



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

GISELY PAULA GOMES

**ESTUDOS GENÉTICOS, ANÁLISE BIOQUÍMICAS E
QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE
*Capsicum baccatum***

Londrina
2018

GISELY PAULA GOMES

**ESTUDOS GENÉTICOS, ANÁLISE BIOQUÍMICAS E
QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE
*Capsicum baccatum***

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina,
como requisito parcial á obtenção do título de
Doutora.

Orientador: Prof. Dr. Leandro Simões Azeredo
Gonçalves

Coorientadora do exterior: Cristina Silvar Pereiro

Londrina
2018

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

Gomes, Gisely Paula.

ESTUDOS GENÉTICOS, ANÁLISE BIOQUÍMICAS E QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE *Capsicum baccatum* / Gisely Paula Gomes. - Londrina, 2018.
82 f. : il.

Orientador: Leandro Simões Azeredo Gonçalves.

Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2018.

Inclui bibliografia.

1. Pimenta *Capsicum baccatum*, *Capsicum baccatum* var. *pendulum* - Tese. 2. Qualidade fisiológica de sementes de genótipos de pimenta "dedo-de moça" - Tese. 3. Caracterização físico-química e antioxidantes *in vitro* e *in vivo* - Tese. 4. Dialelo, capacidade específica e geral de combinação, compostos bioativos - Tese. I. Gonçalves, Leandro Simões Azeredo. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

GISELY PAULA GOMES

**ESTUDOS GENÉTICOS, ANÁLISE BIOQUÍMICAS E
QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE
*Capsicum baccatum***

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina,
como requisito parcial á obtenção do título de
Doutora.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Leandro Simões A. Gonçalves
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Profa. Dra. Lúcia Sadayo Assari Takahashi
Universidade Estadual de Londrina - UEL

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

Dr. Gustavo Hiroshi Sera
Instituto Agrônômico do Paraná - IAPAR

Dra. Suzana Tiemi Ivamoto
Universidade Estadual Paulista - UNESP

Londrina, 27 de fevereiro de 2018.

AGRADECIMENTOS

À Deus pela minha vida e pela força nos momentos em que mais precisei para vencer os obstáculos surgidos durante este percurso.

À Universidade Estadual de Londrina, pela oportunidade da realização desse trabalho.

A CAPES pelo apoio à pesquisa e pela bolsa de estudo concedida, ao Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior pela oportunidade e bolsa concedida.

Ao meu orientador prof. Dr. Leandro Simões Azeredo Gonçalves pela dedicação, colaboração e paciência durante todo o processo.

Aos professores Federico Pomar e Cristina Silvar Pereiro pelo apoio e ajuda no experimento realizado em Coruña-Espanha.

Aos integrantes da banca examinadora Sergio Ruffo Roberto, Suzana T. Ivamoto, Gustavo H. Sera, Lúcia S.A Takahashi por terem disponibilizado seu precioso tempo na avaliação deste trabalho.

Aos professores do curso de pós-graduação em Agronomia pelos ensinamentos transmitidos, em especial, à professora Lúcia Sadayo Assari Takahashi pela amizade e pelos conhecimentos transmitidos que tanto colaboraram para o meu crescimento.

Aos técnicos e funcionários do Laboratório de solos, de fitotecnia do Departamento de Agronomia e o laboratório de alimentos pelo apoio na realização deste objetivo, principalmente ao Sr. Biê, Geraldo e Marcio.

Aos meus pais que sempre primaram pela minha educação, pois além de me oferecerem a oportunidade de estudar, sempre estiveram presentes, me apoiando incondicionalmente e, principalmente, por terem acreditado, compartilhado dos meus sonhos e me ajudado quando precisei. Aos meus queridos Lipi e Jonhny.

Ao meu marido Robison pela sua fundamental companhia e compreensão. O tempo todo ao meu lado, nos momentos mais difíceis e aos meus irmãos pelo incentivo e principalmente, por fazerem parte da minha vida e a minha avó Maria de Campos Vieira.

Ao meu amigo Clério Júnior pelos momentos de convivência, pelo incentivo e principalmente pela amizade. Aos doutorandos Felipe, Gustavo, graduanda Priscila, aos amigos Leonel, Douglas, Anderson, Viviane, Alba, Jorge e Karina pela ajuda e amizade aos demais colegas e amigos que me auxiliaram durante estes quatro anos de alguma maneira.

A todos os meus amigos não citados do Brasil e de Coruña e familiares.

A todos que participaram dessa conquista... **Muito Obrigada!**

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

José de Alencar

GOMES, Gisely Paula. **Estudos genéticos, análise bioquímicas e qualidade fisiológica de sementes de *Capsicum baccatum***. 2018. 82 f. Tese de Doutorado em Agronomia – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2018.

RESUMO

As pimentas *Capsicum* são produtos de grande relevância para a agricultura mundial, se destacando como alimento funcional pelo seu alto valor nutricional, vitaminas, carotenos e substâncias antioxidantes. Um aspecto importante para a produção de sementes é a determinação da maturidade fisiológica e o momento adequado de colheita, visando obter sementes de alta qualidade. Sendo assim, este trabalho teve como objetivo geral avaliar o potencial fisiológico de sementes, os atributos químico dos frutos, assim como a capacidade antioxidante dos frutos e caracterizar genótipos de pimenta *Capsicum baccatum* var. *pendulum* com potencial uso em programas de melhoramento genético. Dessa maneira, foram realizados três trabalhos divididos em artigos. No primeiro e segundo artigo foram utilizados cinco genótipos de pimenta “dedo-de-moça” do banco de germoplasma da Universidade Estadual de Londrina (UEL) e o experimento realizado em casa de vegetação. O terceiro artigo foi realizado em campo experimental da UEL. O primeiro artigo teve como propósito avaliar o potencial fisiológico de sementes de pimenta “dedo-de-moça” em três estádios de maturação (verdes, alaranjados e vermelhos), sem e com repouso de 10 dias dos frutos a partir da colheita. As sementes foram avaliadas imediatamente pós-colheita e após o repouso por 10 dias dos frutos e submetidas aos testes de germinação e vigor. Na comparação das sementes extraídas logo após a colheita e após o repouso por 10 dias dos frutos, foi observado que o repouso do fruto verde favoreceu a qualidade fisiológica das sementes. Uma aplicação prática é a possibilidade de produtores de sementes concentrarem a colheita obtendo maiores quantidades de frutos, pela seleção e repouso de frutos verdes e alaranjados, podendo obter lotes de sementes com potencial fisiológico. No segundo trabalho, os atributos físico-químicos e nutricionais, foram avaliados além da atividade antioxidante pelos métodos *in vitro* e *in vivo*, visando à disponibilização de cultivares mais ricas em fatores nutricionais para indústria de alimentos. Pela análise de variância foi observado efeito significativo dos acessos para maioria das características. Os acessos UEL 112 e UEL 113 foram destaque para relação (Sólidos Solúveis Total/ acidez titulável). Para vitamina C e fenólicos totais os acessos UEL 112 e UEL 114. Enquanto UEL 112 e UEL 113 obtiveram os maiores valores de capsaicinoides. Para atividade antioxidantes os acessos UEL 111 e UEL 112 apresentaram os maiores valores. Esses resultados ressaltam as propriedades nutraceuticas da pimenta “dedo-de-moça”, valorizando-a como um importante alimento da culinária mundial. O terceiro artigo avaliou a capacidade combinatória de genótipos de pimenta “dedo-de-moça” no que diz respeito a caracteres agronômicos e nutricionais, identificando as combinações híbridas superiores para isso, foram realizados cruzamentos dialélicos entre cinco genótipos de pimenta “dedo-de-moça”, obtendo um total de 20 combinações híbridas. Houve efeito significativo para a capacidade geral e específica de combinação e efeito recíproco para maioria das características morfoagronômicas, fitoquímicas e atividade antioxidante, indicando que o efeito aditivo, não-aditivo e citoplasmático estão envolvidos no controle genético. A preponderância do efeito não-aditivo indicou que a exploração do vigor híbrido pode ser considerada uma estratégia importante para obtenção de genótipos superiores. As combinações Horticeres x BRS Mari e Hortivale x BRS Mari foram consideradas promissoras reunindo produção por planta e características fitoquímicas.

Palavras-chave: Capacidade geral de combinação. Melhoramento de pimenta. Análise dialélica. Nutricional. Compostos bioativos.

GOMES, Gisely Paula. **Genetic studies, biochemical analysis and physiological quality of seeds of *Capsicum baccatum***. 2018. 82 p. PhD Thesis in Agronomy – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2018.

ABSTRACT

Capsicum peppers are products of great relevance for world agriculture, being distinguished as functional food by its high nutritional value, vitamins, carotenes and antioxidant substances. An important aspect for the production of seeds is the determination of the physiological maturity and the appropriate moment of harvest, aiming to obtain seeds of high quality. Therefore, the objective of this work was to evaluate the physiological potential of seeds, the chemical attributes, as well as the antioxidant capacity of the fruits and to characterize pepper genotypes *Capsicum baccatum* var. *pendulum* with potential use in breeding programs. In this way, three papers were divided in articles. In the first and second article, five genotypes of "dedo-de-moça" chilli peppers of the germolasma bank of the State University of Londrina (UEL) were used and the experiment was carried out under greenhouse conditions. The third article was carried open skies in the experimental field of UEL. The first article had the purpose of evaluating the physiological potential of "dedo-de-moça" chilli peppers seeds in three stages of maturation (green, orange and red), without and with 10 days rest of the fruits from the harvest. The seeds were evaluated immediately post-harvest and after the rest for 10 days of the fruits and submitted to the tests of germination and vigor. In the comparison of the seeds extracted at the post-harvest and after the rest for 10 days of the fruits, it was observed that the rest of the green fruit favored the physiological quality of the seeds. A practical application is the possibility of seed producers concentrating the harvest obtaining larger quantities of fruits, by the selection and rest of green and orange fruits, being able to obtain lots of seeds with physiological potential. In the second work, the physical-chemical and nutritional attributes were evaluated in addition to the antioxidant activity by *in vitro* and *in vivo* methods, aiming at the availability of richer cultivars in nutritional factors for the food industry. The analysis of variance was observed a significant effect of the accessions for most of the characteristics. The accessions UEL 112 and UEL 113 were highlighted for relation (Total Soluble Solids / titratable acidity). For vitamin C and total phenolics the accessions UEL 112 and UEL 114. While UEL 112 and UEL 113 obtained the highest values of capsaicinoids. For antioxidant activity, UEL 114 and UEL 110 showed the highest values. These results highlight the nutraceutical properties of "dedo-de-moça" chilli peppers, valuing it as an important food of the world cuisine. The third article evaluated the combinatorial ability of "dedo-de-moça" chilli peppers genotypes with respect to agronomic and nutritional characteristics, identifying the superior hybrid combinations for this, diallel crosses between five genotypes of "dedo-de-moça" chilli peppers. There was a significant effect on the general and specific combination and reciprocal effect for most morphoagronomic, phytochemical and antioxidant activity, indicating that the additive, non-additive and cytoplasmic effects are involved in the combination of Horticerés x BRS Mari and Hortivale x BRS Mari were considered promising, combining production by plant and phytochemical characteristics.

Keywords: General combining ability. Pepper breeding. Diallel analysis. Nutritional. Bioactive compounds.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1	<i>CAPSICUM</i>	12
2.1.1	Origem e Características Botânicas	12
2.1.2	Importância Econômica e Social	13
2.1.3	Importância Nutricional	14
2.2	Qualidade Fisiológica de Sementes	16
2.3	<i>CAPSICUM BACCATUM</i>	17
2.3.1	Melhoramento Genético.....	18
2.3.2	Análise Dialética	18
	REFERÊNCIAS	21
3	ARTIGO A - POTENCIAL FISIOLÓGICO DE SEMENTES DE GENÓTIPOS DE PIMENTA “DEDO-DE-MOÇA” EM FUNÇÃO DO ESTÁDIO E DE REPOUSO DOS FRUTOS	29
	Resumo e Abstract.....	29
	Introdução	30
	Material e Métodos	32
	Resultados e Discussão.....	33
	Referências	37
4	ARTIGO B - CARACTERIZAÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE <i>in vitro</i> E <i>in vivo</i> EM ACESSOS DE PIMENTA “ DEDO-DE-MOÇA” (<i>Capsicum baccatum</i> var. <i>pendulum</i>)	42
	Resumo e Abstract.....	42
	Introdução	43
	Material e Métodos	45
	Resultados e Discussão.....	49
	Conclusão.	52
	Referências	52

5	ARTIGO C - ANÁLISE GENÉTICA PARA CARACTERÍSTICAS MORFOAGRONÔ- MICAS, FITOQUÍMICAS E ANTIOXIDANTES DE <i>Capsicum baccatum</i> var. <i>pendulum</i>	58
	Resumo e Abstract.....	58
	Introdução	59
	Material e Métodos.....	61
	Resultados	64
	Discussão	67
	Conclusão	70
	Referências	70
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	82

1 INTRODUÇÃO

A pimenta (*Capsicum* spp.) é considerada uma das principais olerícolas cultivadas no mundo, atendendo não somente ao consumo *in natura*, mas também às indústrias alimentícias, farmacêuticas e cosméticas. Esse gênero é composto por 38 espécies, sendo cinco consideradas domesticadas: *C. annuum* L., *C. frutescens* L., *C. chinense* Jacq., *C. pubescens* e *C. baccatum* L (USDA-ARS, 2011).

A espécie *C. baccatum* é considerada uma das principais pimentas da América do Sul, tendo o seu centro de origem na Bolívia e no sul do Peru (D'Arcy e Eshbaugh, 1974). O cultivo de *C. baccatum* é principalmente realizado em planícies e altitudes médias da Argentina, Bolívia, Peru, Equador, Paraguai, Colômbia, Chile e em grande parte do Brasil (Albrecht et al., 2012a). No Brasil, pimentas da espécie *C. baccatum* var. *pendulum* são amplamente produzidas por agricultores familiares, sendo os tipos “dedo-de-moça” (ou chifre-de-veado) e “cambuci” (ou chapéu-de-frade) as mais cultivadas para consumo *in natura* e processada (Rêgo et al., 2009, Rodrigues et al., 2012).

A pimenta “dedo-de-moça” é uma solanácea perene, arbustiva, cultivada como planta anual, com crescimento indeterminado, florescimento e frutificação contínua, encontrando-se na mesma planta frutos em diferentes estádios de maturação (Filgueira, 2007; Vidigal et al., 2009a). Isto dificulta a determinação da época de maturidade fisiológica das sementes e o momento ideal para a colheita dos frutos, tendo em vista a máxima qualidade e vigor das sementes (Pereira et al., 2014). A alta qualidade das sementes resulta em maior uniformidade das pimenteiras, emergência das plântulas, produtividade e vigor, contribuindo com o sucesso em condições de campo (Freitas et al., 2008). O ponto ideal para a colheita, a idade e a coloração dos frutos são parâmetros para identificar a maturidade fisiológica das sementes (Justino et al., 2015).

Com relação às características relacionadas à qualidade nutracêutica dos frutos, as pimentas são consideradas importantes fontes de vitaminas antioxidantes C e E, bem como, excelente fonte de outros antioxidantes (por exemplo, flavonoides, carotenoides e capsaicinoides), que combatem a oxidação de lipídeos via eliminação de radicais livres e, assim, são relacionados com a proteção contra o câncer, anemia, diabetes e doenças cardiovasculares (Meckelmann et al., 2013, Dubey et al., 2015). Além dos efeitos benéficos à saúde, os antioxidantes presentes na pimenta podem também auxiliar na conservação de alimentos (Costa et al., 2010).

Entre os principais componentes químicos das pimentas destacam-se os capsaicinoides, os carotenoides, o ácido ascórbico, vitamina A e tocoferóis (Pinto et al., 2013). Os capsaicinoides são alcalóides encontrados nas pimentas e estão relacionados com a pungência nos frutos. Dentre os 14 capsaicinoides já identificados, o componente mais importante é a capsaicina seguida pela dihidrocapsaicina e nordihidrocapsaicina (Wesolowska et al., 2011). Os capsinoides são compostos análogos à capsaicina, porém com propriedades não pungentes, com ausência do alcalóide na sua composição (Reifschneider, 2000).

As principais características analisadas nos programas de melhoramento de *Capsicum* são produtividade, resistência a doenças e pragas, arquitetura da planta, bem como as características relacionadas à qualidade sensorial dos frutos (coloração, formato, tamanho, espessura da polpa e níveis de pungência) (Rodrigues et al., 2012). No entanto, características relacionadas aos compostos químicos do fruto são negligenciados, pois as maiorias dos estudos estão relacionados com a caracterização de germoplasma (Rodríguez-Burruezo et al., 2010; Meckelmann et al., 2013; Dubey et al., 2015; Acunha et al., 2017).

O conhecimento sobre os mecanismos genéticos envolvidos na determinação das características agrônômicas e nutricionais de interesse são de grande relevância para a condução eficiente de um programa de melhoramento, pois direcionam o melhorista na escolha dos melhores procedimentos de seleção e dos métodos de melhoramento a serem utilizados (Cruz e Regazzi, 2001). Entre os diferentes delineamentos genéticos, o uso dos cruzamentos dialélicos tem se destacado, fornecendo informações importantes para o melhorista. As principais metodologias de análise dialélica são as propostas de Griffing (1956), as quais estimam os efeitos da capacidade geral e específica de combinação, Gardner e Ebehart (1966), no qual são avaliados os efeitos variedades e heterose varietal, e Hayman (1954) que gera informações sobre os mecanismos básicos de herança da característica em estudo.

O presente trabalho teve como objetivo geral avaliar o potencial fisiológico de sementes, os atributos químicos dos frutos, assim como a capacidade antioxidante dos frutos de pimenta *C. baccatum* var. *pendulum* com potencial uso em programas de melhoramento genético.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 *CAPSICUM*

2.1.1 Origem e Características Botânicas

A pimenteira do gênero *Capsicum*, domesticadas antes da chegada dos europeus ao continente em 1492. Segundo registros arqueológicos a pimenta era utilizada no México há nove mil anos e no Peru há 2.500 anos a.C. (Linguanotto Neto, 2004). Os povos primitivos domesticaram as espécies silvestres de pelo menos cinco espécies de *Capsicum*: *C. pubescens*, *C. baccatum*, *C. annuum*, *C. chinense* e *C. frutescens* (Nuez et al., 1996). Os primeiros temperos utilizados pelos índios possivelmente foram as pimentas conferindo cor, aroma e sabor aos alimentos, tornando as carnes e os cereais mais atraentes ao paladar e sendo utilizada também na conservação dos alimentos, devido a função bactericida e fungicida das pimentas (Reifschneider, 2000).

O gênero *Capsicum* inclui plantas picantes e doces como as pimentas e os pimentões, sendo amplamente cultivados nas regiões tropicais e subtropicais. Esse gênero foi originado na América Central e do Sul (Djian-Caporalino et al., 2007). No entanto, outros pesquisadores acreditam que esse gênero possui duas áreas de origem, uma chamada de centro primário e, logo após foi introduzido em outras regiões denominadas de centros secundários como o Brasil (Dias et al., 2013).

Com a descoberta das Americas pelos navegadores portugueses e espanhóis as pimentas foram levadas para a Europa no século XVI e difundida para a África e Ásia. Nesta época iniciou-se o cultivo da espécie *C. annuum* na Índia, levada para o Oriente Médio pelos colonizadores espanhóis por ser mais ardida e mais barata que a pimenta do reino (*Piper nigrum* L.), que era comercialização pelos portugueses (Domenico, 2011).

A maioria das cultivares de pimentas plantadas no Brasil é considerada com características de frutos bem definidas, sendo as principais: *C. frutescens* (malagueta, malagueta-amarela e tabasco), *C. chinense* (“pimenta-de-cheiro”, “pimenta-de-bode”, “cumari-do-pará”, “biquinho”, “murupi”, “habanero”), *C. annuum* var. *annuum* (pimenta doce, “jalapeño”, “cayenne”, serano e cereja); *C. baccatum* var. *pendulum* (“dedo-de-moça” e “cambuci”), *C. baccatum* var. *baccatum* e *C. baccatum* var. *praetermissum* (“cumari”) (Moreira et al., 2006).

A altura e o crescimento das pimenteiras variam de acordo com a espécie e as condições de cultivo, o sistema radicular é pivotante, com ramificações laterais, de 70 a

120 cm. As folhas apresentam tamanho, coloração, formato e pilosidade variáveis, com coloração verde, quanto ao formato, pode variar de ovalado, lanceolado a deltóide. As hastes podem apresentar antocianina ao longo de seu comprimento e/ou nos nós, bem como presença ou ausência de pêlos (Carvalho e Bianchetti, 2007). As flores são hermafroditas, possuem cálice e corola com 5 sépalas e pétalas. As características morfológicas variam de espécie para espécie como o número de flores por nó, posição da flor e do pedicelo, coloração da corola e da antera, presença ou ausências de manchas nos lobos das pétalas e margem do cálice (Embrapa Hortaliças, 2007).

A coloração do fruto imaturo é verde e do maduro, geralmente, vermelha, no entanto, pode variar desde amarelo-leitoso, amarelo-forte, alaranjado, salmão, vermelho, roxo até preto (Embrapa Hortaliças, 2007). O formato também varia entre e dentro das espécies, existindo frutos alongados, arredondados, triangulares ou cônicos, campanulados, quadrados ou retangulares (Araújo, 2005). Desta maneira, a taxonomia das espécies do gênero *Capsicum* não é fácil, devido à complexidade e à grande diversidade entre as espécies, sendo examinadas principalmente as flores para identificação das características morfológicas (Carvalho e Bianchetti, 2007).

As plantas geralmente são autógamas de fácil reprodução, embora a polinização cruzada ocorra entre indivíduos, dentro da mesma espécie e entre espécies do gênero, são ajudadas por alterações morfológicas que ocorre na flor, pela ação de insetos polinizadores e por práticas de cultivo (Carvalho e Bianchetti, 2008; Ribeiro e Reifschneider, 2008).

2.1.2 Importância Econômica e Social

As pimentas do gênero *Capsicum* são amplamente cultivadas no mundo, sendo utilizadas como matéria-prima para as indústrias alimentícia, farmacêutica e cosmética (Yamamoto e Nawata, 2005, Bento et al., 2007). O cultivo de pimenta tem importância sócio-econômica para agricultura familiar como alternativa de diversificação, fonte de renda e redução do êxodo rural (Vilela, 2004, Pinto e Silva, 2006, Reifschneider et al., 2008).

O agronegócio de pimenta tem importância em função de requerer grande quantidade de mão-de-obra, em especial durante a colheita (Vilela, 2004). Além disso, o mercado de pimenta abrange a comercialização de frutos para consumo *in natura* e conservas caseiras para exportação de páprica, pó de pimentão ou pimenta doce. Os frutos de pimentas

picantes podem ser desidratados e comercializados inteiros, em flocos (calabresa) e em pó (páprica picante) ou em conservas e molhos (Moreira et al., 2006).

A cultura da pimenta dentro do setor da horticultura é uma das mais importantes a nível mundial. Segundo dados da FAO (2017), em 2013 foram cultivados cerca de 4,6 milhões ha de pimentas e pimentões em todo o mundo, totalizando uma produção de 50,6 milhões de toneladas. Em 2015, o volume das exportações brasileiras de pimentões e pimentas atingiu mais de 1.500 toneladas, no valor aproximado de US\$ 2.230 mil (MDIC, 2017). No Brasil, em 2009, foram comercializados 7.358,2 kg de sementes de pimentas e pimentões, em uma área de 16 mil ha (Abcsem, 2016).

Dentre os países com maior produção mundial destacam-se a China, seguida pelo México, Peru e Indonésia (Faostat, 2013). O continente Asiático concentra 69% da produção mundial seguida pelas Américas com 13% e Europa e África somam 9%. Os países com maior produção mundial é a China, com 15 milhões de toneladas, seguida pelo México e Peru, com cerca de 2 milhões de toneladas cada um, e Indonésia, com 1,5 milhão de toneladas, em uma área total de quase dois milhões de hectares (Faostat, 2015).

No Brasil, o cultivo ocorre preferencialmente nas regiões sudeste, centro-oeste e nordeste, sendo que os principais estados produtores são Minas Gerais, São Paulo, Rio de Janeiro, Ceará e Bahia (Rebouças et al., 2013). Aproximadamente um quarto da população mundial consome pimentas nas formas *in natura* ou processada. A produção brasileira pimentas é exportada de forma processada como páprica, pasta, desidratada e conservas (Castro et al., 2016). Considerando que há grande carência de informações sobre o assunto, pressupõe-se que há escassez no mercado brasileiro tanto de sementes de cultivares de pimentas comuns, como também daquelas que atendem o mercado externo (Agriannual, 2016).

2.1.3 Importância Nutricional

Uma das especiarias mais consumidas no mundo, a pimenta está presente na culinária brasileira há mais de 500 anos. Diversos produtos alimentícios têm na sua formulação pimentas, como: em molhos, sardinhas e atum em lata, patês, biscoitos, macarrão, maioneses, catchups, mostardas, queijos, iogurtes, doces, balas e chicletes.

A pimenta possui importância nutricional devido as proteínas, glicídios, lipídios, minerais, vitaminas, água e fibras, os quais ajudam na manutenção das funções vitais do organismo (Vaishnava e Wang, 2003). Alguns micronutrientes, além de vitaminas C e E, possuem atividade antioxidante, atuando no sistema imune e conferindo benefícios ao

organismo em seu sistema de defesa (Cozzolino, 2012). Além disso, as pimentas são ricas em antioxidantes naturais, que agem no organismo combatendo os radicais livres e atuam na conservação dos alimentos (Costa et al., 2010).

Os frutos de pimentas são fonte de fósforo, potássio, cálcio e de vitaminas A, C, E, B1, B2 (Reifschneider, 2000). Além disso, é uma planta medicinal, utilizada na composição de pomadas para tratamento de artrite, artrose e no chamado emplastro poroso Sabiá® para aliviar dores musculares (Carvalho et al., 2006) com diversas utilidades e aplicabilidades para indústria farmacêutica, devido à alta quantidade de antioxidantes, como a capsaicina e capsantina, principais substâncias ativas (Reifschneider, 2000).

A vitamina C (ácido ascórbico) é empregada como agente oxidante para estabilizar cor, sabor e aroma em alimentos. Utilizada também para conservação e para enriquecer alimentos ou restauração, do valor nutricional perdido durante o processamento. Segundo Pinto et al. (2013), o conteúdo de vitamina C de pimentas brasileiras variaram de 52 a 234 mg100g⁻¹ de frutos frescos de pimenta “dedo-de-moça” e murupi respectivamente. Conforme Lutz e Freitas (2008) a quantidade recomendada de ingestão de vitamina C para suprir as necessidades diárias de um indivíduo adulto é de 60 mg ao dia e pode ser obtida através do consumo diário de 100 gramas de pimentas secas ou de páprica. A média de vitamina C encontrada na laranja é em torno de 60 mg 100 g⁻¹ em fruto *in natura* (Carvalho, 1984). Dentro do gênero *Capsicum* vários fatores podem influenciar nos valores de vitamina C como: as distintas temperaturas, altitude, adubação, genótipos, irrigação e época de colheita (Aróstegui e Pennock, 1955; Nogueira et al., 2002).

O gênero *Capsicum* contém compostos que são benéficos à saúde, como os flavonoides, compostos fenóis, carotenoides e antioxidantes (Lutz e Freitas, 2008). As variedades de cores dos frutos de *Capsicum* são resultantes do teor e da composição dos carotenoides. A cor vermelha é procedente da capsantina e capsorubina, já as cores que variam do amarelo ao alaranjado são devido ao β-caroteno e violaxantina. Em maior quantidade podemos encontrar a capsantina apresentam mais de 60% do total de carotenoides. Conforme ocorre a maturação do fruto proporcionalmente a capsantina e capsorubina aumentam (Bosland, Votava, 1999).

