



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

ALINE FABIANA PALADINI MOREIRA

**CARACTERIZAÇÃO MOLECULAR, MORFOLÓGICA E
AGRONÔMICA DE GENÓTIPOS AVANÇADOS DE
MORANGUEIRO DE DIA NEUTRO**

Londrina
2020

ALINE FABIANA PALADINI MOREIRA

**CARACTERIZAÇÃO MOLECULAR, MORFOLÓGICA E
AGRONÔMICA DE GENÓTIPOS AVANÇADOS DE
MORANGUEIRO DE DIA NEUTRO**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Londrina como requisito parcial para obtenção do título de Doutora.

Orientador: Prof. Dr. Juliano Tadeu Vilela de Resende

Londrina
2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

- M838 Moreira, Aline Fabiana Paladini.
Caracterização molecular, morfológica e agrônômica de genótipos avançados de morangueiro de dia neutro / Aline Fabiana Paladini Moreira. - Londrina, 2020.
127 f. : il.
- Orientador: Juliano Tadeu Vilela de Resende.
Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2020.
Inclui bibliografia.
1. Morangueiro - Tese. 2. Melhoramento genético - Tese. 3. Marcador molecular - Tese. 4. Diversidade genética - Tese. I. Resende, Juliano Tadeu Vilela de . II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU 63

ALINE FABIANA PALADINI MOREIRA

**CARACTERIZAÇÃO MOLECULAR, MORFOLÓGICA E
AGRONÔMICA DE GENÓTIPOS AVANÇADOS DE
MORANGUEIRO DE DIA NEUTRO**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Londrina como requisito parcial para obtenção do título de Doutora.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Juliano T. V. de Resende
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Sérgio Ruffo Roberto
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Profa. Dra. Eliane Gomes Fabri
Instituto Agronômico de Campinas - IAC

Prof. Dr. Keny Henrique Mariguele
Empresa de Pesquisa Agropecuária e
Extensão Rural de Santa Catarina – EPAGRI

Prof. Dr. Daniel Suck Zanin
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Londrina, 10 de julho de 2020.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, o autor da minha vida e que guiou todos os meus passos durante essa trajetória, me fortalecendo e dando sabedoria para trilhar o meu caminho.

Ao meu esposo Eurico Machado Moreira, para o qual me faltam palavras para expressar toda minha gratidão, pois sem ele jamais conseguiria chegar até aqui. Obrigada por todo apoio, por me permitir dividir com você toda minha vida. EU TE AMO!

Aos meus filhos Pietro e Manuela, que ainda estavam em meu ventre nesse período. Que um dia possam ler esse trabalho e ter a certeza de que também fizeram parte dessa história e que eu já os amava incondicionalmente.

Aos meus pais Sérgio Roberto Paladini e Sônia Maria Paladini, obrigada por sempre apoiarem e acreditarem em mim e, mesmo longe fisicamente, sempre presentes na minha vida.

Aos meus amigos que me motivaram e estiveram ao meu lado durante o doutorado, Marli de Moraes Gomes, Silas Mian Alves, Alison Fernando Nogueira, Gianne Caroline Guidoni Stulzer, Viviane Yumi Baba e João Gabriel Macedo Mafra.

Aos professores Juliano Tadeu Vilela de Resende, Leandro Simões Azeredo Gonçalves e Paulo Maurício Ruas por toda orientação, apoio e conhecimento transmitido.

À Universidade Estadual de Londrina, pela oportunidade concedida para realização do curso de pós-graduação em nível de doutorado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

Aos colegas da Universidade Estadual do Centro-Oeste – Campus Cedeteg (UNICENTRO), em especial a Daniele Nascimento e o Israel Felipe Lustosa da Silva, por toda ajuda.

A todos os funcionários da UEL, em especial o sr. Bié, que colaboraram e se fizeram presentes durante essa fase da minha vida.

Muito obrigada!

“Por vezes, sentimos que aquilo que fazemos não é, senão, uma gota de água no mar. Mas, o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.”

(Madre Teresa de Calcutá)

MOREIRA, Aline Fabiana Paladini. **Caracterização molecular, morfológica e agrônômica de genótipos avançados de morangueiro de dia neutro**. 2020. 127 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2020.

RESUMO

A cultura do morangueiro (*Fragaria x ananassa*) apresenta grande importância socioeconômica no Brasil. No entanto, a dependência de mudas importadas onera os custos de produção da lavoura, além de não serem totalmente adaptadas às condições edafoclimáticas brasileiras e trazem riscos fitossanitários. Dessa forma, é necessário o desenvolvimento de cultivares nacionais, que possibilitem a produção de mudas no país, sendo estas mais adaptadas, mais produtivas e de menor custo ao agricultor, contribuindo para a expansão do cultivo do morangueiro no país. O morangueiro apresenta alta variabilidade genética, principalmente em função da ploidia. Assim, é necessária a caracterização dessa variabilidade para ser explorada em programas de melhoramento genético. Os objetivos do trabalho foram: i) realizar a seleção de híbridos experimentais por meio de análise multivariada ii) caracterizar a diversidade genética de híbridos de morangueiro por meio de descritores morfoagronômicos e marcador molecular para posterior seleção por meio de análise multivariada. Para o primeiro trabalho foram desenvolvidos 584 híbridos utilizando as cultivares Albion e Monterey como genitores femininos e híbridos de primeira geração como genitores masculinos. Foi adotado o delineamento de blocos aumentados e foram avaliadas características agrônômicas e de pós-colheita. Os dados foram submetidos a análise Box Plot, análise de componentes principais (PCA) e foi aplicado o índice de seleção de Mulamba e Mock. Ampla variabilidade foi detectada entre as populações. A análise multivariada evidenciou que os melhores híbridos foram oriundos dos cruzamentos em que Monterey foi um dos genitores. A PCA foi concordante com os resultados do índice de seleção. Para o segundo trabalho foi adotado o delineamento de blocos ao acaso utilizando 34 híbridos pré-selecionados no experimento anterior como tratamentos e as cultivares Albion e Monterey como testemunhas comerciais e padrão. Foi realizada a caracterização por meio de marcadores AFLP e descritores morfoagronômicos, sendo 32 qualitativos e 14 quantitativos. Com os dados moleculares foi estimada a distância genética por meio do coeficiente de Jaccard. Aos descritores foi aplicado o algoritmo de Gower para calcular a matriz de distância. Posteriormente, os híbridos foram agrupados pelo método de Ward. Seis variáveis representativas para o consumo *in natura* do morango foram escolhidas para realizar a seleção dos híbridos por meio do índice de Mulamba e Mock e análise de componentes principais (PCA). Ampla variação foi observada entre os descritores qualitativos. Apenas sólidos solúveis e luminosidade da parte externa do fruto não diferiram significativamente entre os tratamentos. Os *primers* AFLP detectaram polimorfismo de 80%, confirmando a alta variabilidade genética entre os genótipos. O agrupamento tanto com os dados moleculares, quanto com os dados morfoagronômicos separaram os híbridos em três grupos, no entanto com baixa correlação entre as análises (0,12). Genótipos que possuíam Albion ou RVFS06 como genitores não apresentaram coeficientes satisfatórios que permitisse a seleção pelo índice de Mulamba e Mock. A PCA destacou os híbridos selecionados pelo índice de seleção, como RVCA16M-1, RVDA11M-3, RVDA11M-4 e RVDA11M-25. Os

demais híbridos foram selecionados do cruzamento Monterey x RVFS07. O índice de seleção identificou os genótipos que apresentaram características mais equilibradas. A semelhança entre os resultados da análise de componentes principais e o índice de seleção indicam a confiabilidade da análise multivariada para seleção de genótipos superiores.

Palavras-chave: *fragaria x ananassa*; melhoramento genético; diversidade; índice de seleção; AFLP.

MOREIRA, Aline Fabiana Paladini. **Molecular, morphological, and agronomic characterization of advanced genotype day-neutral strawberry.** 2020. 127 p. Thesis (Doctor's Degree in Agronomy) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2020.

ABSTRACT

Strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) has a huge socio-economic importance in Brazil. The dependency on imported seedlings increases production costs and they are not fully adapted to Brazilian climate, soil conditions and bring phytosanitary risks. Thus, it is necessary to develop Brazilian cultivars, enabling the production of seedlings in the country, which are better adapted, more productive and less costly to the farmer, helping expand the cultivation of strawberries in the country. Strawberry has high genetic variability, mainly due to ploidy and the characterization of such variability is required for breeding programs. The objectives of the present study were: i) to perform the selection of experimental hybrids by multivariate analysis, and ii) to characterize the genetic diversity of strawberry hybrids by morpho-agronomic descriptors and molecular markers for further selection. To achieve the first objective, 584 first-generation hybrids were developed using the cultivars Albion and Monterey as female genitors and first-generation hybrids as male genitors. The augmented blocks design was used for data analysis and agronomic/postharvest characteristics were evaluated. The collected data were analyzed through Box Plot analysis and principal component analysis (PCA). The Mulamba and Mock selection index was also applied. The results indicated that high variability was detected among populations. The multivariate analysis showed that best hybrids were originated from crossings using Monterey cultivar as one parent. To reach the second objective, the randomized complete block design was employed using 34 hybrids as treatments and cultivars Albion and Monterey as controls. The characterization was made through AFLP markers and morpho-agronomic descriptors, being 32 qualitative and 14 quantitative. The genetic distance was estimated by Jaccard's coefficient using the molecular data. To calculate the distance matrix Gower algorithm was applied to the descriptors and then the hybrids were grouped by Ward method. Six representative variables to strawberry in natura were chosen to perform the hybrid selection by Mulamba and Mock selection index and PCA. Results showed that high variation was observed among the qualitative descriptors. Only soluble solids and luminosity of fruit exterior did not statistically differ among treatments. The AFLP primers detected polymorphism of 80% confirming the high genetic variability among genotypes. The grouping with the molecular and morpho-agronomical data had separated the hybrids into three groups with low correlation among the analyses (0.12). Also, no individuals that had Albion or RVFS06, as parents, were selected by Mulamba and Mock index. PCA highlighted hybrids selected by the index i.e RVCA16Mx-1, RVDA11M-3, RVDA11M-4 and RVDA11M-25. The other hybrids were selected from crossing Monterey x RVFS07. The selection index identified the genotypes that presented more balanced characteristics. The similarity between PCA results and selection index indicates the reliability of multivariate analysis to the selection of superior genotypes.

Keywords: *fragaria x ananassa*; plant breeding; diversity; selection index; AFLP.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Análise Box Plot para (A) Número Total de Frutos (NTF); (B) Número de Frutos Comerciais (NFC); (C) Massa Total de Frutos (MTF) e (D) Massa de Frutos Comerciais (MFC) para as populações de genótipos de morangueiro (<i>Fragaria x ananassa</i>)..	58
Figura 3.2 – Análise Box Plot para (A) Massa Média de Frutos (MMF); (B) Massa Média de Frutos Comerciais (MMFC); (C) Sólidos Solúveis (SS) e (D) Firmeza para a população de genótipos de morangueiro (<i>Fragaria x ananassa</i>).	60
Figura 3.3 – Análise Box plot para ângulo hue da parte externa do fruto (hEF) para as populações de genótipos de morangueiro (<i>Fragaria x ananassa</i>).	61
Figura 3.4 – Box plot dos escores do índice de seleção de Mulamba e Mock (1978) obtidos para as populações de genótipos de morangueiro (<i>Fragaria x ananassa</i>).	62
Figura 3.5 – Análise de Componentes Principais (PCA) para as características avaliadas e gráfico de dispersão dos grupos de híbridos de morangueiro (<i>Fragaria x ananassa</i>) (B).	66
Figura 4.1 – Dendrograma de dissimilaridade genética obtido pelo método de Ward a partir das características moleculares (A) e morfoagronômicas (B) de 34 híbridos de morangueiro (<i>Fragaria x ananassa</i>).	93
Figura 4.2 – Frequência de distribuição de dissimilaridade baseada nos marcadores AFLP entre 34 híbridos de morangueiro (<i>Fragaria x ananassa</i>).	94
Figura 4.3 – Análise de Componentes Principais (PCA) entre características morfoagronômicas (A) e gráfico de dispersão dos grupos formados a partir de 34 híbridos de morangueiro (<i>Fragaria x ananassa</i>) (B).	97

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Relação dos genitores masculinos e femininos utilizados no processo de hibridação e seus respectivos números de mudas.	53
Tabela 3.2 – Lista dos 40 primeiros híbridos de morangueiro (<i>Fragaria x ananassa</i>) selecionados pelo índice de Mulamba e Mock (1978) e respectivas médias para as características utilizadas na seleção.	63
Tabela 4.1 – Relação dos 34 híbridos de morangueiro (<i>Fragaria x ananassa</i>) e seus respectivos genitores masculinos e femininos.	81
Tabela 4.2 – Resumo da análise de variância de 14 descritores quantitativos avaliados em 34 híbridos de morangueiro (<i>Fragaria x ananassa</i>) e duas testemunhas (cultivares Albion e Monterey).	91
Tabela 4.3 – Combinações de <i>primers</i> seletivos de AFLP, número de fragmentos, número de fragmentos monomórficos e polimórficos e porcentagem de polimorfismo por <i>primer</i> obtidos de 34 híbridos de morangueiro (<i>Fragaria x ananassa</i>).	94
Tabela 4.4 – Lista dos 12 híbridos de morangueiro (<i>Fragaria x ananassa</i>) selecionados pelo índice de Mulamba e Mock (1978) e respectivas médias para as características utilizadas na seleção.	96

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	12
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	ORIGEM, BOTÂNICA E CITOGENÉTICA DO MORANGUEIRO	15
2.2	IMPORTÂNCIA ECONÔMICA	18
2.3	CLIMA E ASPECTOS FISIOLÓGICOS DA CULTURA	20
2.4	CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO MORANGO	22
2.5	CARACTERÍSTICAS NUTRICIONAIS E FUNCIONAIS	24
2.6	MELHORAMENTO GENÉTICO DO MORANGUEIRO	26
2.6.1	Diversidade Genética	28
2.6.1.1	Caracterização morfoagronômica.....	28
2.6.1.2	Caracterização molecular	29
2.6.2	Seleção Simultânea de Caracteres	31
2.7	REFERÊNCIAS.....	33
3.	ARTIGO A: SELEÇÃO DE HÍBRIDOS DE MORANGUEIRO DE SEGUNDA GERAÇÃO PARA FOTOPERÍODO NEUTRO.....	50
3.1	RESUMO	50
3.2	INTRODUÇÃO	51
3.3	MATERIAL E MÉTODOS	52
3.3.1	Material Vegetal.....	53
3.3.2	Transplântio das Mudanças	54
3.3.3	Fenotipagem.....	55
3.3.4	Análise dos Dados.....	56
3.4	RESULTADOS.....	57
3.4.1	Análise Box Plot	57
3.4.2	Índice de Seleção de Mulamba e Mock	61
3.4.3	Análise de Componentes Principais	65
3.5	DISCUSSÃO	67
3.6	CONCLUSÕES	71
3.7	REFERÊNCIAS.....	71

4.	ARTIGO B: CARACTERIZAÇÃO DA DIVERSIDADE GENÉTICA E SELEÇÃO DE HÍBRIDOS AVANÇADOS DE MORANGUEIRO POR MEIO DE ANÁLISE MULTIVARIADA.	78
4.1	RESUMO	78
4.2	INTRODUÇÃO	79
4.3	MATERIAL E MÉTODOS	80
4.3.1	Obtenção do Material Vegetal Experimental	80
4.3.2	Transplântio das Mudanças	82
4.3.3	Caracterização Morfoagronômica	82
4.3.4	Caracterização Molecular	84
4.3.5	Análise dos Dados	86
4.4	RESULTADOS	88
4.4.1	Caracterização Morfoagronômica	88
4.4.2	Caracterização Molecular	93
4.4.3	Índice de Seleção de Mulamba e Mock	95
4.4.4	Análise de Componentes Principais	96
4.5	DISCUSSÃO	98
4.6	CONCLUSÕES	104
4.7	REFERÊNCIAS	104
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	112
	APÊNDICES	114
	APÊNDICE A - Lista dos descritores morfoagronômicos utilizados para caracterização dos híbridos de morangueiro	115
	APÊNDICE B - Polimorfismo de AFLP de seis híbridos de morangueiro, gerado por quatro diferentes combinações de <i>primers</i> seletivos, em gel de poliacrilamida 7%.	124
	APÊNDICE C - Média aritmética de 34 híbridos de morangueiro para 12 características quantitativas significativas pelo teste F.	125

1. INTRODUÇÃO

O morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duch) é uma cultura agrícola conhecida por produzir frutos muito aromáticos e saborosos, os quais possuem diversas finalidades, tanto para consumo *in natura* quanto para indústria. Amplamente cultivado e consumido em todo o mundo, estima-se que atualmente é cultivado em mais de 70 países, sendo o Brasil o maior produtor da América do Sul (KIRSCHBAUM et al., 2017). A maior parte da produção de morangos no Brasil é realizada por pequenos produtores, o que torna a cultura de grande valor para o cenário socioeconômico, pois gera empregos e aumento de renda dos trabalhadores rurais (COSTA et al., 2015).

Além do sabor excepcional, o morango atrai os consumidores devido às suas qualidades químicas e nutricionais. O fruto é uma excelente fonte de fibra alimentar, vitamina C, folato e compostos fitoquímicos que têm múltiplos benefícios à saúde por possuírem propriedades antioxidantes, anti-hipertensivas e antiproliferativas (BASU et al., 2014; GIAMPIERI, ALVAREZ-SUAREZ, BATTINO, 2014).

Apesar da importância para o setor agrícola brasileiro, os programas de melhoramento do morangueiro são incipientes e restritos no país. Atualmente a maioria das mudas das cultivares utilizadas são importadas do Chile e Argentina, as quais são provenientes de programas de melhoramento do Estados Unidos, Itália e Espanha (FAGHERAZZI et al., 2017a; GALVÃO et al., 2017, ZEIST; RESENDE, 2019). A importação de mudas traz como principal consequência o aumento dos custos de produção. Ademais, esses materiais não são totalmente adaptados às condições edafoclimáticas brasileiras, acarretando em baixa produtividade e também oferecem riscos de introdução de novas estirpes de patógenos juntamente com as mudas. A solução para esses problemas está no desenvolvimento de cultivares nacionais, mais adaptadas às condições de cultivo, mais produtivas e principalmente de menor custo de compra ao produtor.

Os principais objetivos dos programas de melhoramento do morangueiro são o aumento da produtividade, resistência a pragas e doenças, bem como atributos sensoriais dos frutos (cor, firmeza, textura, sabor e aroma) (FAEDI E BARUZZI, 2016, ZEIST; RESENDE, 2019). Entretanto, nos últimos anos tem aumentado o interesse no desenvolvimento de novas cultivares que possuam alto teor

de nutrientes e fitoquímicos benéficos à saúde, o que além de atender as exigências dos consumidores, também beneficia os agricultores por maiores retornos financeiros em virtude do maior valor agregado ao produto (FREDERICKS et al., 2013). No entanto, a seleção de genótipos superiores que associem diversas características, tanto agronômicas, quanto nutricionais, é um dos principais desafios para o melhorista (BARTH et al 2020; VIEIRA et al., 2017). Dessa forma, é necessária a adoção de ferramentas para contornar essa dificuldade.

O morangueiro é conhecido pela ampla variabilidade genética, decorrente da sua natureza octaploide. Para se obter êxito em um programa de melhoramento o primeiro passo é o conhecimento dessa variabilidade, o que pode ser elucidado por meio da caracterização utilizando descritores morfológicos e agronômicos para verificar as diferenças fenotípicas entre os genótipos e também a caracterização em nível de DNA, por meio de marcadores moleculares. Entre as diferentes técnicas moleculares, o AFLP (*Amplified Fragment Length Polymorphism*) é um marcador que tem se demonstrado eficaz para estudos de diversidade genética em genótipos de morangueiro (CHO et al., 2007; PENG et al., 2015; RUGIENIUS et al., 2015; TYRKA; DZIADCZYK, HORTYNSKI, 2002; YUNTAO et al., 2006). O uso combinado das informações dos marcadores moleculares e da caracterização morfoagronômica pode direcionar o melhorista na escolha dos melhores genitores, acelerando o processo de desenvolvimento de genótipos superiores (SÁNCHEZ-SEVILLA et al. 2015).

Além do conhecimento da variabilidade presente entre genótipos de morangueiro, é necessário se atentar ao fato de que a seleção de genótipos baseada em características simultâneas, como atributos físico-químicos e caracteres de produção, pode complicar o trabalho do melhorista durante o avanço das etapas em um programa de melhoramento (BARTH et al., 2020; VIEIRA et al., 2017). Uma vez que, podem surgir genótipos desfavoráveis, em virtude das correlações negativas ou ausência de correlações entre os caracteres. Neste contexto, a adoção de análises multivariadas que combinam simultaneamente informações para descrever as variações fenotípicas que ocorrem entre os genótipos consiste em uma alternativa para indicação mais precisa daqueles que contém o conjunto de características desejáveis.

O objetivo do presente trabalho foi realizar a caracterização morfológica, agronômica e molecular de genótipos de morangueiro de dia neutro

(insensíveis ao fotoperíodo) e utilizar ferramentas de análise multivariada para conduzir a seleção de materiais promissores para serem utilizados como cultivares ou em programas de melhoramento genético da cultura.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ORIGEM, BOTÂNICA E CITOGENÉTICA DO MORANGUEIRO

Não existem muitos relatos antigos sobre a história do morangueiro. Há indícios de que na Pré-História os povos do centro e do norte da Europa consumiam morangos silvestres, principalmente *Fragaria vesca* L., uma vez que existem registros de aquênios em sítios arqueológicos, datados do período Neolítico (10.000 a 6.000 a.C.) e da Idade dos Metais (5.000 a 4.000 a.C.) (VIGNOLO et al., 2016). O cultivo do morangueiro se iniciou por volta do ano 1300, na França, com *Fragaria vesca* L., inicialmente com finalidade ornamental. Ao se perceber que os frutos eram saborosos, passou-se a utilizá-los para consumo, tornando o morango um fruto apreciado pela realeza francesa e inglesa. Em 1500, médicos e botânicos descobriram seus supostos usos medicinais e a demanda pela fruta acabou estimulando o seu cultivo regular (DUSCHESNE, 1766; DARROW, 1966).

O morangueiro cultivado comercialmente, conhecido como *Fragaria x ananassa* Duch, é resultado do cruzamento entre as espécies silvestres *Fragaria virginiana* x *Fragaria chiloensis*. A espécie *F. virginiana*, originária da América do Norte, foi introduzida na Europa na metade do século XVII e passou a ser cultivada em jardins e hortas caseiras (DUCHESNE 1766; JONES, 1976). Enquanto que plantas de *F. chiloensis* foram levadas a França em 1714, pelo Capitão francês François Frézier que foi enviado por Luis XIV entre os anos de 1712 a 1714 para o reconhecimento das terras conquistadas no Chile pelos espanhóis (DARROW, 1966).

A hibridação combinou características das duas espécies, como o maior tamanho e firmeza de *F. chiloensis* com coloração vermelho escuro e frutos mais aromáticos de *F. virginiana* (STEGMEIR et al., 2010). Em função da grande variabilidade entre as espécies que compõem a base genética do morangueiro, *Fragaria x ananassa* apresenta grande amplitude de adaptação que, juntamente com a utilização de modernos sistemas de manejo e cultivo, tornou possível sua produção tanto nas regiões frias quanto nas tropicais e subtropicais (DIAS et al., 2014).

O morangueiro é uma angiosperma dicotiledônea pertencente à subclasse Rosidae, ordem Rosales, família Rosaceae, gênero *Fragaria* L. (DARROW, 1966). Devido a questões fisiológicas e sanitárias, é uma planta perene cultivada como anual. De hábito rasteiro ou ereto, é uma planta herbácea com altura variando

entre 15 a 30 cm, formando pequenas touceiras, que aumentam de tamanho à medida que a planta envelhece (RONQUE, 1998).

A planta é constituída por sistema radicular, coroa (caule reduzido), folhas, estolões, flores e frutos. As raízes do morangueiro são divididas em primárias e secundárias, são superficiais e fasciculadas, podendo atingir 60 cm de profundidade, entretanto 90% das raízes se concentram nos primeiros 20 cm de solo (PALHA et al., 2005; SILVA; DIAS; MARO, 2007). Primárias são aquelas que se originam na coroa e secundárias se originam das raízes primárias pelo processo conhecido como ramificação radicular. Estas são as raízes mais importantes, pois tem como principal função a absorção de água e nutrientes (BRAZANTI, 1989). À medida que envelhecem formam aglomerados que ao longo do tempo aumentam em tamanho e volume (ROSA et al., 2013). Entretanto, a quantidade de novas raízes secundárias é uma característica que depende da capacidade de ramificação radicular de cada cultivar (BUCCI; FAEDI; BARUZZI, 2010).

O caule é um rizoma estolonífero, curto, de formato cilíndrico e retorcido, no qual nascem as folhas compostas dispostas em roseta, formando um conjunto chamado coroa. Cada planta é formada por uma ou mais coroas, nas quais estão os tecidos vasculares que permitem a formação de raízes, folhas, estolões e inflorescências (BUCCI; FAEDI; BARUZZI, 2010; VIGNOLO et al., 2016).

As folhas do morangueiro estão inseridas em um pecíolo longo e são compostas por três folíolos (trifoliadas) de bordos serrilhados, os quais possuem um grande número de estômatos (300 a 400 mm^{-2}), o que faz com que a planta seja muito suscetível ao déficit hídrico, baixa umidade e temperaturas elevadas (BORTOLOZZO et al., 2007). Assim, cada folha é capaz de transpirar 25 mL de água por dia (RONQUE, 1998). O limbo possui coloração variando de verde-claro a verde-escuro, podendo apresentar-se densamente piloso a glabro e de brilhante a opaco. (QUEIROZ-VOLTAN et al., 1996).

A emissão de folhas em plantas com bom desenvolvimento é de uma a cada 8 a 12 dias, influenciada pela soma térmica (TAZZO et al., 2015). Cada folha vive de um a três meses. Nas axilas das folhas se formam as gemas axilares, que dependendo das condições de fotoperíodo e temperatura, darão origem a estolões, coroas secundárias ou inflorescências (VIGNOLO et al., 2016). O número e a área total de folhas de uma planta de morangueiro estão estritamente relacionados com a

produção de frutos, ou seja, a redução foliar causada por ataques de patógenos ou condições ambientais adversas tem efeito direto na produtividade (RONQUE, 1998).

As flores do morangueiro são agrupadas em inflorescências do tipo cimeira, ou seja, depois de aberta a primeira flor, os botões laterais se abrem um a um, acompanhando o desenvolvimento da inflorescência. São, no geral, andróginas, embora em algumas cultivares podem ser unissexuais masculinas ou femininas (BRAZANTI, 1989; RONQUE, 1998). Normalmente são compostas por cinco sépalas e cinco pétalas, as quais podem ser elípticas, redondas ou ovais, dependendo da cultivar. Possuem de 20 a 30 estames, com centenas de pistilos (200 a 400) (BORTOLOZZO et al., 2007), sendo que cada pistilo contém um ovário em sua base (QUEIROZ-VOLTAN et al., 1996). Os estames estão localizados ao redor dos ovários, com tamanho variável entre cultivares, onde flores primárias formam frutos maiores e as flores secundárias e terciárias por possuírem um número menor de pistilos formam frutos menores (PALHA et al., 2005). A primeira flor normalmente origina o primeiro fruto, que geralmente é o mais desenvolvido de cada inflorescência (SILVA; DIAS; MARO, 2007).

Os frutos verdadeiros são os aquênios, encontrados em número variável no receptáculo floral, sendo que cada aquênio contém uma única semente em seu interior (VIGNOLO et al., 2016). O morango, popularmente conhecido como fruto, é na verdade um pseudofruto, formado pela hipertrofia do receptáculo floral (QUEIROZ-VOLTAN et al., 1996). A fecundação dos pistilos é fundamental para a formação do aquênio e para o desenvolvimento do receptáculo. Quanto maior o número de pistilos fertilizados, maior o número de aquênios formados e, por fim, maior será o desenvolvimento do pseudofruto, pois o seu crescimento depende das auxinas produzidas nos aquênios em desenvolvimento (SYMONS et al., 2012, VIGNOLO et al., 2016). A interrupção no balanço hormonal, fertilização incompleta, ataque de pragas ou morte dos aquênios resultam em frutos deformados (HATA et al., 2018; VIGNOLO et al., 2016).

A propagação do morangueiro pode ser realizada via sexuada ou assexuada, dependendo da finalidade. As sementes são utilizadas em programas de melhoramento genético para obtenção de novas cultivares (RONQUE, 1998, SILVA DIAS; MARO, 2007). Em nível comercial são utilizadas mudas obtidas assexuadamente, por meio dos estolões, que são caules que se desenvolvem a partir das gemas basais das folhas e resultam em novas plantas (BORTOLOZZO et al.,

2007; RONQUE et al, 1998). A estolonização é evidenciada no verão, devido aumento da temperatura, em que as plantas interrompem a produção de flores e iniciam a fase de propagação vegetativa (RESENDE; MASCARENAS; PAIVA, 1999).

O gênero *Fragaria* é classificado de acordo com o nível de ploidia, sendo o número básico de cromossomos igual a sete ($x = 7$) (BUCCI; FAEDI; BARUZZI, 2010; HUMMER, 2012; LEI et al., 2017). Dentre as 25 espécies conhecidas, treze são diploides ($2n = 2x = 14$), cinco tetraploides ($2n = 4x = 28$), uma pentaploide ($2n = 5x = 35$), uma hexaploide ($2n = 6x = 42$), três octaploides ($2n = 8x = 56$) e duas decaploides (HUMMER; NATHEWET; YANAGI, 2009; HUMMER, 2012; LEI et al., 2017, STAUDT, 2009). O genoma do morangueiro comercial octaploide compreende 813.4 megabases (Mb), distribuídas em 28 pseudocromossomos, apresentando 108.087 genes codificadores de proteína e 30.703 genes que codificam RNAs (EDGER et al., 2019).

Os diferentes níveis de ploidia são resultados da meiose incompleta durante a formação de gametas, sem sofrer a citocinese, mantendo o genoma duplicado (LEE et al., 2008; TAIZ et al., 2017). Também podem ocorrer por duplicação espontânea do genoma formado em cruzamentos intraespecíficos ou interespecífico. São conhecidas duas formas de poliploidia: autopoliploidia, que ocorre quando o genoma duplicado tem origem dentro da espécie; e alopoliploidia, quando o genoma duplicado é originado de duas ou mais espécies distintas (TAIZ et al., 2017). A espécie cultivada *F. x ananassa* e seus ancestrais imediatos (*F. chiloensis* e *F. virginiana*) são consideradas alopoliploides (DiMEGLIO et al., 2014), derivados de dois ou mais ancestrais diploides diferentes (MAHONEY et al., 2015; SHULAEV et al., 2011).

2.2 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA

O morango (*Fragaria x ananassa*) é um fruto amplamente consumido em todo o mundo por possuir aroma e sabor agradáveis (OLIVEIRA et al., 2018). É uma cultura altamente valorizada, pois proporciona retorno financeiro em curto prazo, sendo a espécie mais importante dentre as frutas vermelhas (PEŠAKOVIĆ et al., 2013). Atualmente é produzido em mais de 70 países, sendo que no ano de 2017 os maiores produtores foram China (3.717.283 toneladas), Estados Unidos (1.449.280 t), México (658.436 t), Egito (407.240 t), Turquia (400.167 t) e Espanha (360.416 t) (FAOSTAT, 2020).

O Brasil é o maior produtor da América do Sul e mais de um terço dos morangos sul-americanos são obtidos no país. (KIRSCHBAUM et al., 2017). Em 2016 a área plantada atingiu aproximadamente 4300 hectares, com produção total de cerca de 155.440 toneladas (FAGHERAZZI et al., 2017b). O cultivo do morangueiro tem um importante papel socioeconômico no setor agrícola brasileiro, gerando empregos devido ao trabalho manual necessário durante a época de colheita e contribuindo para o aumento da renda dos pequenos agricultores, que são responsáveis pela maior parte da produção desse fruto no país (COSTA et al., 2015; RICHTER et al., 2018).

O início do cultivo do morangueiro no Brasil ainda não é bem conhecido, porém alguns relatos sugerem que ocorreu em 1950 no município de Estiva, sul do estado de Minas Gerais (ANTUNES, PERES, 2013). A princípio foram utilizadas cultivares provenientes dos Estados Unidos e da Europa, as quais apresentavam baixa produtividade por não serem adaptadas às condições edafoclimáticas brasileiras. Entretanto, a cultura começou a expandir-se a partir de 1960, com o lançamento da cultivar Campinas pelo Instituto Agrônomo de Campinas (PASSOS, 1997), que se apresentava mais adaptada às condições de solo e clima locais, maior rendimento e frutos de qualidade (REICHERT; MADAIL, 2003). Porém, os programas nacionais de melhoramento da cultura terminaram no final da década de 1990 e a última cultivar brasileira foi lançada em 1999. Atualmente as cultivares plantadas no Brasil são desenvolvidas em outros países (FAGHERAZZI et al., 2017a, RESENDE et al., 2020).

Fagherazzi et al. (2017b) afirmam que nos últimos anos, no Brasil, a cultura do morangueiro teve um aumento de 25% na área plantada e 50% de aumento no rendimento, isso se deve ao uso de novas cultivares (especialmente de dia-neutro), adoção de sistemas culturais sem solo, uso de mudas saudáveis e à alta profissionalização do setor de viveiros brasileiros.

As principais regiões brasileiras produtoras de morango estão localizadas entre as latitudes 15° e 32° Sul e aproximadamente 75% de toda produção comercial é proveniente dos estados de Minas Gerais, Paraná e Rio Grande do Sul (FAGHERAZZI et al., 2017b).

No Paraná, a produção se concentra na Região Metropolitana de Curitiba (São José dos Pinhais, Araucária, Colombo, Almirante Tamandaré, Antônio Olinto, Mandirituba, Contenda e Lapa), no Norte Pioneiro (Jaboti, Pinhalão e Conselheiro Mairink) e nas cidades de Umuarama, Ponta Grossa, Maringá, Cascavel,

Francisco Beltrão, Londrina e Campo Mourão (ZAWADNEAK; SCHUBER; MÓGOR, 2019).

Segundo a Secretaria de Estado da Agricultura e Abastecimento do Paraná (SEAB/DERAL, 2018) a cultura do morangueiro vem crescendo e em, 2018 a área plantada chegou a 861 ha, o que significa, por exemplo, um aumento de 16% em relação a 2015, ano em que foram cultivados 723 ha. Ainda em 2018, a produção total chegou a 30 mil toneladas, o que representou 10% do Valor Bruto da Produção (VPB) de frutos no Estado e 25% de aumento na produção em relação ao ano de 2015. A Região Metropolitana de Curitiba é a principal produtora do Estado, seguida pelo Norte Pioneiro, principalmente o município de Jaboti, conhecido como a capital paranaense do morango, o qual em 2018 alcançou uma produção de 4000 toneladas em 80 ha, o que representa 13% do VPB da produção de morangos do Paraná (SEAB/DERAL, 2018).

2.3 CLIMA E ASPECTOS FISIOLÓGICOS DA CULTURA

Os fatores ambientais de maior importância para a cultura do morangueiro são fotoperíodo e temperatura e a interação entre eles (HEIDE; STAVANG; SØNSTEBY, 2013). Dessa forma, a planta cresce e se desenvolve de acordo com as épocas do ano, apresentando ciclo fisiológico anual em que se sucedem períodos de dormência, crescimento vegetativo e reprodução (PALHA et al., 2005).

A redução do fotoperíodo e da temperatura induz a planta a diminuir sua atividade fisiológica até chegar a um estado de dormência (YAMASAKI, 2013). Para superar esse repouso e iniciar uma nova fase vegetativa o morangueiro precisa acumular determinado número de horas de frio abaixo de 7,2°C, que varia de 100 a 1000 horas, dependendo da cultivar (OLIVEIRA; ANTUNES, 2016). O acúmulo de horas de frio pode ser realizado em campo de produção, mas em regiões que não apresentem condições naturais para suprir essa necessidade pode ser utilizada a técnica de vernalização artificial em câmara fria (COSTA et al., 2014).

No período de dormência, o morangueiro acumula carboidratos de reserva nas raízes, pecíolos, folhas e coroas. Essas substâncias serão utilizadas após a superação da dormência para o crescimento e desenvolvimento da planta, dando início a uma nova fase de brotação e frutificação (GONÇALVES et al., 2016;

KIRSCHBAUM et al., 1998). A exigência de frio é o critério utilizado para classificar se a cultivar é de ciclo precoce, mediano ou tardio. O excesso de horas de frio em cultivares com baixa exigência pode favorecer o desenvolvimento de estolões, folhas e coroas. Enquanto que, para cultivares com alta exigência o número insuficiente de horas de frio pode levar a planta a apresentar queda no desenvolvimento vegetativo, antera e pólen de baixa qualidade, frutos deformados, menor peso de frutos e menor rendimento produtivo na primavera (LIETEN, 2006; TANINO; WANG, 2008).

De acordo com a sensibilidade ao fotoperíodo as espécies de *Fragaria* são classificadas em plantas de dia longo (DL), dia curto (DC) e dia neutro (DN) ou insensíveis ao fotoperíodo (HEIDE; STAVANG; SØNSTEBY, 2013; HONJO et al., 2016). A indução floral em cultivares de DC é favorecida por fotoperíodo menor que 14 horas (CASTRO et al., 2015; WEEBADDE et al., 2008). Entretanto, é um processo fisiológico facultativo, porque a indução pode ocorrer quando a temperatura é maior que 15°C, enquanto que em temperaturas abaixo de 15°C formam gemas florais independentemente do comprimento do dia (SØNSTEBY, 1997). Temperaturas acima dos 25°C podem comprometer a indução floral em plantas DC (VERHEUL; SØNSTEBY; GRIMSTAD, 2007). Além disso, há diferenças entre as cultivares desse grupo quanto a faixa ideal de interação entre temperatura e fotoperíodo (BRADFORD; HANCOCK; WARNER, 2010; HEIDE; STAVANG; SØNSTEBY, 2013; OPSTAD et al., 2011).

As plantas de DL iniciam a indução floral quando o fotoperíodo é superior a 12 horas (DARROW, 1996), frutificando desde a primavera até o outono, em regiões de clima temperado. Porém, esses fotoperíodos são atingidos somente no final da primavera e início do verão, o que torna essas cultivares irrelevantes em nível comercial (GONÇALVES et al., 2016; WREGGE et al., 2007).

