

RONALDO MACHADO JUNIOR

**FENÔMICA APLICADA À CARACTERIZAÇÃO DE FRUTOS EM  
GERMOPLASMA DE ABÓBORA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2017

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da  
Universidade Federal de Viçosa – Câmpus Viçosa

T

M149f  
2017 Machado Junior, Ronaldo, 1991-  
Fenômica aplicada à caracterização de frutos em  
germoplasma de abóbora / Ronaldo Machado Junior. – Viçosa,  
MG, 2017.  
xi, 31f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Derly José Henriques da Silva.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Inclui bibliografia.

1. Abóbora - Melhoramento genético. 2. *Cucurbita  
moschata* D. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento  
de Fitotecnia. Programa de Pós-graduação em Fitotecnia.  
II. Título.

CDD 22 ed. 635.622

RONALDO MACHADO JUNIOR

**FENÔMICA APLICADA À CARACTERIZAÇÃO DE FRUTOS EM  
GERMOPLASMA DE ABÓBORA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 19 de julho de 2017.

  
Aluizio Borém de Oliveira

  
Paulo Roberto Cecon

  
Cosme Damião Cruz  
(Coorientador)

  
Derly José Henriques da Silva  
(Orientador)

*A Deus,*

*Luz em meu caminho*

## **OFEREÇO**

*A minha família pelo amor incondicional e apoio.*

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e Nossa Senhora Abadia por iluminar o meu caminho durante toda esta jornada, dando-me saúde, conhecimento e força para conseguir superar os desafios da vida.

Aos meus pais, Ronaldo Machado Filho e Vanda Pereira Felix Machado pelo amor, carinho, dedicação e incentivo para que me permitisse alcançar mais este objetivo.

Ao minha irmã Patrícia Felix pela amizade, compreensão, paciência e incentivo.

Aos meus familiares que sempre me apoiaram em minhas decisões, sobretudo aos meus avós, exemplos de persistência, trabalho e doação.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós Graduação em Fitotecnia, pela oportunidade de realizar p curso de mestrado.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela concessão da bolsa de estudos.

A CAPES, CNPq e FAPEMIG pela concessão de bolsas de estudos e recursos financeiros para o desenvolvimento do projeto.

Aos professores Carlos Eduardo e Éder Matsuo, pelo incentivo e oportunidade na iniciação à pesquisa durante a graduação.

Ao professor Derly José Henriques da Silva, pela excelente orientação, pelos conhecimentos transmitidos, paciência e sobretudo pela amizade. Exemplo de dedicação, competência e humildade.

Aos professores Aluizio Borém, Cosme Damião, Paulo Cecon, Pedro Crescêncio pelas valiosas sugestões, atenção, apoio e amizade.

Ao parceiro Vinícius Quintão, pelas proveitosas reuniões, incentivo em trabalhar com fenômica, dedicação e amizade.

Aos companheiros “Abobreiros” Renata Laurindo, Rebeca Lourenço, especialmente ao Ronaldo Gomes e Cleverson Freitas pelo apoio fundamental para realização deste trabalho, pela agradável convivência e ensinamentos.

A todos amigos conquistados durante minha vida pela agradável convivência, apoio, aprendizado e paciência. Companheiros que levarei comigo eternamente.

Aos funcionários da Horta-Velha, estagiários e o técnico do Laboratório de Recursos Genéticos pelos bons momentos vividos, amizades e pelos esforços, dedicação e compromisso despendidos na realização deste trabalho.

Aos professores que tive, pela atenção, disponibilidade e ensinamentos

A todos aqueles que colaboraram de alguma forma, pelo incentivo, compreensão e amizade.

**MUITO OBRIGADO!**

De tudo, ficaram três coisas: a certeza de que estamos sempre começando, a certeza de que é preciso continuar e a certeza de que seremos interrompidos antes de terminar. Portanto, devemos fazer da interrupção um caminho novo... da queda um passo de dança... do medo, uma escada... do sonho, uma ponte... da procura, um encontro.