Os capsaicinoides são alcalóides encontrados nas pimentas e estão relacionados com a pungência nos frutos. Dentre os 14 capsaicinoides já identificados, o componente mais importante é a capsaicina seguida pela dihidrocapsaicina e nordihidrocapsaicina (Wesolowska et al., 2011). As pimentas doces e os pimentões não

possuem sabor picante, devido à ausência do alcalóide capsaicina, sendo estes consumidos *in natura* e como corantes.

Os capsinoides são uma família de compostos que são análogos à capsaicina (componente ativo das pimentas), mas com propriedades não pungentes (Kobata et al., 1998). Os capsinoides possuem ação termogênica, promove aumento da temperatura corporal desta maneira estimula o gasto calórico auxiliando na perda de peso.

No Brasil ainda são escassos trabalhos sobre capsinoides em pimentas devido ao pouco tempo de conhecimento dessa classe de compostos (Coutinho, 2015). Singh et al. (2009) analisaram 49 espécies de pimenta do gênero *Capsicum* quanto ao teor de capsinóides, entre as amostras, apenas uma era brasileira. A grande parte dos trabalhos encontrados na literatura destina-se à síntese de capsiate e avaliação de atividades biológicas dos mesmos, e os mesmos relatam a contribuição desses compostos para a saúde humana (Macho et al., 2003; Iwai et al., 2003; Galgani, et al., 2010; Reddy et al., 2011) porém muito pouco é conhecido a respeito das variedades que possuem tais compostos.

2.2 Qualidade Fisiológica de Sementes

O desenvolvimento das sementes é determinado por uma série de alterações bioquímicas, físicas, fisiológicas e morfológicas, que ocorrem a partir da fecundação do óvulo até a maturidade fisiológica (Vidigal et al., 2006, Berger et al., 2008, Hehenberger et al., 2012). A maturação de sementes é um processo complexo que consiste no crescimento e no desenvolvimento coordenado do tegumento, do endosperma e do embrião (Kesavan et al., 2013) em estruturas distintas, porém justapostas (Ingram, 2010).

Segundo Bewley et al. (2013), na fase de acúmulo de reservas, o embrião apresenta elevado potencial germinativo. Durante a maturação das sementes são iniciados os mecanismos de proteção para preservar a integridade dos componentes celulares, quando a água for removida durante a secagem. Além disso, os compostos de reserva permanecem intactos nessa fase (Graham, 2008). No término do desenvolvimento, entra em estado de repouso, o que permite sua sobrevivência em diferentes condições ambientais (Gutierrez et al., 2007, Leprince e Buitink, 2010). Em sementes ortodoxas, o processo de maturação é encerrado com uma fase pré-programada de dessecação (Angelovici et al., 2010).

As pimenteiras são plantas de crescimento indeterminado, com florescimento e frutificação contínuos, o que acarreta colheita múltipla (Melo et al., 2014). Estas características dificultam determinar o estágio de maturidade fisiológica das sementes e

o momento ideal para a colheita dos frutos, visando garantir uma alta qualidade das sementes (Vidigal et al., 2009b, Pereira et al., 2014).

A qualidade das sementes resulta em maior vigor, emergência, uniformidade e produtividade (Freitas et al., 2008). A partir da maturidade fisiológica inicia-se alterações degenerativas que comprometem a germinação e o vigor (Carvalho e Nakagawa, 2000). Os principais parâmetros utilizados na identificação da maturidade fisiológica das sementes são a idade e a coloração dos frutos (Nascimento et al., 2006).

As pimentas são cultivadas geralmente por pequenos produtores que, geralmente, utilizam o plantio de sementes de frutos colhidos na própria lavoura. Alguns trabalhos vêm sendo desenvolvidos visando determinar o ponto de maturação fisiológica de sementes e o melhor momento para colheita em diferentes espécies de pimentas (Vidigal et al., 2009a, 2009b; Queiroz et al., 2011; Vidigal et al., 2011; Abud et al., 2013; Ricci et al., 2013; Pereira et al., 2014).

A colheita realizada no melhor momento preserva o potencial fisiológico das sementes e pode evitar a deterioração que ocorre quando estas são mantidas no campo após a maturidade fisiológica dos frutos. As colheitas precoces, fora do momento ideal, aumentam a quantidade de sementes imaturas no lote e podem apresentar dormência (Vidigal et al., 2009a; Randle e Honma, 1981).

2.3 *CAPSICUM BACCATUM*

A espécie *Capsicum baccatum* apresenta duas formas ou variações: *C. baccatum* var. *pendulum*, que possui corola branca com manchas amareladas, uma única flor por nó e as anteras amarelas. *C. baccatum* var. *baccatum* possui corola com manchas esverdeadas, duas a cinco flores por nó, alto número de ramos (Reifschneider, 2000).

Os cálices dos frutos maduros são dentados e não possuem constrição anelar na junção do pedicelo. Os frutos são de várias cores e formas, geralmente pendentes, persistentes, com polpa firme, a pimenta *C. baccatum* var. *pendulum* tipo “dedo-de-moça” mede cerca de 1,0 a 1,5 cm de diâmetro, 7,5 cm de comprimento e possuem pungência suave e as sementes são cor de palha (Carvalho et al., 2006, Moreira et al., 2006).

As espécies não domesticadas pertencem a *Capsicum baccatum* var. *baccatum* e as domesticadas da espécie *Capsicum baccatum* var. *pendulum* (Moreira et al., 2006). A domesticação ocorreu há aproximadamente 4.500 anos nas regiões altas do Peru a partir de tipos silvestres da Bolívia localmente conhecidos como ‘arivivi’ (Pickersgill et al.,

1979, Albrecht et al., 2012b). O cultivo encontra-se principalmente em planícies e altitudes médias da Argentina, Bolívia, Peru, Equador, Paraguai, Colômbia, Chile e Brasil.

No Brasil, *C. baccatum* var. *pendulum* é amplamente produzido por agricultores familiares, sendo os tipos ‘dedo-de-moça’ (ou chifre-de-veado) e ‘cambuci’ (ou chapéu-de-frade) os mais cultivados para consumo *in natura* e para confecção de molhos, conservas e flocos desidratados (Moreira et al., 2006, Rêgo et al., 2009, Rodrigues et al., 2012).

2.3.1 Melhoramento Genético

Os programas de melhoramento no Brasil têm focado no gênero *Capsicum*, sendo desenvolvido principalmente por instituições públicas, utilizando diversos métodos. A escolha de um método consiste em vários fatores: sistemas reprodutivos, herança genética da característica, objetivos do programa e variabilidade da população base (Allard, 1971, Reifschneider et al., 2008; Rêgo, 2011).

Em espécies do gênero *Capsicum*, ocorre variação genética em relação a alguns caracteres como: comprimento, formato, pungência e coloração dos frutos. As características de produtividade, resistência e/ou tolerância a estresses bióticos e abióticos, arquitetura da planta, precocidade, facilidade no destaque dos frutos durante a colheita, bem como as características do fruto são os principais alvos dos programas de melhoramento.

O melhoramento genético possibilita a obtenção de novos genótipos com as características desejadas pelos consumidores e adaptadas a diversas condições edafoclimáticas (Bosland, 1996). O estudo do controle genético de características quantitativas para a condução de um programa de melhoramento de plantas gera informações valiosas para o melhorista, auxiliando na escolha dos melhores métodos para condução das populações segregantes e procedimentos de seleção (Cruz et al., 2004; Khan et al., 2009; Schuelter et al., 2010; Silva et al., 2004).

2.3.2 Análise Dialélica

Uma técnica importante para o melhoramento de plantas é a hibridação, por possibilitar a recombinação da variabilidade disponível, permitindo assim, a obtenção de novos materiais. Os melhoristas escolhem os parentais para uso em programas de hibridação e na formação de progênes superiores (Ramalho et al., 1993).

O conhecimento do comportamento dos híbridos F1 em relação as cultivares genitoras permite determinar as melhores combinações genéticas entre linhagens. A identificação de linhagens parentais com capacidade combinatória, realizada pelos métodos de análise dialélicas, favorece a estimativa de parâmetros úteis na seleção de genitores para hibridação e na percepção dos efeitos genéticos envolvidos na determinação dos caracteres (Nascimento et al., 2004, Cruz et al., 2004).

Segundo Geraldi e Miranda-Filho (1988), os sistemas de cruzamentos dialélicos são utilizados no melhoramento de plantas, possibilitando avaliar o potencial heterótico de cultivares, a capacidade combinatória e a estrutura genética das populações. Os cruzamentos dialélicos são eficientes, pois, geram informações para o melhorista tais como: escolha de genitores para hibridação, identificação de métodos de seleção e conhecimentos das bases genéticas (Cruz et al., 2004; Nascimento et al., 2010; Rêgo et al., 2009)

Entende-se por dialelo um sistema onde é escolhido um grupo de p linhagens, que são cruzadas entre si, disponibilizando o máximo de p^2 combinações. No procedimento de cruzamentos dialélicos, a capacidade combinatória é segmentada em capacidade geral e capacidade específica de combinação (Cruz e Regazzi, 2001). Um dos entraves do cruzamento é a dificuldade de manuseio das pequenas flores e a escasse de sementes por frutos (Reifschneider, 2000).

O método de Griffing (1956) é amplamente utilizado, devido a sua generalidade, os parentais podem ser clones, linhas puras e endogâmicas ou de cruzamento ou populações de autofecundação, facilitando a análise e a interpretação por estimar os efeitos e as somas de quadrados de efeitos da capacidade geral (CGC) e capacidade de combinação específica (CEC) (Viana, 2000). O método de Gardner e Eberhart (1966) avalia os efeitos de cultivares e heterose varietal. O método proposto por Hayman (1954), com informações sobre o mecanismo básico de herança do caráter em estudo, dos valores genéticos dos genitores e do limite de seleção (Cruz et al., 2004).

A CGC é o comportamento médio da linhagem em combinações híbridas em relação a média da população dialélica, atribuído aos efeitos aditivos dos genes, e a CEC leva certas combinações a serem superiores ou inferiores em relação à média dos cruzamentos, pela ação de genes não-aditivos (Cruz et al., 2004). O conhecimento antecipado de uma boa combinação de linhagens originará um híbrido F1 superior, diminuindo o trabalho e o custo de um programa de melhoramento (Maluf et al., 1999).

A metodologia de Griffing é apresentada em quatro métodos: Método 1 (genitores, F1's e recíprocos), Método 2 (genitores e F1's), Método 3 (híbridos e recíprocos),

e Método 4 (híbridos). Os métodos podem ser analisados como modelo aleatório ou fixo (Ramalho et al., 1993, Cruz et al., 2004). Os Métodos 1 e 3 permitem avaliar o comportamento de determinado cruzamento, com seu recíproco. Segundo Cruz et al. (2004), os efeitos recíprocos da capacidade específica de combinação permitem identificar os parentais. Os Métodos 2 e 4 podem ser aplicados quando não há interesse no estudo da variação decorrente de genes extracromossômicos ou pela dificuldade de obtenção de sementes híbridas (Ramalho et al. 1993).

Rêgo et al. (2009), estudaram a qualidade e a produtividade de frutos de *C. baccatum* e verificaram significância para os efeitos CGC e CEC para a maioria das características, exceto para altura da primeira bifurcação, que foi significativa apenas para CEC. Nascimento et al. (2014) avaliaram os efeitos genéticos em fruto de *Capsicum annuum* e verificaram, que os efeitos aditivos foram mais importantes nas características comprimento e diâmetro de fruto. Similarmente, Medeiros et al. (2014) e Rodrigues et al. (2012) avaliando caracteres semelhantes em *Capsicum baccatum* em condição de campo e de casa de vegetação, respectivamente, observaram que o efeito aditivo e não aditivo para as características diâmetro de copa e fruto e comprimento. Porém, para o caracter altura de planta o efeito aditivo sobressaiu com relação ao não aditivo.

A maioria das cultivares de pimentas comercializadas no país são de linhagens puras, com pequenas quantidades de sementes híbridas (Nascimento, 2012). No Brasil há poucas cultivares desenvolvidas em programas de melhoramento genético, como as do Instituto Agrônomo de Campinas – IAC. A Embrapa Hortaliças também vem desenvolvendo cultivares destinadas ao mercado *in natura* e processada. No grupo das ‘malaguetas’, foram registradas no SNPC/MAPA, aproximadamente 60 cultivares provenientes de aquisitores nacionais e estrangeiros.

O desempenho de um híbrido deve-se a sua heterose, que é a manifestação do vigor para caracteres de interesse na geração F1, em comparação com os genitores (Gonçalves et al., 2007). Nos programas de melhoramento que visam o desenvolvimento de híbridos é importante a presença da divergência genética entre os genótipos para proporcionar um aumento na probabilidade de encontrar combinações híbridas promissoras na geração F1 com alta heterose. Todavia, além da divergência genética, para exploração da heterose é necessário que os genótipos componentes do programa tenham desempenhos “per se” e se complementem (Bueno, 2004).

Nascimento et al. (2011), estudando 15 híbridos produzidos através de cruzamentos dialélicos entre seis genitores de *Capsicum annuum*, verificaram estimativas de

heterose para caracteres de qualidade dos frutos. Já Gomide et al. (2003), ao estudar sobre híbridos de pimenta *Capsicum annuum*, alcançaram estimativas de heterose para massa do fruto e produção total. Em estudos com *C. baccatum* var. *pendulum* foi observado que as combinações dos híbridos UENF 1629 x UENF 1732, UENF 1616 x UENF 1732 e UENF 1624 x UENF 1639 foram promissoras para possível indicação comercial e obter populações segregantes (Rodrigues et al., 2012).

REFERÊNCIAS

ABCSEM. Associação brasileira do comércio de mudas e sementes. **Pesquisa de mercado de sementes de hortaliças**. 2016. Disponível em: <<http://www.abcsem.com.br/dadosdosegmen-to.php>> Acesso: 31 mar. 2016.

ABUD, H. F.; ARAUJO, E. F.; ARAUJO, R. F, ARAUJO, A.V.; PINTO, C. M. F. Qualidade fisiológica de sementes das pimentas malagueta e biquinho durante a ontogênese. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.48, p.1546-1554, 2013.

ACUNHA, T. DOS S.; CRIZEL, R.L.; TAVARES, I.B.; BARBIERI, R. L.; PEREIRA, C.M.P. DE P.; ROMBALDI, V.R.; CHAVES, F.C. Bioactive compound variability in a brazilian *capsicum* pepper collection. **Crop Science**, v.57, p.1-13, 2017.

AGRIANUAL – **Anuário Brasileiro da Fruticultura**. São Paulo: FNP Consultoria & Agroinformativos, 2016.

ALBRECHT, E.; ZHANG, D.; MAYS, A. D.; SAFTNER, R. A.; STOMMEL, J. R. Genetic diversity in *Capsicum baccatum* is significantly influenced by its eco geographical distribution. **BMC Genetics**, v. 13, p. 1-15, 2012a.

ALBRECHT, E.; ZHANG, D.; SAFTNER, R. A.; STOMMEL, J. R. Genetic diversity and population structure of *Capsicum baccatum* genetic resources. **Genetics Resources and Crop Evolution**, v. 59, p. 517-538, 2012b.

ALLARD, R.W. **Princípios do melhoramento genético das plantas**. São Paulo: Edgard Blüchner, 1971, 381 p.

ANGELOVICI, R.; GALILI, G.; FERNIE, A.R.; FAIT, A. Seed desiccation: a bridge between maturation and germination. **Trends in Plant Science**, v.15, p.211-218, 2010.

ARAÚJO, N. C. Resposta Técnica – CETEC – **Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais**. 2005. Disponível em: <<http://sbrtv1.ibic.br/upload/sbrt475.pdf?PHPSESSID=43bb5e2c6861657c352b84f3acc12775>>. Acesso em: 30 abril 2017.

ARÓSTEGUI, F.; PENNOCK, W. **La acerola**. Rio Piedras: Universidad de Puerto Rico, v. 15, p. 9, 1955.

BENTO, C. DOS S.; SUDRÉ, C.P.; RODRIGUES, R.; RIVA, E.M.; PEREIRA, M.G. Descritores qualitativos e multicategóricos na estimativa da variabilidade fenotípica entre acessos de pimentas. **Scientia Agraria**, v.8, p.149-156, 2007.

BERGER, F.; HAMAMURA, Y.; INGOUFF, M.; HIGASHIYAMA, T. Double fertilization - caught in the act. **Trends in Plant Science**, v.13, p.437-443, 2008.

BEWLEY, J. D.; BRADFORD, K. J.; HILHORST, H.W. M.; NONOGAKI, H. **Seeds: physiology of development, germination and dormancy**. 3 ed. New York: Springer, 2013. 392p.

BOSLAND, P.W.; VOTAVA, E. J. Peppers: vegetable and spice Capsicums, New York: **CABI Publishing**, 1999. 204p.

BOSLAND, P.W. **Capsicums: innovative uses of an ancient crop**. In: J.Janick (ed.), Progress in new crops. ASHS Press, Arlington, VA 1996, p. 479-487.

BUENO, L. C DE. S.; MENDES, A. N.G.; CARVALHO, S. P DE. **Melhoramento genético de Plantas**. 1ed. Lavras: UFLA, 2004, 282p.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000, 588p.

CARVALHO, S. I. C.; BIANCHETTI, L. B.; RIBEIRO, C. S. C.; LOPES, C. A. **Pimentas do Gênero *Capsicum* no Brasil**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 27p. Embrapa Hortaliças. Documentos, 94, 2006.

CARVALHO, S. I. C.; BIANCHETTI, L.B. **Sistema de Produção de Pimentas (*Capsicum* spp.): Botânica**. 2007. Embrapa Hortaliças, Sistemas de Produção, 4 ISSN 1678. Disponível em: <<http://www.cnph.embrapa.br/sistprod/pimenta/botanica.htm>>. Acesso em: 30 abril 2017.

CARVALHO, S. I. C.; BIANCHETTI, L. B. **Botânica e recursos genéticos**. In: RIBEIRO, C. S. C.; LOPES, C. A.; CARVALHO, S. I. C.; HENZ, G. P.; REIFSCHNEIDER, F. J. B. *Pimentas Capsicum*. Brasília: Embrapa Hortaliças, v.1, p.39-53, 2008.

CARVALHO, V. D. Características químicas de pimentões e pimentas. **Informe agropecuário**, v. 10, n.113, p. 76-78, 1984.

CASTRO, G.; LOPES, A.H.; DA SILVA, D. A. P. T.; GORAYEB, T.C. C. elaboração de geleia de frutas com pimenta dedo de moça (*Capsicum baccatum* var. *pendulum*). **Revista do Agronegócio**, v. 5, p. 45-57, 2016.

COSTA, L. M. ; MOURA, N. F.; MARANGONIC.; MENDES, C. E.; TEIXEIRA, A. O. Atividade antioxidante de pimentas do gênero *Capsicum*. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, p.51-59, 2010.

COUTINHO, J. P. **Estudo da variação nos teores de capsaicinoides, capsinoides, carotenoides, fenólicos totais e capacidade antioxidante de pimentas *Capsicum chinense***

em diferentes estádios de maturação e períodos de colheita. 2015. 247f. Tese (Doutorado) -Faculdade de Engenharia de Alimentos- UNICAMP, Campinas, 2015.

COZZOLINO, S. **Nutracêuticos: o que significa?** In: **ABESO – Associação Brasileira para o Estudo da Obesidade e da Síndrome Metabólica**, v. 55, p. 5-7, 2012.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético.** Viçosa: UFV, 2001, 390p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético.** Viçosa, MG: Ed.UFV, 2004. 480p.

D'ARCY, W.G.; ESHBAUGH, W. H. New World peppers *Capsicum*–Solanaceae north of Colombia. **Baileya**, v. 19, p. 93–105, 1974.

DIAS, G.B.; GOMES, V.M.; MORAES, T.M.; ZOTTICH, U.P.; RABELO, G.R.; CARVALHO, A O.; DA CUNHA, M. Characterization of *Capsicum* species using anatomical and molecular data. **Genetics and Molecular Research**, v. 12, n. 4, p. 6488-6501, 2013.

DJIAN-CAPORALINO, C.; LEFEBVRE, V.; SAGE-DAUBEZE, A.M.; PALLOIX, A. *Capsicum*. In: SINGH, R.J. (ed) Genetic resources, Chromosome Engineering and Crop Improvement Series, **Vegetable crops**, p. 185–243, 2007.

DOMENICO CI; COUTINHO JP; GODOY HT; MELO AMT. Caracterização agronômica e pungência em pimento de cheiro. **Horticultura Brasileira**, v. 30, p.466-472, 2012.

DUBEY, V.; AGRAWAL, S.; KAUR, J. Photoluminescence and thermoluminescence behavior of Gd doped Y2O3 phosphor. *Optik - International Journal for Light and Electron. Optics*, 2015, 126p.

EMBRAPA HORTALIÇAS. Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária. Pimenta *Capsicum* spp. **Sistema de Produção**, (Embrapa Hortaliças. Comunicado Técnico, 50) 9p. 2007.

FAO. “Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT”. 2017. Agriculture. Home. Disponível em: <[http:// http://faostat3.fao.org](http://faostat3.fao.org)>. Acesso em: 22 mar. 2017.

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2013. Versão eletrônica. Disponível em: <[http:// http://faostat3.fao.org](http://faostat3.fao.org)> Acesso em: 4 de nov. de 2016.

FAOSTAT. FAO (Food and Agricultural Organizations of the United Nations). 2015. Versão eletrônica. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/faostatgateway/go/to/download/Q/QV/E>>. Acesso em 12 fev. de 2016.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças.** 3 ed. Viçosa: UFV, 421p. 2007.

FREITAS, R. A. de.; NASCIMENTO, W. M.; CARVALHO, S. I. C. de. **Produção de sementes**. In: Ribeiro, C. S. C.; Lopes, C. A.; Carvalho, S. I. C.; Henz, G. P.; Reifschneider, F. J. B. *Pimentas *Capsicum**. Brasília: Embrapa Hortaliças, p.173-187, 2008.

GALGANI, J. E.; RYAN, D. H.; RUVUSSIN, E. Effect of capsinoids on the energy metabolism in human subjects. **British Journal of Nutrition**, v.103, p.38-42, 2010.

GARDNER, C.O.; EBERHART, S. A. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. **Biometrics**, v. 22, p.439-452, 1966.

GERALDI, I. O.; MIRANDA-FILHO, J.B. Adapted models for the analysis of combining ability of varieties in partial diallel crosses. **Revista Brasileira de Genética**, v.11, p.419-430, 1988.

GOMIDE, M. L.; MALUF, W. R.; GOMES, L. A. A. Heterose e capacidade combinatória de linhagens de pimentão (*Capsicum annuum* L.). **Ciência e agrotecnologia**, v. 27, p.1007-1015, 2003.

GONÇALVES, L. D.; MALUF, W. R.; CARDOSO, M. G.; GOMES, L. A. A.; NASCIMENTO, I. R. Herança de acilaçúcares em genótipos de tomateiro provenientes de cruzamento interespecífico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p. 699-705, 2007.

GUTIERREZ, L.; VAN WUYTSWINKEL, O.; CASTELAIN, M.; BELLINI, C. Combined networks regulating seed maturation. **Trends in Plant Science**, v.12, p.294-300, 2007.

GRAHAM, I. A. **Seed storage oil mobilization**. Annual Review of Plant Biology, v.59, p.115-142, 2008.

GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Austr. J. Biol. Sci.**; v. 9, p. 463-496, 1956.

HAYMAN, B.I. The theory and analysis of diallel crosses. **Genetics**, v.39, p.789-809, 1954.

HEHENBERGER, E.; KRADOLFER, D.; KÖHLER, C. Endosperm cellularization defines an important developmental transition for embryo development. **Development**, v.139, p. 2031-2039, 2012.

INGRAM, G.C. Family life at close quarters: communication and constraint in angiosperm seed development. **Protoplasma**, v.247, p.195-214, 2010.

IWAI, A.K.; YAZAWA, T. WATANABE. Roles as metabolic regulators of the non-nutrients, capsaicin and capsiate, supplemented to diets. **Proceedings of the Japan Academy, Serie B**, v. 79, p. 207-212, 2003.

JUSTINO, E.V.; BOITEUX, L.S.; FONSECA, M.E.N.; SILVA, FILHO J.G.; NASCIMENTO, W.M. Determinação da maturidade fisiológica de sementes de pimenta dedo de moça *Capsicum baccatum* var. *pendulum*. **Horticultura Brasileira**, v. 33, p.324-33, 2015.

KESAVAN, M.; SONG, J.T.; SEO, H.S. Seed size: a priority trait in cereal crops. **Physiologia Plantarum**, v.147, p.113-120, 2013.

KHAN, N.U.; HASSAN, G.; MARWAT, K.B.; FARHATULLAH.; KUMBHAR, M.B.; PARVEEN, A.; UMM-E-AIMAN.; KHAN, M.Z.; SOOMRO, Z.A. Diallel analysis of some quantitative traits in *Gossypium hirsutum* L. **Pakistan Journal of Botanic**, v. 41, p. 3009-3022, 2009.

KOBATA, K.; SUTOH, K.; TODO, T.; YAZAWA, S.; IWAY, K.; WATANABE, T. Nordihydrocapsiate, a new capsinoid from the fruits of a non pungent pepper, *Capsicum annuum*. **Journal of Products**, v.62, p.335-336,1998.

LEPRINCE, O.; BUITINK, J. Desiccation tolerance: from genomics to the field. **Plant Science**, v.179, p.554-564, 2010.

LINGUANOTTO NETO, N. **Dicionário gastronômico: pimentas com suas receitas**. São Paulo: Boccato, 2004.

LUTZ, D. L.; FREITAS, S. C. DE. Valor Nutricional. In: Ribeiro, C. S. DA C.; LOPES, C. A. CARVALHO, S. I. S.; HENZ, G. P.; REIFSCHIDER, F. J. B. (Ed.). **Pimentas *Capsicum***. Brasília: Athalais Gráfica e editora Ltda, v.1, p.31-38, 2008.

MACHO, A.; LUCENA, C.; SANCHO, R.; DADDARIO N.; MINASSI, A.; MUÑOZ, E.; APPENDINO, G. NonPungent Capsaicinoids from sweet pepper: Synthesis and evaluation of the chemopreventive and anticancer potential. **European Journal of Nutrition**, v. 42, p. 2-9, 2003.

MALUF, W. R.; BLANK, A. F.; GOMES, L. A. A. Teste precoce da capacidade combinatória de linhagens de pimentão (*Capsicum annuum* L.) para características de fruto. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 23, p. 152-160, 1999.

MECKELMANN, S.W.; RIEGEL, D.W.; ZONNEVELD, M.J VAN.; RÍOS, L.; PEÑA, K.; UGAS, R.; QUINONEZ, L.; SEITZ, EM.; PETZ, M. Compositional Characterization of Native Peruvian Chili Peppers (*Capsicum* spp.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, p. 2530–2537, 2013.

MEDEIROS, A. M.; RODRIGUES, R.; GONÇALVES, L. S. A.; SUDRÉ, C. P.; OLIVEIRA, H. S.; SANTOS, M. H. Efeito gênico e heterose em cruzamentos de *Capsicum baccatum* var. *pendulum*. **Ciência Rural**, v. 44, p.1031-1036, 2014.

MELO, A. M. T.; NASCIMENTO, W. M.; FREITAS, R. A. Produção de sementes de pimenta. In: NASCIMENTO, W. M. Produção de sementes de hortaliças. Brasília: **EMBRAPA**, 2014. p. 169-197.