Nas cultivares de DN a indução floral é independente do fotoperíodo, sendo controlada principalmente pela temperatura. Essas plantas diferenciam gemas floríferas sempre quando a temperatura se situa entre 10 e 25°C. Algumas cultivares mais resistentes ao calor podem continuar induzindo flores enquanto a temperatura ambiente não ultrapassar 28°C (FRANQUEZ, 2008). Essas cultivares permitem que o consumidor encontre morangos no comércio em qualquer época do ano, pois têm período produtivo prolongado (ANTUNES; VIGNOLO; GONÇALVES, 2014; CASTRO et al., 2015).

As principais mudas utilizadas no Brasil são importadas do Chile e da Argentina, sendo essas provenientes de programas de melhoramento desenvolvidos em outros países, como Estados Unidos, Espanha e Itália, com destaque para as cultivares Albion, Aromas, Monterey, Portola e San Andreas, que são insensíveis ao fotoperíodo e, Camarosa, Camino Real, Dover, Festival, Oso Grande, Palomar e Tudla, de fotoperíodo curto (FAGHERAZZI et al., 2017a; FAGHERAZZI et al., 2017b; GALVÃO et al., 2017, ZEIST; RESENDE, 2019). No entanto, a tendência no cultivo nacional do morangueiro é o uso do sistema semi-hidropônico, para o qual as cultivares de dia neutro são mais indicadas, visto que além da capacidade de produzirem frutas de qualidade durante todo o ano, permitem a obtenção de maior retorno econômico aos produtores (ANTUNES; JUNIOR, 2019), que podem explorar a mesma muda por vários anos, diminuindo os custos de produção.

2.4 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO MORANGO

O morango é um fruto não-climatérico muito delicado e pouco resistente, devido à sua alta taxa respiratória e intenso metabolismo, o que limita o seu prazo de validade (AMAL et al., 2010). Além disso, é muito suscetível à injúria mecânica, perda de água, deterioração por microrganismos e distúrbios fisiológicos durante manuseio pós-colheita (CHANDRA et al., 2015; CHEN et al., 2011). A qualidade do morango é atribuída principalmente às características relacionadas a cor, firmeza e composição química do fruto, o que determina o valor comercial da cultura e a aceitação pelos consumidores (CHANDRA et al., 2015; ORNELAS-PAZ et al., 2013).

A cor vermelha do fruto é condicionada pelo acúmulo de antocianinas, principalmente Pelargonidina 3-O-glicosídeo (PG) (CRECENTE-CAMPO et al., 2012; WADA et al., 2017), sendo o principal atributo que influencia na percepção e aceitação do consumidor. Além do consumo *in natura*, é uma característica muito importante para os produtos processados de morango como, por exemplo, suco e geleia (VOÇA et al., 2014). A coloração também é o principal parâmetro na determinação do ponto de colheita, em que os frutos devem apresentar no mínimo 50% a 75% da superfície de cor vermelho-brilhante no momento da colheita (FLORES CANTILLANO, 2003). Entretanto, no estágio de maturação completa é que o fruto apresenta qualidade máxima em relação a cor e sabor (VOÇA et al., 2014). A coloração pode variar de

acordo com a quantidade de antocianinas presente no fruto, o que, por sua vez, é influenciada pelo genótipo da planta (DIAMANTI et al., 2012).

A firmeza de polpa é uma característica de extrema importância, principalmente para as cultivares destinadas ao consumo *in natura* (SOGVAR; SABA; EMAMIFAR, 2016). Frutos mais firmes estão associados a melhores conservação e aspecto visual, sendo, portanto, preferidos pelos consumidores (BRACKMANN et al., 2011; NASRIN et al., 2017). Além disso, são mais resistentes a injúrias mecânicas, facilitando o transporte a longas distâncias (CHANDRA et al., 2015). Esse atributo é afetado por diversos fatores, tais como, cultivar, maturação do fruto, temperatura e tipos de tratamentos durante o armazenamento (ANDRADE JÚNIOR et al., 2016; BRACKMANN et al., 2011; GIUGGIOLI et al., 2014; HWANG et al., 2012; RAHMAN et al., 2016).

A acidez do fruto, determinada por meio de titulometria, é proporcionada pela presença de ácidos orgânicos. Apesar de serem os menores componentes do morango, são extremamente importantes para o sabor e, juntamente com os açúcares, influenciam na qualidade sensorial do fruto (GÜNDÜZ, ÖZDEMİR, 2014). No morango, o ácido de maior concentração é o ácido cítrico, seguido pelo ácido málico (CRESPO et al., 2010; GÜNDÜZ, ÖZDEMİR, 2014; RUAN et al., 2013). Os ácidos isocítrico, succínico, oxalacético, glicérico e glicólico também estão presentes, porém em menor proporção (PINELLI et al., 2011). Além da influência no sabor, os ácidos são de fundamental importância para a regulação do pH celular (MALTONI et al., 2009).

O pH é um importante fator que afeta a qualidade da cor do morango, pois influencia na estabilidade das antocianinas, ou seja, à medida que o pH aumenta a coloração perde sua intensidade (ABD-ELHADY, 2014). Além disso, a determinação desse parâmetro é essencial para definir qual a finalidade de uso das cultivares. O pH ácido é propriedade de morangos para uso industrial, enquanto que frutos mais doces são preferidos para o mercado *in natura* (RODAS et al., 2013)

O teor de sólidos solúveis, expresso em °Brix, é relativo à quantidade de sólidos, especialmente açúcares, dissolvidos na água contida no fruto. A glicose, a frutose e a sacarose são os componentes solúveis mais abundantes no morango (GÜNDÜZ; ÖZDEMİR, 2014). A relação entre sólidos solúveis/acidez (SS/AT), conhecida como *ratio*, expressa o balanço entre a doçura e a acidez e por isso é uma das variáveis mais representativas na avaliação do sabor do fruto. Quanto maior a

SS/AT, mais doce é o fruto (RESENDE et al., 2008; CHITARRA; CHITARRA, 2005). Tanto o teor de açúcares, como os ácidos orgânicos são altamente influenciados pelo genótipo, ambiente de cultivo, manejo da cultura e ponto de colheita (AKHATOU; FERNANDEZ-RECAMALES, 2014; CAMARGO et al., 2018; GÜNDÜZ; ÖZDEMİR, 2014; KRÜGER et al., 2012; MACKENZIE et al., 2011; RUAN et al., 2013).

Outro componente que se destaca no morango é a pectina, que faz parte de um grupo de polissacarídeos estruturais que são encontrados na parede celular primária e na camada intracelular da maioria dos vegetais (TAIZ et al., 2017). É amplamente conhecida pelas suas propriedades espessante, emulsificante, estabilizante e utilizada como agente gelificante na preparação de geleias (CIRIMINNA et al., 2015; LIANG et al., 2015; MOHARE et al., 2013; YANCHEVA et al., 2016;). Além disso, proporciona benefícios à saúde por conferir a sensação de saciedade, ajudar no controle de peso, regulação do perfil lipídico e glicêmico (ADAM et al., 2016; BROUNS et al., 2012; LIU et al., 2016a).

2.5 CARACTERÍSTICAS NUTRICIONAIS E FUNCIONAIS

O morango além de possuir sabor excepcional, atrai os consumidores devido às suas qualidades químicas e nutricionais. Considerado um alimento funcional, tem múltiplos benefícios à saúde em virtude das suas propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias, anti-hipertensivas e antiproliferativas (BASU et al., 2014).

O fruto é uma excelente fonte de fibra alimentar e frutose, que contribuem para a regulação dos níveis de açúcar no sangue e retardam a digestão, provocando um efeito de saciedade. Além disso, é uma das frutas mais ricas em vitamina C e folato (GIAMPIERI, ALVAREZ-SUAREZ, BATTINO, 2014). Embora em menor grau, também é fonte de outras vitaminas como tiamina, riboflavina, niacina, vitaminas B6, K, A e E (GIAMPEIRI et al., 2012).

O conteúdo de vitamina C no morango é cerca de 60 mg 100 g⁻¹ de frutos frescos (GIAMPIERI et al., 2015). Esse composto possui grande atividade antioxidante e atua como sequestrante de radicais livres, desempenhando um papel importante na proteção de biomoléculas essenciais do corpo humano (proteínas, lipídios, carboidratos, DNA e RNA) (GIAMPIERI et al., 2012). Também é necessária como um cofator essencial para a síntese de colágeno, hormônios e

neurotransmissores (ZHONG et al., 2017). Além disso, possui efeito anticarcinogênico e contribui para a redução de doenças cardiovasculares (MUSA et al., 2015).

O folato é essencial para a saúde, entretanto o corpo humano não é capaz de sintetizá-lo, portanto sua necessidade deve ser suprida por fontes alimentares (HANSON; GREGORY, 2011). O morango é uma das fontes naturais mais ricas deste micronutriente, seu conteúdo está na faixa de 20 a 25 mg 100 g⁻¹ de frutos frescos (GIAMPIERI et al., 2012). A deficiência de folato está correlacionada principalmente com defeitos do tubo neural em recém-nascidos, mas também pode estar associada à anemia, asma, doenças cardiovasculares, Alzheimer e alguns tipos de câncer (BLATTER et al., 2013; HANSON; GREGORY, 2011; HINTERBERGER; FISCHER, 2013; JIMENEZ et al., 2018).

Além dos nutrientes tradicionais, o morango é conhecido pela sua expressiva quantidade de fitoquímicos, que são compostos secundários produzidos pelas plantas e que estão envolvidos no seu crescimento, desenvolvimento e defesa (ALVAREZ-SUAREZ et al., 2014b). Esses também são os principais responsáveis pelos efeitos benéficos proporcionados pelo consumo de morango (BATTINO et al., 2017; ARIZA et al., 2016; HORNEDO-ORTEGA et al., 2016).

O morango está entre as 100 fontes mais ricas em fitoquímicos (PÉREZ-JIMÉNEZ et al., 2010), e aproximadamente 40 compostos fenólicos já foram identificados no fruto (BASU et al., 2014). As principais classes de polifenóis encontradas no morango são os flavonoides, seguidos por elagitaninos, flavonóis e ácidos fenólicos (ALVAREZ-SUAREZ et al., 2014b; GIAMPIERI et al., 2012, GIAMPIERI et al., 2015).

As antocianinas são os flavonoides mais abundantes e são responsáveis por conferir a cor vermelha do fruto (AABY et al., 2012, XU et al., 2014). O teor total no morango varia de 20 a 60 mg 100 g⁻¹ de peso fresco, dependendo da variedade (SANDHU et al., 2016), e em torno de 98% desse conteúdo é derivado de antocianinas à base de pelargonidina, principalmente a pelargonidina-3-O-glicosídeo (BANASZEWSKI et al., 2013). Devido à importância comprovada das antocianinas, muitos estudos têm focado na identificação e caracterização dessas substâncias no morango (BODELÓN et al., 2013; XU et al., 2014, RUIZ et al., 2019).

O segundo grupo de fitoquímicos mais importantes são os elagitaninos (GIAMPIERI et al., 2015), que estão presentes apenas em frutas vermelhas da família Rosaceae e algumas nozes (KOPONEN et al., 2007).

Dependendo da variedade e da maturação do fruto, o conteúdo desse composto no morango atinge, em média, 63,7 mg 100 g⁻¹ de peso fresco (GASPEROTTI et al., 2013). Muitos estudos têm associado os efeitos das antocianinas e os elagitaninos a propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e anticarcinogênicas, prevenção contra doenças cardíacas, redução no risco de diabetes e distúrbios da função cognitiva (ALVAREZ-SUAREZ et al., 2014a; GARCIA-MUÑOZ; VAILLANT, 2014; GIMÉNEZ-BASTIDA et al., 2012; ISHIMOTO et al., 2011).

Os flavonóis identificados no morango são derivados de quercetina e kaempferol, sendo quercetina-3-glicuronídeo o mais abundante, enquanto os ácidos fenólicos ocorrem como derivados do ácido hidroxicinâmico (ácido cafeico) e ácido hidroxibenzóico (ácido gálico) (ALVAREZ-SUAREZ et al., 2014b; GIAMPIERI et al., 2013). No entanto, diversos estudos têm relatado que as concentrações de micronutrientes e compostos fenólicos podem ser afetadas por inúmeros fatores, tais como, genótipo, condições ambientais, maturação do fruto, condições de armazenamento e processamento (AABY et al., 2012; ALVAREZ-SUAREZ et al., 2014b; JOSUTTIS et al., 2012; PARK et al., 2017).

Nas últimas décadas os programas de melhoramento do morangueiro estiveram focados em características morfoagronômicas, produtividade, qualidade e resistência a pragas e doenças (LIU et al., 2016b; MEZZETTI, 2013). Entretanto, os consumidores têm se tornado mais exigentes quanto à qualidade nutricional dos alimentos (MEZZETTI, 2013). Assim, nos últimos anos tem aumentado o interesse no desenvolvimento de novas cultivares que possuam alto teor de nutrientes e fitoquímicos benéficos à saúde, o que além de atender as exigências dos consumidores, também beneficia os agricultores por maiores retornos financeiros em virtude do maior valor agregado do produto (FREDERICKS et al., 2013, ZEIST; RESENDE, 2019).

2.6 MELHORAMENTO GENÉTICO DO MORANGUEIRO

No mundo, existem inúmeros programas de melhoramento genético do morangueiro, concentrados principalmente na América do Norte e Europa (MEZZETTI et al., 2018; SAMTANI et al., 2019). Embora, também existam em outros países da Ásia, Oceania e América do Sul (CHANDLER et al., 2012; SIMPSON, 2018). No Brasil, os programas de melhoramento do morangueiro registraram as últimas

cultivares em 1999, que foram: Campinas, Jundiaí, Guarani e Princesa Isabel, pertencentes ao IAC (Instituto Agrônômico de Campinas); e Santa Clara, Vila Nova, Cascata e Konvoy-Cascata, pertencentes a Embrapa Clima Temperado. O programa de melhoramento da Embrapa foi descontinuado da década de 1990 e reiniciado em 2008. O IAC manteve o seu programa ativo, entretanto, sem lançamento de novas cultivares.

No ano de 2014 a Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC – CAV) juntamente com o CREA – FRF (*Council for Agricultural Research and Economics, Fruit Tree Research Unit of Forli*) iniciaram um novo programa de melhoramento de morangueiro, visando o lançamento de novas cultivares adaptadas às principais regiões produtoras brasileiras (FAGHERAZZI et al., 2017a). A Universidade Federal de Lavras (UFLA); Universidade Estadual de Londrina (UEL); Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná (UNICENTRO) e Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) também estão se empenhando no sentido de desenvolver novas cultivares. Recentemente, na região do Sul de Minas Gerais, um produtor desenvolveu uma nova cultivar, denominada de PRA Estiva, a qual foi reconhecida e registrada pelo Ministério da Agricultura no ano de 2016.

Atualmente a maioria das cultivares utilizadas no país são provenientes de programas de melhoramento dos Estados Unidos, Espanha e Itália (ANTUNES; PERES, 2013; FAGHERAZZI et al., 2017a; GALVÃO et al., 2017; ZEIST; RESENDE, 2019). A escassez de programas de melhoramento da cultura no Brasil é decorrente da falta de interesse de empresas públicas e privadas, o que acarreta nessa dependência de cultivares importadas, que não são totalmente adaptadas às condições de cultivo, tornando-as menos produtivas e suscetíveis a fatores bióticos e abióticos (BARNECHE; BONOW, 2012; RESENDE et al., 2020). Além disso, existem os riscos associados à possibilidade de introdução de pragas e doenças junto com as mudas (ZEIST; RESENDE, 2019).

Os objetivos de programas de melhoramento do morangueiro estão voltados principalmente para o aumento da produtividade, resistência a pragas e doenças, bem como atributos sensoriais dos frutos (cor, firmeza, textura, sabor e aroma) (CHANDLER et al., 2012; FAEDI e BARUZZI, 2016).

No Brasil, a hibridização entre cultivares é o principal método de melhoramento para o desenvolvimento de genótipos de alto desempenho e características desejáveis (BARTH et al., 2019, 2020; GALVÃO et al., 2017). Após os

cruzamentos, os genótipos são testados, clonados e submetidos a sucessivos cruzamentos para melhorar a frequência de alelos favoráveis. Por fim, os clones selecionados são submetidos a estudos de adaptabilidade e estabilidade. Esta última etapa define quais são os melhores para serem lançados no mercado (CHANDLER et al., 2012; ZAWADNEAK; SCHUBER; MÓGOR, 2019).

2.6.1 Diversidade Genética

O sucesso de um programa de melhoramento depende inicialmente do conhecimento da diversidade genética do germoplasma disponível. A análise da diversidade de recursos genéticos vegetais oferece oportunidade para os melhoristas de plantas desenvolverem cultivares novas que apresentem caracteres desejáveis, como alta produtividade, resistência a pragas e doenças, entre outras. A presença de diversidade genética dentro e entre as espécies vegetais permite que os melhoristas selecionem genótipos superiores para serem usados diretamente como uma nova variedade ou para serem utilizados como progenitores no programa de hibridação (BHANDARI et al., 2017; MORALES et al., 2011a, 2011b).

Para que a diversidade genética de um germoplasma seja utilizada é necessária a caracterização dos genótipos para identificar suas potencialidades para um programa de melhoramento. Diversos métodos podem ser utilizados para avaliação da diversidade genética, tais como a caracterização morfoagronômica e a caracterização em nível de DNA por meio de marcadores moleculares (BHANDARI et al., 2017; GOVINDARAJ; VETRIVENTHAN, SRINIVASAN, 2015). Cada técnica possui diferentes abordagens, vantagens e desvantagens, e, portanto, o uso combinado de diferentes métodos é recomendado para aumentar o poder de resolução das análises de diversidade genética (GONÇALVES et al., 2008).

2.6.1.1 Caracterização morfoagronômica

O processo de caracterização morfoagronômica consiste em identificar e descrever as semelhanças e principalmente as diferenças entre os genótipos. Essa caracterização pode ser realizada por meio de descritores qualitativos e quantitativos. No morangueiro, as folhas, flores e frutos são os caracteres mais

importantes para distinguir cultivares e espécies silvestres (HÖFER et al., 2012, MORALES et al., 2011b).

Trabalhos de Faedi (2009), Lemaitre e Linden (1968) e Passos (1994) propuseram características que devem ser consideradas para avaliação e caracterização das plantas de morangueiro. No Brasil, Conti, Minami e Tavares (2002), Morales et al. (2011b) e Queiroz-Voltan et al. (1996) se basearam nesses trabalhos para caracterizar cultivares de morangueiro. Os Institutos IBPGR – *International Board for Plant Genetic Resources* (1986) e UPOV – *International Union for the Protection of New Varieties of Plants* também disponibilizam uma lista de descritores que vêm sendo utilizadas em trabalhos com *Fragaria x ananassa* (COSTA et al., 2019; HÖFER et al., 2012; RAHMAN et al., 2013).

As informações sobre a variabilidade de uma coleção de germoplasma ajudam a tornar o processo de melhoramento mais eficiente, descrevendo os diferentes acessos e suas características de interesse (NEITZKE et al. 2016). Por meio de descritores morfoagronômicos é possível realizar uma discriminação rápida, pouco onerosa e fácil entre genótipos, no entanto, existem restrições devido à sensibilidade ambiental e caracterização subjetiva quando comparados a outros métodos (BHANDARI et al., 2017).

2.6.1.2 Caracterização molecular

Embora as características morfológicas possam ser utilizadas para diferenciar genótipos de morangueiro, é uma técnica que, isoladamente, é considerada inconsistente em virtude da similaridade morfológica entre os genótipos, principalmente durante o estágio vegetativo inicial (LEDESMA et al., 2020). Isso se deve ao fato de que os genótipos de morangueiro são intimamente relacionados, devido a estreita base genética (HANCOCK et al., 2010; STEGMEIR et al., 2010). A determinação da diversidade entre genótipos se torna mais complicada quando são feitas tentativas para analisar muitas características simultaneamente, pois, muitas vezes, essas características são mais ou menos correlacionadas, causando dificuldades adicionais na avaliação da divergência genética (SIECZKO et al., 2015).

Os programas de melhoramento clássico de morangueiro têm realizado grandes avanços, porém, são onerosos e demandam muito tempo para chegar aos resultados (MEZZETI et al., 2018). Visando contornar as peculiaridades

envolvidas no processo de caracterização do morangueiro, ferramentas biotecnológicas, como os marcadores moleculares, são alternativas que podem auxiliar os melhoristas a acessar a variabilidade genética de um germoplasma, disponibilizando informações que irão direcioná-los na definição de estratégias para utilização desse material de forma eficiente. O conhecimento da variabilidade genética associado aos estudos sobre as características morfoagronômicas, oferecem a possibilidade de introgridir genes de interesse, resultando na obtenção de materiais superiores mais rapidamente que os métodos tradicionais.

Os marcadores moleculares permitem a identificação de polimorfismo a partir da amplificação de sequências de DNA com diferentes tamanhos, dependendo da técnica empregada. Portanto, fornecem uma discriminação eficiente, principalmente entre indivíduos morfológicamente idênticos, mas geneticamente diferentes (BRITO et al., 2018). São ótimas ferramentas para caracterização dos genótipos, pois em contraste com características morfoagronômicas, os estudos baseados na genética molecular não são influenciados pelo ambiente. Além disso, permitem avaliar a diversidade genética entre cultivares, independentemente do estágio fisiológico ou dos órgãos da planta analisados (BRAMMER, 2000; NUNES et al, 2013).

Diversas classes de marcadores moleculares têm sido utilizadas para acessar a diversidade genética do morangueiro, incluindo SSR – *Simple Sequence Repeat* (KIM et al., 2019; LIM et al., 2017), RAPD – *Random Amplified Polymorphism DNA* (ÇELIK et al., 2017; MORALES et al., 2011a), ISSR – *Inter Simple Sequence Repeat* (NUNES et al., 2013) e AFLP – *Amplified Fragment Length Polymorphism* (PENG et al., 2015; RUGIENIUS et al., 2015). A diferença entre os tipos de marcadores moleculares está na tecnologia utilizada para revelar a variabilidade ao nível de DNA, assim, variam de acordo com a habilidade de detectar diferenças entre os indivíduos, custos, facilidade de uso, consistência e repetibilidade (BORÉM; CAIXETA, 2009).

Entre as diferentes técnicas moleculares, o AFLP consiste em um marcador dominante e tem alto poder de detecção de variabilidade genética, posto que explora polimorfismo de restrição e de amplificação, o que o torna uma ferramenta valiosa pela geração de grande número de locos polimórficos e de grande reprodutibilidade (AGARWAL; SHRIVASTAVA; PADH, 2008; MEUDT; CLARKE, 2007). Várias pesquisas têm demonstrado que esse marcador é eficaz para avaliar o

nível de diversidade genética em cultivares de morangueiro (CHO et al., 2007; PENG et al., 2015; RUGIENIUS et al. 2015; TYRKA; DZIADCZYK, HORTYNSKI, 2002; YUNTAO et al., 2006).

2.6.2 Seleção Simultânea de Caracteres

No morangueiro, a seleção de genótipos superiores que associem diversas características, tais como, produção, aspectos nutricionais e fitoquímicos, é um dos principais desafios para o melhorista (BARTH et al.,2020; MEZZETI et al., 2018; VIEIRA et al., 2017). Isso se deve à natureza octaplóide do morangueiro e à grande variabilidade que vêm sendo observada pelos programas de melhoramento, assim, a seleção baseada em um ou poucos caracteres pode resultar em mudanças desfavoráveis, em virtude das correlações negativas entre eles (HANCOCK; SJULIN; LOBOS, 2008). Para contornar essa dificuldade, a seleção simultânea de caracteres pode ser realizada com base nos índices de seleção, que são metodologias que permitem aos pesquisadores selecionar eficientemente um conjunto de características agrônômicas economicamente expressivas, aumentando o sucesso do programa de melhoramento genético (ROSADO et al., 2012).

O índice de seleção é a combinação linear de vários valores fenotípicos, o qual resulta em uma medida que concentra, em um único valor, os méritos e os deméritos de cada genótipo para vários caracteres (GARCIA; SOUZA JÚNIOR, 1999). Os índices são classificados em paramétricos (lineares), ou seja, necessitam das estimativas de parâmetros da população quando os genótipos formam uma amostra aleatória tais como Pesek e Baker (1969), Tai (1977), Smith; Hallauer; Russell (1981), Garcia; Souza Júnior (1999), Lessa (2010) e não paramétricos (não lineares), que não necessitam dos parâmetros e empregam pesos relativos, podendo ser utilizados para a seleção em genótipos já fixados, tais como o índice base (WILLIAMS, 1962), índice multiplicativo (SUBANDI; COMPTON; EMPIG, 1973), Índices de Soma de Postos (MULAMBA; MOCK, 1978) e distância genótipo-ideótipo (CRUZ, 2006).

O índice proposto por Mulamba e Mock (1978) consiste em classificar os genótipos em relação a cada um dos caracteres na ordem favorável ao melhoramento. Após essa classificação, são somadas as ordens de cada material genético referente a cada característica, o que resulta em uma medida adicional, que

é o índice de seleção (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012). Esse índice tem a vantagem de não precisar da estimativa dos parâmetros de variância e covariância (GARCIA; SOUZA JÚNIOR, 1999; REZENDE et al., 2014). Para os pesos econômicos podem ser utilizados valores advindos do próprio experimento e peso aleatório estipulado pelo melhorista (CRUZ, 2006).

O índice de distância genótipo-ideótipo consiste em fixar um valor ideal para cada um dos caracteres avaliados, indicando desse modo, um genótipo ideal, ou ideótipo. Os valores desse ideótipo podem ser estipulados pelo melhorista com base nas características ideais desejadas para os genótipos que estão sendo testados. Em seguida, obtém-se a diferença entre a média de cada característica e o valor atribuído ao ideótipo, e finalmente, calcula-se para cada genótipo uma distância em relação a esse ideótipo, sendo essa distância o próprio índice (CRUZ, 2006; LESSA et al., 2010).

Diversos trabalhos têm comprovado a aplicabilidade e eficácia dos índices de seleção no melhoramento genético de várias culturas, por exemplo, feijão-vagem (MARINHO et al., 2014); soja (LEITE et al., 2018); milho (BERILLI et al., 2013); sorgo (MENEZES et al., 2014); batata (SILVA et al., 2018); pimenta (MEDEIROS et al., 2018); alface (CANDIDO et al., 2018); batata-doce (CAMARGO et al. 2016; GONÇALVES NETO et al., 2011) e maracujá (SILVA et al., 2017). Entretanto, para o morangueiro não há muitos relatos sobre a utilização de índices de seleção em programas de melhoramento, recentemente Vieira et al. (2017) e Barth et al. (2019, 2020) utilizaram para avaliar híbridos experimentais derivados de cruzamentos intraespecíficos.

As informações sobre a variabilidade genética fornecida pelos marcadores moleculares e pela caracterização morfoagronômica combinadas com a estratégia dos índices de seleção pode se tornar uma maneira eficiente de introduzir simultaneamente características complexas em genótipos de morangueiro, visando ganhos produtivos e com maior rentabilidade.

2.7 REFERÊNCIAS

AABY, K.; MAZUR, S.; NES, A.; SKREDE, G. Phenolic compounds in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) fruits: Composition in 27 cultivars and changes during ripening. **Food Chemistry**, v. 132, n. 1, p. 86-97. 2012.

ABD-ELHADY, M. Effect of citric acid, calcium lactate and low temperature prefreezing treatment on the quality of frozen strawberry. **Annals of Agricultural Sciences**, v. 59, n. 1, p. 69-75. 2014.

ADAM, C. L.; GRATZ, S. W.; PEINADO, D. I.; THOMSON, L. M.; GARDEN, K. E.; WILLIAMS, P. A.; RICHARDSON, A. J.; ROSS, A. W. Effects of dietary fibre (pectin) and/or increased protein (casein or pea) on satiety, body weight, adiposity and caecal fermentation in high fat diet-induced obese rats. **PloS one**, v. 11, n. 5, p. e0155871. 2016.

AGARWAL, M.; SHRIVASTAVA, N.; PADH, H. Advances in molecular marker techniques and their applications in plant sciences. **Plant cell reports**, v. 27, n. 4, p. 617-631. 2008.

AKHATOU, I; FERNÁNDEZ-RECAMALES, A. Nutritional and nutraceutical quality of strawberries in relation to harvest time and crop conditions. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 62, n. 25, p. 5749-5760. 2014.

ALVAREZ-SUAREZ, J. M.; GIAMPIERI, F.; TULIPANI, S.; CASOLI, T.; DI STEFANO, G.; GONZÁLEZ-PARAMÁS, A. M.; SANTOS-BUELGA, C.; BUSCO, F.; QUILESH, J. L.; CORDERO, M. D.; BOMPADRE, S.; MEZZETTI, B.; BATTINO, M. One-month strawberry-rich anthocyanin supplementation ameliorates cardiovascular risk, oxidative stress markers and platelet activation in humans. **The Journal of nutritional biochemistry**, v. 25, n. 3, p. 289-294. 2014a.

ALVAREZ-SUAREZ, J. M.; MAZZONI, L.; FORBES-HERNANDEZ, T. Y.; GASPARRINI, M.; SABBADINI, S.; GIAMPIERI, F. The effects of pre-harvest and post-harvest factors on the nutritional quality of strawberry fruits: A review. **Journal of Berry Research**, v. 4, n. 1, p. 1-10. 2014b.

AMAL, S. H.; EL-MOGY, M. M.; ABOUL-ANEAN, H. E.; ALSANIUS, B. W. Improving strawberry fruit storability by edible coating as a carrier of thymol or calcium chloride. **Journal of Horticultural Science & Ornamental Plants**, v. 2, n. 2, p. 88-97. 2010.

ANDRADE JÚNIOR, V. C.; GUIMARÃES, A. G.; AZEVEDO, A. M.; PINTO, N. A. V. D.; FERREIRA, M. A. M. Conservação pós-colheita de frutos de morangueiro em diferentes condições de armazenamento. **Horticultura Brasileira**, v. 34, n. 3. 2016.

ANTUNES, L. E. C.; JUNIOR, C. R. Recomendação da Utilização do Sistema de Produção Fora de Solo para Morangueiro. **Embrapa Clima Temperado – Circular Técnica 203 (INFOTECA-E)**. 2019.

ANTUNES, L. E. C.; PERES, N. A. Strawberry Production in Brazil and South America. **International Journal of Fruit Science**, v. 13, n. 1-2, p. 156-161. 2013.

ANTUNES, L.E.C.; VIGNOLO, G.K.; GONÇALVES, M.A. **Morango mostra tendência de crescimento de mercado**. In: Campo & Negócios, Anuário HF, 2014. p. 54-57.

ARIZA, M.; REBOREDO-RODRÍGUEZ, P.; MAZZONI, L.; FORBES-HERNÁNDEZ, T.; GIAMPIERI, F.; AFRIN, S.; GASPARRINI, M.; SORIA, C.; MARTINEZ-FERRI, E.; BATTINO, M.; MEZZETTI, B. Strawberry achenes are an important source of bioactive compounds for human health. **International journal of molecular sciences**, v. 17, n. 7, p. 1103. 2016.

BANASZEWSKI, K.; PARK, E.; EDIRISINGHE, I.; CAPPOZZO, J. C.; BURTON-FREEMAN, B. M. A pilot study to investigate bioavailability of strawberry anthocyanins and characterize postprandial plasma polyphenols absorption patterns by Q-TOF LC/MS in humans. **Journal of Berry Research**, v. 3, n. 2, p. 113-126. 2013.

BARNECHE, A. C. D. O.; BONOW, S. Novos desafios para o melhoramento genético da cultura do morangueiro no Brasil. **Informe Agropecuário**, v. 33 n. 268, p. 21-26. 2012.

BARTH, E.; RESENDE, J. T. V.; MOREIRA, A. F. P.; MARIGUELE, K. H.; ZEIST, A. R.; SILVA, M. B.; STULZER, G. C. G; MAFRA, J. C. M.; GONÇALVES, L. S. A; ROBERTO, S. R.; YOUSSEF, K. Selection of Experimental Hybrids of Strawberry Using Multivariate Analysis. **Agronomy**, v. 10, n. 4, p. 598. 2020.

BARTH, E.; RESENDE, J. T. V.; ZEIST, A. R.; MARIGUELE, K. H.; ZEIST, R. A.; GABRIEL, A.; CAMARGO, C. K.; PIRANS, F. Yield and quality of strawberry hybrids under subtropical conditions. **Genetics and Molecular Research**, v. 18, n. 2. 2019.

BASU, A.; NGUYEN, A.; BETTS, N. M.; LYONS, T. J. Strawberry as a functional food: An evidence-based review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 54, n. 6, p. 790–806. 2014.

BATTINO, M.; FORBES-HERNANDEZ, T. Y.; GASPARRINI, M.; AFRIN, S.; MEZZETTI, B.; GIAMPIERI, F. The effects of strawberry bioactive compounds on human health. **Acta Horticulture**, n. 1156, p. 355-362. 2017.

BERILLI, A. P. C. G.; PEREIRA, M. G.; TRINDADE, R. D. S.; COSTA, F. R. D.; CUNHA, K. S. D. Response to the selection in the 11th cycle of reciprocal recurrent selection among full-sib families of maize. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 35, n. 4, p. 435-441. 2013.

BHANDARI, H. R.; BHANU, A. N.; SRIVASTAVA, K.; SINGH, M. N.; SHREYA, H. A. Assessment of genetic diversity in crop plants-an overview. **Advances in Plants & Agriculture Research**, v. 7, n. 3, p. 00255, 2017.

BLATTER, J.; HAN, Y. Y.; FORNO, E.; BREHM, J.; BODNAR, L.; CELEDÓN, J. C. Folate and asthma. **American journal of respiratory and critical care medicine**, v. 188, n. 1, p. 12-17. 2013.

BODELÓN, O. G.; AVIZCURI, J. M.; FERNÁNDEZ-ZURBANO, P.; DIZY, M.; PRÉSTAMO, G. Pressurization and cold storage of strawberry purée: colour, anthocyanins, ascorbic acid and pectin methylesterase. **LWT-Food Science and Technology**, v. 52, n. 2, p. 123-130. 2013.

BORÉM, A.; CAIXETA, E. T. **Marcadores moleculares**. 2. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; Brasília, DF: Embrapa Café, 2009. 532 p.

BORTOLOZZO, A. R.; SANHUEZA, R. M. V.; MELO, G. W. B. de.; KOVALESKI, A.; BERNARDI, J.; HOFFMANN, A., BOTTON, M.; FREIRE, J. M. de.; BRAGHINI, L. C.; VARGAS, L.; CALEGARIO, F. F.; FERLA, N. J. **Produção de morangos no sistema semihidropônico**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2007. 24 p. (Embrapa Uva e Vinho. Circular técnica, 62).

BRACKMANN, A.; PAVANELLO, E. P.; BOTH, V.; JANISCH, D. I.; SCHMITT, O. J.; GIMÉNEZ, G. Avaliação de genótipos de morangueiro quanto à qualidade e potencial de armazenamento. **Ceres**, v. 58, n. 5, p. 542-547. 2011.

BRADFORD, E.; HANCOCK, J. F.; WARNER, R. M. Interactions of temperature and photoperiod determine expression of repeat flowering in strawberry. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 135, n. 2, p. 102-107. 2010.

BRAMMER, Sandra Patussi. **Marcadores moleculares: princípios básicos e uso em programas de melhoramento genético vegetal**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. 12p. (Embrapa Trigo. Documentos, 03).

BRAZANTI, E. C. **La fresa**. Madri: Mundi-Prensa. 1989.

BRITO, F. A.; SILVA-MANN, R.; NIZIO, D. A. C.; ARRIGONI-BLANK, M. F.; BLANK, A. F. Molecular Analyses used in Genetic Diversity Studies of Bioactive Plants of Verbenaceae and Lamiaceae. A Review: **Annals Review and Research**, v. 3, n. 2, 555607. 2018.

BROUNS, F.; THEUWISSEN, E.; ADAM, A.; BELL, M.; BERGER, A.; MENSINK, R. P. Cholesterol-lowering properties of different pectin types in mildly hypercholesterolemic men and women. **European journal of clinical nutrition**, v. 66, n. 5, p. 591. 2012.

BUCCI, A.; FAEDI, W.; BARUZZI, G. **La Fragola: origine ed evoluzione**. In: ANGELENI, R. (coord.); FAEDI, W. (coord.; org.). La Fragola. Bologna: Script, p. 1-11. 2010.

CAMARGO L. K. P.; RESENDE J. T. V.; CAMARGO C. K.; KURCHAITD S. M.; RESENDE, N. C. V.; BOTELHO, R. V. Post-harvest characterization of strawberry hybrids obtained from the crossing between commercial cultivars. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 40, n. 4. 2018.

CAMARGO, L. K. P.; RESENDE, J. T. V.; MÓGOR, A. F.; CAMARGO, C. K.; KURCHAITD, S. M. Uso de índice de seleção na identificação de genótipos de batata doce com diferentes aptidões. **Horticultura Brasileira**, v. 34, p. 514-519. 2016.

CANDIDO, W. D. S.; SOARES, R. S.; FRANCO, C. A.; DINIZ, G. M. M.; SILVA, E. H. C.; MARIN, M. V.; BRAZ, L. T. Stability and adaptability of curled green-leaf lettuce lines using the REML/Blup mixed model. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 3, p. 298-306. 2018.

CASTRO, P.; BUSHAKRA, J. M.; STEWART, P.; WEEBADDE, C. K.; WANG, D.; HANCOCK, J. F.; FINN, C. E.; LUBY, J. J.; LEWERS, K. S. Genetic mapping of day-neutrality in cultivated strawberry. **Molecular breeding**, v. 35, n. 2, p. 79. 2015.

ÇELIK, Ö.; DOĞAN, H.; AKDAŞ, E. Y.; USLU, Y. B.; ZENGİN, U. Genetic Similarity between Ottoman Strawberry and the Other Early-Period Strawberry Cultivars Assessed by RAPD Markers. **Austin Biology**, v. 2, n. 1, p. 1019. 2017.

CHANDLER, C. K.; FOLTA, K.; DALE, A.; WHITAKER, V. M.; HERRINGTON, M. Strawberry. In M. L., Badenes, D. H., Byrne (Ed.), **Fruit breeding**. p. 305-325. 2012.

CHANDRA, D.; CHOI, A. J.; LEE, J. S.; LEE, J.; KIM, J. G. Changes in Physicochemical and Sensory Qualities of “Goha” Strawberries Treated with Different Conditions of Carbon Dioxide. **Agricultural sciences**, v. 6, n. 03, p. 325. 2015.