“Fernando Sabino”

## **BIOGRAFIA**

RONALDO MACHADO JUNIOR, filho de Ronaldo Machado Filho e Vanda Pereira Felix Machado, nasceu em 23 de setembro de 1991, em Abadia dos Dourados, Minas Gerais, Brasil.

Em 2010 concluiu o ensino Médio concomitante com o curso de Técnico em Agropecuária pelo Instituto Federal de Ciências e Tecnologia do Triângulo Mineiro - Campus Uberlândia, em Uberlândia-MG, Brasil.

Em agosto de 2010, ingressou no curso de Agronomia na Universidade Estadual de Goiás - Campus Ipameri, em Ipameri-GO, Brasil. Em fevereiro de 2012 transferiu-se para Universidade Federal de Viçosa - Campus Rio Paranaíba, em Rio Paranaíba-MG, Brasil. Onde em agosto de 2015 obteve o título de Engenheiro Agrônomo

Em agosto 2015, iniciou o curso de Mestrado no Programa de Fitotecnia na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa-MG, Brasil, submetendo-se à defesa de dissertação em julho de 2017.

Em agosto 2017, iniciou o curso de Doutorado no Programa de Genética e Melhoramento na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa-MG, Brasil.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>viii</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>ix</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>x</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xi</b>
<b>1. INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Cultura da Abóbora .....</b>	<b>3</b>
<b>2.2. Germoplasma de Abóbora .....</b>	<b>5</b>
<b>2.3. Fenômica e suas aplicações no melhoramento de plantas.....</b>	<b>6</b>
<b>3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>10</b>
<b>EFICIÊNCIA DA FENOTIPAGEM DE FRUTOS DE ABÓBORA POR MEIO DE</b>	
<b>IMAGENS DIGITAIS .....</b>	<b>14</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>15</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>16</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>19</b>
<b>2.1. Preparo da área experimental e condução do experimento em campo .....</b>	<b>19</b>
<b>2.2. Avaliação manual.....</b>	<b>19</b>
<b>2.3. Aquisição de imagens .....</b>	<b>19</b>
<b>2.4. Avaliação dos frutos por meio de imagem digital .....</b>	<b>21</b>
<b>2.5. Ampliação de dados.....</b>	<b>22</b>
<b>3. RESULTADOS e DISCUSSÃO .....</b>	<b>23</b>
<b>4. CONCLUSÃO.....</b>	<b>28</b>
<b>5. AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>28</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>29</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>EFICIÊNCIA DA FENOTIPAGEM DE FRUTOS DE ABÓBORA POR MEIO DE IMAGENS DIGITAIS</b> .....	14
<b>Figura 1:</b> Estúdio utilizado para aquisição das imagens .....	20
<b>Figura 2:</b> Superfície inferior do estúdio utilizada para aquisição das imagens .....	20
<b>Figura 3:</b> Câmera digital Sony Cyber - Shot DSR – WX350 .....	21
<b>Figura 4:</b> Imagem de referência.....	21
<b>Figura 5:</b> Gráfico de dispersão das metodologias empregadas .....	26

## LISTA DE TABELAS

<b>EFICIÊNCIA DA FENOTIPAGEM DE FRUTOS DE ABÓBORA POR MEIO DE IMAGENS DIGITAIS</b> .....	14
<b>Tabela 1:</b> Classificação dos valores do coeficiente de correlação de Person (r), proposto por Hopkins (2000) .....	23
<b>Tabela 2:</b> Critério de interpretação do índice de desempenho “c” proposto por Camargo e Sentelhas (1997) .....	23
<b>Tabela 3:</b> Coeficiente de Pearson <sup>1</sup> (r), índice de concordância <sup>2</sup> (d), e índice de desempenho <sup>3</sup> (c), eficiência do método <sup>4</sup> (EF) .....	25
<b>Tabela 4:</b> Valores das médias das medidas realizadas de forma manual e por meio da análise de imagens na caracterização morfoagrônoma de frutos de abóbora mantidos no BGH-UFV, valores do viés (Viés), erro médio absoluto (EMA) e erro máximo absoluto (EMAX) .....	27

## RESUMO

MACHADO JUNIOR, Ronaldo, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2017. **Fenômica aplicada à caracterização de frutos em germoplasma de abóbora.** Orientador Derly José Henriques da Silva. Coorientadores: Cosme Damião Cruz e Pedro Crescêncio Souza Carneiro.