MDIC. **Ministério do Desenvolvimento da indústria e Comércio Exterior**. Exportações Brasileiras. Disponível em: <<http://aliceweb.mdic.gov.br>>. Acesso: 22 mar. 2017.

MOREIRA, G. R.; CALIMAN, F. R. B.; SILVA, D. J. H.; RIBEIRO, C. S. C. Espécies e variedades de pimentas. Informe Agropecuário: **Cultivo da pimenta, Belo Horizonte**, v. 27, p.1-1629, 2006.

NASCIMENTO, I. R. DO.; MALUF. W. R.; FARIA, M. V.; VALLE, L. A. C. DO.; MENESES, C. B. DE.; BENITES, F. R. G. Capacidade combinatória e ação gênica na 48

- expressão de caracteres de importância econômica em pimentão. **Ciência e agrotecnologia**, v.28, p.251-260, 2004
- NASCIMENTO, I. R.; MALUF, W.R; GONÇALVES, L.D; FARIA, M.V.; RESENDE J.T.V.; NOGUEIRA, D.W. Capacidade combinatória de linhagens de pimentão a partir de análise dialélica multivariada. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 32, n. 02, p. 235-240, 2010.
- NASCIMENTO, M. F.; NASCIMENTO, N. F. F.; RÊGO, E. R.; SAPUCAY, M. J. L. C.; FORTUNATO, F. L. G.; RÊGO, M. M. Heterose em cruzamentos dialélicos para qualidade de frutos em pimenteiros ornamentais. **Horticultura Brasileira**, v. 29, p.2948-2955, 2011.
- NASCIMENTO, N. F. F.; RÊGO, E. R.; NASCIMENTO, M. F.; BRUCKNER, C. H.; FINGER, F. L.; RÊGO, M. M. Combining ability for yield and fruit quality in the pepper *Capsicum annuum*. **Genetics and Molecular Research**, v.13, p.3237-3249, 2014.
- NASCIMENTO, W. M.; DIAS, D. C. F.; FREITAS, R. A. **Produção de sementes de pimentas**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 27, n. 235, p. 30-39, 2006.
- NOGUEIRA, R. J. M. C.; MORAES, J. A. P. V.; BURITY, H. A.; SILVA, J. F. J. Efeito do estágio de maturação dos frutos nas características físico-químicas de acerola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 4, p. 463-470, 2002.
- NUEZ, F. V.; ORTEGA, R. G.; GARCIA, J. C. **El cultivo de pimientos, chiles y ajies**. Barcelona: Mundi-Prensa, 1996. 607 p.
- PEREIRA, F. E. C. B.; TORRES, S. B.; SILVA, M. I de L.; GRANGEIRO, L.C.; BENEDITO, C. P. Qualidade fisiológica de sementes de pimenta em função da idade e do tempo de repouso pós-colheita dos frutos. **Revista Ciência Agronômica** v. 45, p.737-744, 2014.
- PICKERSGILL, B.; HEISER, C.B.; MCNEIL, J. **Numerical taxonomic studies on variation and domestication in some species of *Capsicum***, v.1, p.678-700, 1979.
- PINTO, C. M. F.; PINTO, C.L DE O.; DONZELES, S. M. L. Pimenta *Capsicum*: propriedades químicas, nutricionais, farmacológicas e medicinais e seu potencial para o agronegócio. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**, v.3, p.108-120, 2013.
- PINTO, C. M. F.; SILVA, D. J. H DA. **Cultivo da Pimenta**. EPAMIG: Informe agropecuário, v. 27 n.235 108p, 2006.
- QUEIROZ, L. A. F.; VON PINHO, E.V. DE R.; OLIVEIRA, J. A.; FERREIRA, V. de F.; CARVALHO, B.O.; BUENO, A. C. R. Época de colheita e secagem na qualidade de sementes de pimenta habanero yellow. **Revista Brasileira de Sementes**, v.33, p.472-481, 2011.
- RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; ZIMMERMANN, M. J. O. **Genética quantitativa em plantas autógamas**, 1993. 271p.
- RANDLE, W. M.; HONMA, S. **Dormancy in peppers**. Scientia Horticulturae, Amsterdam, v. 14, p. 19-25, 1981.

REBOUÇAS, T.N.H.; VALVERDE, R.M.V.; TEIXEIRA, H.L. Bromatologia da pimenta malagueta in natura e processada em conserva. **Horticultura Brasileira**, v. 31, p.163-165, 2013.

REDDY, K. K.; RAVINDER, T.; PRASAD, R. B. N.; KANJILAL, S. Evaluation of the Antioxidant Activity of Capsiate Analogues in Polar, Nonpolar, and Micellar Media. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, p.564-569, 2011.

RÊGO, E. R.; RÊGO, M.M.; FINGER, F.L.; CRUZ, C.D.; CASALI, V.W.D. A diallel study of yield components and fruit quality in chilli pepper (*Capsicum baccatum*). **Euphytica**, v.168, p. 275-287, 2009.

RÊGO, E. R.; RÊGO, M. M.; CRUZ, C. D.; FINGER, F. L.; CASALI, V.W. D. Phenotypic diversity, correlation and importance of variables for fruit quality and yield traits in Brazilian peppers (*Capsicum baccatum*). **Genetics Resources and Crop Evolution**, v.58, p. 909-918, 2011.

REIFSCHNEIDER, F. J. B. (Org.) **Capsicum: pimentas e pimentões no Brasil. Brasília:** Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia. Embrapa Hortaliças, 2000. 113p.

REIFSCHNEIDER, F. J. B.; RIBEIRO, C. S. C. Cultivo. In: RIBEIRO, C. S.; LOPES, C. A.; CARVALHO, S. I.C, HENZ, G. P.; REIFSCHNEIDER, F. J. B. (Ed.). *Pimentas Capsicum*. Brasília: **Embrapa Hortaliças**, v.1, p.11-14, 2008.

RIBEIRO, C. S. C.; REIFSCHNEIDER, F. J. B. Genética e melhoramento. In: RIBEIRO, C. S. C.; LOPES, C. A.; CARVALHO, S. I. C.; HENZ, G. P.; REIFSCHNEIDER, F. J. B. *Pimentas Capsicum*. Brasília: **Embrapa Hortaliças**, v. 1, p.55- 69, 2008.

RICCI, N.; PACHECO, A.C.; CONDE, A.S.; CUSTODIO, C.C. 2013. Qualidade de sementes de pimenta jalapenho em função da maturação e tempo de permanência nos frutos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, p.123-129, 2013.

RODRIGUES, R.; GONÇALVES, L.S.A.; BENTO, C.S.; SUDRÉ, C.P.; ROBAINA, R.R.; AMARAL JÚNIOR, A.T. Combining ability and heterosis for agronomic traits in chili pepper. **Horticultura Brasileira**, v.30, p.226-233, 2012.

RODRÍGUEZ-BURRUEZO, A.; GONZÁLEZ-MAS, M.DEL C.; NUEZ, F. Carotenoid composition and vitamin A value in ají (*Capsicum baccatum* L.) and rocoto (*C. pubescens* Ruiz & Pav.), 2 pepper species from the Andean region. **J Food Sci** , v.75, p. S446 - S453, 2010.

SILVA, M.P.; AMARAL JÚNIOR, A.T.; RODRIGUES, R.; PEREIRA, M.G.P.; VIANA, A.P. Genetic control on morphoagronomic traits in snap bean. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 47, p. 855-862, 2004.

SINGH, S.R.; JARRET, V.; RUSSO, G.; MAJETICH, J.; SHIMKUS, R.; BUSHWAY & B. PERKINS. Determination of capsinoids by HPLC-DAD in *Capsicum* species. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, p. 3452-3457, 2009.

- SCHUELTER, A.R.; PEREIRA, G.M.; AMARAL JÚNIOR, A.T.; CASALI, V.W.D.; SCAPIM, C.A.; BARROS, W.S.; FINGER, F.L. Genetic control of agronomically important traits of pepper fruits analyzed by Hayman's partial diallel cross scheme. **Genetics and Molecular Research**, v. 9, p.113-127, 2010.
- USDA-ARS. **Grin species records of Capsicum. Beltsville, Maryland: National Germplasm Resources Laboratory**. 2011. Disponível em: <<http://www.arsgrin.gov/cgi-bin/npgs/html/exsplist.pl>>. Acesso em: 14 de jan. 2016.
- VAISHNAVA, P.; WANG, D.H. Capsaicin sensitive-sensory nerves and blood pressure regulation. **Current Medicinal Chemistry-Cardiovascular & Hematological Agents**, v.1, p.177-188, 2003.
- VIANA, J. M. S. The parametric restrictions of the Griffing diallel analysis model: combining ability analysis. **Genetics and Molecular Biology**, v. 23, p. 877-881, 2000.
- VIDIGAL, D. S.; DIAS, D. C. F.S.; NAVEIRA, D. S. P. C.; ROCHA, F. B.; BHERING, M.C. Qualidade fisiológica de sementes de tomate em função da idade e do armazenamento pós-colheita dos frutos. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, p.87-93, 2006.
- VIDIGAL, D. S.; DIAS, D. C. F. S.; VON PINHO, E. R. V.; DIAS, L. A. S. Sweet pepper seed quality and Lea-protein activity in relation to fruit maturation and post-harvest storage. **Seed Science and Technology**, v. 37, p.192-201, 2009a.
- VIDIGAL, D. S.; DIAS, D. C. F. S.; VON PINHO, E.V. DE R.; DIAS, L. A.S. Alterações fisiológicas e enzimáticas durante a maturação de sementes de pimenta (*Capsicum annuum* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, p.129-136, 2009b.
- VIDIGAL, D. de S.; DIAS, D.C.F. dos S.; DIAS, L.A. dos S.; FINGER, F.L. Changes in seed quality during fruit maturation of sweet pepper. **Scientia Agricola**, v.68, p.535-539, 2011.
- VILELA, N.J. Sistema de produção de Pimentas (*Capsicum* spp): **Coefficientes técnicos, custos, rendimentos e rentabilidade. Embrapa Hortaliças, Sistemas de Produção**, Versão Eletrônica 2004. Disponível em: <<http://www.cnph.embrapa.br/sistprod/pimenta/coeficientes.htm#tabela1>>. Acesso: 6 de set. de 2016.
- WESOLOWSKA, A.; JADCZAK, D.; GRZESZCZUK, M. Chemical composition of the pepper fruit extracts of hot cultivars *Capsicum annuum* L. **Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus**, v. 10, p.171-184, 2011.
- YAMAMOTO, S.; NAWATA, E. *Capsicum frutescens* L. in southeast and east Asia, and its dispersal routes into Japan. **Economic Botany**, v. 59, p. 18-28, 2005.

3 ARTIGO A – POTENCIAL FISIOLÓGICO DE SEMENTES DE GENÓTIPOS DE PIMENTA “DEDO-DE-MOÇA” EM FUNÇÃO DO ESTÁDIO DE MATURAÇÃO E DO REPOUSO DOS FRUTOS

RESUMO

Um dos principais problemas na produção de sementes de pimentas é a maturação desuniforme dos frutos. Isso ocorre devido ao florescimento contínuo da planta, dificultando que a colheita seja realizada de uma única vez. Dessa forma, estudos sobre o estágio de maturação dos frutos e o potencial fisiológico das sementes são de grande relevância para se identificar o momento adequado de colheita evitando a deterioração das sementes. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o potencial fisiológico de sementes de pimenta “dedo-de-moça” (*Capsicum baccatum* var. *pendulum*) em três estádios de maturação (verde, alaranjado e vermelho) e sem e com repouso de 10 dias dos frutos a partir da colheita. Para isso foram utilizados cinco genótipos de *C. baccatum* em três estádios de maturação (verde, alaranjado e vermelho) e submetidos a dois tempos de repouso, sem e após 10 dias a partir da colheita. As avaliações realizadas foram quanto ao potencial fisiológico representado pelos testes de germinação e vigor (primeira contagem, condutividade elétrica e envelhecimento acelerado). Os resultados observados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, bem como à análise de componentes principais. De modo geral, a coloração vermelha dos frutos refletiu a maturidade das sementes por proporcionar a máxima germinação. Por outro lado, mesmo que os frutos sejam colhidos em estágio de maturação anterior ao vermelho (verde e alaranjado) o período de repouso mostrou-se benéfico para características de germinação e vigor, sendo este resultado mais evidente nos frutos verdes que inicialmente possuíam potencial fisiológico inferior. Os genótipos avaliados apresentaram potencial fisiológico inferior quando tiveram seus frutos colhidos verdes sem o repouso por 10 dias.

Palavras-chave: *Capsicum baccatum* var. *pendulum*, envelhecimento acelerado, germinação, vigor.

ABSTRACT

Seed physiological potential of genotypes of “dedo-de-moça” pepper in function of maturation stages and fruit rest

One of the main problems in production of peppers seeds is the irregular maturation of the fruits. This is due to the continuous flowering period of the plant, making it difficult for the

fruits to be harvested at one time. Thus, studies on the maturation stage of the fruits and the seed physiological potential are fundamental in order to identify the appropriate harvesting moment, avoiding the deterioration of the seeds. The objective of this study was to evaluate the physiological potential of pepper “dedo-de-moça” seeds (*Capsicum baccatum* var. *pendulum*) in three stages of maturation (green, orange and red) and without and with 10 days of fruits rest from of harvest. Five *C. baccatum* genotypes were used at different maturation stages (green, orange and red) and submitted to two storage times (post-harvest and 10 days after harvest). The evaluation of the physiological potential and vigor of the seeds was carried out by germination tests using first count, moisture content, germination speed index, electrical conductivity and accelerated aging. The observed results were submitted to analysis of variance and comparison of means by the Tukey test as well as the analysis of principal components. In general, fruit staining reflected seed maturity by providing maximum germination when red staining was observed. On the other hand, even if the fruits were harvested at a maturation stage prior to red (green and orange), the rest period was beneficial for germination and vigor characteristics, being this result more evident in the green fruits that initially had lower physiological potential. The evaluated genotypes had lower physiological potential when they had their fruits harvested green without rest for 10 days.

Keywords: *Capsicum baccatum* var. *pendulum*, accelerated aging, germination, vigor.

As espécies do gênero *Capsicum* são consideradas importantes hortaliças utilizadas para o consumo *in natura* e para o preparo de temperos, conservas e condimentos (Moreira *et al.*, 2013). Com base nas características florais, tais como a forma do cálice, cor da corola e o número e a orientação das flores por nó, esse gênero é classificado em 38 espécies (USDA-ARS, 2011), sendo que apenas cinco são consideradas domesticadas: *C. annuum* L., *C. frutescens* L., *C. chinense* Jacq., *C. pubescens* Ruiz et Pavon e *C. baccatum* L. (DeWitt & Bosland, 2009).

A espécie *C. baccatum* é uma das principais pimentas cultivadas no Brasil, principalmente por agricultores familiares (Villela *et al.*, 2014). Dentre os diferentes tipos de pimentas dessa espécie, a “dedo-de-moça,” também conhecida como “chifre-de-veado”, “pimenta-vermelha” e “calabresa” é uma das mais utilizadas na gastronomia brasileira em virtude, principalmente, da sua qualidade sensorial (coloração, sabor e pungência). Essa pimenta é amplamente consumida tanto na forma *in natura* bem como processada, na forma de molhos líquidos e desidratados (Carvalho *et al.*, 2009; Cardoso *et al.*, 2018).

Embora a pimenta “dedo-de-moça” tenha uma grande aceitação no mercado nacional, apenas quatro cultivares estão disponíveis para comercialização (MAPA, 2016). Segundo Justino *et al.* (2015) um dos motivos para o desinteresse das empresas produtoras de sementes para o desenvolvimento de novas cultivares de *Capsicum* spp. são relacionados às deficiências nas técnicas de produção, baixo rendimento, dificuldade de extração e aos problemas relacionados com potencial fisiológico das sementes.

A maturação desuniforme dos frutos, resultante do florescimento contínuo da planta, é um dos principais problemas na produção de sementes de *Capsicum* spp., pois dificulta que a colheita ocorra de uma única vez. Assim, o conhecimento sobre a relação maturação dos frutos e maturidade das sementes são de grande relevância, pois determinam o momento adequado para realização da colheita, evitando lotes de sementes imaturas ou sob processo de deterioração avançado. Nesse contexto, diversos estudos vêm sendo desenvolvidos para determinar o processo de maturação das sementes de espécies de pimenta e identificar qual o momento adequado para a colheita que resulta em produção de sementes com alta qualidade (Queiroz *et al.*, 2011; Vidigal *et al.*, 2011; Abud *et al.*, 2013; Pereira *et al.*, 2014; Justino *et al.*, 2015).

Além dos estudos sobre maturação e época de colheita, outros pesquisadores apontam que sementes que são mantidas por determinado tempo no fruto após colheita, continuam o processo de maturação, atingindo níveis elevados de germinação e vigor (Ricci *et al.*, 2013, Vidigal *et al.*, 2009). Para o tipo “dedo-de-moça”, Pereira *et al.* (2014) avaliando frutos em quatro estádios de maturação (15, 25, 35 e 45 dias após antese - DAA) e submetidos ao armazenamento por 0, 5 e 10 dias, verificaram que os melhores resultados de germinação ocorreram aos 45 DAA e o repouso pós-colheita dos frutos por 10 dias melhorou o potencial fisiológico das sementes. Por outro lado, Justino *et al.* (2015) avaliando sete estádios de maturação (20, 30, 40, 50, 60, 70 e 80 DAA) verificaram que a maturação fisiológica das sementes ocorreu 70 DAA, onde os frutos apresentaram coloração vermelha. Assim, verifica-se haver discrepância de resultados para a maturação de pimentas “dedo-de-moça” sendo uma possível causa da diferença genotípica ou ambiental.

Portanto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o potencial fisiológico de sementes de pimenta “dedo-de-moça” (*Capsicum baccatum* var. *pendulum*) em três estádios de maturação (verde, alaranjado e vermelho) e sem e com repouso de 10 dias dos frutos a partir da colheita.

MATERIAL E MÉTODOS

As sementes de pimenta “dedo-de-moça” foram colhidas em maio de 2015 de 60 plantas cultivadas em sistema de cultivo protegido no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual de Londrina (UEL), Londrina, Paraná, Brasil (23°22' S, 51°10' W; altitude 585 m). Foram utilizados cinco genótipos, sendo três cultivares comerciais (Horticeres, Hortivale e BRS Mari) e dois acessos do banco de germoplasma da UEL (UEL 110 e UEL 111).

Durante a fase de florescimento, flores de pimenteira foram datadas diariamente, a partir da antese, até ser obtido aproximadamente de 40 a 60 frutos de cada genótipo. Na colheita, frutos foram retirados das plantas com base em sua coloração e classificados como verdes (imaturos= 48 a 53 dias após a antese DAA), alaranjados (intermediários= 58 a 63 DAA) e vermelhos (maduros= 67 a 72 DAA).

Em uma parte dos frutos colhidos, as sementes foram extraídas manualmente, logo após a colheita, lavadas em água corrente e mantidas para secagem por aproximadamente 48 horas em condição de ambiente fechado monitorado (25 ± 2 °C). A outra parte, os frutos foram mantidos em repouso por 10 dias sob temperatura de 25 °C e umidade relativa do ar de 71% e, em seguida, as sementes extraídas manualmente, lavadas em água e secas sob condições similares a descrita anteriormente.

O experimento foi conduzido em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) em esquema fatorial $3 \times 2 \times 5$, sendo três estádios de maturação (verde, alaranjado e vermelho), dois períodos de repouso dos frutos (extração pós-colheita ou após 10 dias) e cinco genótipos, com quatro repetições.

As sementes obtidas foram submetidas aos testes de determinação do grau de umidade, germinação e vigor (primeira contagem, envelhecimento acelerado e condutividade elétrica). O teste de germinação foi conduzido com quatro repetições e 50 sementes por tratamento distribuídas sobre duas folhas de papel germitest, umedecidas com solução de nitrato de potássio (KNO_3) a 0,2% equivalente a 2.5 vezes a massa do papel seco, em caixas plásticas tipo Gerbox ($11 \times 11 \times 3,5$ cm). As amostras foram mantidas em câmara de germinação a temperatura de 30 °C e duas avaliações foram realizadas, sendo a primeira denominada de primeira contagem de germinação ao 8º dia e a segunda ao 14º dia após a semeadura. O critério de plântula normal foi adotado de acordo com critérios estabelecido pelas Regras para Análise de Sementes (RAS) e os resultados expressos em porcentagem (Brasil, 2009).

O teste de envelhecimento acelerado foi instalado distribuindo-se 1,0 g de sementes em camada única sobre bandeja de tela de aço inoxidável acoplada às caixas de plástico tipo Gerbox (11 × 11 × 3,5 cm), contendo, 40 mL de água destilada. As sementes foram mantidas em incubadora, a 42 °C, por 96 horas (AOSA, 1983). Logo após, foram colocadas para germinar e no 8º dia foi realizada a avaliação e os resultados obtidos expressos em porcentagem de plântulas normais. (Baalbaki et al., 2009)

Para o teste de condutividade elétrica utilizou-se quatro repetições de 50 sementes. As sementes foram imersas em 25 mL de água destilada e mantidas em incubadora BOD, a 25 °C, por 48 horas e em seguida, por meio de um condutivímetro digital portátil (modelo HI98300, Hanna), a condutividade elétrica da solução de embebição foi determinada. Os resultados obtidos foram expressos em $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ de sementes (Vidigal *et al.*, 2008).

Os dados obtidos foram testados quando a normalidade e homogeneidade de variâncias pelos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. As variáveis germinação e primeira contagem foram transformadas por *arco seno* $\sqrt{\frac{x}{100}}$ para atender os pressupostos da análise de variância. Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5%. A análise de componentes principais (ACP) foi também conduzida para o conjunto de dados. Todas as análises foram realizadas pelo programa R (<http://www.r-project.org>) utilizando os pacotes ExpDes (Ferreira *et al.*, 2014) e FactoMineR (Lê *et al.*, 2008).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pela análise de variância foi observado efeito significativo para as fontes de variação: repouso dos frutos (R), estágio de maturação (EM) e genótipos (G) para maioria das variáveis analisadas. Quando avaliadas as interações R x EM e EM x G foi observado efeito significativo para todas as variáveis, indicando um comportamento diferenciado do tempo de repouso aos estádios de maturação do fruto e também dos genótipos às alterações do estágio de maturação do fruto. Para as interações R x G e EM x R x G foi verificado efeito significativo apenas para envelhecimento acelerado (ENV) e condutividade (COND). Esses resultados indicam a existência de variabilidade genotípica quanto aos tipos de tratamentos propostos para avaliar a maturação e ao tempo de repouso dos frutos de pimenteira. Os coeficientes de variação foram de 11,62, 17,87, 8,39 e 14,15% para germinação, primeira contagem, ENV e COND, respectivamente.

Na germinação e primeira contagem, os maiores valores obtidos para extração pós-colheita foram para os frutos vermelhos com 94 e 89% de germinação, respectivamente, enquanto para os frutos sob repouso por 10 dias não houve diferenças para os três estádios de maturação do fruto (Tabela 1). Por outro lado, notou-se significativo incremento na germinação e na primeira contagem após o repouso de 10 dias para as sementes que foram colhidas dos frutos verdes e alaranjado, indicando que nesse período as sementes completaram o processo de maturação (Tabela 1).

A extração pós-colheita dos frutos verdes e alaranjados interrompe o processo de maturação das sementes resultando em sementes de baixo potencial fisiológico. Contudo, a permanência das sementes no interior dos frutos por 10 dias permitiu que o processo de maturação prosseguisse possibilitando o completo desenvolvimento fisiológico das sementes. Resultados similares foram observados por Pereira *et al.* (2014) em pimentas “dedo-de-moça”, colhidas em diferentes estádios de maturação e armazenadas (0, 5 e 10 dias) onde o armazenamento pós-colheita dos frutos por 5 e 10 dias promoveu aumento na germinação das sementes. Para pimentão, outra espécie do gênero *Capsicum*, Teixeira *et al.* (2006) observaram que sementes extraídas de frutos de coloração “verde amarelado” apresentaram germinação de 40 e 90% com zero e após sete dias de armazenamento, respectivamente. Portanto, os resultados obtidos no presente trabalho confirmam que quando os frutos são colhidos precocemente o repouso por alguns dias resulta em melhor potencial fisiológico.

A verificação do efeito genotípico foi realizada pela interação EM x G para a germinação e a primeira contagem no qual não foi observado diferenciação dos genótipos no estádio de frutos vermelhos (Tabela 2). No entanto, para frutos verdes, os maiores valores foram obtidos para os genótipos BRS Mari, Horticeres e Hortivale, enquanto que para a coloração alaranjada os maiores valores observados foram para os genótipos UEL111, UEL110, BRS Mari e Hortivale.

Estudos têm demonstrado variabilidade para germinação e vigor de sementes em acessos da mesma espécie, como por exemplo, para maracujá (Freitas, 2009), mamão (Cardoso *et al.*, 2009) e *Capsicum* spp. (Pessoa *et al.*, 2015). Pessoa *et al.* (2015) avaliando uma população F₂ de *C. annuum* verificaram variabilidade e alta herdabilidade para as variáveis relacionadas com o potencial fisiológico das sementes, sendo que essas características podem ser utilizadas nas primeiras gerações de seleção visando obtenção de uniformidade de emergência e vigor das plântulas.

Para o teste de envelhecimento acelerado, os genótipos Hortivale, Horticeres e UEL 111 obtiveram os maiores valores quando avaliados no estádio maturação vermelho com

extração pós-colheita, enquanto para os frutos no estágio alaranjado os maiores valores foram verificados para os genótipos UEL 111 e Hortivale (Tabela 3). Quando os frutos foram submetidos ao repouso por 10 dias, com exceção do estágio de maturação verde não foi verificada diferença entre os genótipos nos estádios vermelho e alaranjado. Dentre os frutos verdes os maiores valores foram observados para BRS Mari e Hortivale.

Para extração pós-colheita, os maiores resultados para o envelhecimento acelerado foram observados no estágio de maturação vermelho para UEL 111, Horticeres e Hortivale, enquanto que UEL 111 e UEL 110 não diferiram nos estádios de maturação alaranjado e vermelho. Quando comparado os genótipos frente aos diferentes estádios de maturação dos frutos sob repouso por 10 dias, UEL 110 e Horticeres obtiveram maiores números de plântulas normais após o envelhecimento acelerado para o estágio de maturação alaranjado em relação aos frutos colhidos verdes (Tabela 3). Em contrapartida, não houve diferença dos estádios de maturação alaranjado e vermelho para os frutos que permaneceram em repouso.

Na comparação da extração pós-colheita e repouso dos frutos por 10 dias, foi observado os maiores valores de resultados para o envelhecimento acelerado na presença do repouso nos estádios de fruto verde, para todos os genótipos e alaranjado, exceto para o genótipo UEL 111, no qual, não houve diferença no estágio de maturação alaranjado. Para o estágio de maturação do fruto vermelho, diferenças para o repouso foram verificadas apenas para os genótipos UEL 110 e BRS Mari que obtiveram os maiores valores quando os frutos foram mantidos sob repouso. Queiroz *et al.* (2011) avaliando o envelhecimento acelerado de sementes da pimenta Habanero Yellow, verificaram que o vigor máximo foi para as sementes colhidas aos 67 DAA com 7 dias de armazenamento dos frutos (repouso). Este estudo corrobora aos resultados dessa pesquisa, no qual foi observado que o armazenamento dos frutos por 10 dias resultou em sementes mais vigorosas, sendo esse resultado mais evidente nos frutos verdes que inicialmente possuíam potencial fisiológico inferior (Tabela 3).