CHEN, F.; LIU, H.; YANG, H.; LAI, S.; CHENG, X.; XIN, Y.; YANG, B.; HOU, H.; YAO, Y.; ZHANG, S.; BU, G.; DENG, Y. et al. Quality attributes and cell wall properties of strawberries (*Fragaria x annanassa* Duch.) under calcium chloride treatment. **Food Chemistry**, v. 126, n. 2, p. 450e459. 2011.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. Lavras: ESALQ/FAEPE, 2005. 785p.

CHO, K.; RHO, I.; CHO, Y.; PARK, P. Analysis of genetic diversity of strawberry (*Fragaria x annanassa* Duch.) cultivars using AFLP and SSR markers. **Korean Journal of Breeding Science**, v. 39, n. 4, p. 447-456. 2007.

CIRIMINNA, R.; CHAVARRÍA-HERNÁNDEZ, N.; INÉS RODRÍGUEZ HERNÁNDEZ, A.; PAGLIARO, M. A new perspective from the biorefinery standpoint. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 9, n. 4, p. 368-377. 2015.

CONTI, J. H.; MINAMI, K.; TAVARES, F. C. A. Comparação de caracteres morfológicos e agrônômicos com moleculares em morangueiros cultivados no Brasil. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 3, p. 419-423. 2002.

COSTA, A. F.; LEAL, N R.; VENTURA, J. A.; GONÇALVES, L. S. A.; AMARAL JUNIOR, A. T.; COSTA, H. Adaptability and stability of strawberry cultivars using a mixed model. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 37: 435-440. 2015.

COSTA, R. C.; CALVETE, E. O.; dos SANTOS TRENTIN, N.; CHIOMENTO, J. L. T.; DE NARDI, F. S. Characterization of external morphanatomy of the strawberry identifies new structure. **Scientia Horticulturae**, v. 254, p. 70-76. 2019.

COSTA, R. C. D.; CALVETE, E. O.; MENDONÇA, H. F. C.; DECOSTA, L. A. Phenology and leaf accumulation in vernalized and non-vernalized strawberry seedlings in neutral-days. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 36, n. 1, p. 57-62. 2014.

CRECENTE-CAMPO, J.; NUNES-DAMACENO, M.; ROMERO-RODRIGUEZ, M. A.; VAZQUEZ-ODÉRIZ, M. L. Color, anthocyanin pigment, ascorbic acid and total phenolic compound determination in organic versus conventional strawberries (*Fragaria x ananassa* Duch, cv Selva). **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 28, p. 23–30. 2012.

CRESPO, P.; BORDONABA, J. G.; TERRY, L. A.; CARLEN, C. Characterization of major taste and health-related compounds of four strawberry genotypes grown at different Swiss production sites. **Food Chemistry**, v. 122, n. 1, p. 16-24. 2010.

CRUZ, C. D. **Programa GENES**: Biometria. 1. ed. Viçosa: Editora UFV, 2006. 382p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4. ed. Viçosa: UFV, 2012. 514 p.

DIAMANTI, J.; CAPOCASA, F.; DENOYES, B.; PETIT, A.; CHARTIER, P.; FAEDI, W.; MALTONI, M.L.; BATTINO, M.; MEZZETTI, B. Standardized method for evaluation of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) germplasm collections as a genetic resource for fruit nutritional compounds. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 28, p. 170–178. 2012.

DIAS, M. S. C.; PÁDUA, J. G.; SILVA, A. F.; LONDE, L. N.; REIS, J. B. R. S.; JESUS, A. M. Cultivares. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 35, n. 279, p. 39-47. 2014.

DARROW, G. M. **The strawberry. History, breeding and physiology**. HOLT, RINEHART AND WINSTON. NEW YORK CHICAGO: SAN FRANCISCO. 1966.

DIMEGLIO, L. M.; STAUDT, G.; YU, H.; DAVIS, T. M. A phylogenetic analysis of the genus *Fragaria* (strawberry) using intron-containing sequence from the ADH-1 gene. **PLoS One**, v. 9, n. 7, p. e102237. 2014.

DUSCHESNE, N. A. **Historie Naturelle des Fraisiers**. Paris. 1766.

EDGER et al. Origin and evolution of the octoploid strawberry genome. **Nature genetics**, v. 51, n. 3, p. 541-547. 2019.

FAEDI, W.; BARUZZI, G.; LOVATI, F.; SBRIGHI, P.; LUCCHI, P. **Monografia di cultivar di fragola**. Roma, Istituto Sperimentale per la Frutticoltura Roma. v.2, 2009. 240p.

FAEDI, W.; BARUZZI, G. **Strawberry Breeding. Strawberry: Growth, Development and Diseases./Eds. Husaini, A., Nari, D. CABI**, p. 26-37. 2016.

FAGHERAZZI, A. F.; BORTOLINI, A. J.; ZANIN, D. S.; BISOL, L.; DOS SANTOS, A. M.; GRIMALDI, F.; KRETZSCHMAR, A. A.; BARUZZI, G.; FAEDI, W.; LUCCHI, P.; RUFATO, L. New strawberry cultivars and breeding activities in Brazil. **Acta horticulturae**, n. 1156, p. 167-170. 2017a.

FAGHERAZZI, A. F.; GRIMALDI, F.; KRETZSCHMAR, A. A.; MOLINA, A. R.; GONÇALVES, M. A.; ANTUNES, L. E. C.; BARUZZI, G.; RUFATO, L. Strawberry production progress in Brazil. **Acta Horticulturae**, n. 1156, p. 937–940. 2017b.

FAOSTAT (2020). (Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database): FAO online database, available at: <http://www.fao.org/faostat/en/#data>

FLORES CANTILLANO, R. F. (Ed.) **Morango**: Pós-colheita. Embrapa Clima Temperado. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. 28 p. (Frutas do Brasil, 42).

FRANQUEZ, G. G. **Seleção e multiplicação de clones de morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duch.)**. 2008. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. 2008.

FREDERICKS, C. H.; FANNING, K. J.; GIDLEY, M. J.; NETZEL, G.; ZABARAS, D.; HERRINGTON, M.; NETZEL, M. High-anthocyanin strawberries through cultivar selection. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 93, n. 4, p. 846-852. 2013.

GALVÃO, A. G.; RESENDE, L. V.; MALUF, W. R.; RESENDE, J. T. V.; FERRAZ, A. K. L.; MARODIN, J. C. Breeding new improved clones for strawberry production in Brazil. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 39, n. 2, p. 149-155. 2017.

GARCIA-MUÑOZ, C.; VAILLANT, F. Metabolic fate of ellagitannins: implications for health, and research perspectives for innovative functional foods. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 54, n. 12, p. 1584-1598. 2014.

GARCIA, A. A. F.; SOUZA JÚNIOR, C. L. Comparação de índices não paramétricos para seleção de cultivares. **Bragantia**, v.58, n.2, p. 253-267. 1999.

GASPEROTTI M.; MASUERO D.; GUELLA G.; PALMIERI L.; MARTINATTI P.; POJER E.; MATTIVI F.; VRHOVSEK U. Evolution of ellagitannin content and profile during fruit ripening in *Fragaria* spp. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 61, n. 36, p. 8597-8607. 2013.

GIAMPIERI, F.; ALVAREZ-SUAREZ, J. M.; BATTINO, M. Strawberry and human health: Effects beyond antioxidant activity. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 62, n. 18, p. 3867-3876. 2014.

GIAMPIERI, F.; ALVAREZ-SUAREZ, J. M.; MAZZONI, L.; ROMANDINI, S.; BOMPADRE, S.; DIAMANTI, J.; CAPOCASA, F.; MEXXETTI, B.; QUILES, J. L.; FERREIRO, M. S.; TULIPANI, S.; BATTINO, M. The potential impact of strawberry on human health. **Natural product research**, v. 27, n. 4-5, p. 448-455. 2013.

GIAMPIERI, F.; FORBES-HERNANDEZ, T. Y.; GASPARRINI, M.; ALVAREZ-SUAREZ, J. M.; AFRIN, S.; BOMPADRE, S.; QUILES, J. L.; MEZZETTI, B.; BATTINO, M. Strawberry as a health promoter: an evidence based review. **Food & Function**, v. 6, n. 5, p. 1386-1398. 2015.

GIAMPIERI, F., TULIPANI, S., ALVAREZ-SUAREZ, J. M., QUILES, J. L., MEZZETTI, B., & BATTINO, M. The strawberry: Composition, nutritional quality, and impact on human health. **Nutrition**, v. 28, n. 1, p. 9-19. 2012.

GIMÉNEZ-BASTIDA, J. A.; GONZÁLEZ-SARRÍAS, A.; LARROSA, M.; TOMÁS-BARBERÁN, F.; ESPÍN, J. C.; GARCÍA-CONESA, M. T. Ellagitannin metabolites, urolithin A glucuronide and its aglycone urolithin A, ameliorate TNF- α -induced inflammation and associated molecular markers in human aortic endothelial cells. **Molecular nutrition & food research**, v. 56, n. 5, p. 784-796. 2012.

GIUGGIOLI, N. R.; GIRGENTI, V.; BAUDINO, C.; PEANO, C. Influence of modified atmosphere packaging storage on postharvest quality and aroma compounds of strawberry fruits in a short distribution chain. **Journal of food processing and preservation**, v. 39, n. 6, p. 3154-3164. 2015.

GONÇALVES, L. S. A.; RODRIGUES, R.; SUDRÉ, C. P.; BENTO, C. S.; MOULIN, M. M.; ARAÚJO, M. L.; DAHER, R. F.; PEREIRA, T. N. S.; PEREIRA, M. G. Divergência genética em tomate estimada por marcadores RAPD em comparação com descritores multicategóricos. **Horticultura Brasileira**, v. 26, n. 3, p. 364-370, 2008.

GONÇALVES, M. A. et al. Crescimento e desenvolvimento. In: ANTUNES, L. E. C.; REISSER JÚNIOR, C.; SCHWENGBER, J. E. (Ed.) **Morangueiro**. Brasília, Embrapa: 2016. p. 47-66.

GONÇALVES NETO, Á. C.; MALUF, W. R.; GOMES, L. A. A.; GONÇALVES, R. J. D. S.; SILVA, V. D. F.; LASMAR, A. Aptidões de genótipos de batata-doce para consumo humano, produção de etanol e alimentação animal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 11, p. 1513-1520. 2011.

GOVINDARAJ, M.; VETRIVENTHAN, M.; SRINIVASAN, M. Importance of genetic diversity assessment in crop plants and its recent advances: an overview of its analytical perspectives. **Genetics research international**, v. 2015. 2015.

GÜNDÜZ, K.; ÖZDEMİR, E. The effects of genotype and growing conditions on antioxidant capacity, phenolic compounds, organic acid and individual sugars of strawberry. **Food chemistry**, v. 155, p. 298-303. 2014.

- HANCOCK, J. F.; FINN, C. E.; LUBY, J. J.; DALE, A.; CALLOW, P. W.; SERÇE, S. Reconstruction of the strawberry, *Fragaria* × *ananassa*, using genotypes of *F. virginiana* and *F. chiloensis*. **HortScience**, v. 45, n. 7, p. 1006-1013. 2010.
- HANCOCK, J. F.; SJULIN, T. M.; LOBOS, G. A. Strawberries. In: HANCOCK J. F. (Ed). **Temperate fruit crop breeding**. Dordrecht: Springer, 2008. p. 393-437.
- HANSON, A. D.; GREGORY, J. F. Folate biosynthesis, turnover, and transport in plants. **Annual review of plant biology**, v. 62, p. 105-125. 2011.
- HATA, F. T.; VENTURA, M. U.; BÉGA, V. L.; CAMACHO, I. M.; DE PAULA, M. T. Chinese chives and garlic in intercropping in strawberry high tunnels for *Neopamera bilobata* Say (Hemiptera: Rhyparochromidae) control. **Bulletin of entomological research**, v. 109, n. 4, p. 419-425. 2018.
- HEIDE, O. M.; STAVANG, J. A.; SØNSTEBY, A. Physiology and genetics of flowering in cultivated and wild strawberries – a review. **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, [S. l.], v. 88, n. 1, p. 1–18. 2013.
- HINTERBERGER, M.; FISCHER, P. Folate and Alzheimer: when time matters. **Journal of Neural Transmission**, v. 120, n. 1, p. 211-224, 2013.
- HÖFER, M.; DREWES-ALWAZ, R.; SCHEEWE, P.; OLBRICHT, K. Morphological evaluation of 108 strawberry cultivars—and consequences for the use of descriptors. **Journal of Berry Research**, v. 2, n. 4, p. 191-206. 2012.
- HONJO, M. et al. Simple sequence repeat markers linked to the everbearing flowering gene in long-day and day-neutral cultivars of the octoploid cultivated strawberry *Fragaria* × *ananassa*. **Euphytica**, v. 209, n. 2, p. 291–303. 2016.
- HORNEDO-ORTEGA, R.; KRISA, S.; GARCÍA-PARRILLA, M. C.; RICHARD, T. Effects of gluconic and alcoholic fermentation on anthocyanin composition and antioxidant activity of beverages made from strawberry. **LWT-Food Science and Technology**, v. 69, p. 382-389, 2016.
- HUMMER, K. E. A new species of *Fragaria* (Rosaceae) from Oregon. **Journal of the Botanical Research Institute of Texas**, p. 9-15. 2012.
- HUMMER, K. E.; NATHEWET, P.; YANAGI, T. Decaploidy in *Fragaria iturupensis* (Rosaceae). **American Journal of Botany**, v. 96, n. 3, p. 713-716. 2009.
- HWANG, Y. S.; MIN, J. H.; KIM, D. Y.; KIM, J. G.; HUBER, D. J. Potential mechanisms associated with strawberry fruit firmness increases mediated by elevated pCO₂. **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, v. 53, n. 1, p. 41-48. 2012.
- ISHIMOTO, H.; SHIBATA, M.; MYOJIN, Y.; ITO, H.; SUGIMOTO, Y.; TAI, A.; HATANO, T. In vivo anti-inflammatory and antioxidant properties of ellagitannin metabolite urolithin A. **Bioorganic & medicinal chemistry letters**, v. 21, n. 19, p. 5901-5904. 2011.

JIMENEZ, N. A.; PÉREZ, S. A. T.; SÁNCHEZ-VÁSQUEZ, E.; FERNANDINO, J. I.; STROBL-MAZZULLA, P. H. Folate deficiency prevents neural crest fate by disturbing the epigenetic Sox2 repression on the dorsal neural tube. **Developmental biology**. 2018.

JONES, J. K. Strawberry, In: N. W. SIMMONDS (Ed.). **Evolution of crop plants**. Longman, New York. 1976. p. 237-242.

JOSUTTIS, M.; CARLEN, C.; CRESPO, P.; NESTBY, R.; TOLDAM-ANDERSEN, T. B.; DIETRICH, H.; KRÜGER, E. A comparison of bioactive compounds of strawberry fruit from Europe affected by genotype and latitude. **Journal of Berry Research**, v. 2, n. 2, p. 73-95. 2012.

KIM, H. J.; LEE, J. N.; CHO, K. S.; WON, H. S.; SUH, J. T. Genetic Diversity and Population Structure Analysis of Ever-Bearing and June-Bearing Strawberry Cultivars Using SSR Markers. **Horticultural Science and Technology**, v. 37, n. 1, p. 108-118. 2019.

KIRSCHBAUM, D. S.; CANTLIFFE, D. J.; DARNELL, R. L.; BISH, E. B. CHANDLER, C. K. Propagation site latitude influences initial carbohydrate concentration and partitioning, growth, and fruiting of 'Sweet Charlie' strawberry transplants grown in Florida. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society**, v. 111, p. 93-96. 1998.

KIRSCHBAUM, D. S.; VICENTE, C. E.; CANO-TORRES, M. A.; GAMBARDELLA, M.; PINTO-VEIZAGA, F. K.; ANTUNES, L. E. C. Strawberry in South America from the Caribbean to Patagonia. **Acta Horticulturae**, n. 1156, p. 947-956. 2017.

KOPONEN, J. M. HAPPONEN, A. M.; MATTILA, P. H.; TÖRRÖNEN, A. R. Contents of anthocyanins and ellagitannins in selected foods consumed in Finland. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, n. 4, p. 1612-1619. 2007.

KRÜGER, E.; JOSUTTIS, M.; NESTBY, R.; TOLDAM-ANDERSEN, T. B.; CARLEN, C.; MEZZETTI, B. Influence of growing conditions at different latitudes of Europe on strawberry growth performance, yield and quality. **Journal of Berry Research**, v. 2, n. 3, p. 143-157, 2012.

LEDESMA, N. A.; MATULAC, J. M.; SEVILLEJA, J. E.; ENRIQUEZ, M. L. Detecting strawberry cultivar misidentification in the Philippines using single nucleotide polymorphism markers from the anthocyanin reductase gene. **bioRxiv**. 2020.

LEE, G. J.; CHUNG, S. J.; PARK, I. S.; LEE, J. S.; KIM, J. B.; KIM, D. S.; KANG, S. Y. Variation in the phenotypic features and transcripts of color mutants of chrysanthemum (*Dendranthema grandiflorum*) derived from gamma ray mutagenesis. **Journal of Plant biology**, v. 51, n. 6, p. 418-423. 2008.

LEI, J. J.; XUE, L.; GUO, R. X.; DAI, H. P. The *Fragaria* species native to china and their geographical distribution. **Acta Horticulturae**, n. 1156, p. 37–46. 2017.

LEITE, W. D. S.; UNÊDA-TREVISOLI, S. H.; SILVA, F. M. D.; SILVA, A. J. D.; MAURO, A. O. D. Identification of superior genotypes and soybean traits by multivariate analysis and selection index. **Revista Ciência Agronômica**, v. 49, n. 3, p. 491-500. 2018.

LEMAITRE, R.; LINDEN, R. **Le frasier à gros fruits**. Description et identification de variétés. Gembloux: J. Duculot, S.A., 1968. 234 p.

LESSA, L. S.; LEDO, C. A. S.; SANTOS, V. S. S.; SILVA, S. O. S.; PEIXOTO, C. P. Seleção de híbridos diplóides (AA) de bananeira com base em três índices não paramétricos. **Bragantia**, v. 69, n. 3, p. 525-533. 2010.

LIANG, R. H.; WANG, L. H.; CHEN, J.; LIU, W.; LIU, C. M. Alkylated pectin: synthesis, characterization, viscosity and emulsifying properties. **Food Hydrocolloids**, v. 50, p. 65-73. 2015.

LIETEN, P. Chilling Requirement of Strawberry cv.'Sonata'and'Figaro'. In: **VI International Strawberry Symposium 842**. 2008. p. 749-752.

LIM, S.; LEE, J.; LEE, H. J.; PARK, K. H.; KIM, D. S.; MIN, S. R.; JANG, W. S.; KIM, T.; KIM, H. The genetic diversity among strawberry breeding resources based on SSRs. **Scientia Agricola**, v. 74, n. 3, p. 226-234. 2017.

LIU, Y.; DONG, M.; YANG, Z.; PAN, S. Anti-diabetic effect of citrus pectin in diabetic rats and potential mechanism via PI3K/Akt signaling pathway. **International journal of biological macromolecules**, v. 89, p. 484-488. 2016a.

LIU, L.; JI, M. L.; CHEN, M.; SUN, M. Y.; FU, X. L.; LI, L.; GAO, D. S.; ZHU, C. Y. The flavor and nutritional characteristic of four strawberry varieties cultured in soilless system. **Food science & nutrition**, v. 4, n. 6, p. 858-868, 2016b.

MAHONEY, L. L.; SARGENT, D. J.; ABEBE-AKELE, F.; WOOD, D. J.; WARD, J. A.; BASSIL, N. V.; HANCOCK, J. F.; FOLTA, K. M.; DAVIS, T. M. A high-density linkage map of the ancestral diploid strawberry, *Fragaria iinumae*, constructed with single nucleotide polymorphism markers from the IStraw90 array and genotyping by sequencing. **The plant genome**, v. 9, n. 2. 2016.

MALTONI, M. L.; MAGNANI, S.; RANIERI, M.; FAEDI W. Qualli sono i fattori che influenzano la qualità del prodotto. **Frutticoltura**, n. 6, p. 22-27. 2009.

MACKENZIE, S. J.; CHANDLER, C. K.; HASING, T.; WHITAKER, V. The role of temperature in the late-season decline in soluble solids content of strawberry fruit in a subtropical production system. **HortScience**, v. 46, n. 11, p. 1562-1566. 2011.

MARINHO, C. D.; GRAVINA, G. D. A.; SEBASTIÃO, L. C. D. A.; ALMEIDA, N. C. D.; DAHER, R. F.; BRASILEIRO, B. P.; PAULA, T. O. M.; AMARAL JÚNIOR, A. T. D. Indexes in the comparison of pre-commercial genotypes of common bean. **Ciência Rural**, v. 44, n. 7, p. 1159-1165. 2014.

MEDEIROS, A. M.; RODRIGUES, R.; COSTA, D. V.; PIMENTA, S.; OLIVEIRA, J. G. Non-parametric indexes in selecting hybrids of chili pepper. **Horticultura Brasileira**, v. 36, n. 1, p. 27-32. 2018.

MENEZES, C. B.; TICONA-BENAVENTE, C. A.; TARDIN, F. D.; CARDOSO, M. J.; BASTOS, E. A.; NOGUEIRA, D. W.; PORTUGAL A. F.; SANTOS, C. V.; SCHAFFERT, R. E. Selection indices to identify drought-tolerant grain sorghum cultivars. **Genetics and Molecular Research**, v. 13, n. 4, p. 9817-9827. 2014.

MEUDT, H. M.; CLARKE, A. C. Almost forgotten or latest practice? AFLP applications, analyses and advances. **Trends in plant science**, v. 12, n. 3, p. 106-117. 2007.

MEZZETTI, B. Breeding and biotechnology for improving the nutritional quality of strawberry. **Journal of Berry Research**, v. 3, n. 3, p. 127-133. 2013.

MEZZETTI, B.; GIAMPIERI, F.; YUN-TAO, Z.; CHUAN-FEI, Z. Status of strawberry breeding programs and cultivation systems in Europe and the rest of the world. **Journal of Berry Research**, p. 1-17. 2018.

MOHARE, Y. S.; PRATAPWAR, A. S.; SAKARKAR, D. M.; SHEIKH, A. Natural polymers used in sustained drug delivery systems. **American Journal of Pharm Research**, v. 3, n. 6, p. 4238-4261. 2013.

MORALES, R. G. F.; RESENDE, J. T. V.; FARIA, M. V.; ANDRADE, M. C.; RESENDE, L. V.; DELATORRE, C. A.; SILVA, P. R. D. Genetic similarity among strawberry cultivars assessed by RAPD and ISSR markers. **Scientia Agricola**, v. 68, n. 6, p. 665-670. 2011a.

MORALES, R. G. F.; RESENDE, J. T. V.; FARIA, M. V.; SILVA, P. R. D.; FIGUEIREDO, A. S. T.; CARMINATTI, R. Divergência genética em cultivares de morangueiro, baseada em caracteres morfoagronômicos. **Revista Ceres**, v. 58, n. 3, p. 323-329, 2011b.

MULAMBA, N. N.; MOCK, J. J. Improvement of yield potential of the Eto Blanco maize (*Zea mays* L.) population by breeding for plant traits. **Egyptian Journal of Genetics and Cytology**, v.7, p.40-51. 1978.

MUSA, C. I.; WEBER, B.; GONZATTI, H. C.; BRASIL BIGUELINI, C.; VOLKEN DE SOUZA, C. F.; CONCEIÇÃO OLIVEIRA, E. Avaliação do teor de Vitamina C em morangos de diferentes cultivares em sistemas de cultivo distintos no município de Bom Princípio/RS. **Ciência e Natura**, v. 37, n. 2. 2015.

NASRIN, T. A. A.; RAHMAN, M. A.; HOSSAIN, M. A.; ISLAM, M. N.; ARFIN, M. S. Postharvest quality response of strawberries with aloe vera coating during refrigerated storage. **The journal of horticultural science and biotechnology**, v. 92, n. 6, p. 598-605. 2017.

NEITZKE, R. S.; FISCHER, S. Z.; VASCONCELOS, C. S.; BARBIERI, R. L.; TREPTOW, R. O. Pimentas ornamentais: aceitação e preferências do público consumidor. **Horticultura Brasileira**, v. 34, n. 1, p. 102-109. 2016.

NUNES, C. F.; FERREIRA, J. L.; GENEROSO, A. L.; DIAS, M. S. C.; PASQUAL, M.; CANÇADO, G. M. D. A. The genetic diversity of strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.) hybrids based on ISSR markers. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 35, n. 4, p. 443-452. 2013.

OLIVEIRA, A. C. B.; ANTUNES, L. E. C. Melhoramento genético e principais cultivares. In: ANTUNES, L. E. C.; REISSER JÚNIOR, C.; SCHWENGBER, J. E. (Ed.) **Morangueiro**. Brasília, Embrapa: 2016. p. 35-46.

OLIVEIRA, S. S.; CRUZ, M. S. F. V.; RISTAU, A. C. P.; BRAZ, H.; ALVES, T. N.; ROCHA, H. G. A.; BRAGA, G. C.; GUIMARÃES, V. F. Use of Dimethylsulfoxide on the Postharvest Conservation and Quality of Strawberry and Peach. **Journal of Experimental Agriculture International**, p. 1-10. 2018.

OPSTAD, N.; SØNSTEBY, A.; MYRHEIM, U.; HEIDE, O. M. Seasonal timing of floral initiation in strawberry: Effects of cultivar and geographic location. **Scientia Horticulturae**, v. 129, n. 1, p. 127-134. 2011.

ORNELAS-PAZ, J. J.; YAHIA, E. M.; RAMÍREZ-BUSTAMANTE, N.; PÉREZ-MARTÍNEZ, J. D.; ESCALANTE-MINAKATA, M. P.; IBARRA-JUNQUERA, V.; ACOSTA-MUÑIZ, C.; GUERRERO-PIETRO, V.; OCHOA-REYES, E. Physical attributes and chemical composition of organic strawberry fruit (*Fragaria x ananassa* Duch, Cv. Albion) at six stages of ripening. **Food Chemistry**, v. 138, 372–381. 2013.

PALHA, M. G.; MEXIA, A.; NUNES, A. P.; MATEUS, C.; ANDRADE, C. S.; FIGUEIREDO, E.; REIS, L. G.; SOUSA, M. B.; LOPES, M. C.; FERREIRA, M. A. **Manual do morangueiro**. Edição; Projecto PO AGRO DE&D, nº 193: Tecnologia de produção integrada no morangueiro visando a expansão da cultura e a reconquista do mercado. São Paulo. 2005.

PARK, D.; PARK, Y.; LEE, Y. H.; CHOI, I. Y.; PARK, K. C.; PARK, S. U.; KIM, B. S.; YEOUNG, Y. R.; PARK, N. I. A Comparative Study of Phenolic Antioxidant Activity and Flavonoid Biosynthesis-Related Gene Expression Between Summer and Winter Strawberry Cultivars. **Journal of food science**, v. 82, n. 2, p. 341-349. 2017.

PEŠAKOVIĆ, M.; KARAKLAJIĆ-STAJIĆ, Ž.; MILENKOVIĆ, S.; MITROVIĆ, O. Biofertilizer affecting yield related characteristics of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) and soil micro-organisms. **Scientia Horticulturae**, v. 150, p. 238-243. 2013.

PESEK, J.; BAKER, R.J. Desired improvement in relation to selection indices. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 49, p. 803-804. 1969.

PASSOS, F. A.; GRIDI-PAPP, I. L.; CAMARGO, C. E. O.; CHIAVEGATO, E. J.; DALL'ORTO, F. A. C.; NAGAI, H.; de GODOY, I. J.; FAZUOLI, L. C.; VEIGA, R. F. A. **Descritores mínimos para o registro institucional de cultivares: MORANGO**. Campinas: IAC, 1994. 8 p. (IAC Documentos, 40).

PENG, M.; ZONG, X.; WANG, C.; MENG, F. Genetic diversity of strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.) from the Motuo County of the Tibet Plateau determined by AFLP markers. **Biotechnology & Biotechnological Equipment**, v. 29, n. 5, p. 876-881. 2015.

PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; NEVEU, V.; VOS, F.; SCALBERT, A. Identification of the 100 richest dietary sources of polyphenols: an application of the Phenol-Explorer database. **European journal of clinical nutrition**, v. 64, n. S3, p. S112. 2010.

PINELLI, L. D. L. D. O.; MORETTI, C. L.; SANTOS, M. S. dos; CAMPOS, A. B.; BRASILEIRO, A. V.; CORDOVA, A. C.; CHIARELLO, M. D. Antioxidants and other chemical and physical characteristics of two strawberry cultivars at different ripeness stages. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 24, n. 1, p. 11-16. 2011.

QUEIROZ-VOLTAN, R.B.; JUNG-MENDAÇOLLI, S.L.; PASSOS, F.A.; SANTOS, R.R. dos. Caracterização botânica de cultivares de morangueiro. **Bragantia**, v. 55, n.1, p. 29-44. 1996.

RAHMAN, M. M.; MONIRUZZAMAN, M.; AHMAD, M. R.; SARKER, B. C.; ALAM, M. K. Maturity stages affect the postharvest quality and shelf-life of fruits of strawberry genotypes growing in subtropical regions. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 15, n. 1, p. 28-37. 2016.

RAHMAN, M. M.; RAHMAN, M. M.; HOSSAIN, M. M.; MIAN, M. K.; KHALIQ, Q. A. Characterization and field performance of 15 Strawberry germplasm under Bangladesh conditions. **SAARC Journal of Agriculture**, v. 11, n. 2, p. 81-94. 2013.

REICHERT, L. J.; MADAIL, J. C. M. **Morango – Produção**. Brasília: EMBRAPA CLIMA TEMPERADO (Pelotas, RS), 2003. 81p. (Frutas do Brasil; 40).

RESENDE, J. T. V.; CAMARGO, L. K.; ARGANDOÑA, E. J.; MARCHESE, A.; CAMARGO, C. K. Sensory analysis and chemical characterization of strawberry fruits. **Horticultura Brasileira**, v. 26, n. 3, p. 371-374. 2008.

RESENDE, J. T. V.; GABRIEL, A.; MOREIRA, A. F. P.; GONÇALVES, L. S. A.; RESENDE, N.; DE GOES, C. D. M.; ZANIN, D. S. Application of mixed models in the study of the adaptability and stability of short-day and neutral-day strawberry cultivars. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 5, p. 110953104. 2020.

RESENDE, L. M. A.; MASCARENAS, M. H. T.; PAIVA, B. M. Panorama da produção e comercialização do morango. **Informe Agropecuário**, v. 20, n. 198, p. 5-19. 1999.

REZENDE, J. C. D.; BOTELHO, C. E.; OLIVEIRA, A. C. B. D.; SILVA, F. L. D.; CARVALHO, G. R.; PEREIRA, A. A. Genetic progress in coffee progenies by different selection criteria. **Coffee Science**, v. 9, n. 3, p. 347-353. 2014.

RICHTER, A. F.; FAGUERAZZI, A. F.; ZANIN, D. S.; SILVA, S.; ARRUDA, A. L.; KRETZSCHMAR, A. A.; RUFATO, L. Produtividade e qualidade de cultivares de morangueiro sob cultivo de solo e semi-hidropônico. **Revista Científica Rural**, v. 20, n. 1, p. 193-203. 2018.

RODAS, C. L.; SILVA, I. P.; TOLEDO-COELHO, V. A.; GUIMARÃES-FERREIRA, D. M.; SOUZA, R. J.; CARVALHO, J. G. Chemical properties and rates of external color of strawberry fruits grown using nitrogen and potassium fertigation. **IDESIA (Chile)**, v. 31, n. 1, p. 53-58. 2013.

RONQUE, E.R.V. **A cultura do morangueiro**. Curitiba: EMATER-PR, 1998. 206p.

ROSADO, L. D. S.; SANTOS, C. E. M. D.; BRUCKNER, C. H.; NUNES, E. S.; CRUZ, C. D. Simultaneous selection in progenies of yellow passion fruit using selection indices. **Revista Ceres**, v. 59, n. 1, p. 95-101. 2012.

ROSA, H.T.; STRECK, N.A.; WALTER, L.C.; ANDRIOLO, J.L.; SILVA, M.L. Crescimento vegetativo e produtivo de duas cultivares de morango sob épocas de plantio em ambiente subtropical. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 3. 2013.

RUAN, J.; LEE, Y. H.; HONG, S. J.; YEOUNG, Y. R. Sugar and organic acid contents of day-neutral and ever-bearing strawberry cultivars in high-elevation for summer and autumn fruit production in Korea. **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, v. 54, n. 3, p. 214-222. 2013.

RUGIENIUS, R.; ŠIKŠNIANIENĖ, J. B.; FRERCKS, B.; STANIENĖ, G.; STEPULAITIENĖ, I.; HAIMI, P.; STANYS, V. Characterization of strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) cultivars and hybrid clones using SSR and AFLP markers. **Zemdirbyste-Agriculture**, v. 102, n. 2. 2015.

RUIZ, A.; SANHUEZA, M.; GÓMEZ, F.; TEREUCÁN, G.; VALENZUELA, T.; GARCÍA, S.; CORNEJO, P.; HERMOSÍN-GUTIÉRREZ, I. Changes in the content of anthocyanins, flavonols, and antioxidant activity in *Fragaria ananassa* var. Camarosa fruits under traditional and organic fertilization. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 99, n. 5, p. 2404-2410. 2019.

SAMTANI, J. B.; ROM, C. R.; FRIEDRICH, H.; FENNIMORE, S. A.; FINN, C. E.; PETRAN, A.; WALLACE, R. W.; PRITTS, M. P.; FERNANDEZ, G.; CHASE, C. A.; KUBOTA, C.; BERGEFURD, B. The status and future of the strawberry industry in the United States. **HortTechnology**, v. 29, n. 1, p. 11-24. 2019.

SÁNCHEZ-SEVILLA, J. F.; HORVATH, A.; BOTELLA, M. A.; GASTON, A.; FOLTA, K.; KILIAN, A.; DENOYES, B.; AMAYA, I. (2015) Diversity Arrays Technology (DArT) marker platforms for diversity analysis and linkage mapping in a complex crop, the octoploid cultivated strawberry (*Fragaria* × *ananassa*). **PLoS One**, v. 10, n. 12, p. e0144960. 2015.

SANDHU, A. K., HUANG, Y., XIAO, D., PARK, E., EDIRISINGHE, I., BURTON-FREEMAN, B. Pharmacokinetic characterization and bioavailability of strawberry anthocyanins relative to meal intake. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 64, n. 24, p. 4891-4899. 2016.

SECRETARIA DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO DO PARANÁ – DEPARTAMENTO DE ECONOMIA RURAL (SEAB/DERAL). **Valor Bruto da Produção Agropecuária 2018**. Disponível em:

<http://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2020-04/relatoriovbp2018.pdf>. Acesso em: 22 Abr. 2020.

SHULAEV, V. et al. The genome of woodland strawberry (*Fragaria vesca*). **Nature genetics**, v. 43, n. 2, p. 109. 2011.

SIECZKO, L.; MASNY, A.; PRUSKI, K.; ŻURAWICZ, E.; MAŁDY, W. Multivariate assessment of cultivars' biodiversity among the Polish strawberry core collection. **Horticultural Science**, v. 42, n. 2, p. 83-93, 2015.

SILVA, A. F.; DIAS, M. S. C.; MARO, L. A. C. Botânica e fisiologia do morangueiro. **Informe Agropecuário**. v. 28, n. 236, p. 07-13. 2007.

SILVA, F. H. D. L.; VIANA, A. P.; SANTOS, E. A.; FREITAS, J. C. D. O.; RODRIGUES, D. L.; AMARAL JÚNIOR, A. T. D. Prediction of genetic gains by selection indexes and REML/BLUP methodology in a population of sour passion fruit under recurrent selection. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 39, n. 2, p. 183-190. 2017.

SILVA, G. O.; PEREIRA, A. S.; AZEVEDO, F. Q.; CARVALHO, A. D.; PINHEIRO, J. B. Selection of potato clones for tuber yield, vine maturity and frying quality. **Horticultura Brasileira**, v. 36, n. 2, p. 276-281. 2018.

SIMPSON, D. The economic importance of strawberry crops. In: HYTÖNEN, T.; GRAHAM, J.; HARRISON, R. (Eds) **The Genomes of Rosaceous Berries and Their Wild Relatives**. Springer, Cham, 2018. p. 1-7.

SMITH, O.S.; HALLAUER, A.R.; RUSSEL, W.A. Use of index selection in recurrent selection programs in maize. *Euphytica*, n. 30, p. 611-618. 1981.

SOGVAR, O. B.; SABA, M. K.; EMAMIFAR, A. Aloe vera and ascorbic acid coatings maintain postharvest quality and reduce microbial load of strawberry fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 114, p. 29-35. 2016.

SØNSTEBY, A. Short-day period and temperature interactions on growth and flowering of strawberry. **Acta Horticulturae**, n. 439, p. 609-616, 1997.

STAUDT, G. Strawberry biogeography, genetics and systematics. **Acta Horticulturae**, n. 842, p. 71-84. 2009.

STEGMEIR, T. L.; FINN, C. E.; WARNER, R. M.; HANCOCK, J. F. Performance of an elite strawberry population derived from wild germplasm of *Fragaria chiloensis* and *F. virginiana*. **HortScience**, v. 45, n. 8, p. 1140-1145. 2010.

SUBANDI, W.; COMPTON, A.; EMPIG, L.T. Comparison of the efficiencies of selection indices for three traits in two variety crosses of corn. **Crop Science**, v. 13, p. 184-186. 1973.

SYMONS, G. M.; CHUA, Y. J.; ROSS, J. J.; QUITTENDEN, L. J.; DAVIES, N. W.; REID, J. B. Hormonal changes during non-climacteric ripening in strawberry. **Journal of experimental botany**, v. 63, n. 13, p. 4741-4750. 2012.

TAI, G.C.G. Index selection with desired gain. **Crop Science**, v. 17, p. 182-183. 1977.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858p.

TANINO, K. K.; WANG, R. Modeling chilling requirement and diurnal temperature differences on flowering and yield performance in strawberry crown production. **HortScience**, v. 43, n. 7, p. 2060-2065. 2008.

TAZZO, I. F.; FAGHERAZZI, A. F.; LERIN, S.; KRETZSCHMAR, A. A. Exigência térmica de duas seleções e quatro cultivares de morangueiro cultivado no planalto catarinense. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, p. 550-558. 2015.