O cultivo de abóbora (*Cucurbita moschata* D.) é amplamente difundido no mundo. Isso se deve a facilidade de produção, versatilidade de cultivo, boa adaptabilidade às condições ambientais, boa aceitação no consumo e possibilidade de expansão de área de plantio. Seus frutos possuem grande importância para atividades humanas, uma vez que pode ser utilizada para diversos fins industriais, alimentícios e medicinais. O Brasil possui ampla variabilidade genética de abóbora. No intuito de preservar essa variabilidade genética foram criados seis bancos de germoplasma, mantidos por instituições públicas. O Banco de Germoplasma de Hortaliças da Universidade Federal de Viçosa (BGH-UFV) detém mais de 350 acessos de *C. moschata*, ainda pouco explorados. Apesar da facilidade e simplicidade das técnicas tradicionais aplicadas à caracterização dos frutos, elas demandam tempo, mão de obra e recursos financeiros. Uma alternativa a essas avaliações seria a fenotipagem de alta qualidade e em larga escala por meio de imagens, cujo tema é abordado pela fenômica. A expectativa é que a fenotipagem baseada em imagens permitirá expandir experimentos e realizar avaliações fenotípicas rápidas e mais precisas. O objetivo desse trabalho foi avaliar a eficiência da fenotipagem de frutos de abóbora por meio de imagens digitais. Para isso, foram avaliadas 466 frutos provenientes de 148 acessos de *C. moschata* mantidos no BGH-UFV e 4 testemunhas. Após corte longitudinal, os frutos foram avaliados quanto aos descritores comprimento e diâmetro do fruto e da cavidade interna, por meio de mensuração manual e por análise de imagens, utilizando um aplicativo desenvolvido com auxílio da biblioteca de processamento digital de imagens do MATLAB. Identificou-se leve variação entre as metodologias de fenotipagem. Entretanto, a avaliação por meio das mensurações nas imagens apresentou alta concordância, correlação quase perfeita e de desempenho classificado como ótimo em todos os descritores em comparação com as medidas manuais. Uma vez que se conhece as dimensões do comprimento, diâmetro, e cavidade interna do fruto é possível determinar o rendimento médio de polpa. Conclui-se que a avaliação de frutos de abóbora por meio de imagens é eficiente, pois permite avaliar um grupo maior de genótipos com rapidez, praticidade, precisão e ainda armazenar as imagens para futuras pesquisas.

## ABSTRACT

MACHADO JUNIOR, Ronaldo, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2017. **Phenomics applied to the characterization of fruits in germplasm of winter squash.** Adviser: Derly José Henriques da Silva. Co-advisers: Cosme Damião Cruz and Pedro Crescêncio Souza Carneiro.