Para condutividade elétrica foi observado menores valores para os estádios alaranjado e vermelho para extração pós-colheita (Tabela 3). Para os frutos em repouso por 10 dias, não foi observado diferenças entre os estádios de maturação para os genótipos BRS Mari e Hortivale, enquanto para os demais genótipos os melhores resultados foram obtidos para os estádios alaranjado e vermelho. Na comparação da presença e ausência repouso dos frutos por 10 dias, foram observadas diferenças para os três estádios de maturação dos frutos, sendo que os maiores valores foram observados para extração pós-colheita. Para frutos verdes, diferenças foram observadas para os genótipos UEL 110, BRS Mari e Hortivale, enquanto para fruto alaranjado foi para UEL 111, BRS Mari e Hortivale. Para frutos vermelhos essa

diferença foi detectada apenas para os genótipos UEL 110 e Hortivale, indicando a existência de variabilidade entre os genótipos quanto ao repouso nos três estádios de maturação. Em relação aos genótipos, BRS Mari obteve os menores valores nos três estádios de maturação na extração pós-colheita, enquanto que no repouso por 10 dias os menores valores foram observados para os genótipos BRS Mari e Hortivale.

O teste de condutividade elétrica está relacionado com a quantidade de íons lixiviados, sendo diretamente relacionados com a integridade das membranas celulares (Vidigal *et al.* 2008). Desse modo, quanto maior é o valor da condutividade elétrica da solução de embebição das sementes mais desestruturadas estão as membranas. Logo, os resultados de condutividade elétrica corroboram aos do teste de envelhecimento acelerado, uma vez que os maiores valores (membranas mais desestruturadas) foram observados para os frutos colhidos verdes. Nota-se também que o repouso dos frutos por 10 dias auxilia na reestruturação das membranas celulares devido aos menores valores observados em alguns casos após esse período de repouso (Vieira *et al.*, 2002). Similaridade em resposta foi observado por Pereira *et al.* (2014) que verificaram redução de valores da condutividade elétrica com o avanço da maturação dos frutos e também ao longo do armazenamento destes, indicando aumento de vigor das sementes da pimenta "dedo-de-moça".

Pela análise de componentes principais (ACP) foi observado que os dois primeiros componentes explicaram 88,16% da variação, sendo que CP1 e CP2 descreveram 76,1 e 12,1%, respectivamente (Figura 1). Segundo Cruz & Regazzi (2001), quando as duas primeiras variáveis explicam acima de 70% da variação total, sua utilização é satisfatória no estudo multivariado por meio de avaliação da dispersão gráfica dos escores em relação às variáveis.

Na dispersão gráfica bidimensional da ACP pode ser verificado a separação de dois grandes grupos, sendo o primeiro grupo os genótipos com frutos verdes e retiradas sementes após a colheita, enquanto o segundo grupo os demais tratamentos (Figura 1A). Nesse sentido, o repouso do fruto verde por 10 dias para extração sementes favorece o potencial fisiológico das sementes, tendo valores próximos aos obtidos com os frutos colhidos no estádio alaranjado e vermelho.

De modo geral, a coloração dos frutos refletiu a maturidade das sementes por proporcionar a máxima germinação quando a coloração vermelha era observada. Por outro lado, mesmo que os frutos sejam colhidos em estádio de maturação anterior ao vermelho (verde e alaranjado) o período de repouso será benéfico para características de germinação e vigor, com comportamento similar, mas com intensidades diferentes para cada genótipo

estudado. Assim sendo, uma aplicação prática é a possibilidade de produtores de sementes concentrar a colheita obtendo maiores quantidades totais de frutos e que, pela seleção e repouso de frutos verdes e alaranjados, poderia obter lotes de sementes com potencial fisiológico elevado. Por fim, destaca-se que o conhecimento do comportamento de maturação do genótipo resulta em maior eficiência para produção de sementes de alta qualidade já que intensidades diferentes de respostas são observadas. Os genótipos “dedo-de-moça” apresentaram potencial fisiológico inferior quando tiveram seus frutos colhidos verdes sem o repouso por 10 dias.

REFERÊNCIA

- ABUD HF; ARAUJO EF; ARAUJO RF; ARAUJO AV; PINTO CMF. 2013. Qualidade fisiológica de sementes das pimentas malagueta e biquinho durante a ontogênese. *Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília* 48: 1546-1554.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS. *Seed vigor testing handbook*. East Lansing, 1983. 88p. (Contribution, 32).
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2009. *Regras para análise de sementes*. SDA. Mapa/ACS. Brasília, 399p.
- BAALBAKI RS; ELIAS S; MARCOS-FILHO J; MCDONALD MB. 2009. *Seed vigor testing handbook*. New York: AOSA. 346p.
- CARDOSO DL; SILVA RF; DA PEREIRA MG; VIANA AP; ARAÚJO EF. 2009. Genetic diversity and genetic parameters related to physiological seed quality in papaya germplasm. *Revista Ceres* 56: 572-579.
- CARDOSO R; RUAS CF; GIACOMIN RM; RUAS PM; RUAS EA; BARBIERI RL; RODRIGUES R; GONÇALVES LSA. 2018. Genetic variability in brazilian Capsicum baccatum germplasm collection assessed by morphological fruit traits and AFLP markers. *Plos One* 13: e0196468.
- CARVALHO SIC; RIBEIRO CSC; HENZ GP; REIFSCHNEIDER FJB. 2009. BRS Mari: nova cultivar de pimenta dedo-de-moça para processamento. *Horticultura Brasileira* 27: 571-573.
- CRUZ CD; REGAZZI AJ. 2001. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Viçosa: UFV. 390p.
- DEWITT D; BOSLAND PW. 2009. *The complete chile pepper book. A gardener's guide to choosing, growing, preserving and cooking*. Portland: Timber Press. 336p.-FREITAS MVS. 2009. *Qualidade fisiológica das sementes e parâmetros genéticos de progênies de maracujazeiro amarelo (Passiflora edulis f. flavicarpa)*. Rio de Janeiro: UENF. 52p. (Dissertação de Mestrado).
- FERREIRA EB; CAVALCANTI PP; NOGUEIRA DA, 2014. ExpDes: An R package for anova and experimental designs. *Applied Mathematics* 5: 2952-2958,
- JUSTINO EV; BOITEUX LS; FONSECA MEN; SILVA FILHO JG; NASCIMENTO WM. 2015. Determinação da maturidade fisiológica de sementes de pimenta dedo de moça *Capsicum baccatum* var. *pendulum*. *Horticultura Brasileira* 33: 324-33.
- LÊ S; JOSSE J; HUSSON F. 2008. FactoMiner: an r package for multivariate analysis. *Journal of Statistical Software* 25: 1-18.

- MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2016, 15 de agosto. Disponível em <http://www.agricultura.gov.br/>
- MOREIRA SO; RODRIGUES R; OLIVEIRA HS; MEDEIROS AM; SUDRÉ CP; GONÇALVES LS. 2013. Phenotypic and genotypic variation among *Capsicum annuum* recombinant inbred lines resistant to bacterial spot. *Genetics and Molecular Research* 12:1232-1242.
- PEREIRA FECB; TORRES SB; SILVA MI de L; GRANGEIRO LC; BENEDITO CP. 2014. Qualidade fisiológica de sementes de pimenta em função da idade e do tempo de repouso pós-colheita dos frutos. *Revista Ciência Agronômica* 45:737-744.
- PESSOA AMS; BARROSO PA; RÊGO ER; MEDEIROS GA; BRUNO RLA; RÊGO MM. 2015. Genetic divergence of physiological-quality traits of seeds in a population of peppers. *Genetics and Molecular Research* 14: 12479-12488.
- QUEIROZ LAF; VON PINHO EV de R; OLIVEIRA JA; FERREIRA V de F; CARVALHO BO; BUENO ACR. 2011. Época de colheita e secagem na qualidade de sementes de pimenta habanero yellow. *Revista Brasileira de Sementes* 33: 472-481.
- RICCI N; PACHECO AC; CONDE AS; CUSTÓDIO CC. 2013. Qualidade de sementes de pimenta jalapenho em função da maturação e tempo de permanência nos frutos. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 43: 123-129.
- TEIXEIRA BA; NASCIMENTO WM; FREITAS RA. 2006. Maturação de sementes de pimentão 'Tico'. *Horticultura Brasileira* 24. Suplemento 1.
- USDA- United States Department of Agriculture. 2011, 14 de janeiro. *Grin species records of Capsicum*. Beltsville, Maryland: National Germplasm Resources Laboratory. Disponível em: <http://www.arsgrin.gov/cgi-bin/npgs/html/exsplist.pl/>
- VIDIGAL DS; DIAS DCFS; DIAS LAS; FINGER FL. 2011. Changes in seed quality during fruit maturation of sweet pepper. *Scientia Agricola* 68: 535-539.
- VIDIGAL, D.S.; LIMA, J.S.; BHERING, M.C; DIAS, D.C.F.S. 2008. Teste de condutividade elétrica para sementes de pimenta. *Revista Brasileira de Sementes* 30: 168- 174.
- VIDIGAL DS; DIAS DCFS; VON PINHO EV de R; DIAS LA dos S. 2009. Alterações fisiológicas e enzimáticas durante a maturação de sementes de pimenta (*Capsicum annuum* L.). *Revista Brasileira de Sementes* 31: 129-136.
- VIEIRA, R.D.; PENARIOL, A. L.; PERECIN, D.; PANOBIANCO, M. 2002. Condutividade elétrica e teor de água inicial das sementes de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 37:1333-1338.
- VILLELA JCB; BARBIERI RL; CASTRO CM; NEITZKE RS; VASCONCELOS CS; CARBONARI T; MISTURA CC; PRIORI D. 2014. Caracterização molecular de pimentas crioulas (*Capsicum baccatum*) com marcadores microssatélites. *Horticultura Brasileira* 32: 131-137.

Tabela 1. Valores médios de germinação e da primeira contagem de sementes de *C. baccatum* var. *pendulum*, tipo “dedo-de-moça”, extraídas, em pós-colheita e após repouso por 10 dias de frutos, em três estádios de maturação (verde, alaranjado e vermelho) {Average values of germination (%) and first germination count (%) of *C. baccatum* var. *pendulum* seeds, “dedo-de-moça” type, extracted from fruits post harvest and after 10 days of fruits rest in three maturity stages (green, orange and red)}. Londrina, UEL, 2016.

Repouso	Maturação do Fruto		
	Verde	Alaranjado	Vermelho
Germinação (%).....		
Extração pós-colheita	22 Cb	76 Bb	94 Aa
Repouso dos frutos por 10 dias	93 Aa	97 Aa	94 Aa
Primeira contagem (%).....		
Extração pós-colheita	17 Cb	59 Bb	89 Aa
Repouso dos frutos por 10 dias	90 Aa	96 Aa	89 Aa

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) {means followed by the same uppercase letter in small line and letter in column do not differ by Tukey test ($p < 0.05$)}.

Tabela 2. Germinação e primeira contagem de germinação de sementes de cinco genótipos de *C. baccatum* var. *pendulum*, tipo “dedo-de-moça”, extraídas, de frutos em três estádios de maturação (verde, alaranjado e vermelho) {Seed germination and first germination count of five genotypes of *C. baccatum* var. *pendulum*, “dedo-de-moça” type, extracted from fruits in three maturity stages (green, orange and red)}. Londrina, UEL, 2016.

Genótipos	Maturação do fruto		
	Verde	Alaranjado	Vermelho
Germinação (%).....		
UEL111	53 Bbc	91 Aa	96 Aa
UEL110	44 Bc	86 Aa	97 Aa
BRS Mari	68 Ba	84 ABa	94 Aa
Horticeres	61 Bab	67 Bb	93 Aa
Hortivale	66 Bab	93 Aa	98 Aa
Primeira Contagem (%).....		
UEL111	50 Bab	90 Aa	96 Aa
UEL110	40 Bb	82 Aa	95 Aa
BRS Mari	62 Bab	75 ABab	93 Aa
Horticeres	49 Bab	55 Bb	96 Aa
Hortivale	65 Ba	85 ABa	95 Aa

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) {means followed by the same uppercase letter in small line and letter in column don't differ by Tukey test ($p < 0.05$)}.

Tabela 3. Testes de envelhecimento acelerado e condutividade elétrica de sementes de cinco genótipos de *C. baccatum* var. *pendulum*, tipo “dedo-de-moça”, extraídas, em pós-colheita e após 10 dias de repouso, de frutos em três estádios de maturação (verde, alaranjado e vermelho). {Accelerated aging test and electrical conductivity from seeds of five genotypes of *C. baccatum* var. *pendulum* “dedo-de-moça” type, extracted post harvest and after 10 days of fruits rest in three maturity stages (green, orange and red)}. Londrina, UEL, 2016.

Genótipos	Envelhecimento Acelerado (%)					
	Extração pós-colheita			Repouso dos frutos por 10 dias		
Estádio de maturação do fruto.....					
	Verde	Alaranjado	Vermelho	Verde	Alaranjado	Vermelho
UEL 111	4 Bc	77 Aa	75 Aab	61 Bb*	74 ABa	82 Aa
UEL 110	31 Ba	55 Abc	56 Ac	71 Bab*	88 Aa*	90 Aa*
BRS Mari	24 Bba	36 Bd	64 Abc	85 Aa*	88 Aa*	90 Aa*
Horticeres	15 Cb	48 Bcd	84 Aa	66 Bb*	84 Aa*	85 Aa
Hortivale	24 Cab	70 Bab	87 Aa	86 Ab*	87 Aa*	89 Aa

Genótipos	Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ de sementes)					
	Extração pós-colheita			Repouso dos frutos por 10 dias		
Estádio de maturação do fruto.....					
	Verde	Alaranjado	Vermelho	Verde	Alaranjado	Vermelho
UEL 111	1,66 Ac	0,99Bc*	1,00 Bab	1,10Ab	0,75Bc	0,95ABb
UEL 110	4,53Aa*	1,01Bc	1,15 Bab*	1,13Ab	1,09Aa	0,88Bb
BRS Mari	2,07Ac*	0,64Bd*	0,88 Bb	0,42Ac	0,39Ad	0,73Abc
Horticeres	2,30 Ac	1,82Ab	1,30Ba	2,32Aa	1,77Bb	1,59Ba
Hortivale	3,87Ab*	2,64Ba*	1,08Cab*	0,58Ac	0,57Acd	0,46Ac

*Diferenças entre os dois tempos de extração das sementes (pós-colheita e após 10 dias de repouso). Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) {means followed by the same uppercase letter in small line and letter in column do not differ by Tukey test ($p < 0.05$)}.

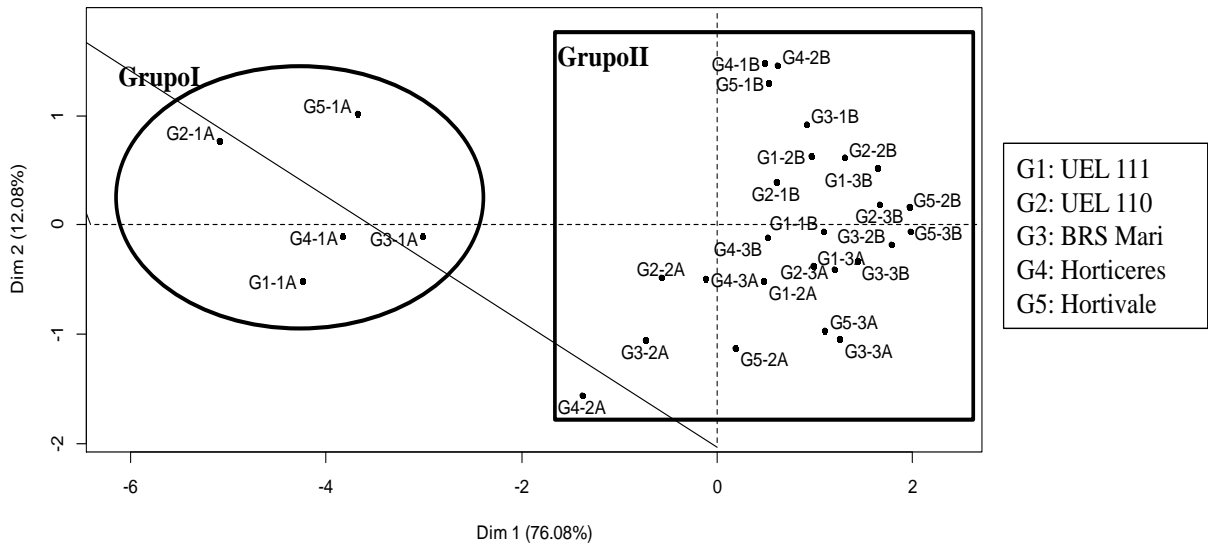


Figura 1. Gráfico biplot da Análise de Componentes Principais dos genótipos de pimentas (*C. baccatum* var. *pendulum*). {Principal Component Analysis biplot of peppers genotypes (*C. baccatum* var. *pendulum*)}. Frutos verdes sem repouso (1A) {green fruit without rest (1A)}; Frutos verdes com repouso (1B) {green fruit with rest (1B)}; Frutos com coloração intermediária sem repouso (2A) {Fruit with orange color without rest (2A)}; Alaranjado com repouso (2B) {Intermediate with rest (2B)}; Frutos vermelhos sem repouso (3A) {Red fruit without rest (3A)}; Vermelhos com repouso (3B) { Red with rest (3B)}. Londrina, UEL, 2016.

3 ARTIGO B - CARACTERIZAÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE *IN VITRO* E *IN VIVO* EM ACESSOS DE PIMENTA “DEDO-DE-MOÇA” (*Capsicum baccatum* var. *pendulum*)

RESUMO

A pimenta “dedo-de-moça” (*Capsicum baccatum* var. *pendulum*) é amplamente cultivada e consumida no Brasil. Sua popularidade é atribuída as suas qualidades sensoriais, tais como coloração, sabor e pungência (variando de sua à mediana), sendo consumida *in natura* ou na forma de molhos e desidratadas. Sendo assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar atributos físico-químicos, compostos bioativos e a atividade antioxidante *in vitro* e *in vivo* de cinco acessos de pimenta “dedo-de-moça” visando o desenvolvimento de um programa de melhoramento com enfoque na qualidade nutricional. Os frutos de cinco acessos foram produzidos em cultivo protegido e colhidos 70 a 80 dias após a antese. Os dados dos atributos físico-químicos, compostos bioativos e a atividade antioxidante *in vitro* e *in vivo* foram submetidos à análise de variância e, posteriormente a análise de comparação de médias pelo teste de Tukey. Com base nos resultados, foi observada variabilidade nos teores de compostos bioativos e atividade antioxidante *in vitro* entre os acessos, indicando boas perspectivas para o desenvolvimento de cultivares com alta qualidade nutricional. Na análise da atividade antioxidante *in vivo*, os extratos da pimenta “dedo-de-moça” foram efetivos contra o estresse oxidativo nas células da *S. cerevisiae*, indicando a real capacidade de proteger as células eucariontes contra espécies reativas de oxigênio. Esses resultados ressaltam as propriedades nutraceuticas da pimenta “dedo-de-moça”, valorizando-a como um importante alimento da culinária mundial.

Palavras-chave: hortaliça; *Saccharomyces cerevisiae*; qualidade nutraceutica; melhoramento de plantas.

Characterization of bioactive compounds and antioxidant activity *in vitro* and *in vivo* in accessions of dedo-de-moça pepper (*Capsicum baccatum* var. *pendulum*)

Abstract

“Dedo-de-moça” chilli peppers (*Capsicum baccatum* var. *pendulum*) is widely cultivated and consumed in Brazil. Its popularity is attributed to its sensory qualities, such as coloring, taste

and pungency (ranging from its to the median), being consumed *in natura* or in the form of sauces and dehydrated. Therefore, the present work had as objective to evaluate physical-chemical attributes, bioactive compounds and the antioxidant activity *in vitro* and *in vivo* of five accessions of “dedo-de-moça” chilli peppers, aiming the development of an improvement program focusing on nutritional quality. The fruits of five accessions were produced in protected cultivation and harvested 70 to 80 days after the anthesis. The data of physical-chemical attributes, bioactive compounds and antioxidant activity *in vitro* and *in vivo* were submitted to analysis of variance and, afterwards, the analysis of means comparison by Tukey's test. Based on the results, it was observed variability in the contents of bioactive compounds and antioxidant activity *in vitro* between the accessions, indicating good prospects for the development of cultivars with high nutritional quality. In the analysis of *in vivo* antioxidant activity, fingertip extracts were effective against oxidative stress in *S. cerevisiae* cells, indicating the actual ability to protect eukaryotic cells against reactive oxygen species. These results highlight the nutraceutical properties of “dedo-de-moça” chilli peppers, valuing it as an important food of the world cuisine.

Keywords: greenery. *Saccharomyces cerevisiae*. nutraceutical quality. plant breeding.

Introdução

Capsicum baccatum L. é uma das principais espécies de pimentas cultivadas e consumidas na América do Sul (Albrecht et al., 2012). Essa espécie é identificada pela corola predominantemente branca, porém com manchas difusas amareladas ou esverdeadas na base de cada lobo e tem como centro de origem a Bolívia e o Sul do Peru (Eshbaugh, 1970; D’Arcy e Eshbaugh, 1974). Uma ampla variabilidade morfológica é observada nos frutos dessa espécie, sendo dividida em três variedades botânicas: a domesticada *C. baccatum* var. *pendulum* (Willd.) Eshbaugh e as silvestres *C. baccatum* var. *baccatum*, *C. baccatum* var. *praetermissum* e *C. baccatum* var. *umbilicatum* (Vell.) Hunz. and Barboza (Scaldeferro et al., 2018).

No Brasil, a pimenta do tipo “dedo-de-moça” (*C. baccatum* var. *pendulum*), também conhecido como chifre-de-veado, pimenta-vermelha e/ou calabresa, é amplamente cultivada por agricultores familiares e utilizadas na gastronomia brasileira, sobretudo, nas regiões Sul e Sudeste. Sua popularidade é atribuída, principalmente, às suas qualidades sensoriais, tais

como coloração, sabor e pungência (variando de suave à mediana), sendo consumidas *in natura* ou na forma de molhos e desidratados (Gomes et al., 2017; Cardoso et al., 2018).

Tradicionalmente, os programas de melhoramento de hortaliças têm focado no desenvolvimento de cultivares com características agronômicas desejáveis, alta produtividade e estabilidade de produção, resistência e/ou tolerância a estresses bióticos e abióticos e característica longa-vida, negligenciando a qualidade nutricional (Patil et al., 2014; Kaushik et al., 2015; Kyriacou e Rouphael, 2018). No entanto, esse cenário vem sendo modificado por alguns programas de melhoramento, que têm voltado a sua atenção também para as características sensoriais e nutricionais (Kyriacou e Rouphael, 2018).

Os frutos das pimentas são reconhecidos como importantes fontes de compostos antioxidantes, com ação anti-inflamatória, analgésica, regulatória da glicemia, entre outras (Bogusz Júnior et al., 2018). Os antioxidantes são inibidores efetivos da peroxidação lipídica, desempenhando um importante papel no mecanismo de defesa celular contra danos por estresse oxidativo causados por radicais livres, prevenindo a iniciação e o progresso de várias doenças humanas (Finkel e Holbrook, 2000; Kaur e Kapoor, 2001). Diversos compostos fitoquímicos com atividade antioxidante são encontrados em frutos de pimenta, tais como vitamina C e E, carotenoides, capsaicinoides e fenólicos (Materska e Perucka, 2005; Bogusz et al., 2018).

A determinação da atividade antioxidante (*in vitro* e *in vivo*) é um parâmetro importante para estabelecer a funcionalidade de um produto alimentar, existindo diversos métodos para sua determinação que podem diferir em mecanismos de reação, aplicação e complexidade (Rice-Evans et al., 1996; Pulido et al., 2000; Bogusz Júnior et al., 2018). A determinação *in vitro* é o método de estimativa mais utilizado para avaliar a atividade antioxidante, sendo estes baseados na captura ou remoção de radicais livres gerados na reação ou na redução de íons metálicos (Pisoschi e Negulescu, 2012; Sora et al., 2015). Exemplos de ensaios *in vitro*, incluem ferric reducing ability of plasma (FRAP), copper reduction assay (CUPRAC), *oxygen radical absorbance capacity* (ORAC), *total peroxy radical trapping antioxidant parameter* (TRAP), 2,2'-azino-bis-3 o 2,2,-diphenyl-1-picryl-hydrazyl (DPPH) e 2,2'-azinobis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonate (ABTS) (Alam et al., 2013).

Embora os ensaios *in vitro* para determinação da capacidade antioxidante sejam amplamente utilizados e aceitos, estes não refletem as condições celulares e fisiológicas, como biodisponibilidade ou metabolismo (López-Alarcón e Denicola, 2013; Stinco et al., 2015). Nesse contexto, os modelos celulares são considerados uma ferramenta útil para fornecer informações valiosas sobre possíveis mecanismos de ação e efeito protetor de

antioxidantes. A levedura *Saccharomyces cerevisiae* tem sido amplamente utilizada como modelo celular para determinar a capacidade antioxidante de alimentos, permitindo uma aproximação da condição fisiológica dos eucariotos superiores (Riger et al., 2011; Odriozola-Serrano et al., 2016; Piovezan-Borges et al., 2016).



O presente trabalho teve como objetivo avaliar atributos físico-químicos e nutricionais, além da atividade antioxidante por métodos *in vitro* e *in vivo* de cinco acessos de pimenta “dedo-de-moça”, visando à disponibilização de cultivares mais ricas em fatores nutricionais para indústria de alimentos, além do desenvolvimento de um programa de melhoramento com enfoque na qualidade nutricional.

Material e Métodos

Material Vegetal e Experimento

Foram avaliados cinco acessos de *C. baccatum* var. *pendulum* tipo “dedo-de-moça” do banco de germoplasma da Universidade Estadual de Londrina (UEL), sendo três cultivares (Tabela 1). O experimento foi conduzido em cultivo protegido na área experimental do Departamento de Agronomia da UEL, Paraná, Brasil (23°22' S, 51°10' W; altitude 585 m). O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com três repetições e sete plantas por parcela. Os tratos culturais e a adubação foram realizados conforme a recomendação para cultura.

Tabela 1. Descrição dos genótipos de *Capsicum baccatum* var. *pendulum* avaliados neste estudo.

Genótipos	Origem	Foto
UEL 110	Banco de Germoplasma Universidade Estadual de Londrina	
UEL 111	Banco de Germoplasma Universidade Estadual de Londrina	
UEL 112	Cultivar BRS Mari Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária	
UEL 113	Comercial Hortivale Sementes	
UEL 114	Comercial Horticeres Sementes Ltda.	

Os frutos foram colhidos com 70 a 80 dias após a antese, nos meses de janeiro a maio de 2015, sendo uma parte congelada em freezer a -30°C e liofilizados (Christ, Modelo 500)

para análises de capsaicinoides, vitamina C e de capacidade antioxidantes *in vivo e in vitro*. Para as demais análises foram utilizados os frutos frescos.

Caracterização físico-química dos frutos

O teor de sólidos solúveis totais (TSS) foi determinado em refratômetro digital (Atago®) após maceração do fruto em almofariz, utilizando-se de triplicatas das amostras e expresso em °Brix. Para a acidez titulável (TA), o extrato a partir de cada fruto fresco foi titulado com NaOH 0,1 mol L⁻¹ até pH 8,2, expresso % (m/m) de ácido cítrico (IAL, 2008). A relação (SST/TA) foi calculada por meio da relação entre os sólidos solúveis totais e acidez titulável total, e o pH foi medido em um potenciômetro (Quimis, Q400A).

Quantificação de Vitamina C

O teor de vitamina C (ácido ascórbico) foi quantificado pelo método padrão da AOAC (1984) modificado por Benassi e Antunes (1988), utilizando-se 10,0 g de amostra freca e 50 mL de ácido oxálico (Synth) a 2% (m/v). Os extratos das amostras foram titulados com 2,6-diclorofenol-indofenol (Merck, Germany) e os resultados expressos em mg de ácido ascórbico 100 g⁻¹.