TYRKA, M.; DZIADCZYK, P.; HORTYŃSKI, J. A. Simplified AFLP procedure as a tool for identification of strawberry cultivars and advanced breeding lines. **Euphytica**, v. 125, n. 2, p. 273-280. 2002.

VERHEUL, M. J.; SØNSTEBY, A.; GRIMSTAD, S. O. Influences of day and night temperatures on flowering of *Fragaria x ananassa* Duch., cvs. Korona and Elsanta, at different photoperiods. **Scientia Horticulturae**, v. 112, n. 2, p. 200-206. 2007.

VIEIRA, S. D.; DE SOUZA, D. C.; MARTINS, I. A.; RIBEIRO, G. H. M. R.; RESENDE, L. V.; FERRAZ, A. K. L.; GALVÃO, A. G.; RESENDE, J. T. V. Selection of experimental strawberry (*Fragaria x ananassa*) hybrids based on selection indices. **Genetics and molecular research**, v. 16, n. 1. 2017.

VIGNOLO, G. K.; PICOLOTTO, L.; GONÇALVES, M., A.; COCCO, C.; ANTUNES, A. E. C. Origem e botânica. In: ANTUNES, L. E. C.; REISSER JÚNIOR, C.; SCHWENGBER, J. E. (Ed.) **Morangueiro**. Brasília, Embrapa: 2016. p. 35-46.

VOĆA, S.; ŽLABUR, J.; DOBRIČEVIĆ, N.; JAKOBEK, L.; ŠERUGA, M.; GALIĆ, A.; PLIESTIĆ, S. Variation in the bioactive compound content at three ripening stages of strawberry fruit. **Molecules**, v. 19, n. 7, p. 10370-10385. 2014.

XU, W.; PENG, H.; YANG, T.; WHITAKER, B.; HUANG, L.; SUN, J.; CHEN, P. Effect of calcium on strawberry fruit flavonoid pathway gene expression and anthocyanin accumulation. **Plant physiology and biochemistry**, v. 82, p. 289-298. 2014.

WADA, Takuya et al. Development and characterization of a strawberry MAGIC population derived from crosses with six strawberry cultivars. **Breeding science**, v. 67, n.4, p. 17009. 2017.

WEEBADDE, C. K.; WANG, D.; FINN, C. E.; LEWERS, K. S.; LUBY, J. J.; BUSHAKRA, J.; SJULIN, T. M.; HANCOCK, J. F. Using a linkage mapping approach to identify QTL for day-neutrality in the octoploid strawberry. **Plant breeding**, v. 127, n. 1, p. 94-101. 2008.

WILLIAMS, J.S. The evaluation of a selection index. **Biometrics**, v. 18, p. 375-393, 1962.

WREGGE, M. S.; REISSER JÚNIOR, C.; ANTUNES, L. E. C.; OLIVEIRA, R. P. de.; HERTER, F. G.; STEINMETZ, S.; GARRASTAZU, M. C.; MATZENAUER, R.; JOÃO, P. L.; SANTOS, A. M. dos. **Zoneamento agroclimático para produção de mudas de morangueiro no Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007. 27 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 187).

YAMASAKI, A. Recent progress of strawberry year-round production technology in Japan. **Japan Agricultural Research Quarterly: JARQ**, v. 47, n. 1, p. 37-42. 2013.

YANCHEVA, N.; MARKOVA, D.; MURDZHEVA, D.; VASILEVA, I.; SLAVOV, A. Foaming and emulsifying properties of pectin isolated from different plant materials. **Acta Scientifica Naturalis**, v. 3, n. 1, p. 7-12. 2016.

YUNTAO, Z.; ZHIGUANG, F.; TIANZHONG, L.; JING, D.; GUIXIA, W.; KAICHUN, Z.; ZHENHAI, H. Genetic relationships of strawberry cultivars by AFLP analysis. **Acta Horticulturae Sinica**, v. 33, n. 6, p. 1199. 2006.

ZAWADNEAK, M. A. C; SCHUBER, J. M.; MÓGOR, A. F. 2019. **Como produzir morangos**. 2. ed. Curitiba: UFPR. 296p.

ZEIST, A. R.; RESENDE, J. T. V. Strawberry breeding in Brazil: current momentum and perspectives. **Horticultura Brasileira**, v. 37, n. 1, p. 7-16. 2019.

ZHONG, C. F.; MAZZONI, L.; BALDUCCI, F.; DI VITTORI, L.; CAPOCASA, F.; GIAMPIERI, F.; MEZZETTI, B. Evaluation of vitamin C content in fruit and leaves of different strawberry genotypes. In: **VIII International Strawberry Symposium 1156**. 2017. p. 371-378.

3. ARTIGO A: SELEÇÃO DE HÍBRIDOS DE MORANGUEIRO DE SEGUNDA GERAÇÃO PARA FOTOPERÍODO NEUTRO.

3.1 RESUMO

O morango é um fruto altamente apreciado em todas as partes do mundo. No Brasil, seu cultivo tem se tornado cada vez mais atrativo e com fortes tendências de crescimento. Sendo uma espécie octaploide, o morangueiro apresenta grande variabilidade genética que pode ser explorada em programas de melhoramento. No entanto, a alta heterozigosidade dificulta a seleção de múltiplas características. Sendo assim, o objetivo do trabalho foi selecionar híbridos de morangueiro de dia neutro, utilizando técnicas de análise multivariada. O delineamento experimental adotado foi de blocos aumentados de Federer, utilizando 584 híbridos de dia neutro como tratamentos e as cultivares Albion e Monterey como testemunhas. Foram avaliados o número total de frutos (NTF), número de frutos comerciais (NFC), massa total de frutos (MTF), massa de frutos comerciais (MFC), massa média de frutos (MMF), massa média de frutos comerciais (MMFC), firmeza, sólidos solúveis (SS) e a coloração do fruto por meio do ângulo *hue* da parte externa do fruto (hEF). A seleção dos híbridos foi baseada no índice de seleção de Mulamba e Mock e na análise de componentes principais. Ampla variabilidade foi detectada entre todas as populações. Indivíduos com maior destaque para as características de produção são provenientes do cruzamento com 'Monterey'. Para firmeza e SS os genitores RVFS06 e RVFS07 obtiveram melhor desempenho quando cruzados com a cultivar Albion. Para hEF todas as populações apresentaram indivíduos com valores inferiores aos das testemunhas e mais próximos de zero, principalmente RVFS07M e RVDA11M, indicando que nessas populações se encontram os genótipos com coloração vermelha mais intensa. O maior número de híbridos superiores foi identificado no cruzamento entre Monterey e RVFS07 e aqueles selecionados pelo índice de seleção de Mulamba e Mock também se destacaram na análise de componentes principais, principalmente RVFS07M-5, RVFS07M-24, RVFS07M-36, RVFS07M-38 e RVFS07M-179. A ampla variabilidade presente entre os híbridos pode contribuir para elevar o ganho genético por seleção e auxiliar na escolha de genitores promissores para dar continuidade ao programa de melhoramento.

Palavras-chave: *Fragaria x ananassa*. Índice de seleção. Melhoramento genético. Diversidade.

3.2 INTRODUÇÃO

Produzido em mais de 70 países (KIRSCHBAUM et al., 2017), o morango (*Fragaria x ananassa*) tem se tornado um fruto cada vez mais atrativo devido suas propriedades organolépticas e à sua versatilidade de uso, tanto para consumo *in natura*, bem como para processamento. No Brasil, o morangueiro é cultivado principalmente nas pequenas propriedades rurais e, nos últimos anos, têm sido relatadas fortes tendências de crescimento tanto em área plantada quanto na produção de frutos (RICHTER et al., 2018). Isso se deve principalmente a novas técnicas de cultivo e ao uso de cultivares de dia neutro, que possibilitam a produção e comercialização durante todo o ano (ANTUNES; PERES, 2013; FAGHERAZZI et al., 2014; FAGHERAZZI et al., 2017b).

Em virtude da escassez de programas de melhoramento da cultura no país, há pouca disponibilidade de cultivares nacionais, o que obriga o produtor a utilizar mudas importadas da Espanha, do Chile e da Argentina, as quais são provenientes de programas de melhoramento dos Estados Unidos, Espanha e Itália (GALVÃO et al., 2017, ZEIST; RESENDE, 2019). A importação das mudas onera os custos de produção e traz riscos frente à possibilidade da introdução de pragas e patógenos (FAGHERAZZI et al., 2017b; ZEIST; RESENDE, 2019). Além disso, por serem desenvolvidas em outros países, essas cultivares não são totalmente adaptadas às condições edafoclimáticas brasileiras, o que pode reduzir o rendimento da cultura (RESENDE et al., 2020).

Do ponto de vista genético, o morangueiro apresenta grande vantagem devido à sua natureza octaploide, possibilitando diferentes combinações gênicas após a hibridização, o que se torna importante fator na seleção de genótipos com características desejáveis (KACZMARSKA; GAWROŃSKI, 2019). Mas ao mesmo tempo, a elevada heterozigosidade dificulta a separação de expressões fenotípicas que resultam de componentes aditivos e dos efeitos dominantes e epistáticos (VIEIRA et al., 2017), além da interação destes com o ambiente.

Entre os principais objetivos dos programas de melhoramento do morangueiro estão as características relacionadas à produtividade e os atributos físico-químicos dos frutos (CHANDLER et al., 2012; FAEDI; BARUZZI, 2016; ZEIST; RESENDE, 2019). Porém, as características de produção, geralmente, são negativamente correlacionadas ou não apresentam correlação com caracteres físico-

químicos (GHOOCHANI; VOSOUGH; KARAMI; 2015), o que pode tornar mais complexo o processo de seleção de genótipos superiores (VIEIRA et al., 2017).

Para evitar que a seleção de um ou mais caracteres resultem em genótipos desfavoráveis, é necessária a adoção de ferramentas que direcionem na escolha correta dos materiais e possibilitem maior consistência no processo de seleção. Neste contexto, as análises multivariadas, tais como índices de seleção e componentes principais, combinam simultaneamente informações úteis para descrever as variações fenotípicas que ocorrem entre os genótipos, possibilitando a classificação e indicação mais precisa daqueles que contenham as características de interesse. Pesquisas têm demonstrado a eficiência da análise multivariada na cultura do morangueiro, como Ghoochani; Vosough; Karami (2015) e Sieczko et al., (2015) que avaliaram parâmetros químicos e morfológicos em cultivares por meio da análise de componentes principais (PCA), Vieira et al. (2017) que selecionaram híbridos experimentais com base em índices de seleção e Barth et al. (2020) que selecionaram híbridos experimentais utilizando análise multivariada.

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi utilizar ferramentas de análise multivariada visando selecionar genótipos de morangueiro de dia neutro que apresentem um bom equilíbrio entre as características agrônômicas e de pós-colheita.

3.3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no campo experimental da Universidade Estadual do Centro Oeste - UNICENTRO, campus CEDETEG. O local possui altitude de 1.120 metros, a 25° 26' 57.79" de latitude Sul, e 51° 38' 29.18" de longitude oriental Oeste Leste, em Guarapuava, PR. O clima local segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfb (subtropical mesotérmico úmido), sem estação seca definida, com verão quente e inverno moderado com incidência de geadas frequentes (WREGE et al., 2011). O solo é classificado como Latossolo Bruno distroférico típico (EMBRAPA SOLOS, 2013), com textura muito argilosa, resultante de um derramamento de lava conhecido como Trapp.

3.3.1 Material Vegetal

Para obtenção dos híbridos experimentais foram realizados cruzamentos utilizando as cultivares de dia neutro Albion e Monterey como genitores femininos e como genitores masculinos os híbridos de primeira geração RVCA16 (Camarosa x Aromas), RVFS06 (Flórida Festival x Sweet Charlie), RVFS07 (Flórida Festival x Sweet Charlie), RVDA11 (Dover x Aromas) (Tabela 3.1), obtidos de seleções anteriores (BARTH et al., 2019; GALVÃO et al., 2017).

Tabela 3.1 – Relação dos genitores masculinos e femininos utilizados no processo de hibridação e seus respectivos números de mudas.

População	Genitores		Número de mudas
	♀	♂	
RVFS06M	Monterey	RVFS06 (Festival X Sweet Charlie)	043
RVFS07M	Monterey	RVFS07 (Festival X Sweet Charlie)	170
RVDA11M	Monterey	RVDA11 (Dover x Aromas)	094
RVCA16M	Monterey	RVCA16 (Camarosa x Aromas)	013
RVFS06AL	Albion	RVFS06 (Festival X Sweet Charlie)	173
RVFS07AL	Albion	RVFS07 (Festival X Sweet Charlie)	091

As mudas das cultivares foram adquiridas do Chile, enquanto que as mudas dos híbridos advêm do programa de melhoramento do Núcleo de Pesquisa em Hortaliças da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO, Guarapuava-PR) e do Programa de melhoramento da Universidade de Lavras (UFLA, Lavras-MG).

Durante os meses de abril a julho de 2017 a hibridação foi realizada por ocasião da antese de acordo com os procedimentos recomendados pelo Instituto Agrônomo de Campinas (CAMARGO; PASSOS, 1993) e Universidade da Flórida (CHANDLER et al., 2012). Os aquênios foram extraídos manualmente de pseudofrutos completamente maduros, em seguida foram secos em temperatura ambiente e posteriormente armazenados em dessecador (25 °C). Para superação da dormência dos aquênios (em novembro de 2017) foi utilizado o método da escarificação ácida com imersão em H₂SO₄ (98%) por 15 min e posterior sanitização por 10 min em NaOH (2%) (GALVÃO et al., 2014; ITO et al., 2011). Em seguida, foram submetidos a embebição com ácido Indol-3-butírico (AIB) na dose de 100 ppm (GALVÃO et al., 2014).

Após receberem o tratamento para quebra de dormência, os aquênios foram transferidos para cultivo *in vitro* em meio de cultura MS (MURASHIGE; SKOOG,

1962) solidificado com ágar (0,6%) e suplementado por sacarose (3%). O crescimento foi realizado em câmara de crescimento de plantas com temperatura de 25 °C, 85 % de umidade relativa do ar e fotoperíodo de 16 horas de luz e 8 de escuro, durante 40 dias, até a formação das mudas.

Depois deste período, os *seedlings* com 4 a 5 folhas foram transplantados para bandejas de 50 células (5 cm diâmetro x 10 cm de altura cada célula) preenchidas com substrato Plantmax® e mantidas em casa de vegetação com nebulização e temperatura controlada para aclimatização. Para adubação de crescimento, foram realizadas três aplicações de 2 mL por planta com formulado líquido (50% dos componentes formadores do meio MS L⁻¹ H₂O destilada). Trinta dias antes do transplante as mudas foram submetidas ao processo de vernalização em câmara fria com temperatura média de 3±1 C°, umidade de 80±3% e fotoperíodo 16 horas de luz/8 horas de escuro por 28 dias.

3.3.2 Transplântio das Mudás

O preparo dos canteiros foi realizado com 30 dias de antecedência, constituindo de aração e gradagem, aplicação de calcário e levantamento dos canteiros com dimensões de 20 cm de altura e 1,20 m de largura por meio de rotoencanteirador. A adubação de base foi realizada de acordo com os resultados de análise de solo prévia. Foi utilizado o sistema de irrigação por gotejamento, no espaçamento entre gotejo de 0,30 m, sendo utilizadas três linhas de gotejo por canteiro, espaçadas em 0,30 m. Os canteiros foram revestidos com filme de polietileno preto (*mulching*), com espessura de 30 µm e cobertos com filme plástico de 100 micras para formar os túneis baixos.

As mudas foram transplantadas para os canteiros, com espaçamento de 0,30 m x 0,30 m, formando três linhas, ficando as plantas próximas aos pontos de gotejo. A cada 30 dias foram realizadas adubações de cobertura, compostas por 60 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio, 11,5 kg ha⁻¹ de sulfato de potássio e 14,5 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio.

No início do florescimento as plantas foram pulverizadas com ácido bórico e sulfato de zinco, nas concentrações de 1% e 2%, respectivamente e no estágio de produção de frutos utilizou-se cloreto de cálcio a 0,4% a cada 15 dias. As

adubações foram realizadas com base na análise química do solo e de acordo com as recomendações para a cultura.

O controle de pragas foi realizado com pulverizações quinzenais intercaladas entre os produtos Abamectin (75 mL ha⁻¹), Thiametoxan (10 mL ha⁻¹) e Fipronil (250 mL ha⁻¹). O controle de doenças fúngicas foi realizado com aplicações de forma alternada de Azoxistrobina (16 g ha⁻¹), Tebuconazol (75 mL ha⁻¹) e Mancozeb (250 g ha⁻¹).

3.3.3 Fenotipagem

As colheitas foram iniciadas em 4 de agosto de 2018, e posteriormente, foram realizadas a cada dois dias. Para cada híbrido, o início da colheita ocorreu em datas distintas devido ao desenvolvimento diferenciado de cada genótipo avaliado. Foram colhidos e mensurados os frutos que apresentavam pelo menos 75% de coloração vermelha-escuro (PBMH; PIMO, 2009). Os frutos foram classificados em não comerciais (≤ 35 mm) e comerciais (> 35 mm) de acordo com Pbmh e Pimo (2009). O final do período de produção comercial foi considerado quando a planta em avaliação produziu mais de 70% dos frutos como não comerciais.

Foram obtidos o número total de frutos (NTF) e número de frutos comerciais (NFC) e calculadas a massa total de frutos (MTF, g planta⁻¹), massa de frutos comerciais (MFC, g planta⁻¹), massa média de frutos (MMF, g fruto⁻¹) e massa média de frutos comerciais (MMFC, g fruto⁻¹).

Para determinar a firmeza de polpa foram utilizados três frutos frescos de cada genótipo por colheita, sendo mensurada a partir de dois pontos equidistantes do centro do fruto, por meio de um penetrômetro manual com ponteira Instrutherm de 3mm, modelo PTR-300. Os resultados foram expressos em Newtons (N).

Para determinação dos sólidos solúveis (SS) foi obtida a polpa de três frutos de cada genótipo por colheita, a qual foi homogeneizada e filtrada em temperatura ambiente. Em seguida realizou-se a leitura direta em refratômetro de bancada da marca Optech, modelo RMT, obtendo-se os valores em °Brix.

A coloração externa dos frutos foi obtida por meio de colorímetro Minolta CR-410 utilizando três frutos de cada genótipo por colheita. Valores de L (Luminosidade), a (coordenada vermelho/verde) e b (coordenada amarelo/azul) foram obtidos em três pontos diferentes de cada fruto. Com os valores das coordenadas L,

a e b foi possível obter o parâmetro relacionado à tonalidade (ângulo de cor *hue* – h) por meio da equação $\tan^{-1} b/a$ (MCGUIRE, 1992).

3.3.4 Análise dos Dados

Foi adotado o delineamento experimental de blocos aumentados (FEDERER, 1956), com 6 repetições, sendo os 584 híbridos estipulados como tratamentos e as cultivares Albion e Monterey como testemunhas. Cada população de cruzamento formou uma repetição e as parcelas eram formadas por uma planta de cada genótipo.

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) utilizando o pacote *Agricolae* v.1.3-1 (MENDIBURU, 2014) no *software* R v. 3.6.3 (R CORE TEAM, 2020, <http://www.r-project.org/>). A partir das observações das características foram construídos Box plot (BUSSAB; MORETTIN, 1987) para verificar a variabilidade presente entre os híbridos por meio do *plugin* *KMggplot2* (SOU; NAGASHIMA, 2018) no *software* R. Posteriormente, foi realizado o agrupamento dos híbridos por meio da análise de componentes principais (PCA) por meio do *plugin* *FactoMineR* (HUSSON et al., 2019) no *software* R.

Todas as características avaliadas foram utilizadas para aplicação do índice de seleção de Mulamba e Mock (1978), o qual consiste em classificar os genótipos em relação a cada um dos caracteres, em ordem favorável ao melhoramento. Assim, os híbridos receberam um número de classificação para cada característica, sendo que o número um foi estipulado para o melhor valor de cada caráter e, assim, sucessivamente. Após a obtenção dos números de classificação de cada genótipo, calcularam-se os índices utilizando-se a fórmula:

$$I_j = \sum n_{ij}$$

em que,

I_j = índice para o genótipo j ;

n_{ij} = número de classificação do caráter i para o genótipo j ;

Foram considerados melhores os híbridos com menores I_j s.

Os cálculos do índice foram realizados no Microsoft Excel®.

3.4 RESULTADOS

3.4.1 Análise Box Plot

As diferenças genótípicas foram significativas para todas as características e uma ampla variabilidade foi observada entre as populações de cruzamentos (Figuras 3.1 e 3.2). Para massa total de frutos (MTF), número total de frutos (NTF), número de frutos comerciais (NFC) e massa de frutos comerciais (MFC), a maior variabilidade foi observada para as populações derivadas dos cruzamentos com a cultivar Monterey, devido a maior extensão das caixas formadas pelo Box Plot. Para essas características, a média de RVFS07M foi superior à de todas as outras populações (Figura 3.1). Porém, com exceção de MTF, em que essa população teve média equiparada com as testemunhas, para NTF, NFC e MFC, apresentou média inferior às testemunhas, assim como todas as outras populações. Ressalta-se que RVDA11M e RVFS07M apresentaram indivíduos com os valores mais altos para esses caracteres e, mesmo os *outliers* de RVFS06AL e RVFS07AL não ultrapassaram o limite superior e nem os *outliers* de RVFS07M.

Entre todas as populações, RVCA16M foi composta por número menor de indivíduos, mas, mesmo assim, ainda apresentou indivíduos com valores elevados para MTF, NTF, NFC e MFC. Nota-se também, que os híbridos derivados do cruzamento de RVFS06 tanto com Monterey, quanto com Albion, tiveram menor amplitude de valores para MTF, NFC e MFC.

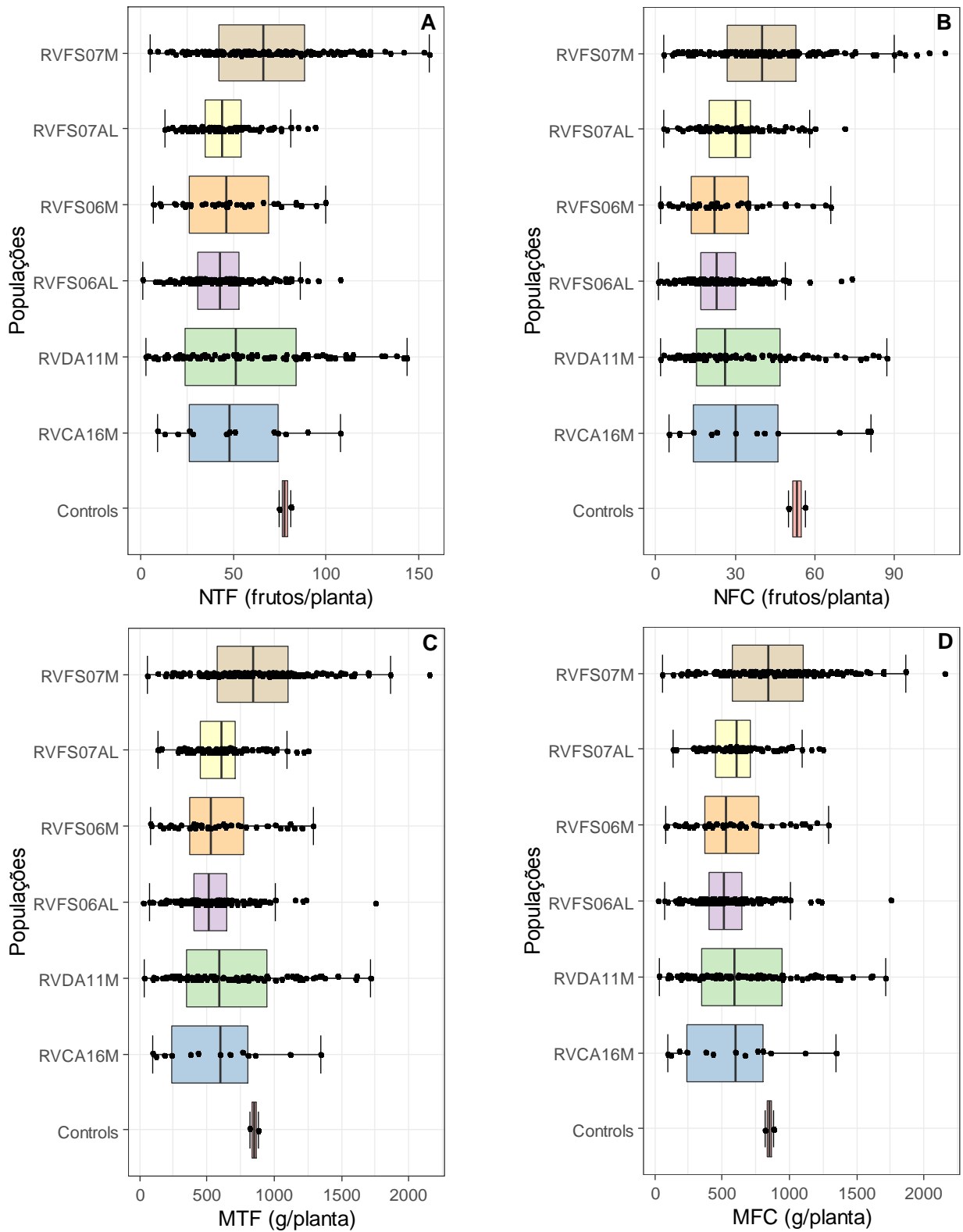


Figura 3.1 – Análise Box Plot para (A) Número Total de Frutos (NTF); (B) Número de Frutos Comerciais (NFC); (C) Massa Total de Frutos (MTF) e (D) Massa de Frutos Comerciais (MFC) para as populações de genótipos de morangueiro (*Fragaria x ananassa*).

As médias de todos os cruzamentos foram superiores às testemunhas para massa média de frutos (MMF) e massa média de frutos comerciais (MMFC) e, além disso, as populações RVFS06AL e RVDA11M apresentaram indivíduos *outliers* para essas características (Figura 3.2 A e B). Todas as populações obtiveram médias inferiores às testemunhas para Firmeza (Figura 3.2 D), porém, todas apresentaram vários indivíduos *outliers* com elevados valores para essa característica. Com relação aos sólidos solúveis (SS), apesar de RVFS06M apresentar uma variabilidade menor em relação às outras populações, foi a única que obteve média superior às testemunhas. RVDA11M e RVFS06AL também apresentaram *outliers* para SS (Figura 3.2 C).

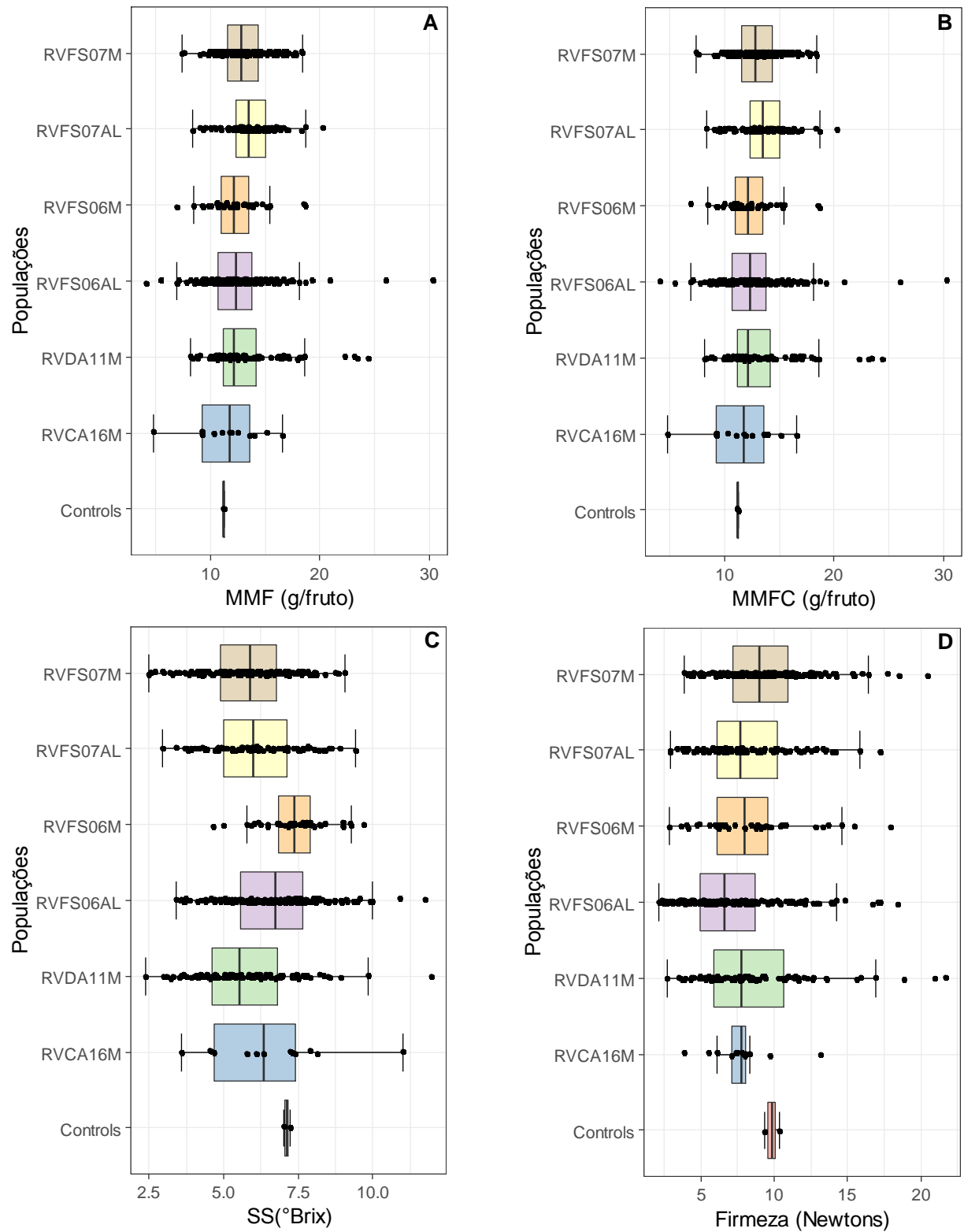


Figura 3.2 – Análise Box Plot para (A) Massa Média de Frutos (MMF); (B) Massa Média de Frutos Comerciais (MMFC); (C) Sólidos Solúveis (SS) e (D) Firmeza para a população de genótipos de morangueiro (*Fragaria x ananassa*).

Analisando a coloração externa do fruto (hEF) expressa em ângulo *hue*, o qual representa a tonalidade da epiderme da fruta, com exceção de RVCA16M, que apresentou média inferior, as demais populações obtiveram médias próximas às das testemunhas. No entanto, todas as populações apresentaram indivíduos com valores inferiores aos das testemunhas, sendo os menores valores encontrados em RVFS07M e RVDA11M.

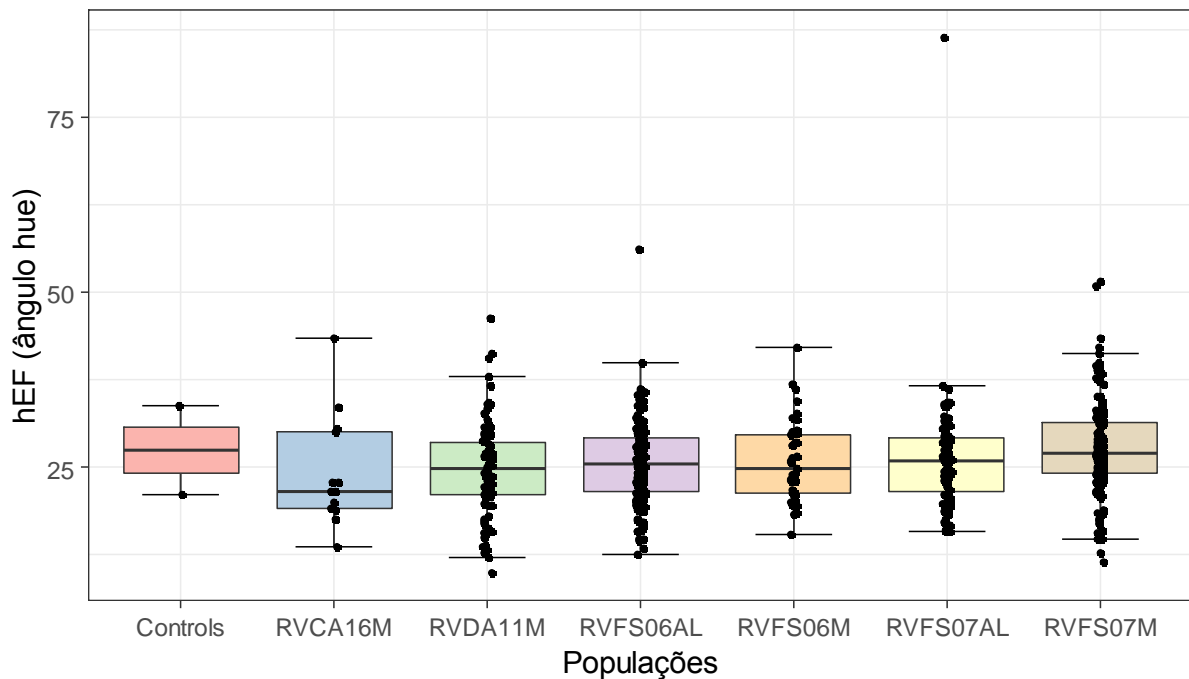


Figura 3.3 – Análise Box plot para ângulo *hue* da parte externa do fruto (hEF) para as populações de genótipos de morangueiro (*Fragaria x ananassa*).

3.4.2 Índice de Seleção de Mulamba e Mock

Os resultados obtidos pelos índices de seleção de Mulamba e Mock (1978) foram plotados em um gráfico box plot para verificar a dispersão dos escores entre as populações (Figura 3.4). Observa-se que os indivíduos com os menores escores são derivados do cruzamento RVFS07M. A população RVCA16M, apesar de ser a menor, apresentou uma ampla variação dos escores entre os indivíduos. Os escores mais altos, ou seja, indivíduos com as piores classificações, foram verificados na população RVFS06AL.

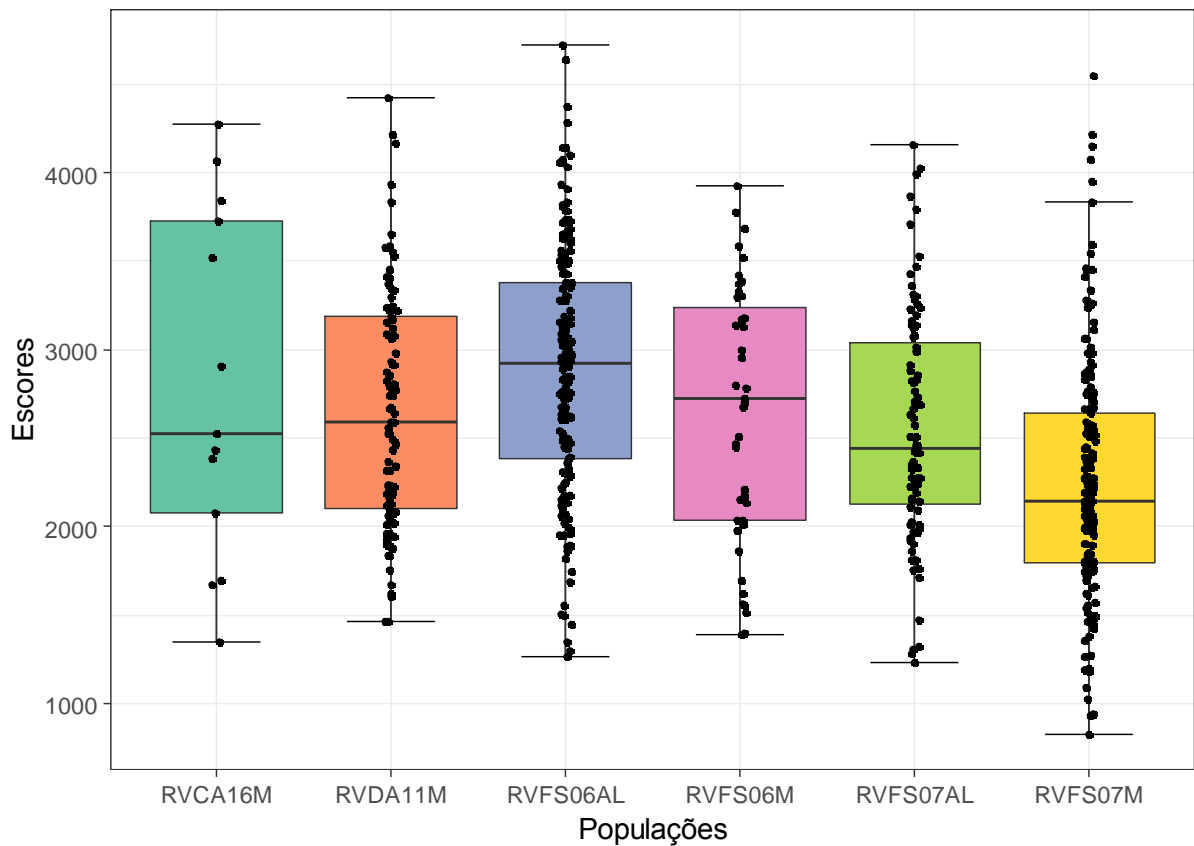


Figura 3.4 – Box plot dos escores do índice de seleção de Mulamba e Mock (1978) obtidos para as populações de genótipos de morangueiro (*Fragaria x ananassa*).

Por ser elevado o número de híbridos, foram apresentados os primeiros 40 classificados pelo índice de Mulamba e Mock (1978) (Tabela 3.2). Foram selecionados indivíduos oriundos de todas as populações, no entanto, a maioria é derivada do cruzamento entre Monterey e RVFS07, dentre os quais ocuparam as primeiras posições na classificação, em virtude dos baixos escores apresentados. Nota-se que apenas um híbrido da população RVCA16M está entre os selecionados.

Tabela 3.2 – Lista dos 40 primeiros híbridos de morangueiro (*Fragaria x ananassa*) selecionados pelo índice de Mulamba e Mock (1978) e respectivas médias para as características utilizadas na seleção.