The cultivation of winter squash (*Cucurbita moschata* Duchesne) is worldwide widespread. This results from its easy of production, versatility of cultivation, good adaptability to the environmental conditions, from its good acceptability in the consumer markets and from the possibility of expanding the areas intended to its cultivation. The fruits of *C. moschata* are important in a series of activities such as in the industry, in food industry and medical purposes. The country of Brazil holds a wide genetic variability of *C. moschata*. Until the present, six germoplasm banks have been created aiming to conserve this variability. The Vegetable Germoplasm Bank of the Universidade Federal de Viçosa (BGH-UFV) holds more than 350 accessions of *C. moschata*, still little used. Despite the ease and simplicity of the traditional techniques used in the characterization of fruits, they require time, labor and financial resources. One alternative to this characterization is the phenotyping of high quality and in large scale thru images, which is included in the phenomics. The expectation is that the phenotyping based in images will enable expanding the experiments and carry out phenotypic evaluations faster and more precisely. The objective of this work was to evaluate the efficiency of the phenotyping of fruits of winter squash thru digital images. For this, it was evaluated 466 fruits from 148 accessions of *C. moschata* kept by the BGH-UFV and four checks. After longitudinal cutting, the fruits were evaluated as to the descriptors length and diameter of fruit and the internal cavity, by means of manual measurement and by image analysis, using an app developed with the aid of the digital image-processing library of MATLAB. It was identified a slight variation among the phenotyping methodologies. However, the evaluation based on the measurements of images had high agreement, almost perfect correlation and performances classified as optimal in all the descriptors in comparison to the manual measurements. Once known the dimensions of length, diameter and internal cavity of fruits it is possible determining the average yield of pulp. It is concluded that the evaluation of winter squash fruits by means of images is efficient, since it allows to evaluate a larger group of genotypes with higher speed, practicality, precision, besides allowing the storage of images for future purposes.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A família Cucurbitaceae compreende cerca de 120 gêneros e mais de 800 espécies, dentre as quais, cerca de 24 espécies são cultivadas em todo o mundo. As cucurbitáceas possuem elevada importância socioeconômica e alimentar correspondendo a 23% das hortaliças comercializadas no mundo, com destaque para as abóboras (*Cucurbita* spp.), pepinos (*Cucumis sativus* L.), melões (*Cucumis melo* L.) e melancias (*Citrullus* spp.) (BOLZAN *et al.*, 2015).

A abóbora (*Cucurbita moschata* Duchesne) é hortaliça-fruto de fácil produção, versatilidade de cultivo e amplamente disponível por todo ano. Características nutricionais, como polpa rica em carotenoides e sementes com alta concentração de óleo, permitem o uso da abóbora para diversos fins industriais, alimentícios e medicinais (MACHADO JUNIOR *et al.*, 2017; VERONEZI & JORGE, 2012).

*C. moschata* possui ampla diversidade genética no Brasil, onde as cultivares tradicionais são mantidas por comunidades indígenas, quilombolas e de agricultores familiares. Devido à transição do cultivo tradicional para a agricultura moderna, as variedades tradicionais foram, muitas vezes, substituídas por variedades melhoradas e tal fato aumenta o risco de erosão genética na espécie (FISCHER *et al.*, 2016; OLIVEIRA *et al.*, 2016).

No intuito de preservar essa variabilidade genética de *Cucurbitas*, foram criados seis bancos de germoplasma por instituições públicas brasileiras (FERREIRA, 2008). Estes bancos visam principalmente documentar e promover o intercâmbio de germoplasma entre instituições de pesquisa. O Banco de Germoplasma de Hortaliças da Universidade Federal de Viçosa (BGH-UFV) criado em 1966 detém cerca de 350 acessos de cucurbita (SILVA *et al.*, 2001). Apesar da elevada quantidade de acessos armazenados, ainda são poucas as informações sobre o potencial destes acessos, pois existem poucos estudos disponíveis na literatura (FERREIRA *et al.*, 2016).

O conhecimento da diversidade genética e o real potencial destes acessos é indispensável para programas de melhoramento genético, principalmente quando o interesse é realizar cruzamentos e identificar populações segregantes promissoras. No entanto, a avaliação dos frutos de abóbora para fins comerciais e em programas de melhoramento é tradicionalmente realizada de forma manual.

Apesar da facilidade e simplicidade das técnicas tradicionais de fenotipagem de plantas, estas demandam tempo, mão de obra, recurso financeiro e muitas são associadas a elevados erros experimentais. A fim de aumentar a precisão, acurácia e rapidez das mensurações fenotípicas,

técnicas com base em imagens digitais foram desenvolvidas como alternativa às avaliações já consolidadas por proporcionar maior confiabilidade dos resultados obtidos pelos melhoristas (CORTES *et al.*, 2017).