Quantificação do teor total de compostos fenólicos e de flavonoides

Para a quantificação de compostos fenólicos e de flavonoides foi realizado uma extração a partir de 1,00 g das amostras frescas com 10 mL de metanol a 80% (v/v), deixando a suspensão sob agitação por 30 min (Orbital-Nova Orgânica) em temperatura ambiente. Em seguida, o extrato foi centrifugado a 2500 rpm (Excelsa 2 Fanem modelo 205N) por 5 minutos e separado para as análises (Vázquez et al., 2008).

Para determinação do teor de compostos fenólicos 1,0 mL de extrato foi misturado a 1,0 mL metanol, 1,0 mL de reagente Folin-Ciocalteau 0,20 N e 1,0 mL de carbonato de sódio 10% (m/v). A mistura foi deixada em repouso por 30 min no escuro à temperatura ambiente de 25° C. Posteriormente, a absorvância foi medida em comprimento de onda de 765 nm em um espectrofotômetro Micronal (AJX1600). O ácido gálico foi utilizado como padrão nas concentrações 10,0–100,0 mg L⁻¹. Os resultados foram expressos como mg equivalentes de ácido gálico por g de amostra (mg GAE g⁻¹) (Swain e Hillis, 1959).

A quantificação de flavonoides foi realizada conforme a metodologia proposta por Woisky e Salatino (1998), utilizando 1,0 mL dos extratos das pimentas. Esses extratos foram colocados em tubos e adicionado 1,0 mL de cloreto de alumínio 5,0% (m/v) e 2,0 mL de

metanol e deixado 30 min no escuro. Posteriormente, foi realizada a leitura em espectrofotômetro (Micronal, AJX-1600) em 425 nm. A quercetina foi utilizada como padrão nas concentrações de 1,0–50,0 mg L⁻¹ e os resultados foram expresso em mg de equivalente de quercetina (QE) por g de amostra (Lee et al., 1995; Gurnani et al., 2016).

Quantificação de capsaicinoides

Os capsaicinoides foram extraídos dos frutos liofilizados a partir de 1,00 g de amostra e 25 mL de metanol (Merck, Germany), em ultrassom a 160 W (EQM Cristófoli-CF, Brasil), 42 kHz frequência, por 20 min (Barbero et al., 2008). O extrato foi filtrado e seco em evaporador rotativo e ressuspenso em metanol, realizando as adequadas diluições para análise em cromatógrafo líquido de alta performance (HPLC) (Shimadzu, LC-20AT, Japan) acoplado a um detector de arranjo de diodos (Shimadzu, SPD-20A, Japan), em intervalo de absorvância em 250 a 300 nm.

Os capsaicinoides foram separados em coluna C18 de fase reversa Betasil Thermo (25 cm, 4.6 mm, 5 µm), e o volume injetado foi de 20 µL, com tempo de corrida de 15 minutos e fluxo de 1 mL min⁻¹. A fase móvel constituiu-se de duas soluções: água ultrapura acidificada com ácido acético a 1% em (A) e acetonitrila a 60% (v/v) (B) (Collins et al., 1995; Bogusz Junior et al., 2018). As curvas analíticas para quantificação dos capsaicinóides foram preparadas com os padrões de capsaicina, e dihidrocapsaicina, nordihidrocapsaicina (Cayman Chemical, Michigan, USA), utilizando três repetições e cinco concentrações no intervalo de 0.02 – 0.1 mg mL⁻¹.

Atividade antioxidante *in vitro*

Para a determinação da capacidade antioxidante pelo sequestro do radical 2,2-Diphenyl-1-picryl-hidrazil (DPPH) 50,0 µL do extrato metanólico das amostras foram misturados a 1,0 mL de tampão acetato 100 mM (pH 5,5), 1,0 mL de metanol e 0,5 mL de solução etanólica de DPPH 250,0 µM. Os tubos foram mantidos a temperatura ambiente por 15 min no escuro. A absorvância do radical DPPH foi determinada em espectrofotômetro (Thermo- Genesys) no comprimento de onda de 517 nm, realizadas em triplicata. A curva analítica foi preparada utilizando Trolox (6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilchroman-2-ácido carboxílico) como reagente padrão, e os resultados foram expressos em µmol de capacidade antioxidante de equivalente de trolox (TEAC) por g de pimenta (Brand-Williams et al., 1995).

Para capacidade antioxidante pelo método FRAP foram utilizados 50 µL do extrato das pimentas, misturados a 1 mL de água destilada e 1 mL do reagente FRAP. A mistura foi

mantida a 37° C por 30 minutos e a leitura realizada leitura de absorvância em 595 nm, e os resultados foram expressos em $\mu\text{mol TEAC g}^{-1}$ de pimentas (Benzie e Strain, 1999).

Atividade antioxidante *in vivo*

A avaliação da atividade antioxidante das amostras dos diferentes acessos da pimenta “dedo-de-moça” foi realizada por meio de ensaios de sobrevivência e disfunção mitocontrial. As células da *Saccharomyces cerevisiae* BY4741 (*MATa; his3; leu2; met15; ura3*, Euroscarf) foram crescidas em meio líquido YPD 2% líquido usando um agitador orbital a 28 °C e 160 rpm (razão do volume:meio foi 5:1). A concentração celular foi determinada na absorvância de 570 nm e o fator de conversão da absorvância em massa seco foi calculado por filtração de 10 mL da suspensão celular em filtro Milipore (0,45 μm) e desidratado a 80 °C até obter peso constante.

As células da *S. cerevisiae* na fase *mid-log* de crescimento (1,0 mg de peso seco mL⁻¹) foram incubadas com os extratos da pimenta na concentração de 10 $\mu\text{g.mL}^{-1}$ durante 60 min a 28 °C e 160 rpm. As células foram colhidas por centrifugação e lavadas duas vezes com tampão fosfato 50 mM, pH 6,0. Posteriormente, os *pellets* foram ressuspensos no meio YPD 2% contendo H₂O₂ (1,0 mM) e mantidos por 60 min a 28° C e 160 rpm. Antes dos ensaios de viabilidade celular e disfunção mitocondrial foi determinada a toxicidade dos extratos de pimenta na concentração de 10 $\mu\text{g mL}^{-1}$ por 1 e 2 horas pelo crescimento das colônias em meio sólido YPD 2%.

Um volume equivalente a 40 μg das células foram coletadas e, posteriormente, foram diluídas e plaqueadas no YPD 2%. As placas foram deixadas a 28 °C e as colônias foram contadas após 48 horas. A viabilidade celular foi determinada por plaqueamento em meio YPD solidificado, enquanto a disfunção mitocondrial (metabolismo respiratório) foi determinada por plaqueamento em meio YPGly (2,0 % de glicerol, 2,0 % de peptona, 1,0 % de extrato de levedura e 2,0 % de ágar).

Análise dos dados

Os dados foram submetidos a análise de variância e, posteriormente a análise de comparação de médias pela análise de Tukey ($P < 0,05$). Os dados foram analisados pelo software R (<http://www.r-project.org>) utilizando o pacote agricolae.

Resultados e Discussão

Pela análise de variância foi observado efeito significativo ($P < 0,05$) dos acessos “dedo-de-moça” para maioria das características, exceto para acidez titulável (AT) e pH. Essa variabilidade nos acessos indica boas perspectivas para o desenvolvimento de cultivares com alta qualidade nutricional. Diversos trabalhos na literatura têm indicado uma ampla variabilidade da espécie *C. baccatum* var. *pendulum* para as características de qualidade dos frutos e de compostos bioativos (Yoon et al., 2006; Rodríguez-Burruezo et al., 2009; Rêgo et al., 2009; Eggink et al., 2014).

Pela análise físico-química, os acessos UEL 112 e UEL 113 obtiveram os maiores valores para Sólidos soluveis totais (SST) (Tabela 2). No entanto, esses valores foram considerados baixo quando comparado com outros trabalhos da literatura (Lannes et al., 2007; Rêgo et al., 2009; Ferrão et al., 2011; Maciel et al., 2016; Moreira et al., 2018). Moreira et al. (2018) avaliando 65 acessos de *C. chinense* observaram uma variação de SST de 8,11 a 11,02 °Brix, enquanto em *C. baccatum*, Rêgo et al. (2009) e Ferrão et al. (2011) observaram uma variação de 7,20 a 13,53 °Brix e 5,5 a 11,9 °Brix, respectivamente. O baixo valor de SST pode estar relacionado com o sistema de cultivo adotado, no qual, o cultivo protegido promove menor captação de luz solar, promovendo menores concentrações de fotoassimilados (Lee e Kader, 2000; Dumas et al., 2003; Bian et al., 2015; Suekawa et al., 2017).

As características físico-químicas são parâmetros importantes para qualidade dos frutos e para o processamento de alimentos (Acunha et al., 2017), sendo desejável frutos com baixos valores de acidez e elevados teores de SST. Sendo assim, os acessos UEL 112 e UEL 113 destacaram apresentando os maiores valores para relação (SST/AT). Teores elevados de SST implicam menor adição de açúcares, tempo de evaporação da água, gasto de energia e maior rendimento da matéria-prima na etapa do processamento. Além disso, os teores de SST são importantes na determinação da qualidade do fruto, como indicador do teor de açúcares juntamente com ácidos, vitaminas, aminoácidos e algumas pectinas.

Para ácido ascórbico (AA) ou vitamina C, os acessos UEL 112 e UEL 114 obtiveram os maiores valores, sendo superiores ao recomendado pela Food and Drug Administration (FDA) (60 mg dia^{-1}) (FDA, 2016). A vitamina C é um importante antioxidante, sendo essencial para prevenir o escorbuto e está relacionada na prevenção de doenças comuns e complexas, com coronariana, acidente vascular cerebral e câncer (Moser e Chun, 2016; Granger e Eck, 2018). Rodríguez-Burruezo et al. (2009) avaliando 23 acessos de *C. baccatum*

observaram uma variação de AA de 34,5 a 90,8 mg 100 g⁻¹ de peso fresco para cultivo protegido, enquanto para campo aberto foi de 44,3 a 157,7 mg 100 g⁻¹ de peso fresco.

Os acessos que obtiveram os maiores valores para AA também obtiveram para fenólicos totais. Em relação aos flavonoides, os acessos UEL 110, UEL 111, UEL 113 e UEL 114 obtiveram os maiores valores (Tabela 2). Os compostos fenólicos totais e flavonoides observados nos acessos “dedo-de-moça” foram superiores aos verificados em outras espécies de *Capsicum* relatados na literatura (Ghasemnezhad et al., 2011; Zhuang et al., 2012; Carvalho et al., 2015; Acunha et al., 2017). Essas diferenças podem estar relacionadas com o genótipo, mas também a fatores externos, tais como maturidade do fruto, método de extração e analítico e as condições de cultivo.

Os compostos fenólicos são metabolitos secundários amplamente encontrados nos frutos, representado principalmente por flavonoides e ácidos fenólicos. O grande interesse por essas substâncias está relacionado com seu amplo espectro de atividades bioquímicas, como o antioxidante, o antimutagênico, o anticarcinogênico, bem como a capacidade de modificar a expressão gênica (Marinova et al., 2005; Haminiuk et al., 2012).

Os valores de capsaicina variaram de 57,27 a 1057,50 µg.100 g⁻¹, enquanto para dihidrocapsaicina e nordihidrocapsaicina variaram de 17,78 a 532,70 µg.100 g⁻¹ e 25,7 a 333,60 µg.100 g⁻¹, respectivamente (Figura 1). Os maiores valores de capsaicinoides foram observados nos genótipos UEL 112 e UEL 113. Acunha et al. (2017) avaliando 72 acessos de *Capsicum* spp., observaram valores de capsaicina e dihidrocapsaicina variando de 0,15 a 1935,77 mg 100 g⁻¹ e 0,03 a 186 mg 100 g⁻¹ respectivamente, sendo que os acessos de *C. baccatum* obtiveram as menores concentrações de capsaicinoides quando comparado com os acessos de *C. chinense* e *C. annuum*. A espécie *C. baccatum* var. *pendulum* é caracterizado por apresentar frutos com pungência suave à mediana, podendo apresentar genótipos com ausência de pungência, como por exemplo, algumas cultivares do tipo cambuci.

A determinação da atividade antioxidante foi realizada pelos métodos FRAP e DPPH, sendo esses métodos amplamente utilizados em estudos com *Capsicum* spp. (Deepa et al., 2006; Loizzo et al., 2015; Sora et al., 2015; Dutta et al., 2017). O FRAP reflete a capacidade redutora dos antioxidantes da amostra a partir da reação de transferência de elétrons, enquanto o DPPH é baseado na atividade da neutralização dos radicais livres (Alam et al., 2013). As atividades antioxidantes variaram de 50,50 a 72,90 µmol TEAC g⁻¹ e 40,5 a 185,50 µmol TEAC g⁻¹ pelos métodos DPPH e FRAP, respectivamente. Os acessos UEL 111 e UEL 112 apresentaram os maiores valores pelo método DPPH (Figura 2a), enquanto pelo método FRAP foi o acesso UEL 111 (Figura 2b). Em *Capsicum* spp., os diversos trabalhos usam

diferentes ensaios para determinar a atividade antioxidante, sendo difícil uma comparação entre os trabalhos. No entanto, com base nos resultados deste estudo, os acessos UEL 111 e UEL 112 são considerados promissores para o programa de melhoramento.

Os ensaios de antioxidante *in vitro* fornecem apenas uma indicação da capacidade de uma substância de capturar ou remover radicais livres (Sora et al., 2015). No entanto, não indica o efeito de um antioxidante sobre a sobrevivência celular. Sendo assim, foi avaliada a capacidade antioxidante do extrato da pimenta “dedo-de-moça” na proteção celular da *S. cerevisiae*, que é considerado um modelo de organismo para avaliar se amostras com extrato de planta apresentam capacidade antioxidante *in vivo* (Frassinetti et al., 2012).

No presente trabalho, não foi observado efeito citotóxico dos extratos da pimenta “dedo-de-moça” nas células da levedura *S. cerevisiae*. Ao aplicar o estresse oxidativo, as células da levedura mostraram sensibilidade ao H_2O_2 (1,0 mM) e somente 22,16% conseguiram sobreviver quando comparado com o controle (Figura 3a). Contudo, ao aplicar o pré-tratamento com extrato de pimenta foi observado uma supressão parcial do dano desencadeado pelo oxidante, com uma taxa de sobrevivência média de 36,95%, um incremento de 67% quando comparado com o tratamento com apenas H_2O_2 . Lingua et al. (2016) avaliando o estresse oxidativo do H_2O_2 (2,0 mM) em células de *S. cerevisiae* (ATCC36900) verificaram uma taxa de sobrevivência de 54 %. No entanto, quando realizado o pré-tratamento com os extratos das uvas de três genótipos identificaram um incremento entre 14 e 20% da taxa de sobrevivência quando comparado com as células expostas ao H_2O_2 .

Na avaliação da disfunção mitocondrial da *S. cerevisiae*, foi observado diferenças significativas entre as células estressadas e os tratamentos com o extrato da pimenta (Figura 3b). No tratamento com apenas H_2O_2 foi observado uma taxa de sobrevivência de 22,56%, enquanto no tratamento com os extratos de pimenta a taxa de sobrevivência foi de 37,45%, um incremento de 66%. Esse resultado sugere que no metabolismo aeróbico os extratos de pimenta realizaram uma proteção antioxidante capaz de evitar parcialmente que as mitocôndrias das células da H_2O_2 não sofressem os danos causados pela exposição ao H_2O_2 e pudessem realizar suas funções celulares.

Com base nesses resultados, os extratos da pimenta “dedo-de-moça” foram eficientes no metabolismo aeróbico e anaeróbico contra o estresse provocado pelo H_2O_2 nas células da *S. cerevisiae*, indicando uma proteção efetiva contra a sua toxicidade. Esses resultados obtidos são mais uma evidência dos benefícios advindo do consumo da pimenta.

Conclusão

Existe variabilidade entre os acessos da pimenta “dedo-de-moça” para os compostos bioativos e atividade antioxidante *in vitro*, com potencial uso em programas de melhoramento de plantas e em indústria alimentos, visando o desenvolvimento de cultivares enriquecida de fatores nutricionais. A pimenta “dedo-de-moça” fornece uma proteção efetiva contra a toxicidade do H₂O₂.

Referências

- Acunha T dos S, Crizel RL, Tavares IB, Barbieri R L, Pereira, CMP de P, Rombaldi VR, Chaves FC (2017) Bioactive compound variability in a Brazilian *Capsicum* pepper collection. *Crop Science* 57: 1-13.
- Alam MN, Bristi NJ, Rafiquzzaman M (2013) Review on *in vivo* and *in vitro* methods evaluation of antioxidant activity. *Saudi Pharm J* 21: 143-152.
- Albrecht E, Zhang D, Mays AD, Saftner RA, & Stommel JR (2012) Genetic diversity in *Capsicum baccatum* is significantly influenced by its ecogeographical distribution. *BMC Genetics*, 13.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists. (1984). *Official Methods Of Analysis*. 844-845p.
- Barbero, G.F., Liazid, A., Palma, M., Barroso C.G. 2008. Ultrasound-assisted extraction of capsaicinoids from peppers. *Talanta* 75, 1332-1337.
- Benassi MDT, Antunes, AJ (1988) A comparison of methaphosphoric and oxalic acids as extractants solutions for the determination of vitamin C in selected vegetables. *Arq Biol e Tecnol* 31:507–513.
- Benzie IFF, Strain JJ (1999) Ferric reducing (antioxidant) power as a measure of antioxidant capacity: the FRAP assay. *Anal Biochem* 299:15–36.
- Bian ZH, Yang QC, Liu WK (2015) Effects of light quality on the accumulation of phytochemicals in vegetables produced in controlled environments: a review. *J. Sci.Food Agric.* 95: 869–877.
- Bogusz JS, Libardi SH, Dias FFG, et al (2018) Brazilian *Capsicum* peppers: capsaicinoid content and antioxidant activity. *J Sci Food Agric* 98:217–224.
- Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C (1995) Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie* 28(1), 25-30.
- Cardoso ES, Pedri ECM de, Yamashita OM (2018) Políticas públicas, agricultura familiar e segurança alimentar e nutricional no Brasil e em Mato Grosso. *Nativa*, Sinop 6, 124-133.
- Carvalho AV, Andrade Mattietto, de R, Oliveira Rios A de, Almeida Maciel R de, Moresco KS, Souza Oliveira TC de (2015) Bioactive compounds and antioxidant activity of pepper (*Capsicum* sp.) genotypes. *Journal of Food Science and Technology* 52(11), 7457–7464.
- Collins MD, Wasmund LM, Bosland PW (1995) Improved Method for Quantifying Capsaicinoids in *Capsicum* Using High- performance Liquid Chromatography. *HortScience* 30:137–139. Disponível em: <<http://hortsci.ashspublications.org/content/30/1/137.full.pdf>>. Acesso em: 16 ago. 2017.
- D’Arcy WG, Eshbaugh WH (1974) New World peppers *Capsicum*-Solanaceae north of Colombia. *Baileya*, Editora: Ithaca, NY pp 93–105.
- Deepa N, Kaur C, Singh B, Kapoor HC (2006) Antioxidant activities in some red sweet pepper cultivars. *J Food Compos Anal* 19: 572-578.

- Dumas Y, Dadomo M, Di Lucca G, Grolier P (2003) Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes. *J. Sci. Food Agric.* 83, 369–382.
- Dutta B, Langston DB, Luo X, Carlson S, Kichler J, Gitaitis R (2017) A risk assessment model for bacterial leaf spot of pepper (*Capsicum annuum*), caused by *Xanthomonas euvesicatoria*, based on concentrations of macronutrients, micronutrients, and micronutrient ratios. *Phytopathology* 107(11):1331-1338.
- Eggink PM, Tikunov Y, Maliepaard C, Haanstra JPW, et al. (2014) Capturing flavors from *Capsicum baccatum* by introgression in sweet pepper. *Theor. Appl. Genet.* 127: 373-390.
- Eshbaugh WH (1970) Biosystematic and evolutionary study of the *Capsicum pubescens* complex. In: National Geographic Society Research Reports. National Geographic Society, Washington, DC, pp 143–162
- FDA . Food and Drug Administration (2016) Disponível em: <<https://www.fda.gov>> acesso em: 16 fev. 2018.
- Ferrão LFV; Cecon PR; Finger FL; Silva FF; Puiatti M (2011) Divergência genética entre genótipos de pimenta com base em caracteres morfo-agrômicos. *Horticultura Brasileira* 29:354-358.
- Finkel T, Holbrook NJ (2000) Oxidants, oxidative stress and the biology of ageing. *Nature* 408:239–247.
- Frassinetti S, Della Croce CM, Caltavuturo L, Longo V (2012) Antimutagenic and antioxidant activity of Lisosan G in *Saccharomyces cerevisiae*. *Food Chem* 135(3): 2029-34.
- Ghasemnezhad M, Sherafati M, Payvast GA (2011) Variation in phenolic compounds, ascorbic acid and antioxidant activity of Five coloured Bell pepper (*Capsicum annuum*) fruits at two different harvest times. *Journal of Functional Foods* 3(1): 44-49.
- Gomes GP, Damasceno Junior CV, Costa DS da, et al (2017) Harvest season and seed physiological potential of ‘dedo-de-moça BRS Mari’ hot peppers. *Semina Ciências Agrárias* 38:3897–3905.
- Granger M, Eck P (2018) Vitamina C dietética na saúde humana. *Adv Food Nutr Res.* 83: 281-310. doi: 10.1016/bs.afnr. 2017.11.006.
- Gurnani N, Gupta M, Mehta D, Mehta BK (2016) Chemical composition, total phenolic and flavonoid contents, and *in vitro* antimicrobial and antioxidant activities of crude extracts from red chilli seeds (*Capsicum frutescens* L.). *J Taibah Univ Sci* 10:462–470.
- Haminiuk, C.W.I., Maciel, G. M.; Plata-Oviedo, M.S.V. & Peralta, R. M. (2012). Phenolic compounds in fruits – an overview. *International Journal of Food Science and Technology* 46:1529–1537.
- IAL (2008) Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análise de alimentos. Instituto Adolfo Lutz, São Paulo, SP.
- Kaur C, Kapoor HC (2001) Antioxidants in fruits and vegetables -The millennium’s health. *Int J Food Sci Technol* 36:703–725.
- Kaushik PS, Swamy MK, Balasubramanya S, Anuradha M (2015) Rapid plant regeneration, analysis of genetic fidelity and camptothecin content of micropropagated plants of *Ophiorrhiza mungos* Linn.—a potent anticancer plant. *J Crop Sci Biotech.* 18(1):1–8.
- Kyriacou MC, Roupheal Y (2018) Towards a new definition of quality for fresh fruits and vegetables(Review). *Scientia Horticulturae* 234 (14): 463-469.
- Lannes SD, Finger FL, Schuelter DR, Casali VWD (2007) Growth and quality of Brazilian accessions of *Capsicum chinense* fruits. *Scientia Horticulturae* 112: 266-270.
- Lee Y, Howard LR, Villalón B (1995) Flavonoids and Antioxidant Activity of Fresh Pepper (*Capsicum annuum*) Cultivars. *J Food Sci* 60:473–476.

- Lee SK, Kader AA (2000) Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology & Technology* 20 (3), 207–220.
- Lingua MS, Fabani MP, Wunderlin DA, Baroni MV (2016) In vivo antioxidant activity of grape, pomace and wine from three red varieties grown in Argentina: its relationship to phenolic profile. *Journal of Functional Foods* 20: 332-345.
- Loizzo RM, Pugliese A, Bonesi M, Tenuta MC, Menichini F, Xiao J and Tundis R (2015) Edible flowers: a rich source of phytochemicals with antioxidant and hypoglycemic properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 19.
- López de Lerma N, Peinado J, Peinado R.A (2013) In vitro and in vivo antioxidant activity of musts and skin extracts from off-vine dried *Vitis vinifera* cv. “Tempranillo” grapes. *Journal of Functional Foods* 5: 914–922.
- Maciel GM, Fernandes MAR, Melo OD, Oliveira CS (2016) Potencial agrônômico de híbridos de minitomate com hábito de crescimento determinado e indeterminado. *Horticultura Brasileira* 34(1): 144-148.
- Marinova D, Ribarova F, Atanassova M (2005) Total phenolics and total flavonoids in Bulgaria fruits and vegetables. *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy* 40: 255-260.
- Materska M, Perucka I (2005) Antioxidant activity of the main phenolic compounds isolated from hot pepper fruit (*Capsicum annuum* L.). *J Agric Food Chem* 53:1750–1756.
- Moreira AFPM, Ruas PM, Ruas CF, Baba VY, Giordania W, Arruda IM, Rodrigues R, Gonçalves LSA (2018) Genetic diversity, population structure and genetic parameters of fruit traits in *Capsicum chinense*. *Scientia Horticulturae* 236 : 1-9.
- Moser MA, Chun OK (2016) Vitamina C e saúde do coração: uma revisão baseada em resultados de estudos epidemiológicos. *Revista internacional de ciências moleculares* 17(8): 1328- 1330.
- Odriozola-Serrano I, Puigpinós J, Oms Oliu G, et al (2016) Antioxidant activity of thermal or non-thermally treated strawberry and mango juices by *Saccharomyces cerevisiae* growth based assays. *LWT - Food Sci Technol* 74:55–61.
- Patil SM, Patil DB, Patil MS, Gaikwad PV, Bhambudekar SB et al (2014) Isolation, characterization and salt tolerance activity of *Rhizobium* sp. from root nodules of some legumes. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 3(5): 1005-1008.
- Piovezan-Borges AC, Valério-Júnior C, Gonçalves IL, et al (2016) Antioxidant potential of yerba mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) extracts in *Saccharomyces cerevisiae* deficient in oxidant defense genes. *Braz J Biol* 76:539–44.
- Pisoschi AM, Negulescu GP (2012) Methods for Total Antioxidant Activity Determination: A Review. *Biochem Anal Biochem* 01:1–10.
- Pulido, R., Bravo, L., Sauro-Calixto, F. (2000). Antioxidant activity of dietary polyphenols as determined by a modified ferric reducing/antioxidant power assay, *J. Agri. Food chem.*, 48: 3396-3402.
- Rêgo ER, Rêgo, MM, Finger FL, Cruz CD, Casali VWD (2009). A diallel study of yield components and fruit quality in chilli pepper (*Capsicum baccatum*). *Euphytica* 168: 275-287.
- Rice-Evans CA, Miller JM, Paganga G (1996) Glucosinolates and phenolics as antioxidants from Structure-antioxidant activity relationship of flavon-plant foods. *Eur. J. Cancer Prev.* 7:17-21.
- Riger CJ, Fernandes PN, Vilela LF, et al (2011) Evaluation of heavy metal toxicity in eukaryotes using a simple functional assay. *Metallomics* 3:1355.