Mulamba e Mock (1978)											
<i>Ranking</i>	Híbridos	Características ¹									Escores finais
		NTF	NFC	MTF	MFC	MMF	MMFC	Firmeza	SS	hEF	
1°	RVFS07M-38	104.00	83.00	1576.20	1420.20	15.16	17.11	9.87	8.07	25.94	825
2°	RVFS07M-36	132.00	103.00	1860.74	1637.60	14.10	15.90	7.52	7.60	17.34	937
3°	RVFS07M-24	156.00	109.00	2156.03	1795.03	13.82	16.47	12.55	5.17	16.08	940
4°	RVFS07M-51	65.00	53.00	1086.01	968.01	16.71	18.26	12.35	7.37	26.83	1026
5°	RVFS07M-154	124.00	67.00	1457.10	946.71	11.75	14.13	11.95	8.03	11.45	1091
6°	RVFS07M-107	88.00	53.00	1343.51	1027.53	15.27	19.39	9.65	6.13	28.46	1184
7°	RVFS07M-179	110.00	98.00	1698.90	1610.90	15.44	16.44	8.68	5.60	24.48	1189
8°	RVFS07M-5	87.00	75.00	1523.28	1429.28	17.51	19.06	17.72	4.10	31.94	1190
9°	RVFS07M-42	99.00	60.00	1281.26	987.26	12.94	16.45	15.45	5.53	21.37	1191
10°	RVFS07M-64	76.00	65.00	1353.73	1195.73	17.81	18.40	7.70	5.77	24.66	1196
11°	RVFS07AL-9	76.00	60.00	1165.96	1041.96	15.34	17.37	9.27	5.83	23.75	1228
12°	RVFS07M-124	96.00	58.00	1305.24	1013.24	13.60	17.47	9.85	6.53	27.90	1261
13°	RVFS06AL-118	72.00	43.00	1004.62	785.75	13.95	18.27	17.05	5.03	18.78	1265
14°	RVFS07M-48	75.00	65.00	1250.09	1181.09	16.67	18.17	10.52	5.90	31.67	1276
15°	RVFS07AL-33	72.00	54.00	966.00	817.00	13.42	15.13	11.10	7.67	20.01	1280
16°	RVFS06AL-55	86.00	74.00	1214.20	1128.20	14.12	15.25	12.70	7.73	33.65	1295
17°	RVFS07AL-28	90.00	71.00	1254.52	1109.52	13.94	15.63	10.05	7.80	32.19	1304
18°	RVFS07AL-29	51.00	33.00	791.31	644.38	15.52	19.53	12.52	7.33	23.98	1321
19°	RVFS06AL-132	58.00	45.00	1758.05	1643.17	30.31	36.51	7.20	4.43	22.88	1345
20°	RVCA16M-13	74.00	69.00	1121.72	1058.72	15.16	15.34	9.70	7.90	30.08	1349
21°	RVFS07M-126	57.00	43.00	883.38	775.38	15.50	18.03	14.03	6.40	25.47	1358

¹NTF: número total de frutos; NFC: número de frutos comerciais; MTF: massa total de frutos; MFC: massa de frutos comerciais; MMF: massa média de frutos; MMFC: massa média de frutos comerciais; Firmeza; SS: sólidos solúveis; hEF: ângulo *hue* da parte externa do fruto.

Continua...

Continuação.

Ranking	Híbridos	Características ¹									Escores finais
		NTF	NFC	MTF	MFC	MMF	MMFC	Firmeza	SS	hEF	
22°	RVFS07M-33	120.00	83.00	1520.77	1230.77	12.67	14.83	7.33	6.40	17.51	1383
23°	RVFS06M-6	84.00	49.00	1121.47	773.47	13.35	15.79	6.65	7.80	18.37	1386
24°	RVFS06M-46	87.00	49.00	1203.23	872.37	13.83	17.80	12.80	6.50	36.75	1396
25°	RVFS07M-58	105.00	59.00	1216.56	901.66	11.59	15.28	11.00	7.50	25.24	1421
26°	RVFS07M-72	68.00	53.00	1078.87	966.21	15.87	18.23	12.87	5.27	31.83	1445
27°	RVFS07M-161	69.00	52.00	1006.45	873.45	14.59	16.80	8.17	6.13	23.01	1445
28°	RVFS06AL-57	57.00	37.00	927.18	754.18	16.27	20.38	8.23	5.30	16.58	1445
29°	RVFS07M-113	101.00	68.00	1363.76	1086.37	13.50	15.98	8.42	6.20	27.74	1461
30°	RVDA11M-1	88.00	50.00	1155.43	843.34	13.13	16.87	10.67	6.13	27.14	1462
31°	RVDA11M-69	52.00	47.00	875.00	839.00	16.83	17.85	11.62	5.63	25.17	1467
32°	RVFS07M-166	61.00	45.00	1009.48	854.48	16.55	18.99	12.55	3.50	25.18	1470
33°	RVFS07AL-103	64.00	56.00	1012.67	948.53	15.82	16.94	7.87	5.40	22.04	1474
34°	RVFS07M-6	50.00	43.00	838.61	779.23	16.77	18.12	8.83	5.03	12.68	1485
35°	RVFS07M-88	92.00	60.00	1244.92	1008.92	13.53	16.82	8.57	5.57	26.68	1493
36°	RVFS06AL-36	96.00	58.00	1237.70	937.22	12.89	16.16	6.10	7.53	25.03	1495
37°	RVFS07M-82	82.00	51.00	989.92	740.92	12.07	14.53	9.25	8.83	20.69	1496
38°	RVFS07M-137	75.00	50.00	1045.74	845.75	13.94	16.92	10.88	6.47	29.39	1501
39°	RVFS06AL-78	60.00	39.00	889.65	731.65	14.83	18.76	7.18	6.50	20.55	1505
40°	RVFS06M-42	23.00	17.00	288.22	250.78	12.53	14.75	9.25	8.07	25.83	1510

¹NTF: número total de frutos; NFC: número de frutos comerciais; MTF: massa total de frutos; MFC: massa de frutos comerciais; MMF: massa média de frutos; MMFC: massa média de frutos comerciais; Firmeza; SS: sólidos solúveis; hEF: ângulo *hue* da parte externa do fruto.

3.4.3 Análise de Componentes Principais

Pela análise de componentes principais, foi observado que os dois primeiros componentes foram responsáveis por explicar 63,35% da variação total (Figura 3.5). As características relacionadas à produção (MFC, MTF, NFC e NTF) contribuíram similarmente para a PCA1, pois apresentaram vetores de mesmo tamanho e estão próximas ao eixo PCA1 (Figura 3.5 A). Além disso, estão altamente correlacionadas. No entanto, essas características não apresentaram correlação linear com MMF, MMFC e Firmeza, além de estarem inversamente correlacionadas com SS. Observa-se que a Firmeza não está correlacionada com SS, mas apresenta alta correlação com MMF e MMFC. O ângulo *hue* da parte externa do fruto (hEF) foi inversamente correlacionado com MMF, MMFC e Firmeza.

Na dispersão gráfica da PCA, os híbridos foram separados em três grandes grupos (Figura 3.5 B). No grupo 2, o híbrido RVFS06AL-132 ficou isolado em relação aos outros, provavelmente porque apresentou o maior valor de MMF e MMFC. No grupo 3, RVFS07M-24, se distanciou dos outros por apresentar o maior valor para MTF, NTF, NFC e MFC e os híbridos RVFS07M-5, RVFS07M-36, RVFS07M-38 e RVFS07M-179 também se destacaram para essas características. Os híbridos RVFS06AL-45, RVFS06AL-128 e RVCA16M-8 ficaram isolados no grupo 3, o que pode ter ocorrido por apresentarem elevado NTF, mas para as outras características tiveram pior desempenho.

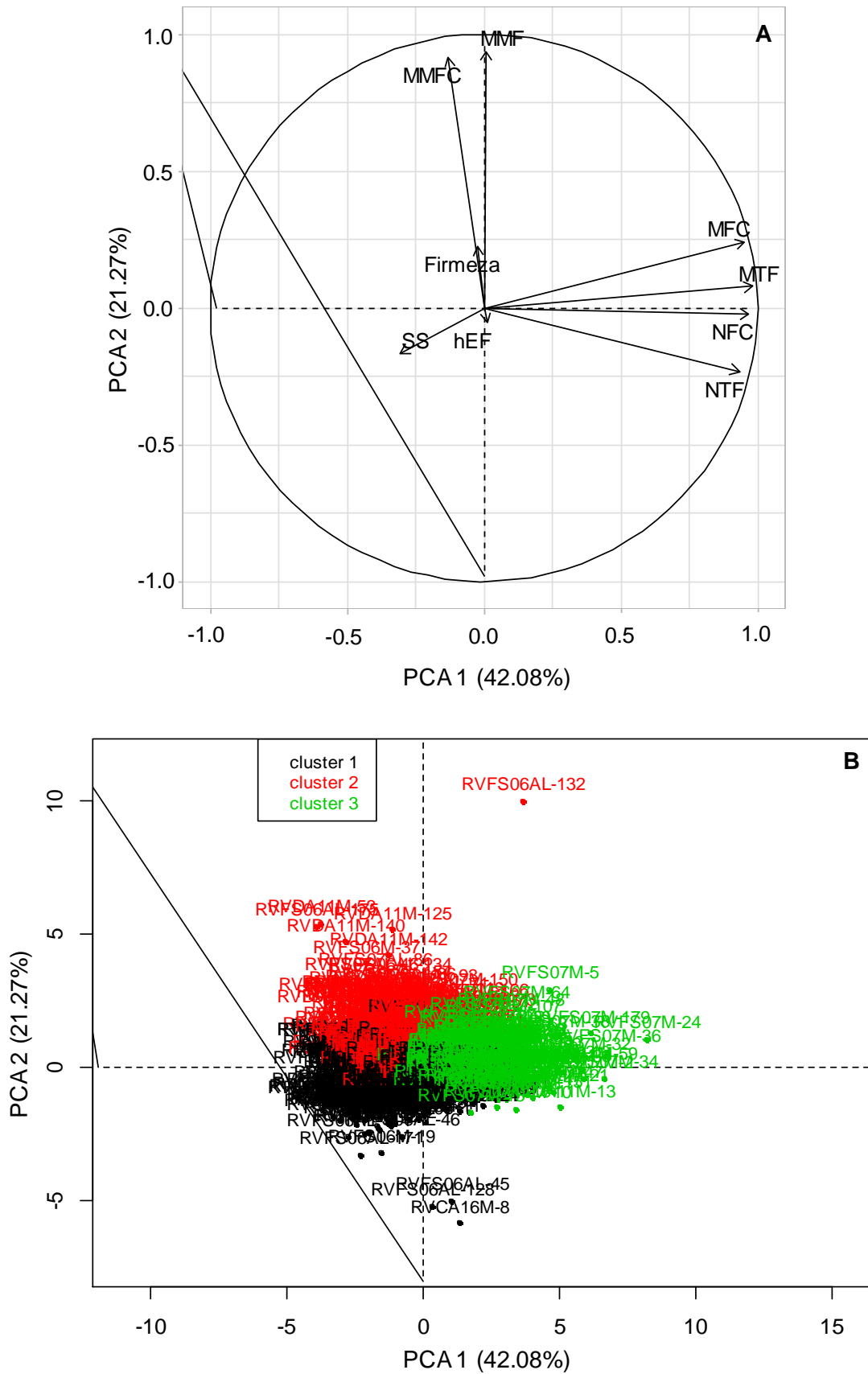


Figura 3.5 – Análise de Componentes Principais (PCA) para as características avaliadas e gráfico de dispersão dos grupos de híbridos de morangueiro (*Fragaria x ananassa*) (B).

3.5 DISCUSSÃO

A variabilidade observada entre as populações oriundas dos diferentes cruzamentos já era esperada, visto que em virtude da natureza octaploide do morangueiro e, conseqüentemente, sua alta heterozigosidade, muitas características da progênie resultante dos cruzamentos são diferentes dos seus genitores (KIM et al., 2019), o que explica o surgimento de indivíduos com valores elevados ou muito baixos para as características avaliadas. Outras pesquisas que envolvem o desenvolvimento e caracterização de híbridos de morangueiro utilizando outras cultivares e híbridos como genitores também relatam essa grande variabilidade (BARTH et al., 2020; CAMARGO et al., 2018; GALVÃO et al., 2017; VIEIRA et al., 2017).

Um programa de melhoramento depende da variabilidade genética disponível, assim, a seleção de parentais divergentes possibilita que os indivíduos de uma população segregante possuam genes favoráveis (BARTH et al., 2019, 2020). As cultivares Albion e Monterey, além de serem insensíveis ao fotoperíodo, são altamente produtivas e apresentam frutos grandes e saborosos (GABRIEL et al., 2018; SHAW; LARSON, 2005, 2009), por isso foram escolhidas como genitores. Os híbridos utilizados como genitores masculinos também foram selecionados em virtude do bom desempenho para características agrônômicas (BARTH et al., 2019). Nota-se que os indivíduos que mais se destacaram para as características de produção são provenientes das populações em que Monterey foi um dos genitores. O desempenho dos indivíduos oriundos do cruzamento entre os híbridos RVFS06 e RVFS07 foi superior quando Monterey foi o genitor feminino.

Várias pesquisas têm demonstrado que os caracteres de produção apresentam alta herdabilidade no morangueiro (BARTH et al., 2020; CIULCA et al., 2017; MISHRA; RAM; KUMAR, 2015; VIEIRA et al., 2017, 2019) o que possibilita inferir que existe grande potencial para a melhoria dessas características selecionando os melhores genitores (CIULCA et al., 2017). A superioridade dessas combinações de cruzamentos indicam maior divergência genética entre os genitores, o que permite melhor complementariedade de genes que controlam esses caracteres, além de indicar a existência de alta capacidade de combinação entre os genitores, o que contribui para o aumento da expressão das características herdadas geneticamente (VIEIRA et al., 2019).

Ao contrário do que aconteceu para as variáveis de produção, os genitores RVFS06 e RVFS07 obtiveram melhor desempenho para as características de pós-colheita quando cruzados com a cultivar Albion. Isso confirma a ausência de correlação entre Firmeza e SS e a correlação negativa de SS com MTF, NTF, NFC e MFC. Ornelas-Paz et al. (2013) e Zanin et al. (2019a) também não verificaram correlação entre Firmeza e SS. A firmeza e os sólidos solúveis são atributos importantes para comercialização *in natura* do morango. No entanto, na cultura do morangueiro, a seleção simultânea de materiais que apresentem altos valores para firmeza e sólidos solúveis é uma árdua tarefa, principalmente pelo fato de que a interação entre genes no controle de caracteres físico-químicos é complexa e depende da combinação de genótipos (KACZMARSKA et al., 2016). Os resultados da presente pesquisa indicam que provavelmente entre os cruzamentos realizados ocorreu uma frequência de recombinação que culminou na falta de correlação entre esses caracteres, o que facilita a seleção de genótipos com boa combinação de Firmeza e SS.

A correlação negativa entre SS e os caracteres de produção também foi observada por Singh et al. (2018) e Stegmeir et al. (2010). No morango, geralmente o teor de sólidos solúveis é inversamente correlacionado com o rendimento (HANCOCK; SJULIN, LOBOS, 2008). Segundo Baruzzi et al. (2014) e Fagherazzi et al. (2017a), os sólidos solúveis podem ser afetados pela produção acumulada, o que significa que quanto maior é a produção, menor é a concentração de sólidos solúveis presente nos frutos. Mazur et al. (2014) afirmam que a produção elevada pode provocar a diminuição de fotoassimilados nos frutos, em virtude do maior número de drenos em uma planta. Além disso, o teor de sólidos solúveis é uma característica herdada quantitativamente, com graus variáveis de controle aditivo e dominante (MISHRA; RAM; KUMAR, 2015), sendo assim é mais dependente das condições ambientais do que do genótipo (DIEL et al., 2018).

A variação no conteúdo de SS também pode ser modificada pelo sistema de cultivo, bem como por práticas culturais como época de plantio, cobertura do solo, fertilização e irrigação (ALSMAIRAT et al., 2018; ANDRADE et al., 2017; RAHMAN et al., 2014). A nutrição mineral está diretamente relacionada com a qualidade dos frutos, ou seja, a deficiência de nutrientes essenciais pode interferir na síntese e transporte de solutos através do floema, incluindo o movimento de açúcares para os frutos. O potássio tem função preponderante nesse transporte, pois atua como

regulador osmótico, principalmente nas células-guarda dos estômatos, controlando o fluxo de água e CO₂ entre a planta e atmosfera. O CO₂ é o substrato que no ciclo de Calvin dá origem aos açúcares (TAIZ et al., 2017). Gallace e Lieten (2018) e Preciado-Rangel et al. (2020) observaram que o maior acúmulo de sólidos solúveis em genótipos de morangueiro se deu em virtude do aumento nas doses de potássio. Dessa forma, a falta de estudos sobre as respostas de novos genótipos à nutrição mineral pode implicar na redução de açúcares nos frutos.

A massa total e comercial de frutos apresentaram correlação linear com o número total e comercial de frutos por planta, mas não com MMF e MMFC, o que também foi observado por Fagherazzi et al. (2017a) e Zanin et al. (2019a). Diferente dos resultados obtidos por Barth et al. (2020) e Singh et al. (2018) que verificaram correlação positiva entre produtividade e número de frutos por planta e peso médio dos frutos. Os caracteres de produção são controlados por genes de efeito quantitativo e por isso podem mudar de comportamento em função da interação genótipo x ambiente (GxA) (MISHRA; RAM, KUMAR, 2015). Essa interação pode gerar incerteza na estimativa da correlação entre caracteres (RESENDE et al., 2020). E, como os híbridos avaliados na presente pesquisa são novos genótipos e, portanto, apresentam diferentes comportamentos fisiológicos em resposta ao ambiente, é necessário considerar, além de toda variação genética, as condições edafoclimáticas e seus efeitos sobre o fenótipo (RESENDE et al., 2020).

Com relação à coloração da parte externa do fruto (hEF), o ângulo *hue* indica frutos mais vermelhos aqueles que estão mais próximos ao ângulo 0. Em todas as populações foram observados híbridos com valores baixos, principalmente em RVFS07M e RVDA11M. Quando se trata de seleção de materiais comerciais, determinar a coloração dos frutos é um atributo de extrema importância, pois reflete na aceitação inicial pelo consumidor, especialmente se os produtos são embalados, como é o caso do morango (ADAY; BUYUKCAN, CANER, 2013).

A pigmentação do morango está relacionada ao teor de antocianinas, principalmente pelargonidina-3-O-glicosídeo (SILVA et al., 2007, WADA et al., 2017) e quanto maior a sua concentração, menor é o ângulo *hue*, o que significa que a cor vermelha é mais intensa (ZANIN et al., 2019b). As antocianinas são compostos fenólicos e segundo Josuttis et al. (2010) e Wada et al. (2017) a maior parte desses compostos se concentram na epiderme do fruto. Assim, frutos maiores possuem menor razão superfície/polpa do que frutos menores, conseqüentemente o conteúdo

de polifenóis é maior em morangos com menor tamanho, (COCCO et al., 2015; JOSUTTIS et al., 2010), o que explica a correlação negativa com a massa média dos frutos. No entanto, Lundergan (1975) descreveram dominância parcial para a intensidade da cor dos frutos e observaram herdabilidade de 81%. Por outro lado, Hasing, Osorio e Whitaker (2011) verificaram variação aditiva e não-aditiva. Para o peso dos frutos Whitaker et al. (2012) relataram variação aditiva, além disso, como mencionado anteriormente, várias pesquisas têm relatado alta herdabilidade para caracteres de produção. A alta herdabilidade e a presença de variação aditiva para as duas características indicam forte potencial para melhoria dessas ao selecionar os melhores genitores.

Os resultados mostram que os híbridos apresentam ampla variabilidade e ausência ou correlação negativa entre os caracteres de produção e os aspectos de pós-colheita. Assim, é necessária a adoção de uma ferramenta que possibilite a identificação de híbridos mais equilibrados, tal como o índice de seleção (SANTOS et al., 2018, VIEIRA et al., 2017; BARTH et al., 2020). A seleção pelo método de Mulamba e Mock (1978) mostrou que o maior número de híbridos selecionados é proveniente do cruzamento entre Monterey e RVFS07, o que indica que a combinação dos dois genitores utilizados nos cruzamentos possibilitou reunir de forma eficiente nos genótipos as características de interesse.

Os híbridos selecionados pelo índice de Mulamba e Mock (1978) também se destacaram na PCA, principalmente os que permaneceram entre as primeiras classificações (RVFS07M-5, RVFS07M-24, RVFS07M-36, RVFS07M-38 e RVFS07M-179). Híbridos que não foram selecionados pelo índice também receberam destaque na PCA, mas pelo mal desempenho para a maioria das características. Esses resultados confirmam que adoção de metodologias diferentes possibilita a identificação de genótipos com equilíbrio entre as características desejadas. Esses materiais selecionados podem ser testados em diferentes ambientes para identificar os que apresentam melhor adaptabilidade e maior estabilidade fenotípica, visando atenuar a interação genótipo x ambiente (NICK; BORÉM, 2016). Por fim, a diversidade identificada entre os híbridos, além de oferecer oportunidades de ganho genético por seleção, também possibilita a escolha de bons genitores para futuros cruzamentos.

3.6 CONCLUSÕES

As populações apresentaram ampla variabilidade para as características avaliadas, o que é uma observação de extrema importância para o melhoramento genético, pois quanto maior a variabilidade, maiores são as chances de se obter materiais que reúnam características desejáveis para o produtor e para o mercado consumidor. A ausência ou correlação negativa entre os caracteres de produção e os aspectos de pós-colheita é um entrave para o melhorista, no entanto, na presente pesquisa a utilização da análise multivariada para seleção pode contornar esses aspectos e identificar indivíduos equilibrados em relação às características. O maior número de híbridos superiores foi identificado no cruzamento entre Monterey e RVFS07 e aqueles selecionados pelo índice de seleção também se destacaram na análise de componentes principais, principalmente RVFS07M-5, RVFS07M-24, RVFS07M-36, RVFS07M-38 e RVFS07M-179. A diversidade identificada entre os híbridos pode contribuir para elevar o ganho genético por seleção e auxiliar na escolha de genitores promissores para dar continuidade ao programa de melhoramento.

3.7 REFERÊNCIAS

- ADAY, M. S; BUYUKCAN, M. B; CANER, C. Maintaining the quality of strawberries by combined effect of aqueous chlorine dioxide with modified atmosphere packaging. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 37, n. 5, p. 568-581. 2013.
- ALSMAIRAT, N. G.; AL-AJLOUNI, M. G.; AYAD, J. Y.; OTHMAN, Y. A.; HILAIRE, R. S. Composition of soilless substrates affect the physiology and fruit quality of two strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) cultivars. **Journal of Plant Nutrition**, v. 41, n. 18, p. 2356-2364. 2018.
- ANDRADE, C. A. W.; MIGUEL, A. C. A.; SPRICIGO, P. C.; DIAS, C. T. D. S.; JACOMINO, A. P. Comparison of quality between organic and conventional strawberries from multiple farms. **Revista Brasileira de fruticultura**, v. 39, n. 2. 2017.
- ANTUNES, L. E. C; PERES, N. A. Strawberry Production in Brazil and South America. **International Journal of Fruit Science**, v. 13, n. 1-2, p. 156-161. 2013.
- BARTH, E.; RESENDE, J. T. V.; MOREIRA, A. F. P.; MARIGUELE, K. H.; ZEIST, A. R.; SILVA, M. B.; STULZER, G. C. G; MAFRA, J. C. M.; GONÇALVES, L. S. A; ROBERTO, S. R.; YOUSSEF, K. Selection of Experimental Hybrids of Strawberry Using Multivariate Analysis. **Agronomy**, v. 10, n. 4, p. 598. 2020.

BARTH, E.; RESENDE, J. T. V.; ZEIST, A. R.; MARIGUELE, K. H.; ZEIST, R. A.; GABRIEL, A.; CAMARGO, C. K.; PIRANS, F. Yield and quality of strawberry hybrids under subtropical conditions. **Genetics and Molecular Research**, v. 18, n. 2. 2019.

BARUZZI, G.; LUCCHI, P.; MAGNANI, S.; MALTONI, M. L.; CACCHI, M.; SBRIGHI, P.; FAEDI, W. Miglioramento genético e studi varietali per rinnovare la coltivazione romagnola. **Rivista di Frutticoltura e di Ortofloricoltura**, v.76, n.6, p. 10-14. 2014.

BUSSAB, W. O.; MORETTIN, P. A. **Estatística básica**. São Paulo: Atual, 1987.

CAMARGO L. K. P.; RESENDE J. T. V.; CAMARGO C. K.; KURCHAIT S. M.; RESENDE, N. C. V.; BOTELHO, R. V. Post-harvest characterization of strawberry hybrids obtained from the crossing between commercial cultivars. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 40, n. 4. 2018.

CAMARGO, L. S.; PASSOS, F. A. Morango. In: FURLANI, A. M. C.; VIÉGAS, G. P. (Ed.). **O melhoramento de plantas no Instituto Agrônomo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1993. v. 1, p. 411-432.

CHANDLER, C. K.; FOLTA, K.; DALE, A.; WHITAKER, V. M.; HERRINGTON, M. Strawberry. In M. L., Badenes, D. H., Byrne (Ed.), **Fruit breeding**. p. 305-325. 2012.

CIULCA, S.; CARP, N.; MADOȘA, E.; CIULCA, A.; ȘUMĂLAN, R. Assessment of Combining Ability Effects for several Yield and Quality Traits in a Complete Diallel Cross of Strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 45, n. 2, p. 517-524. 2017.

COCCO, C.; MAGNANI, S.; MALTONI, M. L.; QUACQUARELLI, I.; CACCHI, M.; ANTUNES, L. E. C.; D'ANTUONO, L. F.; FAEDI, W.; BARUZZI, G. Effects of site and genotype on strawberry fruits quality traits and bioactive compounds. **Journal of Berry Research**, v. 5, n. 3, p. 145-155. 2015.

DIEL, M. I.; PINHEIRO, M. V. M.; THIESEN, L. A.; ALTÍSSIMO, B. S.; HOLZ, E.; SCHMIDT, D. Cultivation of strawberry in substrate: Productivity and fruit quality are affected by the cultivar origin and substrates. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 42, n. 3, p. 229-239, 2018.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353 p.

FAEDI, W., BARUZZI, G. Strawberry: Growth, Development and Diseases, in: HUSAINI, A.; NARI, D. (Eds) **Strawberry Breeding**. Wallingford: CAB, 2016. p. 26-37.

FAGHERAZZI, A. F.; BORTOLINI, A. J.; ZANIN, D. S.; BISOL, L.; DOS SANTOS, A. M.; GRIMALDI, F.; KRETZSCHMAR, A. A.; BARUZZI, G.; FAEDI, W.; LUCCHI, P.; RUFATO, L. New strawberry cultivars and breeding activities in Brazil. **Acta horticulturae**, n. 1156, p. 167-170. 2017a

FAGHERAZZI, A. F.; COCCO, C.; ANTUNES, L. E. C.; SOUZA, J. A.; RUFATO, L. La fragolicoltura brasiliana guarda avanti. **Rivista di Frutticoltura e di Ortofloricoltura**, v. 76, n. 6, p. 20-25. 2014.

FAGHERAZZI, A. F.; GRIMALDI, F.; KRETZSCHMAR, A. A.; MOLINA, A. R.; GONÇALVES, M. A.; ANTUNES, L. E. C.; BARUZZI, G.; RUFATO, L. Strawberry production progress in Brazil. **Acta Horticulturae**, n. 1156, p. 937–940, 2017b.

FEDERER, W. T. Augmented (hoonuiaku) designs. **Hawaiian Planters Record**, v. 55, p. 191-208. 1956.

FERREIRA, M. E.; GRATTAPAGLIA, D. **Introdução ao uso de marcadores moleculares em análise genética**. 3. ed. Brasília: Embrapa-Cenargen, 1998. 220 p.

GABRIEL, A.; RESENDE, J. T. V.; ZEIST, A. R.; RESENDE, L. V.; RESENDE, N. C. V.; GALVÃO, A. G.; ZEIST, R. A.; DE LIMA FILHO, R. B.; CORRÊA, J. V. W.; CAMRGO, C. K. Phenotypic stability of strawberry cultivars assessed in three environments. **Genetics and Molecular Research**, v. 33, n. 3. 2018.

GALLACE, N.; LIETEN, P. Potassium-calcium ratio of the nutrient solution: Implications for fruit quality in June-bearing and day-neutral strawberry cultivars. **Acta Horticulturae**, p. 405–410. 2018.

GALVÃO, A. G.; RESENDE L. V.; GUIMARAES, R. M.; FERRAZ, A. K. L.; MORALES, R. G. F.; MARODIN, J. C.; CATÃO, H. C. R. M. Overcoming strawberry achene dormancy for improved seedling production in breeding programs. **Idesia**, Arica, v. 32, n. 4, p. 57-72, 2014.

GALVÃO, A. G.; RESENDE, L. V.; MALUF, W. R.; RESENDE, J. T. V.; FERRAZ, A. K. L.; MARODIN, J. C. Breeding new improved clones for strawberry production in Brazil. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 39, n. 2, p. 149-155, 2017.

GHOOSHANI, R.; VOSOUGH, A.; KARAMI, F. Heritability, genetic variability and relationship among morphological and chemical parameters of strawberry cultivars. In: **Biological Forum**. Research Trend, v. 7, n.2, p. 218-224. 2015.

HANCOCK, J. F.; SJULIN, T. M.; LOBOS, G. A. (2008) Strawberries. In: HANCOCK, J. F. (Ed). **Temperate fruit crop breeding: Germoplasm to Genomics**. Springer, Dordrecht, p. 393-437. 2008.

HASING, T.; OSORIO, L. F.; WHITAKER, V. M. Estimation of genetic parameters and gains for color traits of strawberry. **Euphytica**, v. 186, n. 2, p. 303-311, 2012.

HUSSON, F.; JOSSE, J.; LE, S.; MAZET, J. **FactoMineR: multivariate exploratory data analysis and data mining with R**, version 1.42. 2019.

ITO, Y.; MARUO, T.; ISHIKAWA, M.; SHINOHARA, Y. Effects of scarification with sulfuric acid and matric priming on seed germination of seed propagation type of F1 hybrid strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.). **Journal of the Japanese Society for Horticultural Science**, v. 80, n. 1, p. 32-37. 2011.

JOSUTTIS, M.; DIETRICH, H.; TREUTTER, D.; WILL, F.; LINNEMANNSTÖNS, L.; KRÜGER, E. Solar UVB response of bioactives in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch. L.): a comparison of protected and open-field cultivation. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 58, n. 24, p. 12692-12702. 2010.

KACZMARSKA, E.; GAWRONSKI, J. Agronomic performance and heterosis of strawberry inbred hybrids obtained by top-cross mating system. **Acta Scientiarum Polonorum-Hortorum Cultus**, v. 18, n. 1, p. 85-97. 2019.

KACZMARSKA, E.; GAWROŃSKI, J.; JABLOŃSKA-RYŚ, E.; ZALEWSKA-KORONA, M.; RADZKI, W.; SLAWIŃSKA, A. Hybrid performance and heterosis in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duchesne), regarding acidity, soluble solids and dry matter content in fruits. **Plant Breeding**, v. 135, n. 2, p. 232-238. 2016.

KIM, J.; LEE, S. Y.; KIM, D.; LEE, E. S.; LEE, H. E.; HAN, K.; KANG, B. C. Genotyping of octoploid strawberry inbred lines by SNP discovery using genotyping-by-sequencing. **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, v. 60, n. 1, p. 69-80. 2019.

KIRSCHBAUM, D. S.; VICENTE, C. E.; CANO-TORRES, M. A.; GAMBARDELLA, M.; PINTO-VEIZAGA, F. K.; ANTUNES, L. E. C. Strawberry in South America from the Caribbean to Patagonia. **Acta Horticulturae**, n. 1156, p. 947– 956, 2017.

LUNDERGAN, C. A. Inheritance of ascorbic acid content and color intensity in fruits of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). **J. Amer. Soc. Hort. Sci.**, v. 100, p. 633-635. 1975.

MAZUR, S. P.; NES, A.; WOLD, A. B.; REMBERG, S. F.; MARTINSEN, B. K.; AABY, K. Effects of ripeness and cultivar on chemical composition of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) fruits and their suitability for jam production as a stable product at different storage temperatures. **Food Chemistry**, v.146, p. 412-422. 2014.

MCGUIRE, R. G. Reporting of objective color measurements. **HortScience**, v. 27, n. 12, p. 1254-1255. 1992.

MENDIBURU, F. **Agricolae**: Statistical Procedures for Agricultural Research. R package version 1.3-1. 2014.

MISHRA, P. K.; RAM, R. B.; KUMAR, N. Genetic variability, heritability, and genetic advance in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 39, n. 3, p. 451-458, 2015.

MULAMBA, N. N.; MOCK, J. J. Improvement of yield potential of the Eto Blanco maize (*Zea mays* L.) population by breeding for plant traits. **Egyptian Journal of Genetics and Cytology**, v.7, p.40-51. 1978.

MURASHIGE, T.; SKOOG, F. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 15, p. 473-497. 1962.

NICK, C.; BORÉM, A. **Melhoramento de hortaliças**. Viçosa: UFV. 2016. 464 p.

ORNELAS-PAZ J. D. J.; YAHIA, E. M.; RAMÍREZ-BUSTAMANTE, N.; PÉREZ MARTÍNEZ, J. D.; ESCALANTE-MINAKATA, M. D. P.; IBARRA-JUNQUERA, V.; ACOSTA-MUÑIZ, C.; GUERRERO-PRIETO, V.; OCHOA-REYES, V. Physical attributes and chemical composition of organic strawberry fruit (*Fragaria x ananassa* Duch, Cv. Albion) at six stages of ripening. **Food chemistry**, v. 138, n. 1, p. 372-381. 2013.

PBMH e PIMO. Programa Brasileiro Para a Modernização da Horticultura e Produção Integrada de Morango. **Normas de Classificação de Morango** (Documento n.33). São Paulo: CEAGESP. 2009.

PRECIADO-RANGEL, P.; TROYO-DIÉGUEZ, E.; VALDEZ-AGUILAR, L. A.; GARCÍA-HERNÁNDEZ, J. L.; LUNA-ORTEGA, J. G. Interactive Effects of the Potassium and Nitrogen Relationship on Yield and Quality of Strawberry Grown Under Soilless Conditions. **Plants**, v. 9, n. 4, p. 441. 2020.

RAHMAN, M. M.; RAHMAN, M. M.; HOSSAIN, M. M.; KHALIQ, Q. A.; MONIRUZZAMAN, M. Effect of planting time and genotypes growth, yield and quality of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). **Scientia Horticulturae**, v. 167, p. 56-62. 2014.

R CORE TEAM. R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>. 2020.

RESENDE, J. T. V.; GABRIEL, A.; MOREIRA, A. F. P.; GONÇALVES, L. S. A.; RESENDE, N.; DE GOES, C. D. M.; ZANIN, D. S. Application of mixed models in the study of the adaptability and stability of short-day and neutral-day strawberry cultivars. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 5, p. 110953104. 2020.

RICHTER, A. F.; FAGUERAZZI, A. F.; ZANIN, D. S.; SILVA, S.; ARRUDA, A. L.; KRETZSCHMAR, A. A.; RUFATO, L. 2018. Produtividade e qualidade de cultivares de morangueiro sob cultivo de solo e semi-hidropônico. **Revista Científica Rural**, v. 20, n. 1, p. 193-203. 2018.

SANTOS, I. G. D.; CRUZ, C. D.; NASCIMENTO, M.; ROSADO, R. D. S.; FERREIRA, R. D. P. Direct, indirect and simultaneous selection as strategies for alfalfa breeding on forage yield and nutritive value. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 48, n. 2, p. 178-189. 2018.

SHAW, D.; LARSON, K. D. University of California. **Strawberry plant named 'Albion'**. US 2005/0172374 P1, 29 Jan. 2004, 4 Aug. 2005. Disponível em: <<https://patentimages.storage.googleapis.com/61/ce/e7/aca66ac422372b/USPP16228.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2019.

SHAW, D.; LARSON, K. D. University of California. **Strawberry plant named 'Monterey'**. U.S. US PP19,767 P2, 25 Jan. 2008, 24 Feb. 2009 (a). Disponível

em:<<https://patentimages.storage.googleapis.com/f1/b1/d0/32e9860be00648/USPP19767.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2019.

SIECZKO, L.; MASNY, A.; PRUSKI, K.; ŻURAWICZ, E.; MADRY, W. Multivariate assessment of cultivars' biodiversity among the Polish strawberry core collection. **Horticultural Science**, v. 42, n. 2, p. 83-93. 2015.

SILVA, F. L.; ESCRIBANO-BAILÓN, M. T.; ALONSO, J. J. P.; RIVAS-GONZALO, J. C.; SANTOS-BUELGA, C. Anthocyanin pigments in strawberry. **LWT-Food Science and Technology**, v. 40, n. 2, p. 374-382. 2007.

SINGH, G.; KACHWAYA, D. S.; KUMAR, R.; VIKAS, G.; SINGH, L. Genetic variability and association analysis in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch). **Electronic Journal of Plant Breeding**, v. 9, n. 1, p. 169-182. 2018.

SOU, T.; NAGASHIMA, A. **RcmdrPlugin.KMggplot2**: R Commander Plug-in for Data Visualization with 'ggplot2'. 2018.

STEGMEIR, T. L.; FINN, C. E.; WARNER, R. M.; HANCOCK, J. F. Performance of an elite strawberry population derived from wild germplasm of *Fragaria chiloensis* and *F. virginiana*. **HortScience**, v. 45, n. 8, p. 1140-1145. 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858p.

VIEIRA, S. D.; ARAUJO, ANA L. R.; SOUZA, D. C.; RESENDE, L. V.; LEITE, M. E.; RESENDE, J. T. V. Heritability and Combining Ability Studies in Strawberry Population. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, p. 457-469. 2019.

VIEIRA, S. D.; DE SOUZA, D. C.; MARTINS, I. A.; RIBEIRO, G. H. M. R.; RESENDE, L. V.; FERRAZ, A. K. L.; GALVÃO, A. G.; RESENDE, J. T. V. Selection of experimental strawberry (*Fragaria x ananassa*) hybrids based on selection indices. **Genetics and molecular research**, v. 16, n. 1, 2017.

YOON, M. Y.; MOE, K. T.; KIM, D. Y.; RHO, I. R.; KIM, S.; KIM, K. T.; WON, M. K.; CHUNG, J. W.; PARK, Y. J. Genetic diversity and population structure analysis of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) using SSR markers. **Electronic Journal of Biotechnology**, v. 15, n. 2, p. 6-6. 2012.

ZANIN, D. S.; FAGHERAZZI, A. F.; SANTOS, A. M. D.; MARTINS, R.; KRETZSCHMAR, A. A.; RUFATO, L. Agronomic performance of cultivars and advanced selections of strawberry in the South Plateau of Santa Catarina State. **Revista Ceres**, v. 66, n. 3, p. 159-167. 2019a.