A expectativa é que a fenotipagem, baseada em imagens, permitirá expandir experimentos e realizar avaliações fenotípicas rápidas, precisas e acuradas. A aquisição de imagens pode ser realizada com equipamentos simples, como câmeras fotográficas e de vídeo, scanners ou por meio técnicas mais modernas como microscópios eletrônicos, radares, aparelhos de raios-X, aparelhos de ultra-som e ressonância magnética e nuclear (BERGER *et al.*, 2010; HOULE *et al.*, 2010; MONTES *et al.*, 2007). Além disso, a fenotipagem permite o armazenamento para serem analisados posteriormente.

Em geral, a fenotipagem de alto rendimento depende de uma equipe multidisciplinar, incluindo biólogos, físicos, matemáticos, geneticistas, bioquímicos, fisiologistas, melhoristas de plantas especialmente aqueles direcionados para a prospecção, descoberta e validação de genes ou, ainda, para a seleção de genótipos que possuem características de interesse, como, tolerância a estresses bióticos e abióticos (ARAUS *et al.*, 2015; SOUSA *et al.*, 2015).

A fenotipagem de larga escala conhecida como fenômica têm sido associados a análises principalmente com o uso de imagens, permitindo a geração de grande quantidade de dados em um período relativamente menor quando comparado à métodos convencionais (WALTER *et al.*, 2015; SOUSA *et al.*, 2015). Sua aplicação tem despertado interesse em pesquisadores, pois possibilita determinar atributos bioquímicos, fisiológicos e morfológicos em plantas ou órgãos específicos por uma técnica não destrutiva (CLARK *et al.*, 2011; GENTY & MEYER, 1995; ROMANO *et al.*, 2011; KHOJASTEHNZHAND *et al.*, 2009; LENK *et al.*, 2006; MERLOT *et al.*, 2002). Esses estudos incluem o monitoramento aéreo de lavouras, detecção e reconhecimento de doenças, pragas, estresses abióticos, entre outros (PANDEY *et al.*, 2013).

Nos últimos anos a busca de metodologias que viabilize estimar dimensões e volume de produtos agrícolas por meio de imagens digitais atraíram muitos pesquisadores (CORTES *et al.*, 2017; KHOJASTEHNZHAND *et al.*, 2009; RASHIDI *et al.*, 2009; KOC, 2007). A partir das medidas de comprimento longitudinal e transversal de frutos é possível determinar o rendimento médio de polpa, sendo esta uma informação importante para atender as exigências do mercado. Além de possibilitar estimar o peso e volume dos frutos, é possível o planejamento de armazenagem, dimensionamento de embalagens, transporte e comercialização.

Atualmente, verifica-se que é necessário o desenvolvendo plataformas genéricas e soluções modulares e flexíveis que permitam a avaliação simultânea do fenótipo de múltiplas espécies e capazes de acomodar necessidades experimentais diferentes. Além disso, é de grande utilidade o desenvolvimento de softwares livres para a obtenção de dados similares que podem ser modificados e utilizados sem restrições, em sistemas automatizados ou manuais (COBB et al., 2013; FIORANI & SCHURR, 2013). Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi propor a fenotipagem de frutos em germoplasma de abóbora por meio de imagens digitais.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Cultura da Abóbora**

As espécies do gênero *Cucurbita*, família Cucurbitaceae, possui como centro de diversidade o Continente Americano, onde compôs a base alimentar da civilização Asteca, Inca, Maia e Olmeca (HURD JR *et al.*, 1971). Registros arqueológicos associam essas espécies ao homem há pelo menos 10 mil anos. Acredita-se que o processo de domesticação teve início no período pré-colombiano, por meio da seleção baseada em genótipos de polpa não amarga (WHITAKER & BEMIS, 1976).