- Rodriguez-Burruezo, Prohens J, Raigon MD, Nuez F (2009) Variation for bioactive compounds in aji (*Capsicum baccatum* L.) and rocoto (*C. pubescens* R. & P.) and implications for breeding. *Euphytica* 170: 169-181.
- Scaladaferro MA, Barboza GE, Acosta MC (2018) Evolutionary history of the chili pepper *Capsicum baccatum* L. (Solanaceae): domestication in South America and natural diversification in the Seasonally Dry Tropical Forests *Biological Journal of the Linnean Society* 1–13.
- Sora GTS, Haminiuk CWI, da Silva MV, et al (2015) A comparative study of the capsaicinoid and phenolic contents and *in vitro* antioxidant activities of the peppers of the genus *Capsicum*: an application of chemometrics. *J Food Sci Technol* 52:8086–8094.
- Swain T, Hillis WE (1959) The phenolic constituents of *Prunus domestica*. The quantitative analysis of phenolic constituents. *Journal Science Food and Agriculture* 10(1):63–68.
- Stinco CM, Baroni MV, Di Paola Naranjo RD, Wunderlin DA, Heredia FJ, Meléndez-Martínez AJ, Vicario IM (2015) Hydrophilic antioxidant compounds in orange juice from different fruit cultivars: Composition and antioxidant activity evaluated by chemical and cellular based (*Saccharomyces cerevisiae*) assays. *Journal of Food Composition and Analysis* 37: 1–10.
- Suekawa M, Fujikawa Y, Esaka M (2017) Physiological role of ascorbic acid recycling enzymes in plants. *Ascorbic Acid in Plant Growth, Development and Stress Tolerance* pp 355-373.
- Vázquez G, Fontenla E, Santos J, et al (2008) Antioxidant activity and phenolic content of chestnut (*Castanea sativa*) shell and eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) bark extracts. *Ind Crops Prod* 28:279–285.
- Woisky RG, Salatino A, 1998 Analysis os propolis: some parameters ond prodecure for chemical fuality control. *Journal Apicultural Research* 37: 99-105.
- Yoon JS, Lee MK, Sung SH, Kim YC, 2006 Neuroprotective 2-(2-phenylethyl) chromones of *Imperata cylindrica*. *J Nat Prod* 69(2): 290-291
- Zhuang Y Sun LCL, Cao J (2012) Bioactive characteristics and antioxidant activities of nine peppers. *Journal of Functional Foods, Philadelphia* 4: 331-338.

Tabela 2. Média dos atributos físico-químicos e dos compostos bioativos dos acessos de pimenta “dedo-de-moça” (*Capsicum baccatum* var. *pendulum*).

Genótipos	Atributos físico-químicos			
	Sólidos Solúveis Total (°Brix)	Acidez Titulável (% citric acid)	Relação (SST/AT)	pH
UEL110	5,83 b	49,03 a	0,12b	4,79 a
UEL111	5,46 bc	50,03 a	0,11 b	4,72 a
UEL112	7,10 a	49,34 a	0,14 a	4,72 a
UEL113	7,10 a	48,83 a	0,14 a	4,71 a
UEL114	5,23 c	49,92 a	0,10 b	4,79 a
C.V. (%)	4,18	6,69	8,54	1,04

Genótipos	Compostos bioativos		
	Vitamin C (mg AA 100 g ⁻¹)	Composto Fenólico (mg EAG 100g ⁻¹)	Flavonoides (mg EQ 100 g ⁻¹)
UEL110	73,59 bc	298 b	233 a
UEL111	34,58 d	203 b	235 a
UEL112	99,31 a	422 a	165 b
UEL113	49,65 cd	261 b	228 a
UEL114	110,80 a	439 a	209 a
C.V. (%)	10,51	5,25	5,24

AA: Acido Ascórbico; EAG: Equivalente de Ácido Gálico; EQ: Equivalente de Quercetina. Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

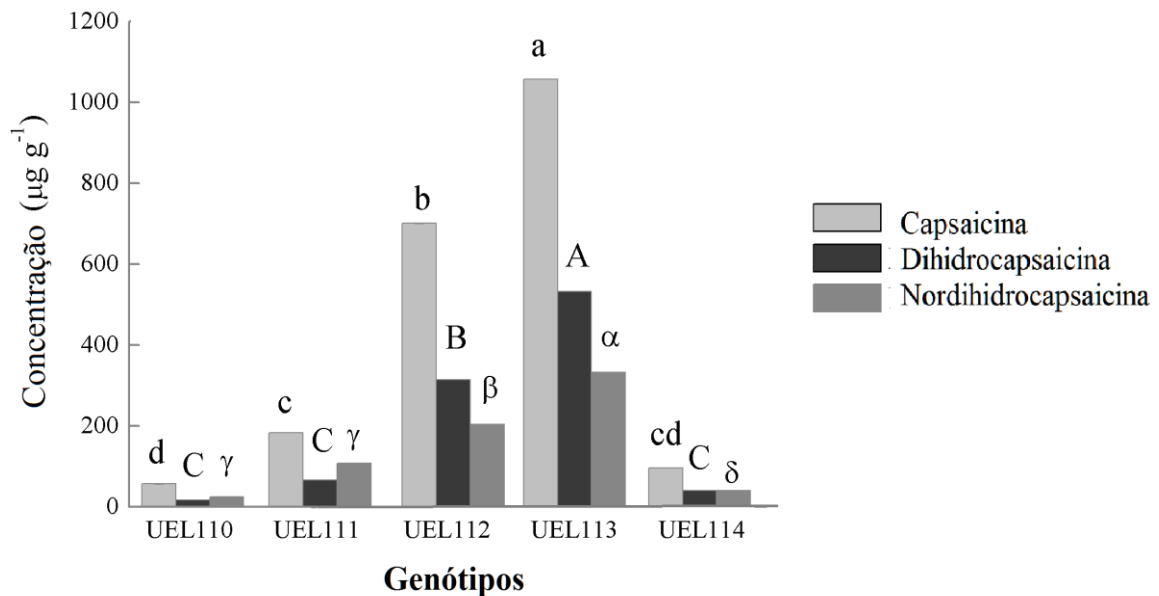


Figura 1. Concentração de capsaicinóides nos acessos de pimenta “dedo-de-moça” (*Capsicum baccatum* var. *pendulum*). Letras maiúsculas, minúsculas e gregas comparam a concentração de capsaicina, dihidrocapsaicina e nordihidrocapsaicina entre os genótipos, respectivamente. Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo Teste de Tukey ($P < 0,05$).

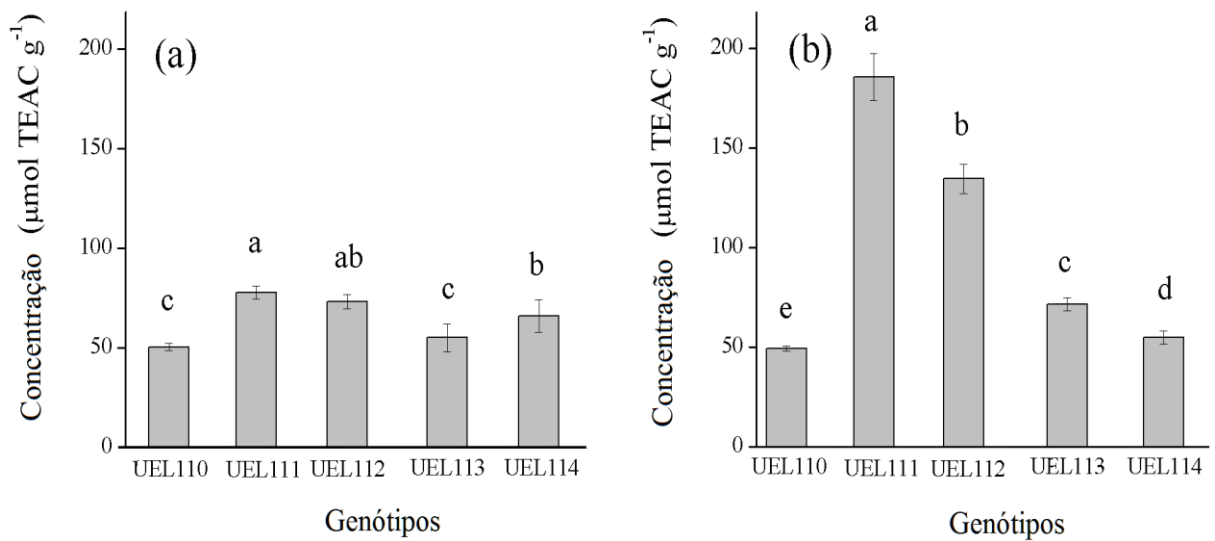


Figura 2. Atividade antioxidante *in vitro* dos acessos de pimenta “dedo-de-moça” (*Capsicum baccatum* var. *pendulum*); (a) ensaio de DPPH e (b) ensaio de FRAP.

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo Teste de Tukey ($P < 0,05$).

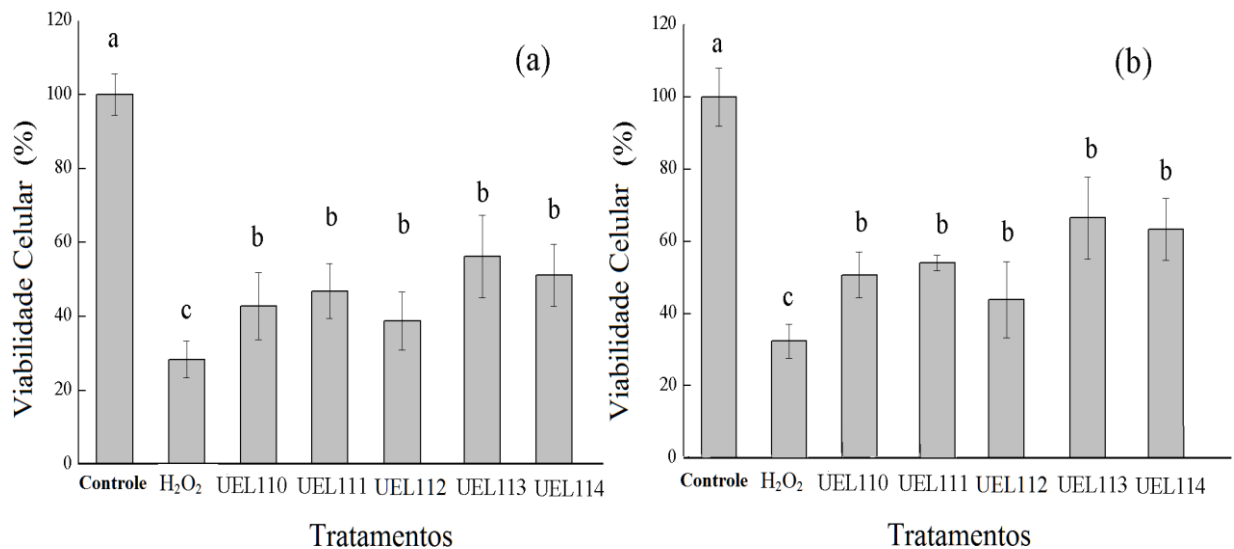


Figura 3. Atividade antioxidante *in vivo* dos acessos de pimenta “dedo-de-moça” (*Capsicum baccatum* var. *pendulum*) por ensaio de estresse oxidativo; (a) viabilidade de celular e (b) controle da disfunção mitocondrial.

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo Teste de Tukey ($P < 0,05$).

5 ARTIGO C - ANÁLISE GENÉTICA PARA CARACTERÍSTICAS MORFOAGRONÔMICAS, FITOQUÍMICAS E ANTIOXIDANTE DE *Capsicum baccatum* var. *pendulum*

RESUMO- A espécie *Capsicum baccatum* é considerada uma das principais pimentas cultivadas na América do Sul. No entanto, a maioria dos estudos sobre a genética e o melhoramento são focados na espécie *C. annuum*, sendo a espécie *C. baccatum* subexplorada. Sendo assim, os objetivos do presente trabalho foram avaliar a capacidade combinatória de genótipos de *C. baccatum* var. *pendulum* tipo “dedo-de-moça” no que diz respeito a caracteres morfoagronômicos e nutricionais, determinar os modos de ação gênica envolvidos na expressão desses caracteres em estudo, e identificar combinações híbridas superiores. Foram avaliados cinco genótipos em esquema de dialelo completo, com recíproco, totalizando 25 tratamentos. Os dados morfoagronômicos, fitoquímicos e antioxidante foram submetidos a análise de variância e, posteriormente, a análise de Griffing para estimação da capacidade geral e específica de combinação (CGC e CEC, respectivamente) e efeito recíproco (ER). Pela análise de variância foi observado efeito significativo para todas as características, indicando uma ampla diversidade entre os genitores e consequentemente nos híbridos. Efeitos significativos de CGC, CEC e ER também foram detectados para maioria das características, indicando que os efeitos aditivos, não-aditivos e citoplasmáticos estão envolvidos no controle genético dessas características. O efeito não-aditivo foi preponderância para maioria das características, sendo que os híbridos Horticeres (♂) x BRS Mari (♀) e Hortivale (♂) x BRS Mari (♀) foram considerados promissores reunindo produção por planta e características nutricionais.

Palavras-chave: Melhoramento de plantas. dialelo. capacidade geral e específica de combinação. efeito recíproco.

Genetic analysis of morphoagronomic, phytochemical and antioxidant traits in *Capsicum baccatum* var. *pendulum*

ABSTRACT – *Capsicum baccatum* species is considered one of the main peppers cultivated in South America. However, most studies on genetics and breeding are focused on *C. annuum* species, being *C. baccatum* species underexplored. In this sense, the aims of this work were to estimate the combination abilities of “dedo-de-moça” chilli peppers (*C. baccatum* var.

pendulum) in relation to morphoagronomic and biochemical traits, determine the mode of gene action involved in the expression of these traits, and identify superior hybrid combinations. Five genotypes were crossed in a full diallel mating design, obtaining 20 F₁ hybrids. Morphoagronomic, phytochemical and antioxidant data were submitted to an analysis of variance and then to a Griffing analysis to estimate the general and specific combining ability (GCA and SCA, respectively) and the reciprocal effect (RE). The analysis of variance showed significant effect for all traits, indicating a wide diversity among parents and consequently in the hybrids. Significant effects of GCA, SCA and RE were also detected for most traits, indicating that additive, non-additive and cytoplasmic effects are involved in the genetic control of these traits. The non-additive effects were predominant for most traits, considering Horticeres (♂) x BRS Mari (♀), and Hortivale (♂) x BRS Mari (♀) hybrids the most promising including yield per plant and biochemical traits.

Keywords: Plant breeding. Diallel. General and specific combining ability. Reciprocal effect.

1. Introdução

A espécie *Capsicum baccatum* L. é considerada uma das principais pimentas cultivadas na América do Sul, apresentando uma ampla variabilidade genética para as características relacionadas aos frutos, resistência a estresses abióticos e quantidade de compostos bioativos (Albrecht et al., 2012a; Van Zonneveld et al., 2015; Nimmakayala et al., 2016). Essa espécie tem como centro de origem a Bolívia e o sul do Peru, sendo divididas em quatro variedades botânicas: a domesticada *C. baccatum* var. *pendulum* (Willd.) Eshbaugh, e as silvestres *C. baccatum* var. *baccatum* (anteriormente *C. microcarpum* Cav), *C. baccatum* var. *praetermissum* (Heiser and P.G. Sm.) Hunz e *C. baccatum* var. *umbilicatum* (Vell.) Hunz e Barboza (Albrecht et al., 2012b).

No Brasil, *C. baccatum* var. *pendulum* é amplamente cultivado por agricultores familiares, sendo representado pelos tipos morfológicos "dedo-de-moça" e "cambuci" (Leite et al., 2016; Cardoso et al., 2018). As pimentas "dedo-de-moça" possuem frutos alongados com pungência suave à mediana, sendo consumida principalmente nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste na forma *in natura* ou na forma de molhos, conservas e desidratadas (Gomes et al., 2017). Por sua vez, o tipo "cambuci" apresenta frutos campanulados com pungência suave a ausente, sendo consumida *in natura* ou na forma de conservas, principalmente na região Sudeste (Carvalho et al., 2006).

Embora os tipos morfológicos "dedo-de-moça" e "cambuci" tenham uma grande aceitação no mercado brasileiro, apenas 11 cultivares estão registradas no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2018). Esse número é inferior daqueles encontrados para os registros efetuados para as cultivares *C. annuum* L., *C. frutescens* L. e *C. chinense* Jacq., que somam 764, 62 e 50 registros, respectivamente. Sendo assim, o desenvolvimento de novas cultivares (linhagens e/ou híbridos) pode ter um importante papel no agronegócio de *Capsicum* no Brasil, ajudando na diversificação e fonte de renda para os pequenos agricultores.

As principais características analisadas nos programas de melhoramento de *Capsicum* são produtividade, resistência a doenças e pragas, arquitetura da planta, bem como as características relacionadas à qualidade sensorial dos frutos (coloração, formato, tamanho, espessura da polpa e níveis de pungência) (Rodrigues et al., 2012). No entanto, características relacionadas aos compostos bioativos do fruto são negligenciados, pois as maiorias dos estudos estão relacionados com a caracterização de germoplasma (Rodríguez-Burruezo et al., 2010; Meckelmann et al., 2013; Dubey et al., 2015; Acunha et al., 2017). Os frutos de *Capsicum* são considerados fontes importantes de vários compostos nutracêuticos relevantes para a promoção da saúde humana, tais como capsaicinoides, carotenoides, flavonoides, ácido ascórbico (vitamina C) e tocoferol (vitamina E) (Wahyuni et al., 2013). Esses compostos têm sido associados a ações antiinflamatória, analgésica, regulação da glicose e atividade antioxidante (Bogusz Jr et al., 2018).

O conhecimento sobre os mecanismos genéticos envolvidos na determinação das características agrônômicas e nutricionais de interesse são de grande relevância para a condução eficiente de um programa de melhoramento, pois direcionam o melhorista na escolha dos melhores procedimentos de seleção e dos métodos de melhoramento a serem utilizados (Cruz e Regazzi, 2001). Entre os diferentes delineamentos genéticos, o uso dos cruzamentos dialélicos tem se destacado, fornecendo informações importantes para o melhorista. As principais metodologias de análise dialélica são as propostas de Griffing (1956), as quais estimam os efeitos da capacidade geral e específica de combinação, Gardner e Ebehart (1966), no qual são avaliados os efeitos variedades e heterose varietal, e Hayman (1954) que gera informações sobre os mecanismos básicos de herança da característica em estudo.

O presente trabalho teve como objetivos avaliar a capacidade combinatória de genótipos de *C. baccatum* var. *pendulum* tipo "dedo-de-moça" no que diz respeito a caracteres

agronômicos e nutricionais, determinar os modos de ação gênica envolvidos na expressão desses caracteres em estudo, e identificar combinações híbridas superiores.

2. Material e Métodos

2.1. Material vegetal e condução experimental

Foram utilizados cinco genótipos de *C. baccatum* var. *pendulum* tipo “dedo-de-moça”, sendo três cultivares (Hortivale, BRS Mari, Horticeres) e dois acessos do Banco de Germoplasma da Universidade Estadual de Londrina (UEL) (UEL 110 e UEL 111). Os cruzamentos envolvendo os cinco genitores foram realizados em esquema de dialelo completo, com recíprocos, obtendo-se um total de 20 combinações híbridas. As hibridações foram realizadas em condições de casa de vegetação, utilizando-se dez vasos por genitor cada um contendo uma planta.

Os cruzamentos foram realizados entre os meses de janeiro a abril de 2015. Para a realização dos cruzamentos, botões florais recém-abertos de cada um dos genitores masculinos foram coletados para retirada do pólen. O pólen obtido de cada genitor foi armazenado em geladeira dentro de recipientes contendo sílica-gel, devidamente identificados. Os botões florais das plantas dos cinco genitores femininos foram emasculados pela manhã antes da antese, utilizando-se uma pinça. No mesmo período, a polinização foi realizada colocando-se grãos de pólen de cada um dos genitores masculinos nos estigmas de cada flor emasculada. Etiquetas foram utilizadas para identificar os frutos oriundos de cada diferente tipo de cruzamento.

Para avaliação dos caracteres agrônômicos e nutricionais, os híbridos e os genitores foram cultivados no campo experimental da UEL (23°19'41” S e 51°12'18” O, altitude média de 550 metros). O solo é caracterizado como latossolo vermelho eutroférico e o clima da região é do tipo Cfa, de acordo com a classificação de Köppen. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com três repetições e seis plantas por parcela. O espaçamento foi de 1,0 x 0,8 m entre fileiras e plantas.

A adubação foi realizada com base na análise de solo e os demais tratamentos culturais (capinas, tutoramento, irrigação por aspersão) conforme as recomendações de cultivo para a cultura. A colheita dos frutos foi realizada entre 70 e 80 dias após a antese (DAA), sendo realizada três colheitas.

2.2. Caracteres agronômicos

As características agronômicas avaliadas foram: diâmetro da copa (DC), em cm; altura de planta (AP), em cm; comprimento do fruto (CF), em mm; diâmetro do fruto (DF), em mm; massa fresca do fruto (MF), em g; massa seca do fruto (MS), em g; espessura do pericarpo (ESP), em cm; e produção por planta (PP), em kg/planta.

2.3. Determinação da composição química dos frutos

2.3.1 Preparação das amostras

Para as variáveis sólidos solúveis totais (SST), acidez titulável (AT), pH e vitamina C (AA) os frutos foram analisados frescos, enquanto para as demais variáveis (ácidos fenólicos, antioxidantes *in vitro* – DPPH e FRAP, e capsaicinoides) os frutos foram congelados em freezer a -30 °C. Posteriormente, esses frutos foram liofilizados (Marca Christ, Modelo 500) e moídos em moinho de facas (Marca Ika, Modelo 33).

2.3.2 Caracterização físico-química dos frutos e teor de vitamina C

O SST foi determinado em refratômetro digital (Atago®) após maceração do fruto em almofariz, utilizando-se de triplicatas das amostras e expresso em °Brix. Para AT foi utilizado um extrato a partir do fruto fresco titulado com NaOH 0,1 mol L⁻¹, até pH 8,2, expresso % (m/m) de ácido cítrico (IAL, 2008). O pH foi medido em um potenciômetro (Quimis, Q400A).

O teor de vitamina C foi quantificado pelo método padrão da AOAC (1989), modificado por Benassi e Antunes (1988), utilizando-se 10g de amostra liofilizada, 50 mL de água destilada e 50 ml de ácido oxálico (Synth) a 2% (m/v). Os extratos das amostras foram titulados com 2,6-diclorofenol indofenol (Merck) e os resultados expressos em mg de ácido ascórbico 100 g⁻¹.

2.3.3 Determinação de compostos fenólicos totais e flavonoides totais

Para a determinação dos teores de compostos fenólicos totais e de flavonoides totais fez-se uma extração a partir de 1 g das amostras frescas com 10 mL de metanol a 80% (v/v), deixando a suspensão sob agitação por 30 min (Orbital-Nova Orgânica) à 25 °C. Em

seguida, o extrato foi centrifugado a 2500 rpm (Excelsa 2 Fanem modelo 205N) por 5 minutos e separado para as análises (Vázquez et al., 2008).

Os teores de fenólicos totais foram determinados utilizando 1 mL de extrato no qual foi adicionada 1 mL água destilada, 1 mL de reagente aquoso de Folin-Ciocalteu 0,9 N e 1,0 mL de carbonato de sódio 10% (m/v). A mistura foi deixada em repouso por 30 min no escuro à temperatura ambiente de 25 °C. Posteriormente, a absorvância foi medida em comprimento de onda de 720 nm em um espectrofotômetro Micronal (AJX1600). O ácido gálico foi utilizado como padrão nas concentrações 4, 6, 8, 12, 16 e 24 $\mu\text{g mL}^{-1}$. Foram realizadas três repetições por amostra e os resultados expressos como mg equivalentes de ácido gálico por 100 g de amostra ($\text{mg EAG } 100 \text{ g}^{-1}$) (Swain e Hills, 1959).

A quantificação de flavonoides totais foi realizada conforme a metodologia proposta por Woisky e Salatino (1998), no qual, 1 mL dos extratos das pimentas foram colocados em tubos e adicionado 1 mL de cloreto de alumínio 5% (m/v) e 2 mL de metanol puro, deixando-se 30 min no escuro, seguido pela leitura em espectrofotômetro (Micronal, AJX-1600) a 425 nm. Quercetina foi utilizada como padrão na curva analítica, em concentrações de 50 a 500 mg mL^{-1} e os resultados foram expresso em mg de equivalente de quercetina 100 mg^{-1} de amostra.

2.3.4 Determinação de atividade antioxidante pelos métodos DPPH e FRAP

A atividade antioxidante foi determinada via radical livre DPPH* (2,2- Diphenyl-1-picryl-hidrazila), segundo Brand Williams et al. (1995) e modificado por Casagrande et al. (2007). Foi utilizado 1 mL de tampão acetato 100 mM, pH 5,5, 1mL de etanol puro, 0,5 mL de solução etanólica de DPPH 250 μM e 50 μL do extrato etanólico de amostra. Os tubos foram mantidos a temperatura ambiente por 15 min no escuro. A absorvância do radical DPPH foi determinada em espectrofotômetro (Thermo-Genesys) no comprimento de onda de 517 nm e realizada em triplicata. A curva analítica foi preparada utilizando Trolox (6-hidroxi - 2,5,7,8-tetrametilchroman- 2- ácido carboxílico) e os resultados expressos μmol de TEAC por g de pimenta.

Para capacidade antioxidante pelo método FRAP foi utilizado 30 μL do extrato etanólico, sendo transferida para tubos de ensaio e acrescentados 70 μL de H_2O destilada e 900 μL do reagente FRAP, mantendo-se a 37 °C por 30 min e a leitura realizada a 595 nm e os resultados foram expressos em $\mu\text{mol TEAC}$ por g de pimentas (Benzie e Strain, 1996).

2.3.5 Quantificação de capsaicinoides

A extração dos capsaicinoides dos frutos de pimentas liofilizados foi realizada com 100 mg de amostra e 1 mL de acetonitrila. Em seguida os tubos foram agitados e aquecido em termobloco (Tembloc- Selecta) à 80 °C por 4 h e centrifugado (Centrifuge 5810R) à 1.000 rpm por 5 min. O extrato foi filtrado e seco em evaporador rotativo.

As curvas analíticas foram preparadas com padrões de capsaicina, e dihidrocapsaicina, nordihidrocapsaicina (Sigma Chemical Co. St. Louis, MO), utilizando três repetições. A análise foi realizada utilizando a Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE) (Waters LC616 Alliance) acoplada a um detector de arranjo de diodos (Waters 2996), e a absorvância monitorada em 250 a 300 nm. Os capsaicinoides foram separados em coluna C18 de fase reversa Betasil Thermo (25 cm, 4.6 mm, 5 µm), e o volume injetado foi de 10 µL, com tempo de corrida de 15 minutos e fluxo de 1 mL min⁻¹. A fase móvel foi constituída de duas soluções: água ultrapura acidificada com ácido acético a 1% em (A) e acetonitrila a 60% (v/v) (B) (Collins et al., 1995; Estrada et al., 2000).

2.4 Análise dos dados

Os dados foram submetidos a análise de variância ($P < 0,05$) e, posteriormente, a análise de Griffing (1956) para estimação da capacidade geral e específica de combinação (CGC e CEC, respectivamente) e efeito recíproco. Realizou-se também as análises de boxplot e heatmap com os dados padronizados. Pela análise do heatmap foi utilizada a análise de agrupamento UPGMA (*Unweighted Pair Group Method using Arithmetic Averages*) com base na distância euclidiana. As análises de variância e de Griffing foram realizados pelo programa Genes (Cruz, 2016), enquanto as demais análises pelo programa R (<http://www.r-project.org>) utilizando os pacotes ggplot2 e pheatmap.

3. Resultados

3.1. Anova e análise dialélica

Pela análise de variância foi observado efeito significativo ($P < 0,05$) entre genótipos (genitores + respectivos híbridos) para todas as características (Tabela 1 e 2). Essa amplitude de variação pode ser constatada na análise de boxplot e heatmap com os dados padronizados (Figura 1 e 2). Nessa análise foram observados *outliers* para oito variáveis, sendo a maioria de

híbridos, exceto para espessura do pericarpo (ESP) e massa fresca do fruto (MF), no qual, os genitores Horticeres e UEL 111 obtiveram os maiores valores, respectivamente. Para produção por planta (PP) o *outlier* é referente ao híbrido Horticeres x BRS Mari, enquanto para capsaicina (CAP) são referentes aos híbridos Hortivale x BRS Mari e seu recíproco.