ZANIN, D. S.; FAGHERAZZI, A. F.; TILLWITZ, K. V.; DE LIMA, J. M.; KRETZSCHMAR, A. A. Evaluation of advanced selections of strawberry in southern Brazil. **Científica**, v. 47, n. 4, p. 388-399, 2019b.

WADA, Takuya et al. Development and characterization of a strawberry MAGIC population derived from crosses with six strawberry cultivars. **Breeding science**, v. 67, n.4, p. 17009. 2017.

WHITAKER, V. M.; OSORIO, L. F.; HASING, T.; GEZAN, S. Estimation of genetic parameters for 12 fruit and vegetative traits in the University of Florida strawberry breeding population. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 137, n. 5, p. 316-324. 2012.

WREGGE, M.S.; STEINMETZ, S.; REISSER JUNIOR, C.; ALMEIDA, I.R. **Atlas climático da Região Sul do Brasil**: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. 1. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 336 p.

ZEIST, A. R.; RESENDE, J. T. V. Strawberry breeding in Brazil: current momentum and perspectives. **Horticultura Brasileira**, v. 37, n. 1, p. 7-16. 2019.

4. ARTIGO B: CARACTERIZAÇÃO DA DIVERSIDADE GENÉTICA E SELEÇÃO DE HÍBRIDOS AVANÇADOS DE MORANGUEIRO POR MEIO DE ANÁLISE MULTIVARIADA.

4.1 RESUMO

O morangueiro é uma espécie octaploide que apresenta grande variabilidade genética. No entanto, utilizar essa variabilidade para obtenção de indivíduos superiores em programas de melhoramento requer um longo processo de seleção, o qual pode ser acelerado por ferramentas que expressem toda variabilidade presente nos genótipos de interesse. O objetivo do trabalho foi realizar a caracterização molecular e morfoagronômica de 34 híbridos de morangueiro de dia neutro pré-selecionados e utilizar análise multivariada para seleção de genótipos superiores. A caracterização molecular foi realizada por meio de marcadores AFLP utilizando quatro combinações de *primers* seletivos. Com os dados moleculares foi estimada a distância genética por meio do coeficiente de Jaccard. A caracterização morfoagronômica foi realizada por meio de 32 descritores qualitativos e 14 quantitativos, para os quais foi aplicado o algoritmo de Gower para calcular a matriz de distância. O método de Ward foi utilizado para realizar os agrupamentos com os dados moleculares e morfoagronômicos. Seis variáveis representativas para o consumo *in natura* do morango foram selecionadas e submetidas à análise de componentes principais e ao índice de seleção de Mulamba e Mock. Foi observada grande variação entre os descritores qualitativos. Apenas sólidos solúveis e luminosidade da parte externa do fruto não diferiram significativamente entre os tratamentos. Os marcadores AFLP detectaram polimorfismo de 80%, confirmando a alta variabilidade genética entre os genótipos. O agrupamento tanto com os dados moleculares, quanto com os dados morfoagronômicos separaram os híbridos em três grupos, com diferenças entre as constituições dos grupos, explicada pela baixa correlação (0,12) entre as matrizes de distância. Nenhum indivíduo que possuía Albion ou RVFS06 como genitores foi selecionado pelo índice de Mulamba e Mock. A análise de componentes principais destacou os híbridos selecionados pelo índice, como RVCA16M-1, RVDA11M-3, RVDA11M-4 e RVDA11M-25. Os demais híbridos foram selecionados do cruzamento 'Monterey' x RVFS07. A ampla variabilidade genética identificada entre os híbridos possibilita a escolha de um material promissor para ser utilizado como uma nova cultivar, ou genótipos que podem ser utilizados em futuros cruzamentos. O índice de seleção identificou entre os genótipos aqueles com melhor equilíbrio entre as características. A semelhança entre os resultados da análise de componentes principais e o índice de seleção indicam a confiabilidade da análise multivariada para seleção de genótipos de morangueiro superiores.

Palavras-chave: *Fragaria* x *ananassa*. AFLP. Mulamba e Mock. Variabilidade genética. Descritores.

4.2 INTRODUÇÃO

O morango (*Fragaria x ananassa* Duch.) apresenta sabor e aroma únicos, o que o torna um dos frutos mais consumidos e cultivados no mundo (LÓPEZ-VALENCIA et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2018), sendo amplamente utilizado, tanto fresco ou em formas processadas, como compotas, sucos e geleias. É uma hortaliça muito conhecida pelos seus diversos compostos químicos e nutricionais, que possuem capacidade antioxidante e atuam na prevenção de inúmeras doenças (BASU et al., 2014; GIAMPIERI, ALVAREZ-SUAREZ, BATTINO, 2014).

Por ser uma espécie octaploide ($2n = 7x = 56$), o morangueiro cultivado (*Fragaria x ananassa*) apresenta grande variabilidade genética, o que é fundamental para um programa de melhoramento genético, pois permite que entre as plantas provenientes de um cruzamento apareçam diversas combinações gênicas diferentes, ampliando a possibilidade de seleção de genótipos com características desejáveis (KACZMARSKA; GAWROŃSKI, 2019). No entanto, utilizar essa variabilidade para o desenvolvimento de genótipos superiores envolve um longo processo de seleção dos genitores, cruzamentos e seleção de indivíduos (DAVIS et al., 2007).

A variabilidade genética pode ser acessada por diferentes abordagens, medindo-se variações nas características fenotípicas ou em nível de DNA por meio de marcadores moleculares, por exemplo. A avaliação fenotípica fornece informações valiosas a respeito das diferenças entre os caracteres morfoagronômicos, no entanto, esses apresentam sensibilidade aos efeitos ambientais (BHANDARI et al., 2017).

Por outro lado, o uso de marcadores moleculares se baseia no polimorfismo que ocorre naturalmente no DNA (MISHRA et al., 2014; QI et al., 2014). As principais vantagens estão no fato de que não são influenciados pelo ambiente e podem ser detectados em qualquer fase de desenvolvimento da planta (BHANDARI et al., 2017; SCHUSTER, 2011). Por serem ferramentas confiáveis para avaliação das diferenças entre as plantas, estão sendo inseridos cada vez mais na caracterização de germoplasma em programas de melhoramento de espécies hortícolas (ANEJA et al., 2019; SAHU et al., 2019).

Diferentes classes de marcadores moleculares podem ser aplicados para determinar a diversidade genética em plantas, como o AFLP (*Amplified Fragment*

Length Polymorphisms – Polimorfismo de comprimento de fragmento amplificado), que é um marcador dominante que possui alta reprodutibilidade, não requer conhecimento prévio sobre as sequências de DNA e gera grande número de fragmentos que lhes confere alto poder estatístico (MEUDT, CLARKE, 2007; PAUL; NANDI; PALNI, 2013). Essa classe de marcador tem sido utilizada em diversos estudos na cultura do morangueiro (CASTRO et al., 2015; PENG et al., 2015; RUGIENIUS et al., 2015)

Considerando que cada metodologia de estudo apresenta diferentes perspectivas, o conhecimento da variabilidade genética em nível molecular juntamente com as informações da caracterização agrônômica pode direcionar o melhorista na escolha dos melhores genitores e acelerar o processo para o desenvolvimento de genótipos superiores (LÖRZ; WENZEL, 2005; SÁNCHEZ-SEVILLA et al. 2015).

Objetivou-se com o trabalho estimar a variabilidade genética de 34 híbridos de morangueiro de dia neutro por meio da caracterização morfoagronômica e molecular e aplicar a análise multivariada para orientar na seleção de híbridos com características desejáveis.

4.3 MATERIAL E MÉTODOS

A condução do experimento e a caracterização morfoagronômica foram realizadas no campo experimental da Universidade Estadual do Centro Oeste - UNICENTRO, campus CEDETEG. O local possui altitude de 1.120 metros, a 25° 26' 57.79" de latitude Sul, e 51° 38' 29.18" de longitude oriental Oeste Leste, em Guarapuava, PR. A caracterização molecular foi realizada na Universidade Estadual de Londrina a 23°19'31.09" de latitude Sul e 51°11'59.92" de longitude Oeste.

4.3.1 Obtenção do Material Vegetal Experimental

Foram utilizados 34 híbridos de morangueiro de dia neutro de segunda geração, os quais são oriundos da seleção realizada no primeiro experimento deste trabalho, visando dar continuidade ao programa de melhoramento (Tabela 4.1). Para obtenção das mudas foi mantida uma matriz de cada híbrido em vaso de 10 dm³ com substrato composto pela mistura de solo de subsuperfície e substrato comercial

Carolina® na proporção 1:1, com prévia correção do pH e adubação de 12,5g vaso⁻¹ com formulado químico NPK 04-14-08. Os vasos com as matrizes foram mantidos em casa de vegetação com ambiente controlado, com temperatura média de 28 ± 3°C, umidade relativa de 80 ± 2% e fotoperíodo de 14 h de luz e 10 h de escuro. Os vasos foram irrigados pelo sistema de gotejamento e o controle fitossanitário realizado a cada 10 dias. Para ácaros e pulgões o controle foi realizado semanalmente com abamectina e acefato, até a emissão dos estolhos. O controle de doenças fúngicas foi realizado com aplicações de forma alternada de Azoxistrobina (16 g ha⁻¹), Tebuconazol (75 mL ha⁻¹) e Mancozeb (250 g ha⁻¹).

Após a emissão, os estolhos foram retirados de cada matriz e transplantados para bandejas de polietileno de 50 células com substrato composto por casca de pinus bioestabilizada. As bandejas foram mantidas em casa de vegetação com ambiente controlado, nas mesmas condições estabelecidas para as matrizes, durante 40 dias até o estabelecimento das mudas.

Tabela 4.1 – Relação dos 34 híbridos de morangueiro (*Fragaria x ananassa*) e seus respectivos genitores masculinos e femininos.

Híbridos	Genitores		Híbridos	Genitores	
	♀	♂		♀	♂
RVFS06AL-36	Albion	RVFS06	RVFS07M-47	Monterey	RVFS07
RVFS06AL-132	Albion	RVFS06	RVFS07M-80	Monterey	RVFS07
RVFS07AL-28	Albion	RVFS07	RVFS07M-88	Monterey	RVFS07
RVFS06M-29	Monterey	RVFS06	RVFS07M-113	Monterey	RVFS07
RVFS07M-2	Monterey	RVFS07	RVFS07M-124	Monterey	RVFS07
RVFS07M-5	Monterey	RVFS07	RVFS07M-151	Monterey	RVFS07
RVFS07M-10	Monterey	RVFS07	RVFS07M-154	Monterey	RVFS07
RVFS07M-16	Monterey	RVFS07	RVFS07M-179	Monterey	RVFS07
RVFS07M-24	Monterey	RVFS07	RVDA11M-3	Monterey	RVDA11
RVFS07M-30	Monterey	RVFS07	RVDA11M-4	Monterey	RVDA11
RVFS07M-31	Monterey	RVFS07	RVDA11M-10	Monterey	RVDA11
RVFS07M-32	Monterey	RVFS07	RVDA11M-21	Monterey	RVDA11
RVFS07M-33	Monterey	RVFS07	RVDA11M-25	Monterey	RVDA11
RVFS07M-34	Monterey	RVFS07	RVDA11M-28	Monterey	RVDA11
RVFS07M-36	Monterey	RVFS07	RVDA11M-29	Monterey	RVDA11
RVFS07M-38	Monterey	RVFS07	RVDA11M-32	Monterey	RVDA11
RVFS07M-42	Monterey	RVFS07	RVCA16M-1	Monterey	RVCA16

4.3.2 Transplântio das Mudás

O preparo dos canteiros foi realizado com 30 dias de antecedência, constituindo de aração e gradagem, aplicação de calcário e levantamento dos canteiros com dimensões de 20 cm de altura e 1,20 m de largura por meio de rotoencanteirador. A adubação de base foi realizada de acordo com os resultados de análise de solo prévia. Foi utilizado o sistema de irrigação por gotejamento, no espaçamento entre gotejo de 0,30 m, sendo utilizadas três linhas de gotejo por canteiro, espaçadas em 0,30 m. Os canteiros foram revestidos com filme de polietileno preto (*mulching*), com espessura de 30 µm e cobertos com filme plástico de 100 micras para formar os túneis baixos.

As mudas foram transplantadas para os canteiros, com espaçamento de 0,30 m x 0,30 m, formando três linhas, ficando as plantas próximas aos pontos de gotejo. A cada 20 dias foram realizadas adubações de cobertura, compostas por 60 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio, 11,5 kg ha⁻¹ de sulfato de potássio e 14,5 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio. No início do florescimento as plantas foram pulverizadas com ácido bórico e sulfato de zinco, nas concentrações de 1% e 2%, respectivamente e no estágio de produção de frutos utilizou-se cloreto de cálcio a 0,4% a cada 15 dias. As adubações foram realizadas com base na análise química do solo e de acordo com as recomendações para a cultura.

O controle de pragas foi realizado com pulverizações quinzenais intercaladas entre os produtos Abamectin (75 mL ha⁻¹), Thiametoxan (10 mL ha⁻¹) e Fipronil (250 mL ha⁻¹). O controle de doenças fúngicas foi realizado com aplicações de forma alternada de Azoxistrobina (16 g ha⁻¹), Tebuconazol (75 mL ha⁻¹) e Mancozeb (250 g ha⁻¹).

4.3.3 Caracterização Morfoagronômica

As colheitas foram iniciadas no final de setembro de 2019 e se estenderam até fevereiro de 2020, com picos de produção em outubro e novembro.

Para a realização da caracterização morfoagronômica dos híbridos foram utilizados 46 descritores, sendo 32 qualitativos e 14 quantitativos (APÊNDICE A), sendo adotadas escalas de notas específicas para cada um dos caracteres. Foram avaliados caracteres biométricos da planta e parte vegetativa, flores e frutos,

utilizando para cada característica três amostras obtidas em três plantas de cada parcela.

A coloração das folhas e a coloração interna e externa dos frutos foi obtida por meio de colorímetro Minolta CR-410. Valores de L (Luminosidade), a (coordenada vermelho/verde) e b (coordenada amarelo/azul) foram obtidos em três pontos diferentes de cada fruto. Com os valores das coordenadas L, a e b foi possível obter o parâmetro relacionado à tonalidade (ângulo de cor *hue* – h) por meio da equação $\tan^{-1} b/a$ (MCGUIRE, 1992). Para as folhas, os valores de L, a, b e h foram obtidos diretamente no colorímetro, utilizando-se folhas jovens e completamente expandidas, as quais também foram utilizadas para obtenção da área foliar por meio do medidor de área foliar de bancada modelo LI-3100 (LI-COR, Lincoln, NE, USA). Apenas os parâmetros L e h foram utilizados como descritores.

A firmeza da polpa foi mensurada em três frutos frescos de cada colheita nos meses de outubro e novembro a partir de dois pontos equidistantes do centro do fruto, por meio de um penetrômetro manual com ponteira Instrutherm de 3mm, modelo PTR-300. Foram tomadas aproximadamente 180 leituras por parcela, totalizando 540 por tratamento. Foi calculada a média das colheitas e os resultados expressos em Newtons (N).

O teor de sólidos solúveis (SS) foi determinado partir da polpa de três frutos armazenados de cada colheita (outubro e novembro), a qual foi homogeneizada e filtrada em temperatura ambiente. Em seguida realizou-se a leitura direta em refratômetro de bancada da marca Optech, modelo RMT. Foram realizadas 270 leituras do teor de sólidos solúveis por genótipo. Para o cálculo final foi utilizada a média das colheitas realizadas no interstício supracitado e os valores expressos em °Brix.

Os frutos colhidos durante o ciclo produtivo foram classificados em não comerciais (≤ 35 mm) e comerciais (> 35 mm) de acordo com Pbmh e Pimo (2009). A massa total de frutos (MTF) foi obtida pela soma da produção durante o ciclo produtivo (setembro a fevereiro) e a massa de frutos comerciais (MFC) foi calculada somente com os frutos considerados aptos a comercialização. A massa média de frutos comerciais (MMFC) foi obtida pela divisão da massa de frutos comerciais pelo número de frutos comerciais.

As demais variáveis foram mensuradas visualmente com auxílio de régua milimetrada e as unidades expressas como constam no APÊNDICE A.

4.3.4 Caracterização Molecular

Folhas novas e completamente expandidas de cada híbrido foram coletadas, acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas em ultrafreezer a -80 °C. A extração de DNA foi realizada segundo o protocolo modificado de Ferreira e Grattapaglia (1998).

Primeiramente foi retirada uma pequena porção de uma folha jovem (0,5cm) de cada genótipo, em seguida foram maceradas individualmente em nitrogênio líquido e transferidas para microtubos de 2,0 mL na presença de 1500 µL de tampão de extração (CTAB 2%) e 20 µL de β – mercaptoetanol. Esse material foi incubado a 65 °C por 60 minutos e agitado manualmente a cada 10 minutos. Durante o banho-maria foram adicionados 8 µL de proteinase K. Imediatamente após o banho-maria as amostras foram incubadas no gelo por 5 minutos. Em seguida foram centrifugadas por 5 minutos a 14.000 rotações por minutos (rpm). Posteriormente, coletou-se o sobrenadante que foi transferido para novos microtubos (2,0 mL).

Adicionou-se aos tubos com o sobrenadante 600 µL de clorofórmio-isoamílico (24:1), o material foi vertido suavemente por 5 minutos e em seguida centrifugado por 5 minutos a 14.000 rpm. O sobrenadante foi coletado e transferido para microtubos (2,0 mL) e adicionou-se 500 µL de clorofórmio-isoamílico (24:1), em seguida o material foi novamente vertido e centrifugado como na etapa anterior. Após esta etapa, o sobrenadante foi retirado e colocado em tubos novos de 1,5 mL, nos quais foram adicionados 2/3 volumes de isopropanol gelado (1:1) (-20°C), misturado cuidadosamente por inversão, e incubados a -20°C por 2 horas.

Após esse processo as amostras foram centrifugadas por 10 minutos a 14.000 rpm. O sobrenadante foi descartado e o *pellet* formado foi lavado duas vezes com 500 µL de etanol (70%) gelado (entre cada lavagem o material foi centrifugado a 5000 rpm por 2 minutos). O último sobrenadante foi descartado e o *pellet* foi seco em temperatura ambiente. Para finalizar a extração, o *pellet* foi ressuscitado em 50 µL de TE (10mM Tris-HCl, 1mM EDTA, pH=8) e deixado eluir *over night*. Posteriormente o material foi tratado com 6 µL de RNase e incubado em estufa por 30 minutos a 37°C.

A integridade do DNA foi confirmada por eletroforese em gel de agarose a 1%. Já a concentração e a pureza foram determinadas por espectrofotometria, utilizando-se o NanoDrop® 2000/2000c (Thermo Fisher

Scientific). Foram utilizadas amostras que apresentaram razões A260/280 nm entre 1.8 e 2.0.

Realizou-se a técnica de AFLP seguindo o protocolo descrito por Vos et al., (1995), com modificações. Aproximadamente 700 ng de DNA de cada acesso foram duplamente digeridos pelas enzimas EcoRI e MseI (5U cada), em presença de 2 uL de tampão de ensaio MseI 10X, com volume final de 20 uL, incubados por 18 horas a 37 °C. Os fragmentos gerados foram ligados aos adaptadores, EcoRI (0,5 µM) e MseI (5 µM), com a enzima T4 DNA ligase (2U); tampão EcoRI 1X; NaCl (0,05 M); BSA (50 µg/µL); DTT (0,25 mM) para um volume final de 10 µL. A reação foi incubada a 37 °C por 3 horas, 17 °C por 30 minutos e 70 °C por 10 minutos, em termociclador. Após a confirmação da amplificação da PCR por eletroforese em gel de agarose 1%, o produto amplificado foi diluído 1:4 vezes em água ultrapura.

Posteriormente, os fragmentos foram amplificados com um par de *primers* pré-seletivo contendo uma base seletiva. A amplificação pré-seletiva foi realizada para um volume final de 10 µL, utilizando 3,5 µL do kit GoTaq® Green Master Mix (Promega); 0,58 uL do *primer* pré-seletivo (4,75 µM); e 3,0 µL da diluição da reação de restrição/ligação. A programação do termociclador consistiu de: 2 minutos a 72 °C, seguidos de 20 ciclos de 1 segundo a 94 °C, 30 segundos a 56 °C e 2 minutos a 72 °C, e por fim, 30 minutos a 60 °C. A confirmação da PCR pré-seletiva foi obtida em gel de agarose 2% e o produto amplificado foi diluído 1:8 vezes em água ultrapura.

Para a amplificação seletiva utilizou-se 2,5 µL do pré-seletivo diluído, composto de 0,54 µL de cada *primer* seletivo de MseI (5 µM) e EcoRI (1 µM); 3,5 µL GoTaq® Green Master Mix (Promega), para um volume final de 10 µL. As reações para o seletivo foram realizadas no termociclador, da seguinte maneira: ciclo inicial de 2 minutos a 94 °C; 30 segundos a 65 °C e 2 minutos a 72 °C; 8 ciclos de 1 segundo a 94 °C, 30 segundos a 64 °C e 2 minutos a 72 °C, decrescendo 1 °C a cada ciclo; 23 ciclos de 1 segundo a 94 °C, 30 segundos a 56 °C e 2 minutos a 72 °C, e por fim, 30 minutos a 60 °C. Foram testadas 14 combinações de *primers* EcoRI e MseI das quais foram escolhidas as quatro mais polimórficas (E-AGG/M-CTGA, E-ACT/M-CAG, E-AGC/M-CAA, E-AGC/M-CAC), contendo três nucleotídeos seletivos, observados em gel de poliacrilamida 7% (APÊNDICE B).

As quatro combinações selecionadas foram submetidas a eletroforese capilar em sistema automatizado, para isso os *primers* foram marcados com fluoróforos FAM, NED, VIC e PET, nas cores azul, amarela, verde e vermelho,

respectivamente. Para visualizar os produtos da reação seletiva, as amostras amplificadas com os *primers* marcados foram combinadas seguindo a proporção de: 1µL de FAM: 2µL de NED: 2µL de VIC: 2 µL de PET, com 3,0 µL de água ultrapura. Para a corrida em sequenciador utilizou-se um volume final igual a 10 µL, sendo composto por 1,0 µL da mistura dos *primers*, 0,2 µL de *GeneScan™ 600 LIZ.®* Size Standard v2.0 e 8,8 µL de formamida Hi-Di (Applied Biosystems). Em seguida a reação passou por um processo de desnaturação a 95°C por 3 minutos e foi submetida à eletroforese capilar em sistema automatizado (Applied Biosystems, 3500xL).

Os resultados da eletroforese dos fragmentos foram combinados em uma matriz binária pelo software GeneMapper® v.4.1 (Applied Biosystems). Todas as ampliações foram realizadas em termociclador GeneAmp PCR System 9700 (Applied Biosystems).

4.3.5 Análise dos Dados

Foi adotado o delineamento experimental de blocos ao acaso, com três repetições e cinco plantas por parcela. Como testemunhas foram utilizadas as cultivares Albion e Monterey e os tratamentos foram compostos por 34 híbridos experimentais pré-selecionados.

Os dados obtidos para os descritores qualitativos foram analisados pela moda de cada descritor. A moda de uma distribuição é o valor que tem maior probabilidade quando X for a variável aleatória discreta (CECON et al., 2012).

As características quantitativas foram submetidas à análise de variância (ANOVA) pelo teste F a 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

Para determinação da matriz de distância genética entre os híbridos foi realizada uma análise conjunta dos dados qualitativos e quantitativos por meio do algoritmo de Gower (1971), expresso por:

$$S_{ijk} = \frac{\sum_{k=1}^p W_{ijk} \cdot S_{ijk}}{\sum_{k=1}^p W_{ijk}}$$

em que, K é o número de variáveis ($k = 1, 2, \dots$; p =número total de características avaliadas); i e j , dois indivíduos quaisquer; W_{ijk} é um peso dado a comparação ijk , atribuindo valor 1 para comparações válidas e valor 0 para comparações inválidas (quando o valor da variável está ausente em um ou ambos indivíduos); S_{ijk} é a contribuição da variável k na similaridade entre os indivíduos i e j , possuindo valores entre 0 e 1. Para uma variável nominal, se o valor da variável k é a mesma para ambos os indivíduos, i e j , então $S_{ijk} = 1$, caso contrário, é igual a 0; para uma variável contínua $S_{ijk} = 1 - |x_{ik} - x_{jk}| / R_k$ em que x_{ik} e x_{jk} são os valores da variável k para os indivíduos i e j , respectivamente, e R_k é a amplitude de variação da variável k na amostra. A divisão por R_k elimina as diferenças entre escalas das variáveis, produzindo um valor dentro do intervalo $[0, 1]$ e pesos iguais.

A matriz de distância foi utilizada para realizar o agrupamento dos híbridos por meio do método aglomerativo de Ward. Os dados foram analisados por meio do *software* R (R CORE TEAM, 2020, <http://www.r-project.org/>), utilizando o pacote *clusters* e o procedimento *Daisy* (MAECHLER et al., 2019).

Dentre os descritores utilizados, as características mais representativas e relevantes para o melhoramento genético do morangueiro foram consideradas para a seleção dos melhores híbridos, sendo essas: massa total de frutos; massa de frutos comerciais, massa média de frutos comerciais, firmeza de polpa, sólidos solúveis e coloração da parte externa do fruto (ângulo *hue*). Para isso, foi aplicado o índice de seleção de Mulamba e Mock (1978), no qual os híbridos receberam um número de classificação para cada característica, sendo que o número um foi estipulado para o melhor valor de cada caráter e, assim, sucessivamente. Após a obtenção dos números de classificação de cada genótipo, calcularam-se os índices utilizando-se a fórmula:

$$I_j = \sum n_{ij}$$

em que,

I_j = índice para o genótipo j ;

n_{ij} = número de classificação do caráter i para o genótipo j ;

Foram considerados melhores os híbridos com menores I_j s.

Definiu-se a intensidade de seleção em 35%, correspondendo ao número de 12 híbridos superiores. Os cálculos dos índices foram realizados no Microsoft Excel[®]. Posteriormente, foi realizada a análise de componentes principais (PCA) utilizando o *software* R v. 3.6.3 (R CORE TEAM, 2020, <http://www.r-project.org/>) por meio do *plugin* FactoMineR (HUSSON et al., 2019).

A partir dos dados gerados pelos marcadores AFLP foi estimada a matriz de distância genética por meio do coeficiente de Jaccard e realizado o agrupamento dos híbridos pelo método aglomerativo de Ward. A correlação entre as matrizes de distâncias molecular e morfoagronômica foram determinadas pelo teste de Mantel, com 1000 permutações. As análises foram realizadas por meio do *software* R (R CORE TEAM, 2020, <http://www.r-project.org/>) utilizando os pacotes *vegan* (OKSANEN et al., 2019) e *dendextend* (GALILI, 2015).

4.4 RESULTADOS

4.4.1 Caracterização Morfoagronômica

Com base nos descritores pré-definidos (APÊNDICE A) observou-se ampla variabilidade entre os híbridos por meio da caracterização morfoagronômica. Foi observado que apenas dois caracteres qualitativos não apresentaram variação (todos os híbridos possuíam frutos com superfície uniforme ou levemente irregular e flores com pétalas brancas).

Caracteres de planta e parte vegetativa: o hábito de crescimento ereto foi predominante (22 híbridos), seguido de semiereto (10 híbridos) e apenas dois híbridos apresentaram hábito aberto. Folhagem de densidade média e densa predominaram entre os híbridos, apenas um apresentou folhagem esparsa. Para brilho da folha e abaulamento internerval, as três classes (fraco, médio e forte) foram verificadas entre os híbridos.

Quanto ao folíolo terminal, o comprimento foi igual à largura ou moderadamente mais longo na maioria dos híbridos, em apenas sete híbridos o comprimento foi mais curto. O formato côncavo da seção transversal foi verificado na metade dos híbridos (17), seguido de plano (nove híbridos) e convexo (oito híbridos). As três classes da forma da base do folíolo foram verificadas, no entanto, aguda (16 híbridos) e obtusa (16 híbridos) predominaram, enquanto apenas dois híbridos

apresentaram formato arredondado. E o tipo de margem predominante foi serrilhada a crenada (31 híbridos), apenas três híbridos apresentaram margem crenada.

A maioria dos híbridos (22) apresentaram pelos no pecíolo na posição perpendicular e a pigmentação das estípulas foi ausente ou muito fraca para a maior parte dos híbridos (25).

Caracteres de flor: a maioria dos híbridos (21) apresentaram a inflorescência posicionada abaixo da folhagem, seguido de mesmo nível (10) e em apenas três híbridos a inflorescência se posicionou acima da folhagem. A projeção da cimeira para fora da copa foi predominante entre os híbridos (27), assim como a proteção regular da inflorescência (22 híbridos) e a posição dos pelos no pedicelo oblíquos para cima (27 híbridos). As pétalas se apresentaram livres em 21 híbridos, tangentes em nove híbridos e imbricadas em quatro híbridos. Em apenas dois híbridos foi verificado o cálice menor que a corola, o restante se dividiu entre mesmo tamanho (13 híbridos) e maior (19 híbridos). O comprimento da pétala foi igual à largura em grande parte dos híbridos (25).

Caracteres de fruto: os frutos apresentaram formato cônico e cordiforme em grande parte dos híbridos (14 e 17, respectivamente). Os formatos da extremidade dos frutos predominantes foram pontiagudo (11 híbridos) e arredondado (20 híbridos). Apenas um híbrido apresentou frutos com coloração levemente desuniforme. O brilho dos frutos apresentou predominantemente as classes médio e forte, apenas um híbrido apresentou frutos com brilho fraco. Os frutos de todos os híbridos se apresentaram com superfície uniforme ou levemente irregular.

Foram verificadas apenas duas classes de largura da zona sem aquênios: ausente ou muito estreita (11 híbridos) e estreita (23 híbridos). Os aquênios se apresentaram posicionados abaixo do nível da superfície na maioria dos híbridos (30) e coloração clara em grande parte dos híbridos (25).

A posição da inserção do cálice no mesmo nível da superfície do fruto foi predominante (26 híbridos), seguida de inclusa (seis híbridos) e saliente (dois híbridos). Nenhum híbrido apresentou as sépalas voltadas para cima, apenas para fora (26 híbridos) e para baixo (oito híbridos). O diâmetro do cálice foi predominantemente igual (12 híbridos) ou maior (14 híbridos) em relação ao diâmetro do fruto.

As três classes de coloração da cavidade central do fruto foram verificadas, no entanto, apenas um híbrido apresentou cavidade de cor vermelha

escura, os outros dividiram-se entre cor branca (seis híbridos) e vermelha clara (27 híbridos). O aspecto da cavidade central se mostrou intermediário em 20 híbridos, maciço em 13 híbridos e ocado em apenas um híbrido. Por fim, 27 híbridos apresentaram frutos com pescoço côncavo, cinco com pescoço plano e dois com pescoço saliente.

Com relação aos descritores quantitativos, com exceção de SS (sólidos solúveis) e LEF (luminosidade da parte externa do fruto), todas as outras características apresentaram diferenças significativas para todos os tratamentos (Tabela 4.2). Os coeficientes de variação (CV) oscilaram entre 1,54 (hF) a 36,33% (MFC).

Tabela 4.2 – Resumo da análise de variância de 14 descritores quantitativos avaliados em 34 híbridos de morangueiro (*Fragaria x ananassa*) e duas testemunhas (cultivares Albion e Monterey).

Característica¹	QM	p-valor	Média	CV%
MTF	354004.62	<0.01	683.31	33.19
MFC	221317.00	<0.01	527.06	36.33
MMFC	12.22	<0.01	14.63	15.86
Firmeza	3.60	<0.01	4.67	17.40
SS	2.92	>0.01	8.41	15.38
AF	1527.06	<0.01	132.06	14.38
CP	7.60	<0.01	11.71	16.67
DF	0.28	<0.01	2.63	9.20
LF	4.79	<0.01	38.17	2.94
hF	12.92	<0.01	132.14	1.54
LEF	6.63	>0.01	34.71	6.52
hEF	39.37	<0.01	17.32	21.13
LIF	46.79	<0.01	51.61	7.97
hIF	27.19	<0.01	40.53	7.97

¹MTF: massa total de frutos; MFC: massa de frutos comerciais; MMFC: massa média de frutos comerciais; Firmeza; SS: sólidos solúveis; AF: área foliar; CP: comprimento do pecíolo; DF: diâmetro da flor; LF: luminosidade da folha; hF: ângulo *hue* da folha; LEF: luminosidade da parte externa do fruto; hEF: ângulo *hue* da parte externa do fruto; LIF: luminosidade da parte interna do fruto; hIF: ângulo *hue* da parte interna do fruto.

QM: quadrado médio do tratamento; Cv: coeficiente de variação

As maiores variações observadas dentre as variáveis quantitativas foram para MTF, oscilando de 110,00 g planta⁻¹ (RVFS06M-29) a 1569,00 g planta⁻¹ (RVFS07M-24); MFC de 75,00 g planta⁻¹ (RVFS06M-29) a 1195,00 g planta⁻¹ (RVDA11M-4). Além disso, 68% dos híbridos apresentaram médias superiores às testemunhas para MTF e MFC. Para MMFC houve uma variação de 10,87 g fruto⁻¹ (RVFS07M-42) a 20,52 g fruto⁻¹ (RVDA11M-4) e 91% dos híbridos obtiveram médias superiores às testemunhas (APÊNDICE C).

Para Firmeza a variação foi de 2,88 Newtons (RVFS06AL-36) a 7,44 Newtons (RVFS07M-42); AF de 87,61 cm² (RVFS06M-29) a 181,16 cm² (RVFS07M-05); DF de 1,69 cm (RVFS07M-42) a 3,09 cm (RVFS07M-2); LF de 35,73 (RVFS07M-179) a 41,76 (RVFS07M-33) e hF de 127,82 (RVFS07M-36) a 136,87 (RVFS07M-179). Com relação aos parâmetros de coloração dos frutos, hEF apresentou a maior variação, de 8,99 (RVDA16M-1) a 25,12 (RVFS07M-47), LIF variou de 44,40 (RVFS07M-47) a 58,35 (RVDA16M-1) e hIF de 35,07 (RVFS07M-124) a 48,26

(RVDA16M-1). Para todas essas características, os híbridos apresentaram comportamento variado em relação às médias de Albion e Monterey. Por fim, CP foi a única característica em que todos os híbridos obtiveram médias inferiores às das testemunhas (APÊNDICE C).

Pelo método aglomerativo de Ward com base na matriz de distância obtida pelo algoritmo de Gower, os híbridos foram separados em três grupos (Figura 4.1). O primeiro grupo foi composto por 16 híbridos, sendo a maioria caracterizados por apresentarem altos valores para sólidos solúveis, baixos valores para MTF e MFC. Com relação a características qualitativas, a maioria desses híbridos apresentaram aspecto da cavidade do fruto como intermediária, frutos com pescoço côncavo e sépalas voltadas para fora.

O segundo grupo reuniu seis híbridos, dentre os quais apenas RVFS06AL-132 possui genitores diferentes dos outros cinco que são provenientes do cruzamento entre Monterey e RVFS07. Além disso, esses híbridos caracterizam-se por apresentarem a mesma classe para cinco descritores qualitativos: abaulamento internerval (médio); forma da seção transversal do folíolo terminal (côncava); posição dos pelos no pecíolo (perpendiculares); posição da inflorescência em relação à folhagem (abaixo) e largura da zona sem aquênios (estreita).

Por fim, o terceiro grupo foi composto por 12 híbridos, em que a maioria obteve altos valores para MTF e MFC. Grande parte desses híbridos também se caracterizam por apresentarem frutos com brilho médio.

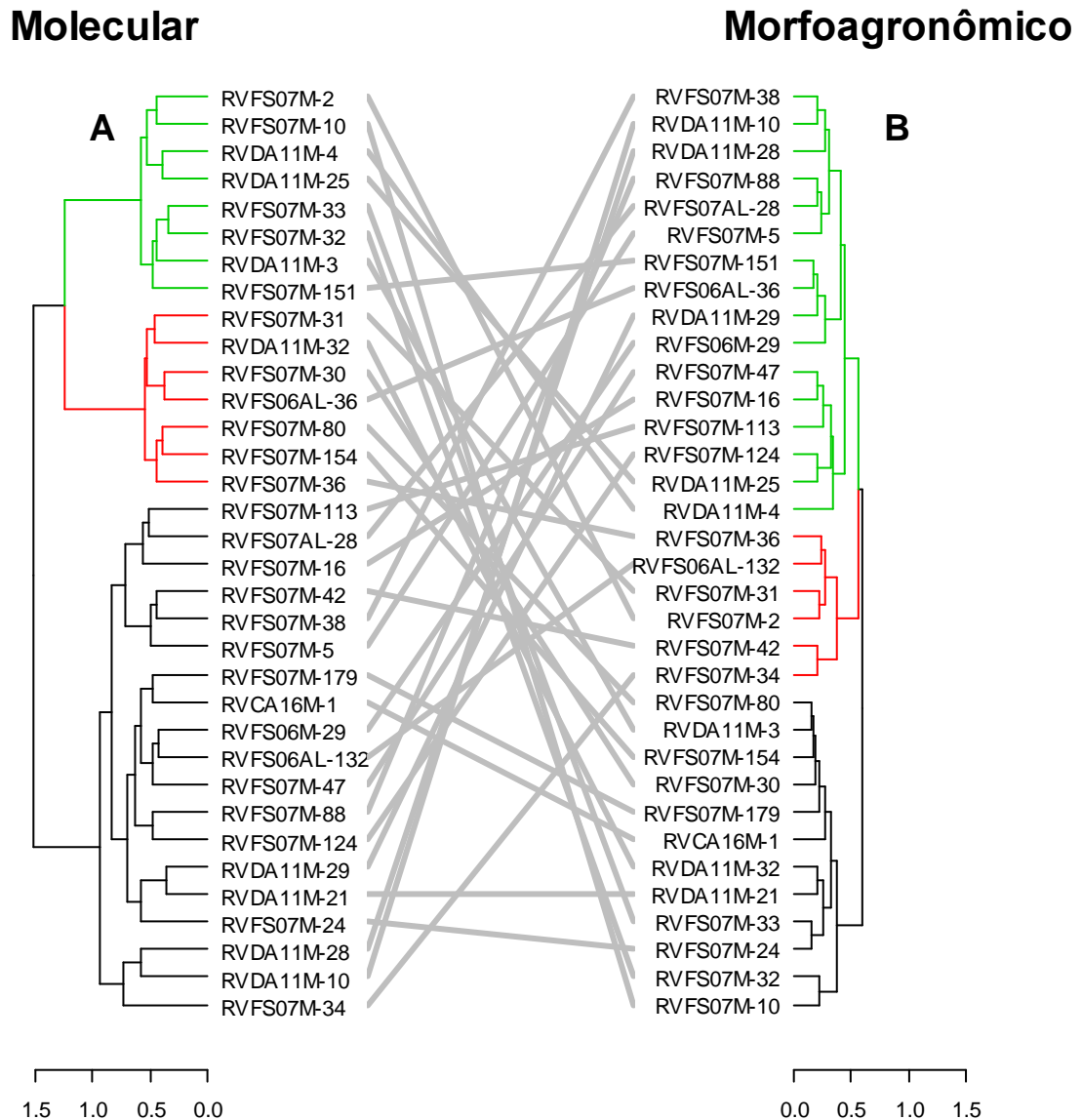


Figura 4.1 – Dendrograma de dissimilaridade genética obtido pelo método de Ward a partir das características moleculares (A) e morfoagronômicas (B) de 34 híbridos de morangueiro (*Fragaria x ananassa*).