O gênero *Cucurbita* compreende cerca de 24 espécies, diploides ( $2n=2x=40$ ), das quais cinco são cultivadas (*C. argyrosperma* Huber, *C. ficifolia* Bouche, *C. maxima* Duchesne, *C. moschata* Duchesne e *C. pepo* L.). Essas espécies possuem grande variabilidade genética em relação adaptação a condições ambientais, ciclos fenológicos, hábitos de crescimento, resistência a doenças. Seus frutos possuem variação quanto à coloração, formato, tamanho, textura, sabores e características nutricionais, além disso, podem ser colhidos e consumidos em diferentes estádios de maturação.

A aboboreira (*Cucurbita moschata* Duch.) foi domesticada na América Latina, embora não se tenha conhecimento do local específico de sua domesticação, seu cultivo antecede a chegada dos colonizadores (FERREIRA, 2008). Considerada tipicamente tropical, cultivada predominantemente nas zonas de baixa altitude de clima quente com alta umidade (FILGUEIRA, 2006). No entanto, possuem espécies de semideserto ou de região sub-temperadas (VERONEZI & JORGE 2012).

As plantas da abóbora são de ciclo anual, possui caule herbáceo prostrado, e em geral, hábito de crescimento indeterminado, com presença de tricomas recobrimdo pecíolos e folhas, estas, são em geral grandes, palmadas com ângulos bastante marcados. A espécie é alógama e se reproduz preferencialmente por fecundação cruzada, possui hábito de florescimento monoico, flores unissexuais em locais distintos da mesma planta e predomínio de flores masculinas. A coloração das flores varia de amarelo-claro a amarelo-laranja. As flores femininas possuem ovário ínfero que prenuncia o formato do fruto e as masculinas são providas de estigmas grandes, carnosos e lobulados (FERREIRA, 2008; NICK & BORÉM, 2017).

O cultivo da abóbora possui dispersão cosmopolita, devido principalmente a facilidade de produção, ampla disponibilidade por todo ano, versatilidade de cultivo, boa adaptabilidade às condições ambientais, boa aceitação de consumo e possibilidade de expansão de área de plantio. Em âmbito mundial, a China consiste no maior produtor, responsável por cerca 30% da produção mundial (DU, *et al.*, 2011).

Em 2013, o volume comercializado de abóbora no Brasil foi superior a 48 mil toneladas, produzido por cerca de 128 mil estabelecimentos localizados principalmente na região Nordeste e caracterizados por pequenas propriedades e cultivos comerciais. A média de produtividade da cultura é de 4,4 ton.ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2012; AGRIANUAL, 2015). A ausência de informações atualizadas, sobre os dados da cadeia produtiva das abóboras, constitui um entrave para avanços no setor.

A *C. moschata* pode ser utilizada para diversos fins industriais, alimentícios e medicinais. Devido elevado valor nutricional da sua polpa, além de conter açúcares, fibras e carboidratos, esta é rica em carotenoides pró vitamina A, especialmente  $\beta$ -caroteno,  $\alpha$ -caroteno e luteína (MACHADO JUNIOR *et al.*, 2017). Além disso, suas sementes são excelentes fontes de fibras, minerais, como fósforo, magnésio e cálcio, possui elevados teores proteicos e alta concentração de óleo com excelente teor de ácidos graxos insaturados (KIM, *et al.*, 2012; VERONEZI & JORGE 2012; PETKOVA, *et al.*, 2015).

Em alguns locais a abóbora representa grande importância tanto na dieta humana quanto animal, devido à facilidade de armazenamento e sua elevada produção. Além disso, o cultivo desta espécie desempenha grande importância econômica e social, devido à geração de empregos diretos e indiretos, uma vez que em todas as etapas de cultivo a demanda de mão de obra é intensa (RESENDE *et al.*, 2013).