Pela análise do heatmap foram observados a formação de três grupos para as características, sendo o grupo I constituído pelas características massa seca do fruto (MS), diâmetro do fruto (DF), comprimento do fruto (CF) e ESP, o grupo II com acidez titulável (AT), MF, pH e flavonoides (FLA), e o grupo III com as demais variáveis (Figura 2). Em relação a análise de agrupamento dos genótipos, foi observado a formação de quatro grupos, sendo que os genitores foram distribuídos nos quatro grupos. O grupo 2 obteve os maiores valores para ESP, CF, DF e MS, enquanto o grupo 4 com os maiores valores para capsaicinoides e ácido ascórbico (AA). Para PP, MF, altura de planta (AP) e diâmetro de copa (DC) os maiores valores foram observados para os grupos 1 e 4. O grupo 3 obteve os menores valores para as características morfoagronômicas.

Os valores de acurácia seletiva (Aclin) foram considerados alto ($\geq 0,70$) para a maioria das características, exceto para PP e DPPH que obtiveram valores de 0,69 e 0,63, respectivamente (Tabelas 1 e 2). Esses altos valores de Aclin indicam segurança e credibilidade nos dados para seleção de genótipos superiores.

Pelo desdobramento da soma de quadrado de genótipos, em soma de quadrados para capacidade geral e específica de combinação (CGC e CEC, respectivamente) e efeito recíproco (RE) foram observados efeitos significativos para maioria das características, exceto DPPH e AT para CGC, PP e DC para CEC, e AP para RE (Tabelas 1 e 2). Esses resultados indicam que para maioria das características os efeitos genéticos aditivos, não aditivos e citoplasmáticos estão envolvidos no controle genético. Pelas estimativas dos componentes quadráticos, os efeitos genéticos não aditivos expressaram uma superioridade aos aditivos para maioria das características, exceto para PP, AT e dihidrocapsaicina (DCAP).

3.2. Capacidade geral de combinação (CGC)

De acordo com as estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (\hat{g}_i), o genitor BRS Mari expressou os maiores efeitos positivos de \hat{g}_i para PP, capsaicinoides (CAP, DCAP, e nordihidrocapsaicina – NCAP), AA e sólido solúveis totais (SST) (Tabela 3 e 4). No entanto, esse genitor apresentou valores negativos para as características MF, ESP e MS, sendo essas características importantes para indústria e consumo *in natura*. Para as

características ESP e MS os maiores valores de \hat{g}_i foi observado para o genitor Horticeres, enquanto para MF foi para UEL 111.

Quando analisado as características do fruto (CF e DF), o genitor BRS Mari contribui negativamente para essas características, enquanto o oposto foi observado para Horticeres e Hortivale para CF e Horticeres para DF. Para DC e AP, o maior valor negativo de \hat{g}_i foi observado para o UEL 110. No entanto, esse genitor apresentou valores negativos para todas as características morfoagronômicas.

Para os capsaicinoides, o genitor Hortivale também obteve valores positivos de \hat{g}_i . No entanto, quando objetivo é a redução da pungência, os genitores UEL 110 e Horticeres obtiveram os maiores valores negativos de \hat{g}_i para capsaicina, enquanto para DCAP foram os genitores UEL 111 e UEL 110. Para NCAP o maior valor negativo de \hat{g}_i foi observado para o genitor Horticeres.

Para atividade antioxidante, os genitores Hortivale e UEL 111 apresentaram os maiores valores de \hat{g}_i para FRAP. O Hortivale também apresentou valores elevados de \hat{g}_i para AA, fenóis totais (FT) e SST, sendo considerado um importante genitor para as características fitoquímicas e antioxidante. Para FLA, o maior valor obtido de \hat{g}_i foi para o genitor UEL 110.

3.3. Capacidade específica de combinação (CEC)

Pelas estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação (\hat{S}_{ij}) não foi observado combinações híbridas que reunisse positivamente a maioria das características morfoagronômicas (Tabela 5). O híbrido Horticeres x Hortivale expressou os maiores efeitos positivos de \hat{S}_{ij} para MS, enquanto para ESP não foi observado híbridos com elevado \hat{S}_{ij} e que tenha pelo menos um genitor com valores elevados para \hat{g}_i . Para MF, o híbrido UEL 111 x Hortivale obteve as maiores estimativas de \hat{S}_{ij} .

Quanto à característica CF buscam-se combinações cujos valores de \hat{S}_{ij} sejam positivos e elevados. Portanto, as combinações promissoras foram UEL 111 x Horticeres, Hortivale x UEL 110, Horticeres x UEL 110 e Horticeres x BRS Mari. Para AP, cujo o objetivo são plantas de porte menores, a combinação Hortivale x UEL 110 foi considerada também promissora.

Para os capsaicinoides, a combinação híbrida Hortivale x BRS Mari obteve os maiores valores de \hat{S}_{ij} (Tabela 6). Esse híbrido também apresentou elevados valores de \hat{S}_{ij} para AA, FRAP, SST e AT. Para o antioxidante DPPH, as combinações promissoras foram Horticeres x Hortivale e Horticeres x UEL 110, enquanto para FLA foram Hortivale x UEL 110 e UEL 111 x UEL 110. Para FT, o maior valor de \hat{S}_{ij} foi para Horticeres x Hortivale, sendo que esse híbrido também obteve valor elevado de SST.

3.4. Efeito recíproco

Para as combinações híbridas selecionadas com base no \hat{S}_{ij} para os dados morfoagronômicos, os híbridos UEL 111 x Hortivale e Horticeres x Hortivale obtiveram efeito recíprocos significativos para as características MF e MS, respectivamente (Tabela 7). Para MF, a melhor combinação híbrida foi a utilização do UEL 111 como genitor feminino, enquanto para MS foi Horticeres. Para CF, os híbridos Hortivale x UEL 110 e Horticeres x BRS Mari também apresentaram efeito recíproco, sendo que a melhor combinação foi a utilização do UEL 110 e BRS Mari como genitores femininos, respectivamente.

Para as características fitoquímicas e antioxidante, a melhor combinação do híbrido Hortivale x BRS Mari foi a utilização do BRS Mari como genitor masculino em virtude dos efeitos significativos das características DCAP e SST (Tabela 8). Para outra combinação híbrida promissora, Horticeres x Hortivale foi observado efeito significativo e positivo para maioria das características, indicando o Hortivale como genitor masculino.

4. Discussão

A pimenta *C. baccatum* é amplamente cultivada no Brasil para consumo *in natura* e na indústria na forma de molhos, conservas e desidratados. No entanto, a maioria dos estudos sobre a genética e o melhoramento são focados na espécie *C. annuum*, sendo a espécie *C. baccatum* subexplorada (Bento et al., 2016). No presente trabalho, foi realizada uma análise combinatória de genótipos de *C. baccatum* tipo “dedo-de-moça” para características morfoagronômicas, fitoquímicas e antioxidante, sendo observada uma ampla diversidade entre os genitores e conseqüentemente nos híbridos (Figura 1 e 2). Essa variabilidade tem um importante papel no programa de melhoramento, pois pode ser explorada na seleção para o desenvolvimento de novos genótipos com alto valor nutritivo e de potencial agrônomo.

A significância da capacidade combinatória (CGC e CEC) para maioria das características indicam a importância de ambos os efeitos aditivos e não-aditivos. No entanto, valores inferiores a um, na razão $CGC(\hat{\phi}_g)/CEC(\hat{\phi}_s)$, indicam a predominância dos efeitos não-aditivos (Tabelas 1 e 2). Em estudos com *C. baccatum*, Rêgo et al. (2009), Rodrigues et al. (2012) e Medeiros et al. (2014) também observaram a significância de ambos os efeitos para maioria das características morfoagronômicas, sendo os efeitos aditivos preponderantes. Em contrapartida, para produção por plantas foi observado predominância de efeito não-aditivo, enquanto no presente trabalho apenas o efeito aditivo foi significativo. Essas diferenças observadas na ação gênica podem estar relacionadas com a constituição genética dos genitores, variações ambientais, técnicas biométrica usadas na análise dos dados e na precisão do experimento (Bhutia et al., 2015).

Para os capsaicinoides, Zewdie et al. (2001) observaram a ocorrência de efeitos aditivos e não-aditivos para um dialelo de *C. pubescens*, sendo o efeito aditivo predominante. Esse resultado é corroborado por Naresh et al. (2016), no qual observaram também a ocorrência de ambos os efeitos para um dialelo de *C. annuum*, sendo preponderante os efeitos aditivos para capsaicina e dihidrocapsaicina, enquanto não-aditivo para nordihidrocapsaicina. Para AA, SST e AT também tem sido observada a ação de ambos os efeitos gênicos em *Capsicum* spp., sendo o predomínio dos efeitos variando entre os trabalhos (Geleta e Labuschagne, 2006; Rêgo et al., 2009; Nascimento et al., 2014; Bhutia et al., 2015). Em relação as atividades antioxidante, não foram observados trabalhos relacionados com ação gênica em *Capsicum* spp. Nassourou et al. (2016) analisando dialelo em feijão caupi, verificaram significância dos efeitos gênicos aditivos e não-aditivos para atividade antioxidante (FIRA, DPPH e ABTS), com predomínio dos efeitos não-aditivos, corroborando com o presente trabalho.

A preponderância dos efeitos não-aditivos no presente trabalho indica que a exploração do vigor híbrido pode ser considerada uma estratégia importante para obtenção de genótipos superiores. No Brasil, o uso comercial de híbridos F_1 em pimentas vem ganhando espaço, sendo observados diferentes exemplos como as cultivares 'Capperino', 'Coccinela', 'Guaraciaba Jalapenho', 'Hot Suprema' e 'Ibiuna' de *C. annuum* e Grisú F_1 de *C. frutescens*.

A ausência de significância de efeitos não-aditivos para produção por planta pode estar relacionada com a forma do cálculo de CEC pelo método de Griffing (1956). Nesse método, apenas um valor para cada combinação de cruzamento é fornecido, assumindo que a interação entre genitores masculinos e femininos é devido principalmente a interação de genes

nucleares de plantas masculinas e femininas, negligenciando uma parte importante da interação, que é entre genes nucleares e citoplasmáticos (Mahgoub, 2011). Esse fato pode ser constatado quando analisado a produção *per se* dos híbridos mais produtivos, a saber: Horticeres (♂) x BRS Mari (♀), UEL 111 (♂) x BRS Mari (♀), Hortivale (♂) x BRS Mari (♀) e UEL 110 (♂) x BRS Mari (♀), no qual, obtiveram uma produção de 4,82, 4,26, 4,02 e 3,73 Kg/planta, respectivamente, com heterobeltiose de 65,33, 44,14, 33,76 e 27,88%, respectivamente. No entanto, quando analisado os recíprocos desses híbridos foi observado, respectivamente, uma produção de 3,16, 3,17, 2,45 e 2,27 Kg/planta e heterobeltiose de 8,48, 7,06, -16,11 e -22,21 %, indicando a influência do efeito recíproco sobre os efeitos gênicos. Essa influência é corroborada nos trabalhos de Mahgoub (2011), Yao et al. (2013) e Fan et al. (2014), no qual, verificaram que a inclusão dos cruzamentos recíprocos em um dialelo influencia fortemente os efeitos de CEC.

A significância do efeito recíproco para a maioria das características demonstram a importância das interações cito-nucleares. Os genomas das organelas celulares contendo DNA (mitocôndrias e cloroplastos) têm um importante papel na variação genotípica. No entanto, esse genoma tem sido significativamente subestimado (Moison et al., 2010; Joseph et al., 2013a,b; Roux et al., 2016). Joseph et al. (2013a) observaram que o genoma das organelas contribuíram para a variação nos níveis de 80% dos metabólitos estudados em *Arabidopsis* e que esses genes também ajudaram a regular o efeito dos genes nucleares. Segundo os autores, essa combinação de influências diretas e indiretas ajuda a explicar como um pequeno número de genes das organelas pode ter um efeito substancial sobre o fenótipo. Roux et al. (2016) ao substituir o genoma citoplasmático entre oito linhagens de *Arabidopsis*, verificaram que a interação do genoma nuclear com o genoma citoplasmático moldou a variação natural de 23 das 28 características fenotípicas estudadas.

Em *Capsicum*, Rêgo et al. (2009) e Nascimento et al. (2014) também observaram significância do efeito recíproco para maioria das características morfoagronômicas e de qualidade do fruto. Rohini et al. (2017) avaliando um dialelo de *C. annuum*, também constatou efeito recíproco para as características morfoagronômicas e fitoquímicas, tais como AA, capsaicina e SST. Em contrapartida, Zewdie e Bosland (2001) não constataram significância para os diferentes capsaicinóides avaliados.

No presente trabalho, constata que o genitor BRS Mari foi considerado um importante genitor feminino tendo em vista as características PP, MF e a maioria das características fitoquímicas. Nesse sentido, as combinações Horticeres (♂) x BRS Mari (♀) e Hortivale (♂) x BRS Mari (♀) foram considerados promissores para produção de híbridos reunindo

produção por planta e características fitoquímicas. No entanto, para obtenção de linhagens em gerações avançadas a combinação [Hortivale (♂) x Horticeres (♀)] x BRS Mari (♀) torna-se promissora em virtude de reunir também as características ESP e MS, sendo estas importantes para o consumo *in natura* e para indústria.

5. Conclusões

Houve efeito significativo da capacidade geral e específica de combinação e efeito recíproco para maioria das características morfoagronômicas, fitoquímicas e antioxidantes, indicando que os efeitos aditivos, não-aditivos e citoplasmáticos estão envolvidos no controle genético. A preponderância dos efeitos não-aditivos indica que a exploração do vigor híbrido pode ser considerada uma estratégia importante para obtenção de genótipos superiores. As combinações Horticeres (♂) x BRS Mari (♀) e Hortivale (♂) x BRS Mari (♀) foram considerados promissores reunindo produção por planta e características fitoquímicas.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Capes, bolsa concedida a primeira autora pelo Programa de Doutorado-Sanduiche no Exterior (PDSE) – Bolsista CAPES, número do processo: 88881.133378/2016-01.

Agradeço a Universidade de Coruña (UDC)– Espanha e aos professores Federico Pomar, Cristina Silvar . Agradecimento em especial a Maria de Lourdes Paula Gomes, Robison Alesandro de Queiroz, Ademar Dias Gomes, Anderson Yusei Suzuki Fukuji, Karina Kazue Nakamura, Priscila Mary Yuyama e Alba Garcia pela ajuda na realização deste trabalho.

Referências

- Acunha, T. S., Crizel, R. L., Tavares, I. B., Barbieri, R. L., Pereira, C. M. P. P., Rombaldi, V. R., Chaves, F. C., 2017. Bioactive compound variability in a Brazilian Capsicum pepper collection. *Crop Science* 57, 1-13.
- Albrecht, E., Zhang, D., Mays, A.D., Saftner, R.A., Stommel, J.R., 2012a. Genetic diversity in *Capsicum baccatum* is significantly influenced its ecogeographical distribution. *BMC Genomics* 13, 68.
- Albrecht, E., Zhang, D., Saftner, R.A., Stommel, J.R., 2012b. Genetic diversity and population structure of *Capsicum baccatum* genetic resources. *Genet. Resour. Crop Evol.* 59, 517–38.
- AOAC. Official Methods Of Analysis., 1989. Association of official analytical chemists 844-845p.
- Benassi, M.T., Antunes, A.J., 1988. A Comparison of metaphosphoric and oxalic acids as extractant solutions for the determination of vitamin C in selected vegetables. *Arquivos de Biologia e Tecnologia* 31(4), 507-513.
- Bento, C.S., Rodrigues, R., Sudré, C.P., Medeiros, A.M., Mathias, V.A.S., Gonçalves, L.S.A., 2016. Determining the inheritance of agronomic traits in chili pepper. *Horticultura Brasileira* 34, 367-373.
- Benzie, I. F. F., Strain, J. J., 1996. The ferric reducing ability of plasma (frap) as a measure of “Antioxidant Power”: The Frap Assay. *Analytical Biochemistry* 239, 70–76.

- Bhutia, N.D., Seth, T., Shende, V.D., Dutta, S., Chattopadhyay, A., 2015. Estimation of heterosis, dominance effect and genetic control of fresh fruit yield, quality and leaf curl disease severity traits of chili pepper (*Capsicum annuum* L.). *Scientia Horticulturae* 187, 47-55.
- Bogusz, S. JR., Libardi, S.H, Dias, F.F., Coutinho, J.P., Bochi, V.C., Rodrigues, D., Melo, A.M., Godoy, H.T., 2018. Brazilian *Capsicum* peppers: Capsaicinoid content and antioxidant activity. *J Sci Food Agric.* 98(1), 217-224.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., Berset, C., 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel-Wissenschaft Technologie* 28, 25-30.
- Cardoso, E.S., Pedri, E. C. M. de, Yamashita, O. M., 2018. Políticas públicas, agricultura familiar e segurança alimentar e nutricional no Brasil e em Mato Grosso. *Nativa, Sinop*, 6, 124-133.
- Carvalho, S. I. C., Bianchetti, L. B., Ribeiro, C. S. C., Lopes, C. A., 2006. Pimentas do gênero *Capsicum* No Brasil. Brasília: Embrapa Hortaliças, 27p. Documentos, 94.
- Casagrande, R., Georgetti, S.R, JR. W.A.V., Borin, M. F., Lopez, R.F.V., Fonseca, M. J. V., 2007. *In vitro* evaluation of quercetin cutaneous absorption from topical formulations and its functional stability by antioxidant activity. *int. J. Pharm*, 138, 183-190.
- Collins, D.M., Wasmund, L.M., Bosland.P.W., 1995. Improved method for quantifying capsaicinoids in *Capsicum* using high performance liquid chromatography, *Hortscience*, 30, 137-139.
- Cruz, C.D., Regazzi, A.J., 2001. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa: Ufv. 390 p.
- Cruz, C.D., 2016. Programa Genes - Ampliado e integrado aos aplicativos R, Matlab e Selegen. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 38, 547-552.
- Dubey, V., Agrawal, S., Kaur, J., 2015. Photoluminescence and thermoluminescence behavior of gd doped y₂o₃ phosphor. *Optik - International Journal for Light and Electron Optics* 126p.
- Estrada, B., Bernal, M.A., Diaz, J., Pomar, F., Merino, F., 2000. Fruit development in *Capsicum annuum*: changes in capsaicin, lignin, free phenolics, and peroxidase patterns. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48, 6234-6239.
- Fan, X.M., Zhang, Y.D., Yao, W.H., Bi, Y.Q., Liu, L., Chen, H.M., Kang, M.S. 2014. Reciprocal diallel crosses impact combining ability, variance estimation, and heterotic group classification. *Crop Science* 54, 89-97.
- Gardner, C.O., Eberhart, S.A., 1966. Analysis And Interpretation Of The Variety Cross Diallel And Related Populations. *Biometrics* 22, 439-452.
- Geleta, L.F., Labuschagne, M.T., 2006. Combining ability and heritability for vitamin C and total soluble solids in pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 86, 1317-1320.
- Gomes, G.P, Damasceno Junior, C.V , Da Costa, D.S, De Queiroz, R.A, Baba, V.Y , Takahashi, L.S.A , Gonçalves, L.S.A., 2017. Harvest season and seed physiological potential of ‘dedo-de-moça BRS Mari’ hot peppers. *Semina: Ciências Agrárias* 38 (6), 3897-3906.
- Griffing, B., 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Australian Journal of Biological. Sciences* 9, 463-493.
- Hayman, B.I. 1954. The theory and analysis of diallel crosses. *Genetics* 39, 789- 809.
- IAL. 2008. Instituto Adolfo Lutz. Normas Analíticas Do Instituto Adolfo Lutz: Métodos Químicos E Físicos Para Análise De Alimentos. São Paulo: Adolfo Lutz, 3. Ed, 332p.
- Joseph, B., Corwin, J.A., Baohua, L., Atwell, S., Kliebenstein, D.J., 2013a. Cytoplasmic genetic variation and extensive cytonuclear interactions in uence natural variation in the metabolome. *eLife*, 2: e00776.
- Joseph, B., Corwin, J.A, Züst, T., Li, B., Majid, I, Schaeppman-Strub, G., Turnbull, L.A., Kliebenstein, D.J., 2013b. Hierarchical nuclear and cytoplasmic genetic architectures for plant growth and defense within *Arabidopsis*. *Plant Cell.* 25: 1929-1945.
- Lite, P.S.S., Rodrigues, R., Silva, R.N.O., Pimenta, S., Medeiros, A.M., Bento C.S., Gonçalves L.S.A., 2016. Molecular and agronomic analysis of intraspecific variability in *Capsicum baccatum* var. *pendulum* accessions *Genet. Mol. Res.* 15 (4), 1-16.
- Mahgoub, G.M.A., 2011. Partitioning of general and specific combining ability effects for estimating maternal and reciprocal effects. *Journal of Agricultural Science* 3, 213-222.
- Mapa. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2018. Disponível em <<http://www.agricultura.gov.br/>> Acessado: 15 de Jan. 2018.

- Meckelmann, S.W., Riegel, D.W., Zonneveld, M.J.V., Ríos, L., Peña, K., Ugas, R., Quinonez, L., Seitz, E.M., Petz, M., 2013. Compositional characterization of native peruvian chili peppers (*Capsicum* Spp.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 61, 2530–2537.
- Medeiros, A.M.; Rodrigues, R.; Gonçalves, L.S.A.; Sudré, C.P.; Oliveira, H.S.; Santos, M.H. 2014. Gene effect and heterosis in *Capsicum baccatum* var. *pendulum*. *Ciência Rural, Santa Maria* 44,1031-1036.
- Moison, M., Roux F., Quadrado, M., Duval R., Ekoich, M., Lê, D., Verzaux, M., Budar, F., 2010. Cytoplasmic phylogeny and evidence of cyto-nuclear co-adaptation in *Arabidopsis thaliana*. *The Plant Journal* 63, 728-738
- Naresh, P., Rao, V.K., Lavanya, R.B., Anand, R.C., Venkatachalapathi, V., Madhavi, R.K., 2016. Genetic analysis for fruit biochemical traits (capsaicinoids and carotenoids) and dry fruit yield in chilli (*Capsicum annuum* L.). *Industrial Crops and Products* 94, 920-931.
- Nascimento, N.F.F., Rêgo, E.R., Nascimento, M.F., Bruckner, C.H., Finger, F.L., Rêgo, M.M., 2014. Combining ability for yield and fruit quality in the pepper *Capsicum annuum*. *Genetics and Molecular Research* 13, 3237-3249.
- Nassourou, M.A., Njintang, Y.N., Noubissié, T.J.B., Nguimbou, R.M., Bell, J.M., 2016. Genetics of seed flavonoid content and antioxidante activity in cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.). *The Crop Journal* 4, 391-397.
- Nimmakayala, P., Abburi, V. L., Saminathan, T., Almeida, A., Davenport, B., Davidson, J., Reddy, C.V.C.M, Hankins, G., Ebert, A., Choi, D., Stommel, J., Reddy, U. K., 2016. Genome-Wide Divergence And Linkage Disequilibrium Analyses For *Capsicum baccatum* Revealed By Genome-Anchored Single Nucleotide Polymorphisms. *Front Plant Sci* 7, 1646- 1656.
- Rêgo ER, Rêgo MM, Finger FL, Cruz CD, Casali VWD., 2009. A diallel study of yield components and fruit quality in chilli pepper (*Capsicum baccatum*). *Euphytica* 168, 275-287.
- Rodrigues, R., Gonçalves, L.S.A., Bento, C.S., Sudré, C.P., Robaina, R.R., Amaral Júnior, A.T., 2012. Combining ability and heterosis for agronomic traits in chili pepper. *Horticultura Brasileira* 30, 226-233.
- Rodríguez-Burruezo, A. Kollmannsberger H, González-Mas MC, Nitz S, Fernando N., 2010. HS-SPME comparative analysis of genotypic diversity in the volatile fraction and aroma-contributing compounds of *Capsicum* fruits from the *annuum-chinense-frutescens* complex. . *Journal of the Science of Food and Agriculture* 58, 4388- 4400.
- Rohini, N., Lakshmanan, V., Saraladevi, D., Amalraj, J.J., Govindaraju, P., 2017. Assessment of combining ability for yield and quality componentes in hot pepper (*Capsicum annuum* L.). *Spanish Journal of Agricultural Research*, 15: e703.
- Roux, F., Mary-Huard, T., Barillot, E., Wenes, E., Botran, L., Durand, S., Villoutreix, R., Martin-Magniette, M.L., Camilleri, C., Budar, F., 2016. Cytonuclear interactions affect adaptive traits of the annual plant *Arabidopsis thaliana* in the field. *PNAS* 113, 3687-3692.
- Swain T, Hills W E., 1959. The phenolic constituents of *prunus domestica* the quantitative analysis of phenolic constituent . *Journal of the science of food and agriculture* 10, 63-68.
- Van Zonneveld, M., Ramirez, M., Williams, D.E., Petz, M., Meckelmann, S., Avila, T., Bejarano, C., Ríos, L., Peña, K., Jager, M., Libreros, D., Amaya, K., Scheldeman, X., 2015. Screening genetic resources of *Capsicum* peppers in their primary center of diversity in Bolivia and Peru. *Plos One* 10: e0134663
- Vázquez, G., Fontenela, E., Santos, J., Freire, M. S., González-Álvarez, J., Antorrena, G., 2008. Antioxidant activity and phenolic content of chestnut (*Castanea sativa*) Shell And Eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) Bark Extracts. *Ind. Crops Prod* 28, 279-285.
- Wahyuni, Y., Ballester, A., Sudarmonowati, E., Bino, R. J. Bovy, A.G., 2013. Secondary metabolites of *Capsicum* species and their importance in the human diet. *Journal of Natural Products* 76 (4), 783-793.
- Woisky, R.G., Salatino, A., 1998. Analysis os propolis: some parameters ond prodecore for chemical fuality control. *Journal Apicultural Research* 37, 99-105.
- Yao, W.H., Zhang, Y.D., Kang, M.S., Chen, H.M., Liu, L., Yu, L.J., Fan, X.M., 2013. Diallel analysis models: a comparison of certain genetic statistics. *Crop Science*, 53, 1481-1490.
- Zewdie, Y., Bosland, P.W., Steiner, R., 2001. Combining ability and heterosis for capsaicinoids in *Capsicum pubescens*. *HortScience* 36, 1315-1317.

Tabela 1. Estimativa dos quadrados médios dos genótipos, capacidade geral de combinação (CGC), capacidade específica de combinação (CEC), efeito recíproco, componentes quadráticos (CGC - $\widehat{\Phi}_{ge}$ e CEC - $\widehat{\Phi}_{se}$) e acurácia seletiva (Aclin) de oito características morfoagronômicas avaliadas em um dialelo completo de *Capsicum baccatum* var. *pendulum*.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio ^{1/}							
		MF	CF	DF	ESP	MS	PP	DC	AP
Genótipos	24	9,10**	248,70**	25,90**	0,04**	0,345**	2011,80**	132,20**	271,80**
CGC	4	16,80**	211,30**	70,90**	0,079**	0,870**	3791,60**	191,80**	1182,40**
CEC	10	5,80**	189,30**	19,80**	0,025**	0,337**	1257,40ns	61,20ns	107,90*
Recíproco	10	9,40**	323,10**	13,90**	0,031**	0,141**	2054,10**	179,40**	71,30ns
Resíduo	48	1,4	20,89	0,01	0,01	0,01	620,1	33,9	44,2
Média		7,6	80,9	19,3	1,79	1,57	2915,7	84,9	84,2
Aclin		0,85	0,92	0,99	0,84	0,98	0,69	0,74	0,84
Componente quadrático									
$\widehat{\Phi}_{ge}$		0,51	6,34	2,36	0,26	0,03	1056,65	5,26	37,94
$\widehat{\Phi}_{se}$		1,47	56,15	6,61	0,86	0,11	2122,8	9,11	21,24
$\widehat{\Phi}_{ge} / \widehat{\Phi}_{se}$		0,35	0,11	0,35	0,3	0,27	0,49	0,57	1,78

^{1/}MF= massa fresca dos frutos (g), CF= comprimento dos frutos (mm), DF= diâmetro dos frutos (mm), ESP= espessura do pericarpo (mm), MS= massa seca dos frutos (g), PP = produção por planta (kg/ planta), DC= diâmetro da copa (cm) e AP= altura da planta (cm). ns não significativo, ** e * =significativo em nível de 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Tabela 2. Estimativa dos quadrados médios dos genótipos, capacidade geral de combinação (CGC), capacidade específica de combinação (CEC), efeito recíproco, componentes quadráticos (CGC - $\widehat{\Phi}_{ge}$ e CEC - $\widehat{\Phi}_{se}$) e acurácia seletiva (Aclin) de 11 características fitoquímicas e antioxidante avaliadas em um dialelo completo de *Capsicum baccatum* var. *pendulum*.