4.4.2 Caracterização Molecular

Quatro pares de *primers* seletivos utilizados geraram 501 fragmentos de AFLP, dos quais 403 (80%) foram polimórficos. O número de fragmentos polimórficos variou de 68 a 135, sendo a combinação E-AGC/M-CAC a mais polimórfica (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 – Combinações de *primers* seletivos de AFLP, número de fragmentos, número de fragmentos monomórficos e polimórficos e porcentagem de polimorfismo por *primer* obtidos de 34 híbridos de morangueiro (*Fragaria x ananassa*).

Combinações de <i>primers</i>	Número de fragmentos	Número de fragmentos monomórficos	Número de fragmentos polimórficos	% de Polimorfismo
E-AGG/M-CTGA	91	23	68	75%
E-AGC/M-CAA	164	29	135	82%
E-AGC/M-CAC	141	23	118	84%
E-ACT/M-CAG	105	23	82	78%
Total	501	98	403	80%

A distância genética entre os 34 híbridos, estimada por meio do coeficiente de Jaccard, variou de 0,34 a 0,79, com uma distância média de 0,58 ($\pm 0,08$). Analisando a frequência de distribuição dos pares de genótipos comparados, se observa uma concentração nas classes de 0,5 –| 0,6 e 0,6 –| 0,7, com 44,2% e 29,76%, respectivamente (Figura 4.2). A distância mais alta foi verificada entre os híbridos RVFS07M-30 e RVDA11M-28 (0,79) e a menor distância genética foi de 0,34, entre os híbridos RVFS07M-32 e RVFS07M-33.

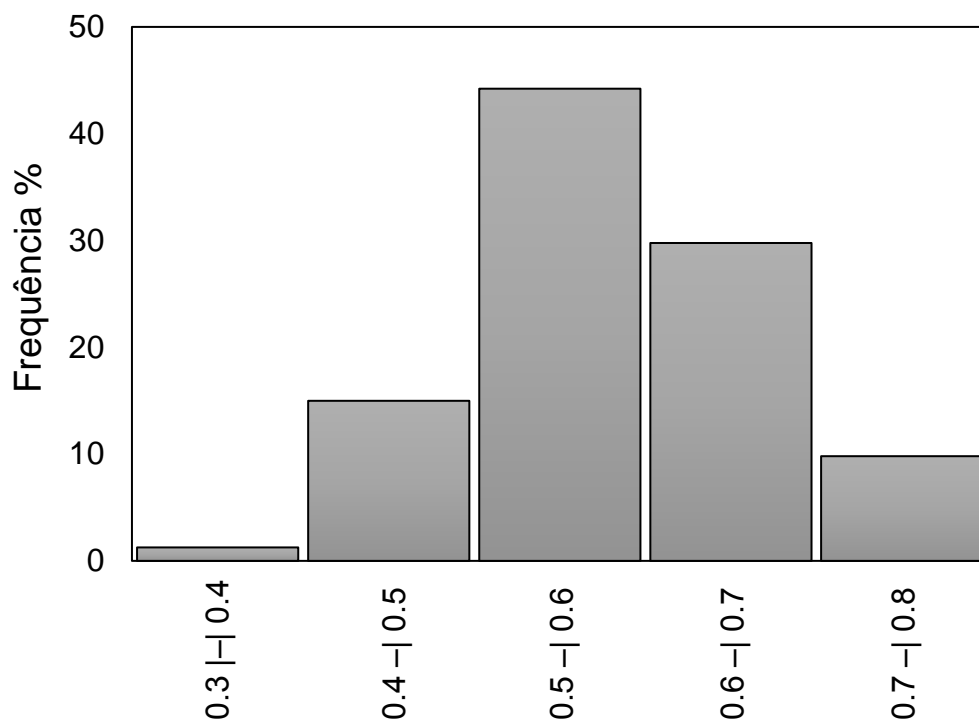


Figura 4.2 – Frequência de distribuição de dissimilaridade baseada nos marcadores AFLP entre 34 híbridos de morangueiro (*Fragaria x ananassa*).

O agrupamento obtido pelo método aglomerativo de Ward, por meio dos dados dos marcadores AFLP, também separou os híbridos em três grupos (Figura 4.1). O grupo 1 foi composto por oito híbridos, o grupo 2 por sete híbridos e no terceiro grupo foi alocado o maior número de híbridos (19). Nota-se que no primeiro grupo os híbridos possuem como genitor feminino a cultivar Monterey e como genitores masculinos os híbridos RVFS07 e RVDA11. No grupo 2 a maioria dos híbridos são provenientes do cruzamento Monterey x RVFS07, apenas RVFS06AL-36 e RVDA11M-32 possuem genitores masculinos diferentes. No terceiro grupo houve uma mescla entre híbridos provenientes de todos os cruzamentos.

Quando comparados os dois dendrogramas (Figura 4.1), verifica-se que o agrupamento baseado nos caracteres morfoagronômicos apresentou comportamento diferente do agrupamento baseado nos marcadores moleculares. Apresentando um coeficiente de correlação de 0,12 ($p > 0,05$), pelo teste de Mantel. Há uma semelhança em relação à 11 híbridos do grupo 1 da análise morfoagronômica que foram alocados no grupo 3 da análise molecular, no entanto, os outros híbridos ficaram divididos entre os 3 grupos da análise molecular.

4.4.3 Índice de Seleção de Mulamba e Mock

Visando a identificação de híbridos superiores para dar continuidade ao programa de melhoramento, foram escolhidas seis variáveis mais representativas e importantes para cultivo e mercado *in natura* de morango (MTF, MFC, MMFC, Firmeza, SS e hEF), nas quais aplicou-se o índice de seleção de Mulamba e Mock (1978). A soma dos *ranks* variou de 58 a 169, sendo o menor valor uma combinação mais favorável entre as características selecionadas. Aplicando-se uma intensidade de seleção de 35%, foram selecionados os 12 primeiros híbridos resultantes do índice de seleção, apresentados na Tabela 4.4. Nota-se que nenhum dos híbridos selecionados é derivado do cruzamento com a cultivar Albion ou com o genótipo RVFS06.

Tabela 4.4 – Lista dos 12 híbridos de morangueiro (*Fragaria x ananassa*) selecionados pelo índice de Mulamba e Mock (1978) e respectivas médias para as características utilizadas na seleção.

Mulamba e Mock (1978)								
Ranking	Híbridos	Características ¹						Escores finais
		MTF	MFC	MMFC	Firmeza	SS	hEF	
1°	RVCA16M-1	887.33	666.33	15.15	6.39	8.16	8.99	58
2°	RVDA11M-3	723.33	591.67	16.16	6.10	7.75	11.86	68
3°	RVFS07M-5	948.67	866.67	19.06	6.29	7.89	20.13	69
4°	RVDA11M-4	1477.00	1195.00	20.52	3.90	7.72	16.20	71
5°	RVFS07M-80	836.00	645.33	15.24	4.92	8.23	12.51	72
6°	RVFS07M-124	615.67	538.33	17.07	5.85	8.10	15.63	75
7°	RVFS07M-154	1078.67	760.00	14.73	3.53	8.48	12.13	83
8°	RVFS07M-24	1569.00	1106.00	15.43	3.94	7.29	16.27	84
9°	RVFS07M-34	1149.00	940.33	15.76	5.05	7.48	21.53	84
10°	RVFS07M-33	1113.33	875.00	15.49	4.03	6.99	16.92	87
11°	RVFS07M-179	610.67	510.33	16.63	4.42	8.02	13.42	89
12°	RVDA11M-25	709.33	480.33	13.30	4.15	11.75	13.35	90

¹MTF: massa total de frutos; MFC: massa de frutos comerciais; MMFC: massa média de frutos comerciais; Firmeza; SS: sólidos solúveis; hEF: ângulo *hue* da parte externa do fruto.

4.4.4 Análise de Componentes Principais

A análise de componentes principais (PCA) mostrou que os dois primeiros componentes explicaram 69,33% da variação total dos dados (Figura 4.3). Os caracteres relacionados à produção (MTF e MFC) foram os que mais contribuíram para a divergência entre os híbridos e apresentam alta correlação entre si e com MMFC, observada pela proximidade entre os vetores (Figura 4.3 A). No entanto, se observa que os caracteres de produção são inversamente relacionados com SS e não tem correlação com a coloração do fruto e com a firmeza.

A PCA separou os híbridos em três grupos (Figura 4.3 B), sendo que aqueles selecionados pelo índice de Mulamba e Mock (1978) ficaram divididos entre os grupos 2 e 3, apenas o RVDA11M-25 permaneceu no grupo 1. Nota-se que RVCA16M-1 e RVDA11M-3 que ficaram nas duas primeiras posições no índice de seleção, permaneceram mais isolados em relação aos outros híbridos selecionados que estão no grupo 2, assim como RVDA11M-4 se apresentou mais distante dos outros híbridos no grupo 3.

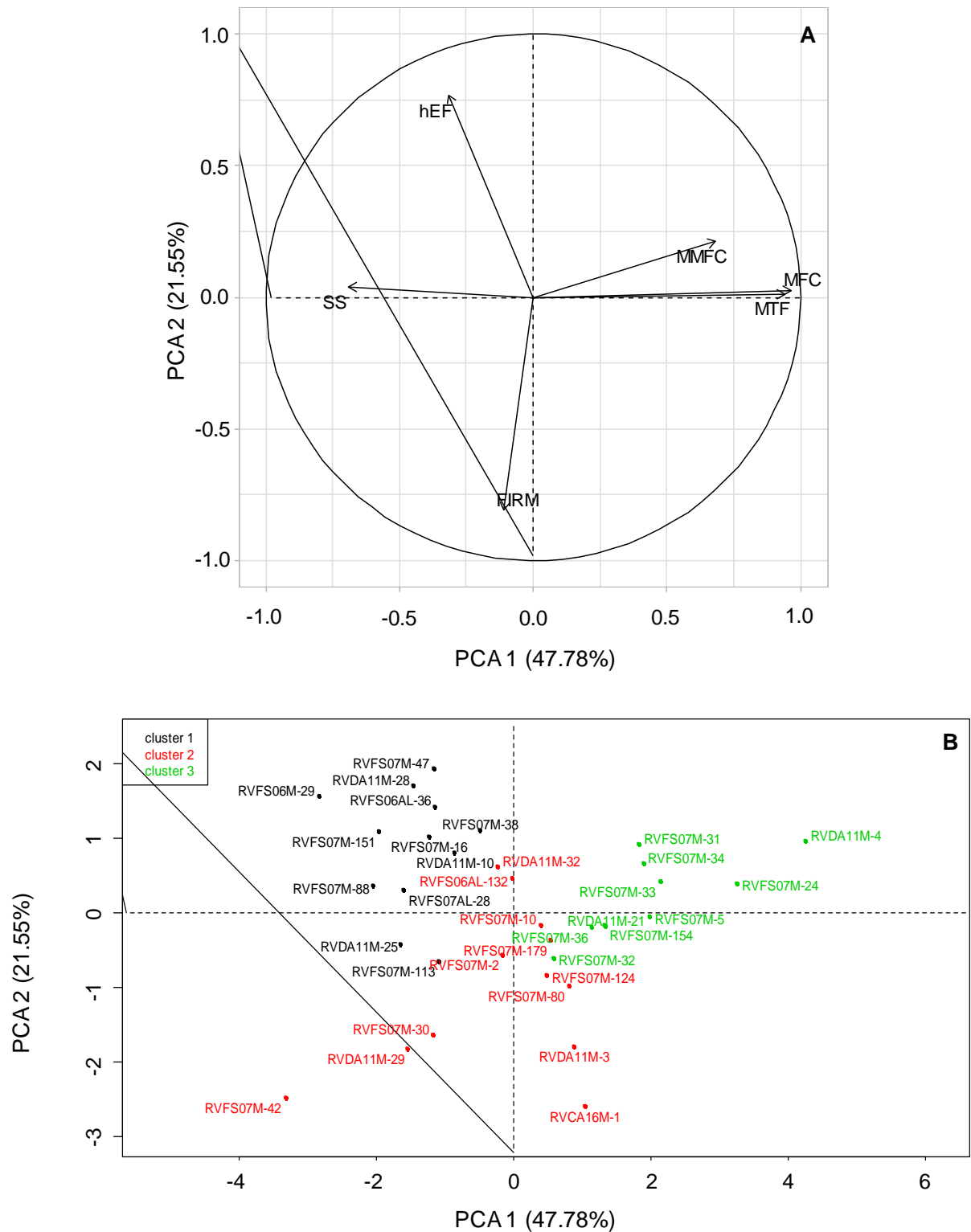


Figura 4.3 – Análise de Componentes Principais (PCA) entre características morfoagronômicas (A) e gráfico de dispersão dos grupos formados a partir de 34 híbridos de morangueiro (*Fragaria x ananassa*) (B).

MTF: massa total de frutos; MFC: massa de frutos comerciais; MMFC: massa média de frutos comerciais; FIRM: Firmeza de polpa; SS: sólidos solúveis e hEF: ângulo *hue* da parte externa do fruto.

4.5 DISCUSSÃO

Os resultados da análise de variância indicam a presença de variabilidade genética entre todos os híbridos para a maioria dos descritores quantitativos. As características de produção (MTF e MFC) apresentaram alto coeficiente de variação (CV) (33,19 e 36,33%, respectivamente), no entanto, isso pode ser explicado em virtude da natureza poligênica desses caracteres, os quais podem sofrer grande influência do ambiente (CIULCA et al., 2017; ZORRILA-FONTANESI et al., 2011). Os CVs dos demais descritores são considerados de baixo a médio, indicando alta confiabilidade nos resultados obtidos. Não foram observadas diferenças significativas para SS, porém 91% dos híbridos apresentaram valores de °Brix acima de 7,0, o que é considerado adequado para o consumo de morango *in natura* (CAMARGO et al., 2018; KADER, 2002).

Por ser uma espécie octaploide, grande variabilidade genética é verificada entre genótipos derivados de um cruzamento devido a maior possibilidade de combinações gênicas diferentes, o que também foi observado por Barth et al. (2020), Galvão et al. (2017) e Vieira et al. (2017) ao trabalharem com seleção de híbridos de morangueiro provenientes de cruzamentos intraespecíficos.

Amplas variações foram observadas para as características de produção (MTF, MFC e MMFC), além de grande parte dos híbridos apresentarem médias superiores às testemunhas. O peso médio do fruto além de ser importante para a produção de morangos, é uma característica comercialmente relevante, principalmente quando os frutos são destinados ao consumo *in natura* (TEMOCICO et al., 2019), pois o consumidor sempre faz opção por aqueles de maior volume na embalagem. Além disso, frutos de maior massa média também facilitam a colheita, tendo em vista que, no morangueiro, a mão-de-obra utilizada durante a colheita é um dos fatores que mais encarecem o custo de produção.

A firmeza e a coloração dos frutos também são atributos importantes para qualidade e comercialização *in natura*. Os híbridos avaliados no presente trabalho apresentaram valores de firmeza (2,88 a 7,44 N) superiores aos relatados por Souza et al. (2017) que obtiveram amplitude de variação de 1,41 a 2,91 N. Além disso, grande parte dos híbridos apresentou valores superiores às testemunhas. A firmeza está relacionada à durabilidade pós-colheita, principalmente à manipulação durante armazenamento e transporte, por isso a importância da seleção de materiais

mais firmes (SOUZA et al., 2017, WANG et al., 2017). Além disso, devido à maior durabilidade, frutos mais firmes possibilitam melhor conservação das qualidades sensoriais e aspecto visual, sendo, portanto, preferidos pelos consumidores (BRACKMANN et al., 2011; LADO et al., 2019).

A coloração da parte externa do fruto se mostrou mais intensa nos 34 híbridos (8,99 a 25,12) do que nos genótipos avaliados por Zanin et al. (2019), que verificaram variação no ângulo *hue* de 26,83 a 36,06. Além disso, a maioria dos híbridos apresentaram ângulo *hue* inferior às testemunhas, sendo o menor valor verificado no híbrido RVCA16M-1. No morango a coloração está relacionada à presença de antocianinas, principalmente pelargonidina 3-O-glucosídeo (COCCO et al., 2015; WADA et al., 2017). O teor desses compostos pode variar de acordo com o genótipo (SANDHU et al., 2016), no entanto, a alta concentração de antocianinas e baixos valores para o ângulo *hue* indicam frutos com coloração vermelha mais intensa. A coloração externa dos frutos é um dos principais fatores que influenciam a aceitação inicial pelo consumidor, visto que a decisão de compra geralmente é feita com base no aspecto visual (CARPENEDO; ANTUNES, TREPTOW, 2016), além de induzir na sua expectativa sobre sabor e qualidade do produto (MOURA et al., 2012).

Quanto aos caracteres qualitativos, esses podem ser definidos como classes fenotípicas facilmente distinguíveis e pouco influenciadas pelo ambiente, devido a herança desses caracteres ser controlada, na maioria das vezes, de forma monogênica ou por poucos genes (FALCONER, MACKAY, 1996). Para os descritores utilizados foi possível observar que a maioria apresentou mais de uma classe entre os híbridos, no entanto algumas classes foram predominantes. Com relação ao formato, a observação da predominância de frutos cônicos e cordiformes é importante para a comercialização *in natura*, visto que são formatos característicos de morangos mais aceitos no mercado (SOUZA et al., 2017). Nenhum híbrido apresentou frutos com pescoço muito côncavo e na maioria foi verificada a inserção do cálice no mesmo nível do fruto. A ausência de pescoço ou sua presença de forma mais saliente e o cálice reflexo não permitem acumular água nos frutos e aumentam a circulação de ar, características que podem reduzir a infecção por patógenos (WANG et al., 2014). Além disso, frutos que apresentam cavidade interna maciça e com coloração mais avermelhada são mais apreciados pelos consumidores, além de que constituem características consideradas em programas de melhoramento (OLIVEIRA, BONOW, 2012)

A posição das folhas interfere diretamente na interceptação luminosa, a qual é fundamental para fotossíntese, visto que maiores níveis de radiação proporcionam maior assimilação de CO₂ e taxa fotossintética, o que conseqüentemente influencia o crescimento e o desenvolvimento da planta. Dessa forma, os hábitos de crescimento ereto e semi-ereto associados às folhas com formato convexo ou plano observados na maioria dos híbridos, podem proporcionar maior eficiência fotossintética, em virtude da maior interceptação luminosa. Mehraj e Jammal Uddin (2014) encontraram correlação positiva entre parâmetros relacionados às folhas e produtividade e qualidade em genótipos de morangueiro.

A cimeira projetada para fora da copa foi verificada na maioria dos híbridos avaliados, o que é uma característica interessante para os sistemas tradicionais de plantio quanto para a produção de morangos suspensos (slabs, calhas e cochos). Uma das principais doenças que atacam os frutos do morangueiro é o mofo cinzento (*Botrytis cinerea*) (RUPP et al., 2017), dessa forma, se os frutos permanecem fora da superfície de cobertura da folhagem, facilitam a colheita e promovem o arejamento, diminuindo a incidência dessa e de outras doenças fúngicas, devido a condição de menor umidade e temperatura.

Alguns descritores foram essenciais para a separação dos híbridos em três grupos. Para o primeiro e terceiro grupo os principais caracteres foram aqueles relacionados à produção e aspectos relacionados aos frutos. No segundo e menor grupo, os caracteres qualitativos foram o principal critério agrupador, abrangendo aspectos relacionados à parte vegetativa, flores e frutos.

A análise conjunta de características quantitativas e qualitativas vem sendo utilizada com eficiência para estudos em diversas culturas, como por exemplo em pimentas (BABA et al., 2015; CARDOSO et al., 2018), maracujá (OLIVEIRA et al., 2018) e tomate (FERNANDES et al., 2018).

Para a cultura do morangueiro, Morales et al. (2011) e Höfer et al. (2012) utilizaram a análise conjunta para avaliar a diversidade entre cultivares e híbridos e verificaram ampla variabilidade entre os materiais. Em contrapartida, Souza et al. (2019) avaliaram sete cultivares comerciais e 103 híbridos experimentais de morangueiro, utilizando caracteres de produção e parâmetros físico-químicos e observaram grande similaridade entre os genótipos. Os resultados encontrados por esses autores e também os verificados no presente trabalho enfatizam que o conhecimento das características morfoagronômicas quantitativas e qualitativas é de

extrema importância para o melhoramento genético do morangueiro, pois possibilita estudos mais completos de caracterização e quantificação da variabilidade genética, possibilitando identificar entre os genótipos aqueles com características atrativas ao agricultor e ao mercado consumidor e também genitores com boa divergência genética.

Os quatro pares de *primers* AFLP utilizados geraram alta porcentagem de polimorfismo (80%), o que sugere grande heterozigose entre os híbridos avaliados, permitindo afirmar que possuem ampla variabilidade e expressam forte divergência genética. Esses resultados foram superiores aos encontrados por Rugienius et al. (2015) que utilizaram seis pares de primers AFLP em 44 cultivares e clones de morangueiro e verificaram 75,2% de polimorfismo. Peng et al. (2015) utilizaram 10 pares de primers AFLP para avaliar a diversidade genética entre 70 amostras de morangueiro e verificaram 58,8% de polimorfismo. O valores inferiores de polimorfismo encontrados pelos autores podem estar relacionados com os *primers* utilizados e também aos diferentes materiais estudados.

Verificou-se uma distância média de 0,58, mas a frequência de distribuição das classes de distância se concentrou de 0,5 a 0,7, indicando que houve variabilidade genética entre os híbridos, pois quanto mais próximo de um, mais distantes geneticamente são os indivíduos. A alta variabilidade genética confirmada pelos marcadores AFLP expõe a possibilidade de avanço dessas populações para introgressão de mais alelos favoráveis, tanto em materiais comerciais quanto nos próprios híbridos avaliados. Além disso, genitores que apresentem boa divergência genética evitam a depressão por endogamia, a qual, geralmente, resulta em perda de vigor e redução da produtividade (GALVÃO et al., 2017; GIL-ARIZA et al., 2009). E, por se tratar de uma espécie com reprodução assexuada (clonal), toda a variância genética produzida em um cruzamento, seja ela, aditiva, dominante ou epistática, pode ser explorada (ZEIST; RESENDE, 2019).

O dendrograma obtido com os dados moleculares também separou os híbridos em três grupos e nota-se que aqueles provenientes do mesmo cruzamento diferiram quanto à similaridade genética, permanecendo em grupos diferentes. Yoon et al. (2012) salientam que embora o morangueiro apresente diferentes níveis de ploidia, a maioria dos alelos é compartilhada entre os morangueiros cultivados. Isso advém do fato de que o *pool* gênico das cultivares de morangueiro é estreito, devido à intensa seleção de determinadas características e ao uso de um número

relativamente pequeno de formas parentais (RUGIENIUS et al., 2015). No entanto, para os híbridos avaliados, apesar de possuírem genitores em comum, os seus genitores masculinos são oriundos de seleções anteriores realizadas em populações obtidas a partir de cruzamentos com diferentes cultivares, o que permite inferir que a ampla divergência genética presente entre os 34 híbridos se dá em virtude da elevada taxa de recombinação ocorrida durante todo o processo de obtenção destes.

A baixa correlação verificada pelo teste de Mantel (0,12) indica a falta de associação entre os agrupamentos baseados na análise morfoagronômica e na análise molecular, o que corrobora as diferenças na separação dos híbridos em cada grupo. Essa distinção entre as análises pode ser explicada pelo fato de que o desempenho dos híbridos em relação à cada descritor morfoagronômico é decorrente da constituição genética e do efeito do ambiente em sua expressão, com maior ou menor contribuição do ambiente conforme a natureza genética de cada caráter (RAMALHO et al., 2008). Enquanto que, os marcadores moleculares, além de evitarem a influência ambiental, também fornecem melhor amostragem do genoma da planta, aumentando a resolução das medidas de variação genética (FU, 2015).

Esses resultados indicam que as duas análises se complementam e se fazem necessárias para uma caracterização mais fidedigna dos genótipos avaliados, conforme já foi demonstrado para outras hortaliças como pimentas do gênero *Capsicum* (CARDOSO et al., 2018; MOREIRA et al., 2018), batata (MAQUIA et al., 2013), e quiabo (MASSUCATO et al., 2020).

Na escolha dos híbridos superiores por meio do índice de Mulamba e Mock (1978), não foi selecionado nenhum indivíduo que possuía a cultivar Albion ou o híbrido RVFS06 como genitores. Apesar da cultivar Albion já ter demonstrado boa adaptabilidade e estabilidade em relação ao ambiente no qual os híbridos foram desenvolvidos (GABRIEL et al., 2018, RESENDE et al., 2020), a combinação com os outros genitores utilizados nos cruzamentos não resultou em indivíduos com bons valores para as características avaliadas. Isso denota que a cultivar não exerceu grande influência nas interações gênicas para incremento das características e também que houve influência do ambiente sobre os híbridos avaliados. Masny et al. (2016) identificaram que a cultivar Albion não apresentou boa Capacidade Geral de Combinação (CGC) nos cruzamentos com outros genitores. Quando os genitores apresentam efeitos positivos para CGC, aumentam a probabilidade de se obter progênie híbridas com as características desejadas (KACZMARSKA et al., 2016;

PLUTA et al., 2014). Provavelmente, na presente pesquisa, a baixa eficiência de 'Albion' se deve à baixa capacidade de combinação com os outros híbridos utilizados como genitores, o que não contribuiu para o surgimento de indivíduos superiores e conseqüentemente levou a não seleção de indivíduos de suas progênes.

O genitor RVFS06 não demonstrou bom desempenho nem com a cultivar Albion e nem com a cultivar Monterey, ou seja, sua utilização também não contribuiu para obtenção de boas combinações gênicas e conseqüentemente indivíduos superiores. Esses resultados reforçam a importância da prévia caracterização para o conhecimento do potencial genético para gerar variabilidade e otimizar o programa de melhoramento, selecionando os melhores progenitores a serem utilizados nos cruzamentos (NUNES et al., 2013).

A divergência entre os híbridos avaliados foi verificada pela análise de componentes principais (PCA), na qual os dois primeiros componentes principais explicaram 69,33% da variação total. Os híbridos selecionados pelo índice de Mulamba e Mock (1978) não permaneceram no mesmo grupo pela PCA, sendo divididos entre dois grupos, principalmente. No entanto, o tipo de representação gráfica da PCA facilita a identificação de genótipos com valores extremos para as características (SIECKZO et al., 2015), o que foi o caso dos híbridos RVCA16M-1 e RVDA11M-3 que ficaram na primeira e segunda posições pelo índice e isolados no grupo 2 da PCA, isso porque apresentaram altos valores para firmeza, assim como RVDA11M-4 mais distante dos outros no grupo 3 por se destacar para características de produção e o RVDA11M-25 que foi o único híbrido selecionado pelo índice que permaneceu no grupo 1 da PCA, pois apresentou o maior teor de sólidos solúveis entre todos os híbridos avaliados.

Os demais híbridos selecionados são derivados do cruzamento entre Monterey e RVFS07, os quais obtiveram boas classificações para os caracteres relativos à produção. Esses caracteres foram os principais responsáveis pela divergência entre os híbridos na PCA, os quais não apresentaram ou estavam inversamente correlacionados com os demais caracteres. Entretanto, o índice de seleção foi capaz de ponderar os híbridos que combinaram valores adequados para cada característica. Essa coerência entre a seleção pelo índice e análise de componentes principais confirmam a confiabilidade durante o processo de seleção.

4.6 CONCLUSÕES

A variabilidade genética presente entre os híbridos avaliados foi confirmada por meio da caracterização morfoagronômica e da caracterização molecular. Ademais, a utilização dos descritores morfoagronômicos permitiu identificar entre os híbridos aqueles que possuem características atrativas tanto para o produtor de morango quanto para o consumidor, e, juntamente com as informações em nível de DNA possibilita o direcionamento para o programa de melhoramento, seja no sentido de escolher um material promissor para ser utilizado como uma nova cultivar, ou identificar genótipos com boa divergência que podem ser utilizados em futuros cruzamentos.

A aplicação da análise multivariada identificou que os melhores indivíduos foram obtidos quando se utilizou a cultivar Monterey como um dos genitores, sendo que os híbridos RVCA16M-1, RVDA11M-3, RVDA11M-4 e RVDA11M-25 se destacaram tanto no índice de seleção como na análise de componentes principais, indicando a confiabilidade no uso de diferentes técnicas para seleção de genótipos superiores. Foi possível observar que entre os cruzamentos, a cultivar Albion não apresentou desempenho satisfatório para obtenção de indivíduos superiores. No entanto, é uma cultivar que apresenta boas características, principalmente relacionadas à produtividade, sendo assim, pode ser explorada em programas de melhoramento, desde que seja conhecida a sua capacidade de combinação com outros genitores.

4.7 REFERÊNCIAS

ANEJA, B.; SHARMA, V.; YADAV, N. R.; YADAV, R. C. Application of Molecular Markers in characterization of Vegetable Crops. **Acta Scientific Agriculture**, v. 3, n. 2, p. 149-152.2019.

BABA, V. Y.; ROCHA, K. R.; GOMES, G. P.; DE FÁTIMA RUAS, C.; RUAS, P. M.; RODRIGUES, R.; GONÇALVES, L. S. A. Genetic diversity of *Capsicum chinense* accessions based on fruit morphological characterization and AFLP markers. **Genetic resources and crop evolution**, v. 63, n. 8, p. 1371-1381, 2016.

BARTH, E.; RESENDE, J. T. V.; MOREIRA, A. F. P.; MARIGUELE, K. H.; ZEIST, A. R.; SILVA, M. B.; STULZER, G. C. G; MAFRA, J. C. M.; GONÇALVES, L. S. A; ROBERTO, S. R.; YOUSSEF, K. Selection of Experimental Hybrids of Strawberry Using Multivariate Analysis. **Agronomy**, v. 10, n. 4, p. 598. 2020.

BASU, A.; NGUYEN, A.; BETTS, N. M.; LYONS, T. J. Strawberry as a functional food: An evidence-based review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 54, n. 6, p. 790–806. 2014.

BHANDARI, H. R.; BHANU, A. N.; SRIVASTAVA, K.; SINGH, M. N.; SHREYA, H. A. Assessment of genetic diversity in crop plants-an overview. **Advances in Plants & Agriculture Research**, v. 7, n. 3, p. 00255, 2017.

BRACKMANN, A.; PAVANELLO, E. P.; BOTH, V.; JANISCH, D. I.; SCHMITT, O. J.; GIMÉNEZ, G. Avaliação de genótipos de morangueiro quanto à qualidade e potencial de armazenamento. **Ceres**, v. 58, n. 5, p. 542-547. 2011.

CAMARGO L. K. P.; RESENDE J. T. V.; CAMARGO C. K.; KURCHAITD S. M.; RESENDE, N. C. V.; BOTELHO, R. V. Post-harvest characterization of strawberry hybrids obtained from the crossing between commercial cultivars. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 40, n. 4. 2018.

CARDOSO, R.; RUAS, C. F.; GIACOMIN, R. M.; RUAS, P. M.; RUAS, E. A.; BARBIERI, R. L., RODRIGUES, R.; GONCALVES, L. S. A. Genetic variability in Brazilian *Capsicum baccatum* germplasm collection assessed by morphological fruit traits and AFLP markers. **PloS one**, v. 13, n. 5. 2018.

CARPENEDO, S.; ANTUNES, L. E. C.; TREPTOW, R. O. (2016) Caracterização sensorial de morangos cultivados na região de Pelotas. **Horticultura Brasileira**, v. 34, n. 4, p. 565-570. 2016.

CASTRO, P.; BUSHAKRA, J. M.; STEWART, P.; WEEBADDE, C. K.; WANG, D.; HANCOCK, J. F.; FINN, C. E.; LUBY, J. J.; LEWERS, K. S. Genetic mapping of day-neutrality in cultivated strawberry. **Molecular breeding**, v. 35, n. 2, p. 79. 2015.

CECON, P. R.; SILVA, A. R.; NASCIMENTO, M., FERREIRA, A. **Métodos Estatísticos**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa. 2012. 229p.

CIULCA, S.; CARP, N.; MADOȘA, E.; CIULCA, A.; ȘUMĂLAN, R. Assessment of Combining Ability Effects for several Yield and Quality Traits in a Complete Diallel Cross of Strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 45, n. 2, p. 517-524. 2017.

COCCO, C.; MAGNANI, S.; MALTONI, M. L.; QUACQUARELLI, I.; CACCHI, M.; ANTUNES, L. E. C.; D'ANTUONO, L. F.; FAEDI, W.; BARUZZI, G. Effects of site and genotype on strawberry fruits quality traits and bioactive compounds. **Journal of Berry Research**, v. 5, n. 3, p. 145-155. 2015.

CRUZ, C.D. Genes Software-extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 38, n. 4, p. 547-552. 2016.

DAVIS, T. M.; DENOYES-ROTHAN, B.; LERCETEAU-KOHLER, E. **Strawberry**. In: KOLE, C. (Ed). *Genome Mapping and Molecular Breeding in Plants*. Vol. 4: Fruits and Nuts. Berlin: Springer-Verlag, p. 189–205. 2007.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F.C. **Introduction to quantitative genetics**. 4.ed. Edinburgh: Longman Group Limited, 1996. 464 p.

FERNANDES, M. D. O.; BIANCHI, P. A.; SILVA, L. R. A. D.; VIANNA, L. S.; SANTOS, E. A.; MOULIN, M. M. Morpho-agronomic characterization and analysis of genetic divergence among accessions of tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.). **Ciência Rural**, v. 48, n. 11. 2018.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia (UFLA)**, v. 35, p. 1039-1042. 2011.

FERREIRA, M. E.; GRATTAPAGLIA, D. **Introdução ao uso de marcadores moleculares em análise genética**. 3. ed. Brasília: Embrapa-Cenargen, 1998. 220 p.

FU, Yong-Bi. Understanding crop genetic diversity under modern plant breeding. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 128, n. 11, p. 2131-2142. 2015.

GABRIEL, A.; RESENDE, J. T. V.; ZEIST, A. R.; RESENDE, L. V.; RESENDE, N. C. V.; GALVÃO, A. G.; ZEIST, R. A.; DE LIMA FILHO, R. B.; CORRÊA, J. V. W.; CAMRGO, C. K. Phenotypic stability of strawberry cultivars assessed in three environments. **Genetics and Molecular Research**, v. 33, n. 3. 2018.

GALILI, T. dendextend: an R package for visualizing, adjusting and comparing trees of hierarchical clustering. **Bioinformatics**, v. 31, n. 22, p. 3718-3720. 2015.

GALVÃO, A. G.; RESENDE, L. V.; MALUF, W. R.; RESENDE, J. T. V.; FERRAZ, A. K. L.; MARODIN, J. C. Breeding new improved clones for strawberry production in Brazil. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 39, n. 2, p. 149-155, 2017.

GIAMPIERI, F.; ALVAREZ-SUAREZ, J. M.; BATTINO, M. Strawberry and human health: Effects beyond antioxidant activity. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 62, n. 18, p. 3867-3876. 2014.

GIL-ARIZA, D. J.; AMAYA, I.; LÓPEZ-ARANDA, J. M.; SÁNCHEZ-SEVILLA, J. F.; BOTELLA, M. A.; VALPUESTA, V. Impact of plant breeding on the genetic diversity of cultivated strawberry as revealed by expressed sequence tag-derived simple sequence repeat markers. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 134, n. 3, p. 337-347. 2009.

GOWER, J. C. A general coefficient of similarity and some of its properties. **Biometrics**, p. 857-871. 1971.

HÖFER, M.; DREWES-ALWAZ, R.; SCHEEWE, P.; OLBRIGHT, K. Morphological evaluation of 108 strawberry cultivars—and consequences for the use of descriptors. **Journal of Berry Research**, v. 2, n. 4, p. 191-206. 2012.

HUSSON, F.; JOSSE, J.; LE, S.; MAZET, J. **FactoMineR**: multivariate exploratory data analysis and data mining with R, version 1.42. 2019.

KACZMARSKA, E.; GAWRONSKI, J. Agronomic performance and heterosis of strawberry inbred hybrids obtained by top-cross mating system. **Acta Scientiarum Polonorum-Hortorum Cultus**, v. 18, n. 1, p. 85-97. 2019.

KACZMARSKA, E.; GAWROŃSKI, J.; JABLOŃSKA-RYŚ, E.; ZALEWSKA-KORONA, M.; RADZKI, W.; SLAWIŃSKA, A. Hybrid performance and heterosis in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duchesne), regarding acidity, soluble solids and dry matter content in fruits. **Plant Breeding**, v. 135, n. 2, p. 232-238. 2016.

KADER, A. A. Standardization and inspection of fresh fruits and vegetables. In: Kader, A. (Ed) **Postharvest Technology of Horticultural Crops**. Oakland, University of California, Division of Agriculture and Natural Resources. 2002, pp. 287-360.

LADO, J.; MOLTINI, A. I.; VICENTE, E.; RODRÍGUEZ, G.; ARCIA, P.; RODRÍGUEZ, M.; LÓPEZ, M.; BILLIRIS, A.; ARES, G. Integration of Sensory Analysis into Plant Breeding. **Agrociencia Uruguay**, v. 23, n. 1, p. 1-15. 2019.

LÓPEZ-VALENCIA, D.; SÁNCHEZ-GÓMEZ, M.; ACUÑA-CAITA, J. F.; FISCHER, G. Physicochemical properties of seven outstanding strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) varieties cultivated in Cundinamarca (Colombia) during maturation. **Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria**, v. 19, n. 1, p. 147-162. 2018.

LÖRZ, H.; WENZEL, G. **Molecular marker systems in plant breeding and crop improvement**. New York: Springer Science & Business Media. 2005. 478 p.