A diversidade de *C. moschata* no Brasil é representada pelo grande número de variedades mantidas por comunidades tradicionais indígenas, quilombolas e de agricultores familiares. Essas variedades possuem uma ampla variabilidade quanto à adaptação a diferentes condições ambientais, hábito de crescimento, características morfológicas, grau de resistência a doenças, aspectos nutricionais e uso (FERREIRA, 2008). A ampliação e manutenção da base genética dessa cultura tem decorrido do processo de agricultores armazenarem e trocarem suas sementes (FISCHER *et al.*, 2016).

## **2.2. Germoplasma de Abóbora**

Os recursos fitogenéticos podem ser compreendidos como a variabilidade de plantas, que despertam interesse socioeconômico para utilização em programas de melhoramento genético, biotecnologia e outras ciências afins (VALOIS *et al.*, 1996). Quando se considera toda a variabilidade vegetal disponível na natureza é irrisório quando comparado o número de genótipos cultivados e utilizados pelo homem, principalmente em programas de melhoramento.

A erosão genética resultante da substituição de variedades crioulas por variedades melhoradas é um dos grandes problemas encontrados pelos melhoristas, provocada principalmente pela pressão aplicada nos agricultores que têm de buscar cada vez mais por uma agricultura mais tecnificada e altamente produtiva. Assim, estes são submetidos à abandonar o cultivo tradicional e os conhecimentos adquiridos (FISCHER *et al.*, 2016; OLIVEIRA *et al.*, 2016).

O Brasil se destaca como importante detentor de variabilidade genética da cultura da abóbora. Preservar esta variabilidade em bancos de germoplasma é a principal forma de minimizar os efeitos negativos da erosão genética desta espécie (FERREIRA, 2008). Para isso é necessário realizar expedições de coleta de acessos, assim como, documentar estes acessos afim de posteriormente mensurar essa diversidade genética e promover o intercâmbio de germoplasma entre instituições de pesquisa.

No Brasil existem coleções germoplasma de *Cucurbita*, mantidas em seis instituições: Embrapa Clima Temperado (Pelotas, RS), Embrapa Hortaliças (Brasília, DF), Embrapa Semiárido (Petrolina, PE), Universidade Federal de Viçosa (Viçosa, MG) e Instituto Agronômico de Campinas (Campinas, SP) onde o germoplasma é conservado em médio prazo (Bancos Ativos de Germoplasma), e apenas a coleção existente na Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia

(Brasília, DF) conserva o acervo à longo prazo (Coleção de Base de Germoplasma Semente – Colbase) (FERREIRA 2008).

O Banco de Germoplasma de Hortaliças da Universidade Federal de Viçosa (BGH-UFRV) criado em 1966 com apoio da Fundação Rockfeller detém cerca de 350 acessos de *Cucurbita* e mantém atividades de rotina como a caracterização e avaliação de recursos genéticos sobre seu controle (SILVA, *et al.*, 2001). Estudos apontam para a expressiva variabilidade genética e bom desempenho agrônômico destes acessos (GOMES, 2017). Entretanto pouco se sabe sobre o verdadeiro potencial destes, pois há poucos estudos disponíveis na literatura (FERREIRA *et al.*, 2016).

O conhecimento da diversidade genética e do real potencial destes acessos é indispensável para programas de melhoramento genético de abóbora, principalmente quando o interesse é realizar cruzamentos e identificar populações segregantes promissoras. Isto permite o desenvolvimento de variedades com características de interesse para agricultores.

### **2.3. Fenômica e suas aplicações no melhoramento de plantas**

Estimativas indicam que até 2050, a produção mundial de alimentos necessita dobrar de quantidade para suprir a demanda populacional (TILMAN *et al.*, 2011). Os programas de melhoramento desempenham importante função neste sentido, pois apresentam como principal objetivo desenvolver cultivares altamente produtivas, tolerantes a estresses bióticos e abióticos e que agreguem outras características de interesse agrícola e econômico.

