final report for project AP96014. Department of Primary Industries and Fisheries, Queensland, 2000.

MUPAMBI, G.; ANTHONY, B. M.; LAYNE, D. R.; MUSACCHI, S.; SERRA, S.; SCHMIDT, T.; KALCSITS, L. A. The influence of protective netting on tree physiology and fruit quality of apple: **A review. Scientia Horticulturae**, v.236, p.60-72, 2018.

OLIVEIRA, M. I.; Castro, E. M.; Costa, L. C. B.; Oliveira, C. Características biométricas, anatômicas e fisiológicas de *Artemisia vulgaris* L. cultivada sob telas coloridas. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 11, n. 1, p. 56-62, 2009.

PARCHOMCHUK, P.; MEHERIUK, M. Orchard Cooling with Pulsed Overtree Irrigation to Prevent Solar Injury and Improve Fruit Quality of 'Jonagold' Apples. **HortScience**, v31, n.5, p.802-804, 1996.

PARKS, B.M. et al. Photocontrol of stem growth. **Current Opinion Plant Biology**, v.4, n.5, p.436-440, 2001

POMPELLI, M. F. et al. What is the influence of ordinary epidermal cells and stomata on the leaf plasticity of coffee plants grown under full-sun and shady conditions? **Brazilian Journal Biology**, São Carlos, v. 70, n. 4, p. 1083–1088, 2010.

RACSKO, J.; SCHRADER, L. E. Sunburn of apple fruit: historical background, recent advances and future perspectives. **Crit. Rev. Plant Sci.** v.31, p.455–504, 2012.

RACSKO, J.; SCHRADER, L. E. Sunburn of apple fruit: historical background, recent advances and future perspectives. **Crit. Rev. Plant Sci.** v.31, n.6, p.455–504, 2012.

REEVE, H. K.; SHERMAN, P. W. Adaptation and goals of evolutionary research. **Quarterly Review Biology**, v. 68, n. 1, p. 1-32, 1993.

REYES, T.; NELL, T. A.; BARRETT, J. E.; CONOVER, C. A. Testing the light acclimatization potential of *Chrysalidocarpus lutescens* wendl. **HortScience**, v. 31, n. 7, p. 1203-1206, 1996.

SCHLUTER, U. et al. Photosynthetic performance of an *Arabidopsis* mutant with elevated stomatal density (sdd1-1) under different light regimes. **Journal of Experimental Botany**, v.54, n.383, p.867-874, 2003.

SCHRADER, L.; ZHANG, J.; SUN, J. Environmental stresses that cause sunburn of apple. **Acta Horticulturae**, v.618, p.397–405, 2003.

SCHRADER, L.; ZHANG, J.; SUN, J. Environmental stresses that cause sunburn of apple. **Acta Horticulturae**, v.618, p.397-405, 2003.

SCHUPP, J. R.; FALLAHI, E.; CHUN, I. J. Effect of particle film on fruit sunburn, maturity and quality of 'Fuji' and 'Honeycrisp' apples. **HortTechnology**, v.12, n.1, p.87-90, 2002.

SCOTT, B. The use of netting for hail protection-design and management considerations for pome fruit orchards. **Acta Horticulturae**. v.240, p.147–150, 1988.

SEGATTO, F. B.; BISOGNIN, D. A.; BENEDITTI, M.; COSTA, L. C.; RAMPELOTTO, M. V.; NICOLOSO, F. T. Técnica para o estudo da anatomia da epiderme foliar de batata. **Rev. Ciência Rural**, v. 34, n. 05, 2004.

SHAHAK, Y.; GUSSAKOVSKY, E. E.; COHEN, Y.; LURIE, S.; STERN, R.; KFIR, S.; NAOR, A.; ATZMON, I.; DORON, I.; GREENBLAT-AVRON, Y. ColorNets: a new approach for light manipulation in fruit trees. **Acta Horticulturae**, v.636, p.609–616, 2004a.

SHAHAK, Y.; GUSSAKOVSKY, E. E.; GAL, E.; GANELEVIN, R. ColorNets: crop protection and light-quality manipulation in one technology. **Acta Horticulturae**, v.659, p.143–151, 2004b.

SHAHAK, Y.; GUSSAKOVSKY, E. E.; GAL, E.; GANELEVIN, R. ColorNets: crop protection and light-quality manipulation in one technology. **Acta Horticulturae**, v.659, p.143–151, 2004.

SMIT, A. **Apple Tree and Fruit Responses to Shade Netting**. MSc Thesis. University of Stellenbosch, Stellenbosch, South Africa, 2007.

SMITH, T. J. Overview of tree fruit production in the Pacific Northwest United States of America and southern British Columbia, Canada. In: **IV International Symposium on Mineral Nutrition of Deciduous Fruit Crops** v.564, p.25–30, 2000.

SOLOMAKHIN, A.; BLANKE, M. M. The microclimate under coloured hailnets affects leaf and fruit temperature, leaf anatomy, vegetative and reproductive growth as well as fruit coloration un apple. **Annals of Applied Biology**, Londres, v. 156, p. 121-136, 2010.

STÖCKLE, C.O., NELSON, R.L., HIGGINS, S., BRUNNER, J., GROVE, G., BOYDSTON, R., KRUGER, C., 2010. Assessment of climate change impact on Eastern Washington agriculture. **Clim. Change** v.102, n.1-2, p.77–102, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009

WHATLEY, F. H.; WHATLEY, F. R. **A Luz e a vida das plantas**. São Paulo: EPU-EDUSP, 1982. 101p. (Temas de Biologia, 30)

WÜNSCHE, J. N.; BOWEN, J.; FERGUSON, I.; WOOLF, A.; MCGHIE, T. Sunburn on apples-causes and control mechanisms. **Acta Horticulturae**, v.636, p.631–636, 2002.

XU, F. et al. Leaf morphology correlates with water and light availability: What consequences for simple and compound leaves? **Progress in Natural Science**, Beijing, v. 19, n. 12, p. 1789-1798, 2009.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As cultivares ‘Eva’ e ‘Julieta’ mostraram ser mais produtivas e estáveis quando cultivadas em regiões subtropicais. Essas cultivares são promissoras para serem usadas como parentais para o desenvolvimento de novas cultivares com alta produtividade e qualidade de frutos adaptadas para regiões subtropicais.

O déficit hídrico é considerado o principal estresse ambiental na agricultura e a melhoria do crescimento e produção das plantas. As folhas de macieira possuem características anatômicas que podem propiciar a produção dessa fruteira em locais com déficit hídrico, em regiões subtropicais. As cultivares ‘Gala Real’, ‘Eva’ e ‘Baronesa’ apresentam características morfológicas anatômicas com potencial de adaptação em locais com déficit hídrico.

Maiores estudos devem ser realizados com relação à adaptação de cultivares de macieira em ambiente com déficit hídrico. Estudos anatômicos tem se mostrado eficiente para a seleção de plantas melhores adaptadas, porém estudos mais aprofundados devem ser realizados.

As malhas fotoconversoras tem sido muito utilizada em regiões tradicionais que produzem maçãs, principalmente malhas coloridas que podem afetar tanto na produção quanto na fisiologia das plantas de macieira. As folhas da macieira cv ‘Honeycrisp’ possuem plasticidade quando comparadas em diferente cores de malhas. Porém essas alterações ocorridas não são suficientes para determinar qual a melhor coloração de malha considerando as características anatômicas. Maiores estudos devem ser realizados e buscando associar as alterações anatômicas com as modificações fisiológicas que podem ocorrer na planta nos diferente microambientes que essas malhas coloridas podem gerar.