MAECHLER, M.; ROUSSEEUW, P.; STRUYF, A.; HUBERT, M.; HORNIK, K. cluster: Cluster Analysis Basics and Extensions. **R package version 2.1.0**. <https://cran.r-project.org/>. 2019.

MAQUIA, I.; MUOCHA, I.; NAICO, A.; MARTINS, N.; GOUVEIA, M.; ANDRADE, I.; GOULAO, F. L.; RIBEIRO, A. I. Molecular, morphological and agronomic characterization of the sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) germplasm collection from Mozambique: Genotype selection for drought prone regions. **South African Journal of Botany**, v. 88, p. 142-151. 2013.

MASNY, A.; PRUSKI, K.; ŻURAWICZ, E.; MAJDRY, W. Breeding value of selected dessert strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) cultivars for ripening time, fruit yield and quality. **Euphytica**, v. 207, n. 2, p. 225-243. 2016.

MASSUCATO, L. R.; NAKAMURA, K. K.; RUAS, P. M.; ZEFFA, D. M.; SILVA, D. J. H. D.; GONÇALVES, L. S. A. Genetic diversity among Brazilian okra landraces detected by morphoagronomic and molecular descriptors. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 42. 2020.

MCGUIRE, R. G. Reporting of objective color measurements. **HortScience**, v. 27, n. 12, p. 1254-1255. 1992.

MEUDT, H. M.; CLARKE, A. C. Almost forgotten or latest practice? AFLP applications, analyses and advances. **Trends in Plant Science**, v.12, n. 3, p. 106–117. 2007.

MEHRAJ, H.; JAMAL UDDIN, A. F. M. Correlation pathway for phenotypic variability study in strawberry. **International Journal Sustainable Agricultural Technology**, v. 10, n. 9, p. 5-10. 2014.

MISHRA, K. K.; FOGAT, R. S.; BALLANI, A.; THAKUR, V.; JHA, Y.; BORA, M. Potential and application of molecular markers techniques for plant genome analysis, **International Journal of Pure and Applied Bioscience**, v.2, p.169-188. 2014.

MORALES, R. G. F.; RESENDE, J. T. V.; FARIA, M. V.; SILVA, P. R. D.; FIGUEIREDO, A. S. T.; CARMINATTI, R. Divergência genética em cultivares de morangueiro, baseada em caracteres morfoagronômicos. **Revista Ceres**, v. 58, n. 3, p. 323-329, 2011.

MOREIRA, A. F. P.; RUAS, P. M.; DE FÁTIMA RUAS, C.; BABA, V. Y.; GIORDANI, W.; ARRUDA, I. M., RODRIGUES, R.; GONÇALVES, L. S. A. Genetic diversity, population structure and genetic parameters of fruit traits in *Capsicum chinense*. **Scientia Horticulturae**, v. 236, p. 1-9. 2018.

MOURA, S. C. S. R.; ROCHA TAVARES, P. E.; GERMER, S. P. M.; NISIDA, A. L. A. C.; ALVES, A. B.; KANAAN, A. S. Degradation kinetics of anthocyanin of traditional and low-sugar blackberry jam. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, n. 6, p. 2488-2496. 2012.

MULAMBA, N. N.; MOCK, J. J. Improvement of yield potential of the Eto Blanco maize (*Zea mays* L.) population by breeding for plant traits. **Egyptian Journal of Genetics and Cytology**, v.7, p.40-51. 1978.

NUNES, C. F.; FERREIRA, J. L.; GENEROSO, A. L.; DIAS, M. S. C.; PASQUAL, M.; CANÇADO, G. M. D. A. The genetic diversity of strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.) hybrids based on ISSR markers. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 35, n. 4, p. 443-452. 2013.

OKSANEN, J.; BLANCHET, F. G.; FRIENDLY, M.; KINDT, R.; LEGENDRE, P.; MCGLIN, D; O'HARA, R.B.; SIMPSON, G. L; SOLYMOS, P.; STEVENS, M. H. H.; SZOECS, E; WAGNER, H. **Vegan: Community Ecology Package**. <https://cran.r-project.org/> . 2019.

OLIVEIRA, A. C. B.; BONOW, S. Novos desafios para o melhoramento genético da cultura do morangueiro no Brasil. **Informe Agropecuário**, v. 33, n. 268, p. 21-26. 2012.

OLIVEIRA, J. D. S.; FALEIRO, F. G. F.; JUNQUEIRA, N. T. V. J.; VIEIRA, E. A. V.; VIANA, M. L. V. Diversidade genética de *Passiflora* spp., baseada em descritores morfoagronômicos. **Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata**, v. 117, n. 2, p. 293-304. 2019.

OLIVEIRA, S. S.; CRUZ, M. S. F. V.; RISTAU, A. C. P.; BRAZ, H.; ALVES, T. N.; ROCHA, H. G. A.; BRAGA, G. C.; GUIMARÃES, V. F. Use of Dimethylsulfoxide on

the Postharvest Conservation and Quality of Strawberry and Peach. **Journal of Experimental Agriculture International**, p. 1-10. 2018.

PAUL, S.; NANDI, S. K.; PALNI, L. M. S. Assessment of genetic diversity and interspecific relationships among three species of *Podophyllum* using AFLP markers and podophyllotoxin content. **Plant systematics and evolution**, v. 299, n. 10, p. 1879-1887. 2013.

PENG, M.; ZONG, X.; WANG, C.; MENG, F. Genetic diversity of strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.) from the Motuo County of the Tibet Plateau determined by AFLP markers. **Biotechnology & Biotechnological Equipment**, v. 29, n. 5, p. 876-881. 2015.

PLUTA, S.; ŻURAWICZ, E.; STUDNICKI, M.; MAŁDY, W. Combining ability analysis for selected plant traits in gooseberry. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 139, n. 3, p. 325-335. 2014.

PBMH e PIMO. Programa Brasileiro Para a Modernização da Horticultura e Produção Integrada de Morango. **Normas de Classificação de Morango** (Documento n.33). São Paulo: CEAGESP. 2009.

QI, J.; CHEN, Y.; COPENHAVER, G. P.; MA, H. Detection of genomic variations and DNA polymorphisms and impact on analysis of meiotic recombination and genetic mapping. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 27, p. 10007-10012. 2014.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; PINTO, C. A. B. P.; SOUZA, E. A.; GONÇALVES, F. M. A.; SOUZA, J. C. **Genética na agropecuária**. 4.ed. Lavras: UFLA, 463p. 2008.

R CORE TEAM. R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>. 2020.

RESENDE, J. T. V.; GABRIEL, A.; MOREIRA, A. F. P.; GONÇALVES, L. S. A.; RESENDE, N.; DE GOES, C. D. M.; ZANIN, D. S. Application of mixed models in the study of the adaptability and stability of short-day and neutral-day strawberry cultivars. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 5, p. 110953104. 2020.

RUGIENIUS, R.; ŠIKŠNIANIENĖ, J. B.; FRERCKS, B.; STANIENĖ, G.; STEPULAITIENĖ, I.; HAIMI, P.; STANYS, V. Characterization of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) cultivars and hybrid clones using SSR and AFLP markers. **Zemdirbyste-Agriculture**, v. 102, n. 2, p. 177-184. 2015.

RUPP, S.; PLESKEN, C.; RUMSEY, S.; DOWLING, M.; SCHNABEL, G.; WEBER, R. W.; HAHN, M. *Botrytis fragariae*, a new species causing gray mold on strawberries, shows high frequencies of specific and efflux-based fungicide resistance. **Applied and environmental microbiology**, v. 83, n. 9. 2017.

SAHU, D.; TRIPATHY, S. K.; SAHOO, B.; NAYAK, S. L.; DALEI, D. R. Role of molecular markers in vegetables improvement. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 8, n. 6, p. 456-460. 2019.

SÁNCHEZ-SEVILLA, J. F.; HORVATH, A.; BOTELLA, M. A.; GASTON, A.; FOLTA, K.; KILIAN, A.; DENOYES, B.; AMAYA, I. (2015) Diversity Arrays Technology (DARt) marker platforms for diversity analysis and linkage mapping in a complex crop, the octoploid cultivated strawberry (*Fragaria x ananassa*). **PLoS One**, v. 10, n. 12, p. e0144960. 2015.

SANDHU, A. K., HUANG, Y., XIAO, D., PARK, E., EDIRISINGHE, I., BURTON-FREEMAN, B. Pharmacokinetic characterization and bioavailability of strawberry anthocyanins relative to meal intake. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 64, n. 24, p. 4891-4899. 2016.

SCHUSTER, I. Marker-assisted selection for quantitative traits. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 11, p. 50-55. 2011.

SIECZKO, L.; MASNY, A.; PRUSKI, K.; ŻURAWICZ, E.; MAJDRY, W. Multivariate assessment of cultivars' biodiversity among the Polish strawberry core collection. **Horticultural Science**, v. 42, n. 2, p. 83-93. 2015.

SOUZA, D. C.; OSSANI, P. C.; RESENDE, L. V.; CIRILLO, M. Â.; LIMA, L. F.; XAVIER, J. B. Variabilidade genética entre cultivares comerciais e híbridos experimentais de morangueiro com ênfase em análise de múltiplos fatores. **MAGISTRA**, v. 30, p. 48-59. 2019.

SOUZA, D. C.; VIEIRA, S. D.; RESENDE, L. V.; GALVÃO, A. G.; FERRAZ, A.; RESENDE, J. T. V.; ELIAS, H. H. S. Propriedades físico-químicas em frutos de híbridos experimentais de morangueiro. **Agrotropica**, v. 29, n. 1, p. 85-96. 2017.

TEMOCICO, G.; STURZEANU, M.; ION, V.; CRISTEA, S. Evaluation of strawberry fruit quality for new selections and cultivars. **Romanian Biotechnological Letters**, v. 24, n. 4, p. 742-748. 2019.

VIEIRA, S. D.; DE SOUZA, D. C.; MARTINS, I. A.; RIBEIRO, G. H. M. R.; RESENDE, L. V.; FERRAZ, A. K. L.; GALVÃO, A. G.; RESENDE, J. T. V. Selection of experimental strawberry (*Fragaria x ananassa*) hybrids based on selection indices. **Genetics and molecular research**, v. 16, n. 1, 2017.

VOS, P.; HOGERS, R.; BLEEKER, M.; REIJANS, M.; LEE, T.; HORNES, M.; FRIGTRS, A.; POT, J.; PELEMAN, J.; KUIPER, M.; ZABEAU, M. AFLP: a new technique for DNA fingerprinting. **Nucleic Acids Reserach**, v. 23, n. 21, p. 4407-4414. 1995.

WADA, Takuya et al. Development and characterization of a strawberry MAGIC population derived from crosses with six strawberry cultivars. **Breeding science**, v. 67, n.4, p. 17009. 2017.

WANG, Y.; CHARLES, M. T.; DONG, W. X.; DUBÉ, C.; KHANIZADEH, S. Distribution of phenolic components and their antioxidant capacity in strawberries. **Journal of Food Research**, v. 3, n. 2, p. 54-60. 2014.

WANG, J.; YUE, C.; GALLARDO, K.; MCCRACKEN, V.; LUBY, J.; MCFERSON, J. What consumers are looking for in strawberries: Implications from market segmentation analysis. **Agribusiness**, v. 33, n. 1, p. 56-69. 2017.

YOON, M. Y.; MOE, K. T.; KIM, D. Y.; RHO, I. R.; KIM, S.; KIM, K. T.; WON, M. K.; CHUNG, J. W.; PARK Y. J. Genetic diversity and population structure analysis of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) using SSR markers. **Electronic Journal of Biotechnology**, v. 15, n. 2, p. 6-6. 2012.

ZANIN, D. S.; FAGHERAZZI, A. F.; TILLWITZ, K. V.; DE LIMA, J. M.; KRETZSCHMAR, A. A. Evaluation of advanced selections of strawberry in southern Brazil. **Científica**, v. 47, n. 4, p. 388-399, 2019b.

ZEIST, A. R.; RESENDE, J. T. V. Strawberry breeding in Brazil: current momentum and perspectives. **Horticultura Brasileira**, v. 37, n. 1, p. 7-16. 2019.

ZORRILLA-FONTANESI, Y.; CABEZA, A.; DOMÍNGUEZ, P.; MEDINA, J. J.; VALPUESTA, V.; DENOYES-ROTHAN, B.; SANCHÉZ-SEVILLA, J. F.; AMAYA, I. Quantitative trait loci and underlying candidate genes controlling agronomical and fruit quality traits in octoploid strawberry (*Fragaria x ananassa*). **Theoretical and applied genetics**, v. 123, n. 5, p. 755-778. 2011.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O morango é a pequena fruta mais cultivada e consumida no mundo, sendo notável sua importância para o setor agrícola mundial. Com isso, cada vez mais pesquisas estão sendo desenvolvidas para compreender e disseminar conhecimento a respeito dessa espécie.

O Brasil não se encontra entre os maiores produtores mundiais, no entanto, a cultura do morangueiro tem se expandido no país com o passar dos anos, tanto em área plantada, quanto em produção. Porém, a baixa disponibilidade de cultivares nacionais acarreta na dependência de mudas importadas de outros países, o que coloca em risco toda a cadeia produtiva, visto que, existem riscos decorrentes da possibilidade da introdução de novas pragas e patógenos em território brasileiro e a baixa adaptabilidade às condições edafoclimáticas que afetam a produtividade da cultura. Na literatura há relatos de novas estirpes de patógenos, como *Fusarium oxysporum*, introduzidas por meio de mudas importadas do Chile. A mosca *Bradysia* spp. também foi introduzida no Brasil por meio de mudas importadas. Outro problema que já foi detectado nas principais regiões produtoras do Brasil é o “vermelhão” do morango, o qual apesar de apresentar várias semelhanças à uma doença, ainda é uma enfermidade de causa desconhecida, porque não foi possível associar um patógeno, ou agente causal, como um fungo, vírus, bactéria ou nematoide. Além disso, a importação de mudas pode onerar os custos de produção e o plantio pode ser atrasado em virtude da demora para o envio das mudas aos produtores, o que pode causar reflexos negativos no potencial produtivo.

Para contornar todos esses entraves, o Brasil precisa investir em pesquisas e programas de melhoramento genético do morangueiro. A Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO) e a Universidade Estadual de Londrina (UEL), assim como outras instituições, estão empenhadas nos esforços para mudar o cenário da pesquisa com morangueiro no país, visando o desenvolvimento de materiais nacionais que apresentem bons níveis de produção e que aliem a qualidade físico-química e nutricional para serem aceitos pelo mercado consumidor.

Neste contexto, este trabalho vem a acrescentar informações sobre materiais promissores para serem utilizados em cruzamentos e futuramente serem lançados no mercado como novas cultivares. Essas informações foram fornecidas por

meio de diferentes ferramentas e abordagens, visando acessar de forma detalhada a variabilidade genética presente entre os genótipos estudados, o que é o passo inicial em um programa de melhoramento. Foi possível observar a diferença contrastante entre genótipos oriundos de genitores em comum, assim como foi possível identificar genitores que não apresentaram eficácia na melhoria das características na sua progênie. Esses resultados denotam a importância do prévio conhecimento sobre o material a ser trabalhado, o que pode acelerar as etapas em um programa de melhoramento.

Os materiais identificados neste trabalho continuarão sendo avaliados para a obtenção de genótipos com características promissoras para serem incluídos na lista de cultivares brasileiras de morangueiro, contribuindo para o avanço da cultura do país.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Lista dos descritores morfoagronômicos utilizados para caracterização dos híbridos de morangueiro

a) Caracteres de planta e parte vegetativa

1. Hábito de crescimento (QL)¹



1 – ereto



2 – semiereto



3 – aberto

2. Densidade da folhagem (QL)¹



3 – esparsa

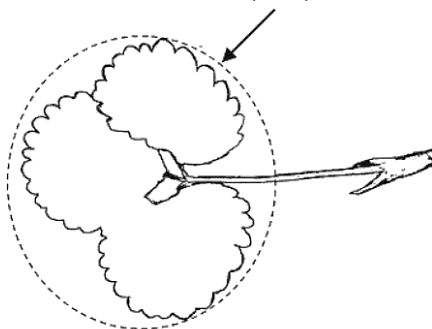


5 – média



7 – densa

3. Tamanho da folha (QN)⁶



Obs.: Para avaliação do tamanho da folha excluem-se o pecíolo e as estípulas.

4. Cor da face superior da folha – Luminosidade (QN)⁶

5. Cor da face superior da folha – Ângulo *hue* (QN)⁶

6. Brilho da folha (QL)¹

1 – ausente ou fraco 2 – médio 3 – forte

7. Abaulamento internerval (QL)¹

1 – ausente ou fraco



2 – médio



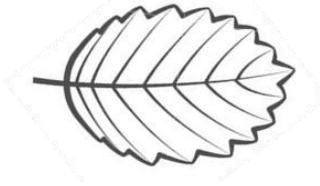
3 – forte

8. Relação comprimento/largura folíolo terminal (QL)¹

1 – mais curto 2 – igual 3 – moderadamente mais longo 4 – muito mais longo

9. Forma da seção transversal do folíolo terminal (QL)¹

1 – côncava



2 – plana



3 – convexa

10. Forma da base do folíolo terminal (QL)¹

1 – aguda



2 – obtusa



3 – arredondada

11. Tipo de margem do folíolo terminal (QL)¹

1 – serrilhada



2 – serrilhada a crenada



3 – crenada

12. Comprimento do pecíolo (cm) (QN)²

13. Posição dos pelos no pecíolo (QL)¹



1 – oblíquos para cima



2 – quase perpendiculares



3 – perpendiculares

14. Pigmentação antociânica das estípulas (QL)¹

1 – ausente ou muito fraca 3 – fraca 5 – média 7 – forte 9 – muito forte

b) Caracteres de flor

15. Posição da inflorescência na folhagem (QL)³

1 – abaixo 2 – no mesmo nível 3 – acima

16. Projeção da cimeira (QL)⁶

1 – para dentro da copa 2 – para fora da copa

17. Proteção da inflorescência pelas folhas (QL)⁴

1 – pouco 2 – regularmente 3 – muito

18. Posição dos pelos no pedicelo (QL)¹



1 – oblíquos para cima

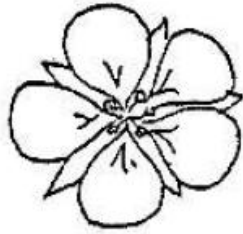


2 – quase perpendiculares

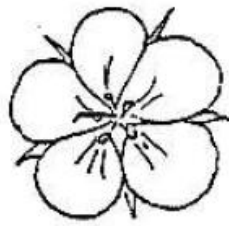


3 – perpendiculares

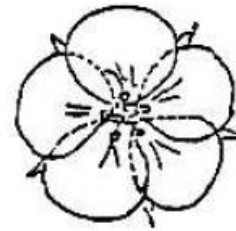
19. Diâmetro da flor (cm) (QN)⁶

20. Disposição das pétalas (QL)¹

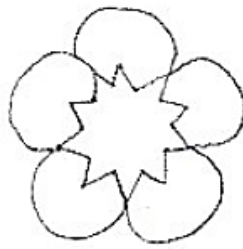
1 – livres



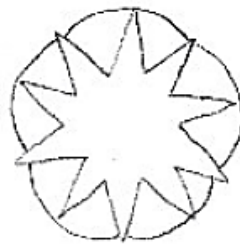
2 – tangentes



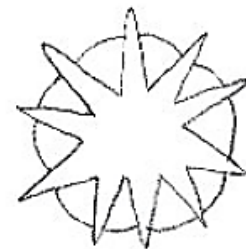
3 – imbricadas

21. Tamanho do cálice em relação à corola (QL)¹

1 – menor



2 – mesmo tamanho



3 – maior

22. Comprimento em relação à largura da pétala (QL)¹

- 1 – muito mais curta 2 – moderadamente mais curta 3 – igual
 4 – moderadamente mais comprida 5 – muito mais comprida

23. Cor da face superior da pétala (QL)¹

- 1 – branca esverdeada 2 – branca 3 – rosa 4 – vermelha 5 – amarela

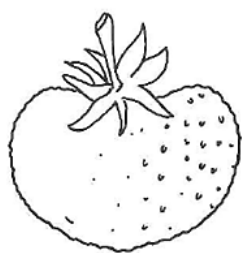
c) Caracteres de fruto

24. Massa total de frutos (QN)

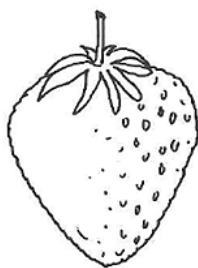
25. Massa de frutos comerciais (QN)

26. Massa média de frutos comerciais (QN)

27. Teor de sólido solúveis (QN)⁷28. Firmeza (QN)⁶

29. Formato dos frutos (QL)¹

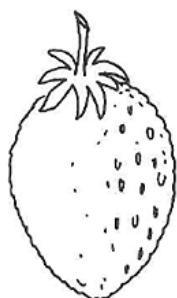
1 – reniforme



2 – cônico



3 – cordiforme



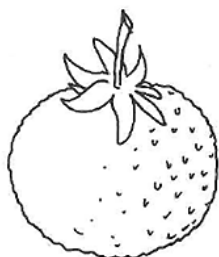
4 – ovalado



5 – cilíndrico



6 – romboide



7 – oblado



8 – globoso



9 – cuneiforme

30. Formato da extremidade dos frutos (QL)⁵

1 – pontiagudo



2 – arredondado



3 – obtuso



4 – oco



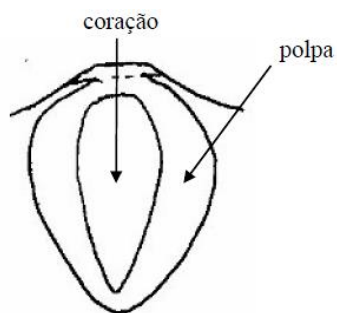
5 – fenda



6 – oco-obtuso

31. Cor externa dos frutos – Luminosidade (QN)⁶32. Cor externa dos frutos – Ângulo *hue* (QN)⁶

33. Cor interna dos frutos (excluída a cavidade central/coração) – Luminosidade (QN)⁶



34. Cor interna dos frutos (excluída a cavidade central/coração) – Ângulo *hue* (QN)⁶

35. Uniformidade da cor (QL)¹



1 – uniforme



2 – levemente desuniforme



3 – fortemente desuniforme

36. Brilho dos frutos (QL)¹

3 – fraco 5 – médio 7 – forte

37. Uniformidade da superfície do fruto (QL)¹



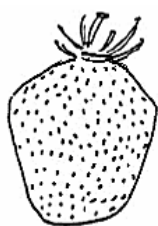
1 – uniforme ou muito levemente irregular



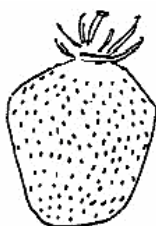
2 – levemente irregular



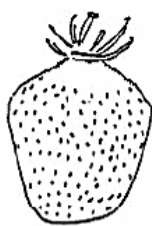
3 – fortemente irregular

38. Largura da zona sem aquênios (QL)¹

1 – ausente ou muito estreita



3 – estreita



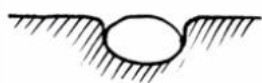
5 – média



7 – larga



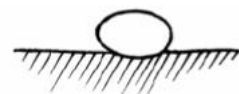
9 – muito larga

39. Posição dos aquênios (QL)¹

1 – abaixo do nível da superfície



2 – mesmo nível da superfície



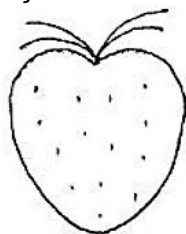
3 – acima do nível da superfície

40. Coloração dos aquênios (QL)⁸

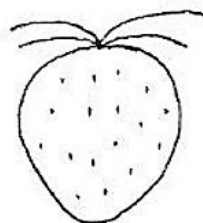
1 – claro

2 – escuro

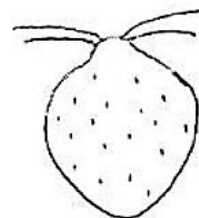
3 – vermelho

41. Posição da inserção do cálice (QL)¹

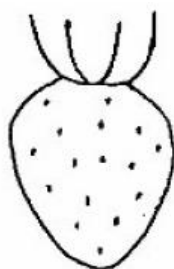
1 – inclusa



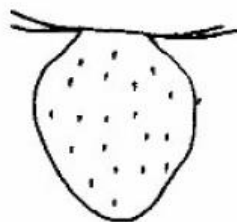
2 – no nível da superfície do fruto



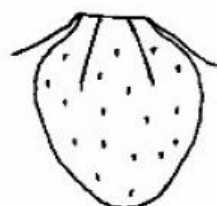
3 – saliente

42. Orientação das sépalas (QL)¹

1 – para cima



2 – para fora



3 – para baixo

43. Diâmetro do cálice em relação ao diâmetro do fruto (QL)¹

1 – muito menor 2 – menor 3 – igual 4 – maior 5 – muito maior

Obs.:O diâmetro do cálice deve ser medido com as sépalas aplanadas.

44. Cor da cavidade central (QL)¹

1 – branca



2 – vermelha clara



3 – vermelha média

45. Aspecto cavidade central (QL)¹

1 – maciça



2 - intermediária

3 – ocada

46. Ocorrência de pescoço nos frutos (QL)⁴

1 – muito côncavo



2 – côncavo



3 – plano



4 – saliente



5 – muito saliente

OBSERVAÇÕES:

QL: característica qualitativa

QN: característica quantitativa

¹ UPOV (International Union for the Protection of New Varieties of Plants). Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability (Strawberry). TG/22/10. 2012.

²QUEIROZ VOLTAN, R. B.; MENAÇOLLI, S. L. J.; PASSOS, F. A.; SANTOS, R. R. D. Caracterização botânica de cultivares de morangueiro. **Bragantia**, v. 55, n. 1, p. 29-44. 1996.

³IBPGR. Strawberry descriptors (*Fragaria* L.) International Board for plant genetic resources, Rome. 1986.

⁴PASSOS, F.A.; GRIDI-PAPP, I.L.; CAMARGO, C.E.O.; CHIAVEGATO, E.J.; - DALL'ORTO, F.A.C.; NAGAI, H.; deGODOY, I.J.; FAZUOLI, L.C.; VEIGA, R.F.A. Descritores mínimos para o registro institucional de cultivares: MORANGO. Campinas: IAC, 1994. 8 p. (IAC Documentos, 40).

⁵LEMAITRE, R.; LINDEN, R. **Le fraisier à gros fruits**. Description et identification de variétés. Gembloux: J. Duculot, S.A., 1968. 234 p.

⁶Adaptado de UPOV (2012).

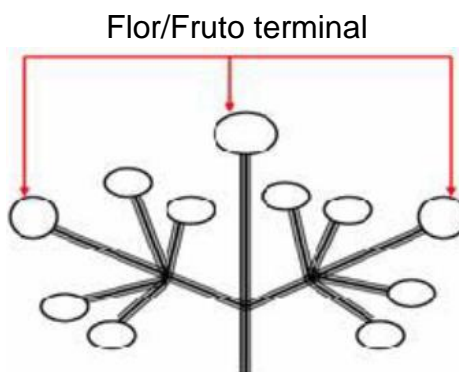
⁷Adaptado de IBPGR (1986).

⁸Adaptado de Queiroz Voltan et al. (1996).

As observações nas folhas foram realizadas em folhas completamente desenvolvidas.

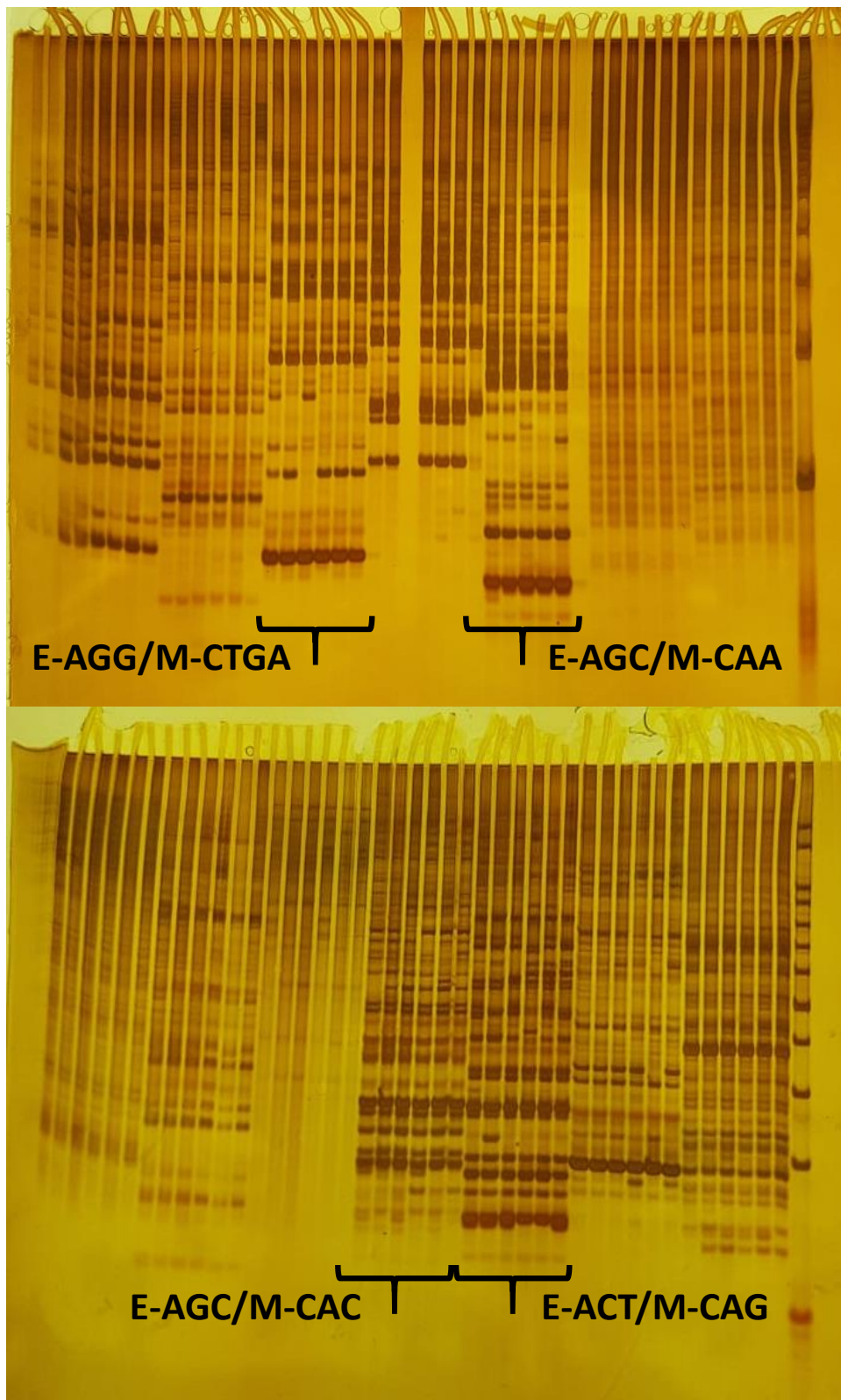
As observações nas flores não foram realizadas na flor terminal.

As observações não foram realizadas nos frutos terminais.



APÊNDICE B

Polimorfismo de AFLP de seis híbridos de morangueiro, gerado por quatro diferentes combinações de *primers* seletivos, em gel de poliacrilamida 7%.



APÊNDICE C

Média aritmética de 34 híbridos de morangueiro para 12 características quantitativas significativas pelo teste F.

Híbrido	MTF	MFC	MMFC	Firmeza	SS	AF	CP
RVFS06AL-36	419.00	334.67	13.46	2.88	8.25	115.69	12.67
RVFS06AL-132	691.00	569.33	14.82	4.00	8.58	114.44	10.05
RVFS07AL-28	321.00	215.67	13.75	4.76	8.15	153.93	13.38
RVFS06M-29	110.00	75.00	13.41	3.58	9.23	87.61	11.53
RVFS07M-2	562.67	468.33	15.33	5.47	8.06	144.03	13.10
RVFS07M-5	948.67	866.67	19.06	6.29	7.89	181.16	14.25
RVFS07M-10	832.33	653.33	14.77	5.00	8.40	120.09	10.38
RVFS07M-16	604.33	434.00	14.42	4.01	9.86	150.15	9.48
RVFS07M-24	1569.00	1106.00	11.33	3.94	7.29	128.13	11.02
RVFS07M-30	361.33	262.67	14.27	6.99	7.83	155.28	12.35
RVFS07M-31	1046.67	793.00	15.61	3.85	6.89	175.47	10.96
RVFS07M-32	1000.00	782.00	11.69	5.47	7.36	94.93	10.36
RVFS07M-33	1113.33	875.00	15.49	4.04	6.99	121.04	11.46
RVFS07M-34	1149.00	940.33	15.76	5.00	7.48	142.00	10.14
RVFS07M-36	899.33	741.00	14.09	4.09	7.40	172.65	11.05
RVFS07M-38	451.67	369.33	16.81	4.38	8.22	161.28	12.45
RVFS07M-42	123.00	76.33	10.87	7.45	9.39	142.30	9.98
RVFS07M-47	472.33	356.00	16.02	4.13	9.08	143.80	10.43
RVFS07M-80	836.00	645.33	15.24	4.92	8.23	142.24	11.79
RVFS07M-88	455.33	312.67	13.65	5.31	9.86	127.92	12.73
RVFS07M-113	520.33	367.00	15.05	5.67	9.40	96.30	10.11
RVFS07M-124	615.67	538.33	17.07	5.85	8.10	145.81	13.37
RVFS07M-151	236.67	172.67	14.29	4.03	8.71	121.74	11.68
RVFS07M-154	1078.67	760.00	14.73	3.53	8.48	109.26	12.10
RVFS07M-179	610.67	510.33	16.63	4.43	8.02	122.59	12.37
RVDA11M-3	723.33	591.67	16.17	6.10	7.75	120.94	11.71
RVDA11M-4	1477.00	1195.00	20.52	3.90	7.71	123.76	12.40
RVDA11M-10	623.00	440.33	14.37	3.92	9.24	136.12	11.03
RVDA11M-21	901.00	640.33	14.91	4.05	6.91	121.69	11.29
RVDA11M-25	709.33	480.33	13.30	4.15	11.75	105.70	11.39
RVDA11M-28	373.33	288.00	14.02	2.91	8.68	142.02	10.92
RVDA11M-29	409.00	234.33	12.63	5.48	8.78	106.10	10.43
RVDA11M-32	626.67	508.33	14.85	3.64	8.66	137.88	11.25
RVCA16M-1	887.33	666.33	15.15	6.39	8.16	106.72	9.73
Monterey	439.33	367.67	11.78	3.74	9.67	145.39	15.13
Albion	401.67	337.00	11.21	4.94	8.22	137.89	17.13

MTF: massa total de frutos; MFC: massa de frutos comerciais; MMFC: massa média de frutos comerciais; Firmeza; SS: sólidos solúveis; AF: área foliar e CP: comprimento do pecíolo.

Continua...

Continuação.

Híbrido	DF	LF	hF	LEF	hEF	LIF	hIF
RVFS06AL-36	2.00	37.13	133.34	36.43	19.62	52.33	41.66
RVFS06AL-132	2.93	37.97	128.49	35.21	17.32	57.82	48.20
RVFS07AL-28	2.46	39.32	130.26	36.85	20.08	52.79	40.27
RVFS06M-29	2.45	38.09	133.46	31.70	22.78	55.89	41.59
RVFS07M-2	3.09	37.86	133.92	35.90	16.79	47.47	40.02
RVFS07M-5	2.69	38.75	131.84	37.66	20.13	51.12	40.07
RVFS07M-10	2.74	37.96	133.43	33.95	17.39	55.68	42.34
RVFS07M-16	2.90	40.60	131.09	34.75	20.44	51.92	39.93
RVFS07M-24	2.76	37.80	130.72	33.83	16.27	50.59	39.54
RVFS07M-30	2.75	38.90	133.54	34.45	17.11	52.19	40.94
RVFS07M-31	2.68	37.82	133.85	35.21	19.01	49.43	39.35
RVFS07M-32	2.83	38.01	133.44	34.16	18.51	47.07	39.03
RVFS07M-33	2.71	41.76	127.84	33.74	16.92	50.31	40.99
RVFS07M-34	2.73	37.40	129.69	35.23	21.53	45.79	35.99
RVFS07M-36	2.92	39.18	127.82	32.55	14.65	50.64	38.54
RVFS07M-38	2.97	37.84	133.99	36.19	21.73	53.10	40.89
RVFS07M-42	1.69	36.16	133.22	35.46	15.88	44.76	35.35
RVFS07M-47	2.78	36.93	132.77	37.21	25.12	44.40	41.15
RVFS07M-80	2.49	37.86	131.72	33.16	12.51	49.69	37.21
RVFS07M-88	2.60	37.43	132.79	36.19	21.91	55.58	42.38
RVFS07M-113	2.23	37.91	130.73	34.15	16.96	56.54	43.63
RVFS07M-124	2.97	37.12	132.17	35.08	15.63	46.63	35.07
RVFS07M-151	2.83	37.47	131.79	34.90	21.36	52.43	40.07
RVFS07M-154	2.71	38.20	132.40	33.16	12.13	53.43	40.99
RVFS07M-179	3.02	35.73	136.87	33.05	13.42	51.24	41.02
RVDA11M-3	2.55	36.84	134.45	33.68	11.86	51.21	40.19
RVDA11M-4	2.81	37.01	129.10	33.12	16.20	54.37	42.63
RVDA11M-10	2.71	37.71	133.41	36.39	19.12	54.32	42.83
RVDA11M-21	2.46	38.22	131.45	34.54	14.20	52.40	40.47
RVDA11M-25	2.43	37.50	132.43	32.98	13.35	46.63	38.21
RVDA11M-28	2.71	38.05	130.55	36.86	20.86	57.63	44.80
RVDA11M-29	2.22	38.88	132.38	32.96	11.51	52.48	43.37
RVDA11M-32	2.63	40.39	129.84	34.66	16.92	56.13	36.11
RVCA16M-1	2.19	39.43	131.98	32.70	8.99	58.35	48.26
Monterey	2.17	37.97	134.37	35.93	16.16	43.13	36.14
Albion	2.80	40.80	135.77	35.59	19.16	52.39	39.91

DF: diâmetro da flor; LF: luminosidade da folha; hF: ângulo *hue* da folha; LEF: luminosidade parte externa do fruto; hEF: ângulo *hue* da parte externa do fruto; LIF: luminosidade da parte interna do fruto; hIF: ângulo *hue* da parte interna do fruto.