Fonte de Variação	Quadrado Médio ^{1/}											
		CAP	DCAP	NCAP	AA	FRAP	DPPH	FLA	FT	pH	SST	AT
Genótipos	24	0,087**	0,092**	0,125**	6453,8**	0,024**	29,15**	3,68**	5,7**	0,11**	1,56**	0,004**
CGC	4	0,254**	0,374**	0,353**	17690,5**	0,042**	22,58 ^{ns}	5,41**	14,1**	0,169**	76,04**	0,001 ^{ns}
CEC	10	0,061**	0,035**	0,068**	3721,3**	0,015**	35,65**	3,34**	3,2**	0,107**	63,35**	0,005**
Recíproco	10	0,025**	0,034**	0,041**	4691,7**	0,025**	25,29*	3,32**	5,0**	0,104**	34,73**	0,005**
Resíduo	50	0,01	0,011	0,001	344,3	0,004	10,70	0,05	0,03	0,01	0,02	0,001
Média		0,302	0,314	0,041	179,5	0,335	12,76	3,47	5,76	5,37	8,09	0,52
AS		0,93	0,92	0,96	0,94	0,81	0,63	0,98	0,99	0,95	0,98	0,72
Componentes quadráticos												
$\widehat{\Phi}_{ge}$		0,008	0,012	0,012	578,2	0,002	0,59	0,13	0,01	0,04	0,05	0,007
$\widehat{\Phi}_{se}$		0,018	0,009	0,027	1125,6	0,005	12,47	0,82	0,03	0,25	0,45	0,107
$\widehat{\Phi}_{ge} / \widehat{\Phi}_{se}$		0,444	1334	0,444	0,5	0,400	0,04	0,15	0,33	0,16	0,11	0,065

^{1/}Cap = capsaicina ($\mu\text{g.g}^{-1}$), DCAP = dihidrocapsaicina ($\mu\text{g.g}^{-1}$), NCAP = nordihidrocapsaicina ($\mu\text{g.g}^{-1}$), (AA) = ácido ascórbico ($\text{mg}100^{-1}$), atividade antioxidante pelos métodos FRAP e DPPH ($\mu\text{g.g}^{-1}$), FLA = flavonoides (mg de equivalente ácido gálico (GAE) 100^{-1} g), FT = fenóis totais (mg equivalente quercetina QE g^{-1}), pH = potencial Hidrogeniônico, SST = sólidos solúveis totais ($^{\circ}\text{Brix}$) e AT = acidez titulável (%). ^{ns} = não significativo, ** e * = significativo em nível de 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

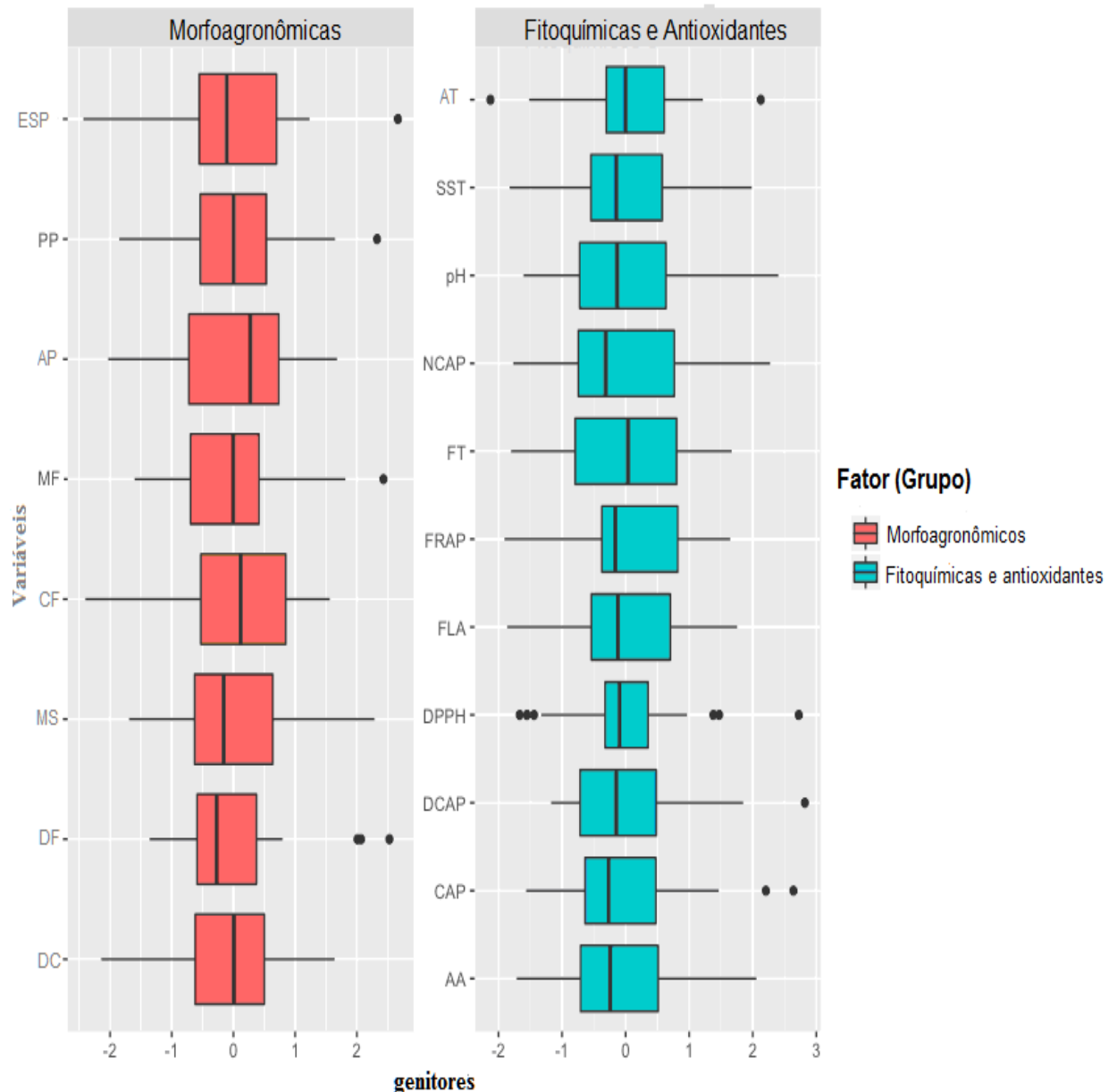


Fig. 1. Boxplot dos tratamentos morfoagronômicos, fitoquímicas e antioxidantes de genótipos de *Capsicum baccatum* var. *pendulum* (genitores + híbridos). Os dados foram escalonados para ter média zero e variação unitária. Morfoagronômicos - MF: massa fresca do fruto, CF: comprimento do fruto, DF: diâmetro de fruto, ESP: espessura do fruto, MS: massa seca do fruto, PP: produtividade por planta, DC: diâmetro da copa e AT: altura de planta; Capsaicinoides - CAP: capsaicina, DCAP: dihidrocapsaicina, NCAP: nordihidrocapsaicina e CST: Capsiate; Métodos antioxidantes - FRAP, ABTS e DPPH; Fitoquímicos - FLA: flavonoides, FT: fenóis totais, SST: sólidos solúveis totais, AT: acidez titulável e AA: ácido ascórbico.

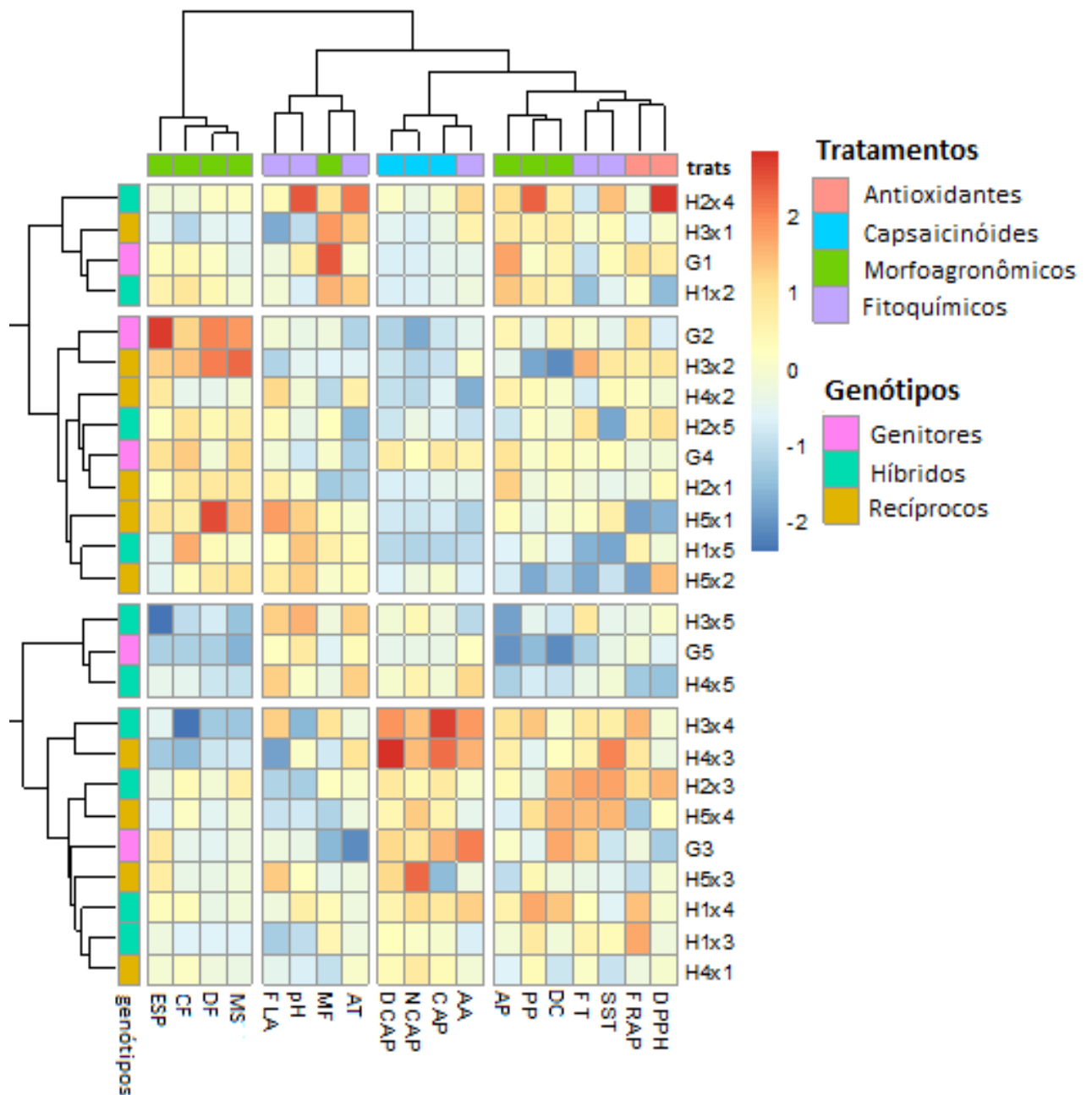


Fig. 2. Heatmap dos tratamentos morfoagronômicos, fitoquímicos e antioxidantes dos genótipos de *Capsicum baccatum* var. *pendulum* (genitor + híbrido). Morfoagronômico - MF: massa fresco do fruto, CF: comprimento do fruto, DF: diâmetro do fruto, ESP: espessura do fruto, MS: massa seca do fruto, PP: produtividade por planta, DC: diâmetro da copa e AP: altura da planta; Capsaicinoides - CAP: capsaicina, DCAP: dihidrocapsaicina e NCAP: nordihidrocapsaicina; Métodos Antioxidantes – FRAP, DPPH; e Fitoquímicos - FLA: flavonoides, FT: Fenóis totais, pH, SST: sólidos solúveis totais, AT: acidez titulável e AA: ácido ascórbic

Tabela 3. Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (\hat{g}_{ij}) para oito características morfoagronômicas avaliadas em um dialelo completo de *Capsicum baccatum* var. *pendulum*.

Genitores	Características Agronômicas ^{1/}							
	MF	CF	DF	ESP	MS	PP	DC	AP
UEL 111	1327	-0,198	0,668	0,01	-0,024	262,23	1175	5,61
Horticeres	-0,141	2,48	2317	0,078	0,298	-156,25	0,103	3,03
Hortivale	-0,374	2,17	-1174	-0,023	-0,099	-126,63	1381	-0,82
BRS Mari	-0,404	-4,144	-1463	-0,003	-0,063	455,32	1731	2,64
UEL 110	-0,407	-0,308	-0,347	-0,061	-0,111	-434,67	-4391	-10,45
DP (g_i-g_j)	0,307	1,18	0,025	0,003	0,001	203,42	1503	1,71

^{1/}MF= massa fresca dos frutos (g), CF= comprimento dos frutos (mm), DF= diâmetro dos frutos (mm), ESP= espessura do pericarpo (mm), MS= massa seca dos frutos (g), PP = produção por planta (kg/ planta), DC= diâmetro da copa (cm) e AP= altura da planta (cm).

Tabela 4. Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (\hat{g}_{ij}) para nove características fitoquímicas e antioxidantes avaliadas em um dialelo completo de *Capsicum baccatum* var. *pendulum*.

Genitores	Características Fitoquímicas e antioxidante ^{1/}								
	CAP	DCAP	NCAP	AA	FRAP	FLA	FT	pH	SST
UEL111	-0,051	-0,076	-0,007	-14,03	0,026	-0,202	-0,521	0,017	-0,156
Horticeres	-0,070	-0,11	-0,015	-18,86	0,018	0,022	-0,139	-0,005	-0,034
Hortivale	0,084	0,129	0,01	27,8	0,034	-0,406	0,955	-0,077	0,186
BRS Mari	0,114	0,111	0,01	25,13	0,001	0,007	0,133	-0,032	0,286
UEL 110	-0,077	-0,053	0,002	-20,03	-0,079	0,578	-0,428	0,097	-0,281
DP (g_i-g_j)	0,019	0,026	0,002	4,79	0,013	0,051	0,3756	0,016	0,046

^{1/}Cap = capsaicina ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), DCAP = dihidrocapsaicina ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), NCAP= nordihidrocapsaicina ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), (AA)= ácido ascórbico ($\text{mg}\cdot 100^{-1}$), atividade antioxidante pelos métodos FRAP ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), FLA=flavonoides (mg de equivalente ácido gálico (GAE) 100^{-1} g), FT= fenóis totais (mg equivalente quercetina QE g^{-1}), pH=potencial Hidrognônico, SST= sólidos solúveis totais ($^{\circ}\text{Brix}$) e AT= acidez titulável (%).

Tabela 5. Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação (\hat{S}_{ij}) para seis características morfoagronômicas avaliadas em um dialelo completo de *Capsicum baccatum* var. *pendulum*.

Híbridos ^{2/}	Características Agronômicas ^{1/}					
	MF	CF	DF	ESP	MS	AP
P1 x P2	-1018	6,93	-1246	-0,048	-0,144	3,48
P1 x P3	0,993	-2,50	-1385	-0,031	-0,097	-2,06
P1 x P4	-1482	-0,87	-0,178	0,002	-0,007	-9,06
P1 x P5	-0,087	-7,55	3864	0,069	0,371	2,86
P2 x P3	0,068	-4,34	1693	-0,005	0,293	-2,94
P2 x P4	0,378	3,92	-1360	-0,043	-0,236	1,86
P2 x P5	0,750	4,58	-0,354	-0,040	0,079	-0,33
P3 x P4	0,841	-2,89	-0,691	-0,079	-0,217	5,39
P3 x P5	0,151	5,68	-0,237	-0,015	-0,075	-2,58
P4 x P5	-0,541	-4,39	-0,291	0,005	-0,022	-1,51
DP ($S_{ij}-S_{kl}$)	-0,541	-4,39	-0,291	0,005	-0,022	-1,51

^{1/}MF= massa fresca dos frutos (g), CF= comprimento dos frutos (mm), DF= diâmetro dos frutos (mm), ESP= espessura do pericarpo (mm), MS= massa seca dos frutos (g), PP = produção por planta (kg/ planta), DC= diâmetro da copa (cm) e AP= altura da planta (cm).

^{2/} P1 =UEL 111, P2=Horticeres, P3= Hortivale, P4 =BRS Mari, P5= UEL 110.

Tabela 6. Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação (\hat{S}_{ij}) para 11 características fitoquímicas e antioxidante avaliadas em um dialelo completo de *Capsicum baccatum* var. *pendulum*.

Híbridos ^{2/}	Características fitoquímicas e antioxidante ^{1/}										
	CAP	DCAP	NCAP	AA	FRAP	DPPH	FLA	FT	pH	SST	AT
P1 x P2	0,039	0,062	0,008	14,20	-0,056	-3,29	0,360	-0,389	-0,070	-0,123	-0,001
P1 x P3	-0,066	-0,084	-0,009	-18,30	-0,007	0,69	-0,867	-0,126	-0,110	0,169	0,022
P1 x P4	0,027	0,035	0,014	14,37	0,031	0,41	-0,181	0,574	0,007	-0,618	-0,014
P1 x P5	-0,024	-0,037	-0,014	-17,13	-0,023	-2,03	0,553	0,011	0,102	0,049	-0,002
P2 x P3	-0,033	-0,028	-0,003	-7,63	0,041	3,08	-0,758	1115	-0,075	0,634	0,001
P2 x P4	-0,098	-0,082	-0,009	-20,80	-0,023	2,95	0,676	-0,975	0,230	0,284	0,045
P2 x P5	0,094	0,032	0,007	-0,63	-0,016	3,51	-0,105	0,021	-0,025	-0,548	-0,018
P3 x P4	0,190	0,168	0,005	25,03	0,090	-0,58	0,080	-0,273	-0,022	0,351	0,016
P3 x P5	-0,156	0,006	0,013	-38,97	-0,032	1,04	1013	-0,295	0,122	-0,218	0,015
P4 x P5	-0,008	-0,025	0,005	9,53	-0,067	-1,80	-0,448	0,899	-0,135	0,419	0,005
DP ($S_{ij}-S_{kl}$)	0,033	0,036	0,002	8,29	0,036	1,35	0,088	0,065	0,028	0,066	0,013

^{1/}Cap = capsaicina ($\mu\text{g.g}^{-1}$), DCAP = dihidrocapsaicina ($\mu\text{g.g}^{-1}$), NCAP = nordihidrocapsaicina ($\mu\text{g.g}^{-1}$), AA = ácido ascórbico ($\text{mg } 100^{-1}$), atividade antioxidante pelos métodos FRAP e DPPH ($\mu\text{g.g}^{-1}$), FLA = flavonoides (mg de equivalente ácido gálico (GAE) 100^{-1} g), FT = fenóis totais (mg equivalente quercetina QE g^{-1}), pH = potencial Hidrogeniônico, SST = sólidos solúveis totais ($^{\circ}\text{Brix}$) e AT = acidez titulável (%).

^{2/} P1 = UEL 111, P2 = Horticeses, P3 = Hortivale, P4 = BRS Mari, P5 = UEL 110.

Tabela 7. Estimativas dos efeitos recíprocos (r_{ij}) para seis características morfoagronômicas avaliadas em um dialelo completo de *Capsicum baccatum* var. *pendulum*.

Híbridos ♂ ♀	Características Agronômicas ^{1/}						
	MF	CF	DF	ESP	MS	PP	DC
P1 x P2	2493*	1424 ^{ns}	-0,606 ^{ns}	0,022 ^{ns}	-0,155*	411,3 ^{ns}	1,36 ^{ns}
P1 x P3	-1224*	-3,728*	-0,156 ^{ns}	0,012 ^{ns}	-0,009 ^{ns}	78,7 ^{ns}	-2,97 ^{ns}
P1 x P4	1,175*	16,655*	-0,175 ^{ns}	0,016 ^{ns}	0,024 ^{ns}	548,5*	7,30*
P1 x P5	0,236 ^{ns}	-3,238 ^{ns}	-3,245*	-0,082*	-0,227*	197,2 ^{ns}	-2,08 ^{ns}
P2 x P3	0,766 ^{ns}	2,225 ^{ns}	-3,236*	-0,088*	-0,283*	586,2*	11,88*
P2 x P4	1,751*	11,967*	0,818 ^{ns}	-0,055 ^{ns}	0,049 ^{ns}	828,9*	2,25 ^{ns}
P2 x P5	0,195 ^{ns}	0,964 ^{ns}	-0,514 ^{ns}	0,039 ^{ns}	-0,053 ^{ns}	761,8*	3,52 ^{ns}
P3 x P4	1522*	-5,757*	-0,666 ^{ns}	0,042 ^{ns}	-0,096 ^{ns}	785,5*	-6,11 ^{ns}
P3 x P5	0,152 ^{ns}	4,901*	-0,520 ^{ns}	-0,176*	-0,206*	-382,3 ^{ns}	-1,94 ^{ns}
P4 x P5	0,746 ^{ns}	-5,335*	-0,440 ^{ns}	0,011 ^{ns}	-0,151*	-730,4*	-8,22*
DP ($r_{ii}-r_{kl}$)	0,687	2,639	0,055	0,016	0,001	454,8	1,36

^{1/}MF= massa fresca dos frutos (g), CF= comprimento dos frutos (mm), DF= diâmetro dos frutos (mm), ESP= espessura do pericarpo (mm), MS= massa seca dos frutos (g), PP = produção por planta (kg/ planta), e DC= diâmetro da copa (cm) e AP= altura da planta (cm).

^{2/} P1 =UEL 111, P2=Horticeres, P3= Hortivale, P4 =BRS Mari, P5= UEL 110.

^{ns} não significativo,** e * =significativo em nível de 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Tabela 8. Estimativas dos efeitos recíprocos (r_{ij}) para 11 características fitoquímicas e antioxidante avaliadas em um dialelo completo de *Capsicum baccatum* var. *pendulum*.

Híbridos ^{2/}		Características fitoquímicas e antioxidante										
♂	♀	CAP	DCAP	NCAP	AA	FRAP	DPPH	FLA	FT	pH	SST	AT
P1	x P2	-0,001 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,001 ^{ns}	5,83 ^{ns}	0,021 ^{ns}	-3632*	-0,340*	-0,735*	-0,062*	-0,025 ^{ns}	0,043*
P1	x P3	0,025 ^{ns}	0,063 ^{ns}	0,008*	-28,33*	0,126*	-0,535 ^{ns}	0,241*	0,273*	0,112 ^{ns}	-0,012 ^{ns}	-0,025*
P1	x P4	0,032 ^{ns}	0,015 ^{ns}	0,002 ^{ns}	31,67*	0,094*	-0,003 ^{ns}	0,140 ^{ns}	0,081 ^{ns}	0,012*	0,100 ^{ns}	-0,006 ^{ns}
P1	x P5	-0,027 ^{ns}	-0,025 ^{ns}	-0,003 ^{ns}	3,33 ^{ns}	0,129*	2780 ^{ns}	-0,753*	-1096*	-0,062 ^{ns}	-0,750*	0,003 ^{ns}
P2	x P3	0,138*	0,149*	0,014*	-0,83 ^{ns}	0,022 ^{ns}	1178 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,070 ^{ns}	0,212*	0,275*	0,006 ^{ns}
P2	x P4	0,052 ^{ns}	0,097*	0,006*	65,00*	-0,017 ^{ns}	5493*	-0,380*	-0,026 ^{ns}	-0,137*	0,325*	0,027*
P2	x P5	-0,046 ^{ns}	-0,019 ^{ns}	-0,001 ^{ns}	-5,00 ^{ns}	0,130*	-0,790 ^{ns}	-0,182*	1615*	-0,137*	-0,275*	-0,031*
P3	x P4	0,035 ^{ns}	-0,084*	-0,001 ^{ns}	5,83 ^{ns}	0,036 ^{ns}	0,428 ^{ns}	1473*	0,153*	0,112*	-0,412*	-0,018 ^{ns}
P3	x P5	0,107*	-0,109*	-0,017*	-20,00*	0,037 ^{ns}	0,212 ^{ns}	-0,044 ^{ns}	0,750*	0,075*	0,025 ^{ns}	0,024*
P4	x P5	-0,048 ^{ns}	-0,040 ^{ns}	-0,007*	35,83*	-0,001 ^{ns}	-3100 ^{ns}	1021*	-1115*	-0,062*	-0,512*	0,021 ^{ns}
DP ($r_{ii}-r_{kl}$)		0,043	0,047	0,003	10,71	0,047	1636	0,113	0,082	0,036	0,092	0,020

^{1/}Cap = capsaicina ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), DCAP = dihidrocapsaicina ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), NCAP= nordihidrocapsaicina ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), AA= ácido ascórbico ($\text{mg}\cdot 100^{-1}$), atividade antioxidante pelos métodos FRAP e DPPH ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), FLA=flavonoides (mg de equivalente ácido gálico (GAE) 100^{-1} g), FT= fenóis totais (mg equivalente quercetina QE g^{-1}), pH=potencial Hidrogeniônico, SST= sólidos solúveis totais ($^{\circ}\text{Brix}$) e AT= acidez titulável (%).

^{2/} P1 =UEL 111, P2=Horticeres, P3= Hortivale, P4 =BRS Mari, P5= UEL 110.

^{ns} = não significativo, ** e * =significativo em nível de 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O armazenamento dos frutos colhidos precocemente por 10 dias mostrou-se benéfico para características de germinação e vigor dos cinco genótipos estudados, melhorando o potencial fisiológico das sementes. Sendo assim, o armazenamento pós-colheita dos frutos, antes da extração das sementes, pode ser um aspecto vantajoso para os produtores de sementes, pois podem colher os frutos ainda imaturos, evitando riscos possíveis condições desfavoráveis no campo.

A partir da análise comparativa dos dados dos atributos físico-químicos e a capacidade antioxidante dos genótipos de pimenta estudados, os acessos UEL 111 e UEL 110 apresentaram maior capacidade antioxidante e menor teor de pungência, podendo ser utilizados em indústrias alimentícia, farmacêutica e cosmética, quanto em programas de melhoramento.

Na análise dialélica tanto os efeitos de aditivos, quanto o de não- aditivos ou dominância foram importantes no controle dos caracteres agronômicos e nutricionais, indicando tanto a exploração de híbridos quanto o desenvolvimento de linhagens superiores a partir do avanço das gerações segregantes.

As informações obtidas neste trabalho em relação à *Capsicum baccatum* var. *pendulum* são importantes para o programa de melhoramento genético, por viabilizar o conhecimento sobre caracteres agronômicos e nutricionais a serem melhorados e para proporcionar maior segurança na escolha e utilização de métodos de melhoramento.