Ao mesmo tempo, as plantas são cada vez mais utilizadas como fonte de energia renovável e como matéria-prima para geração de produtos. Entretanto, reunir em um único genótipo todas estas características é um grande desafio, pois muitas destas apresentam caráter poligênico e são muito influenciadas pelo ambiente.

Uma solução para programas de melhoramento genético enfrentar tais desafios é ampliar a base genética. Com este objetivo, realizar estudos de diversidade genética baseados em informações fenotípicas e moleculares de acessos de bancos de germoplasma para auxiliar na recomendação de cruzamentos ou utilizar técnicas de transformação gênica são alternativas muito interessantes (SOUSA *et al.*, 2015).

A utilização de grande quantidade de informações moleculares têm auxiliado muito os programas de melhoramento. Embora, nos últimos anos, tenham ocorrido avanços significativos

nas abordagens moleculares, as avaliações fenotípicas não avançaram no mesmo ritmo. Esta lacuna na quantidade e qualidade entre informações genômicas e fenotípicas é conhecido como “gargalo de fenotipagem” (phenotyping bottleneck) e é uma das principais preocupações dos programas de melhoramento da atualidade (SANTOS & YASSITEPE, 2014).

A fenotipagem de alta qualidade e em larga escala, denominada fenômica, é uma ciência emergente, que consiste na caracterização completa do “fenoma” que se refere ao conjunto de todos os fenótipos possíveis de um determinado genótipo (HOULE *et al.*, 2010; DHONDT *et al.*, 2013). A fenômica apresenta como base o tripé formado pelo fenótipo, genótipo e o ambiente (DHONT *et al.*, 2013). O corpo funcional da planta “fenótipo” é formado durante seu crescimento e desenvolvimento, podendo ser estudado e relacionado com a interação dinâmica entre o fundo genético “genótipo” e o mundo físico no qual as plantas se desenvolvem “ambiente”.

Apesar da facilidade e simplicidade das técnicas tradicionais aplicadas à fenotipagem de plantas, estas demandam tempo, mão de obra, recurso financeiro e muitas são associadas a elevados erros experimentais. Tecnologias que visam aumentar precisão, acurácia e rapidez das mensurações fenotípicas são alternativas às avaliações já consolidadas, pois propiciam maior confiabilidade dos resultados obtidos pelos melhoristas (CORTES *et al.*, 2017).

As técnicas aplicada à fenotipagem de plantas têm sido associados a análises ópticas não destrutivas de características vegetais, principalmente com o uso de imagens (WALTER *et al.*, 2015). Esta metodologia propicia geração de grande quantidade de dados em um período relativamente menor quando comparado à métodos convencionais (SOUSA *et al.*, 2015).

Aplicada às plantas, a fenômica possibilita visualizar em vários níveis hierárquicos, o fenótipo de um organismo e tem como propósito o estudo do crescimento, do desempenho e da composição dos genótipos, podendo ser realizado tanto em condições controladas quanto a campo (FURBANK & TESTER, 2011). Além disso, por ser não invasiva permite monitoramento ao longo do tempo de várias características de interesse ao mesmo tempo.

As tecnologias que estão sendo empregadas nesta nova era de fenotipagem utilizam técnicas de refletância clássicas tais como fotografia de luz e microscopia ou por técnicas mais modernas como termografia, fluorescência, tomografia, ressonância magnética e ressonância nuclear (BERGER *et al.*, 2010; HOULE *et al.*, 2010; MONTES *et al.*, 2007).

Tecnologias baseadas em imagens podem ser usadas para avaliar o que nunca foi mensurado antes ou somente em situações específicas estão começando a ser medidas com maior frequência, como atributos bioquímicas, fisiológicas e morfológicas tais como atividade fotossintética, atividade estomática, composição química foliar e arquitetura de folhas e raízes (CLARK *et al.*, 2011; GENTY & MEYER, 1995; LENK *et al.*, 2006; MERLOT *et al.*, 2002; ROMANO *et al.*, 2011).

Existem inúmeras aplicações na agricultura onde o processamento de imagens podem ser utilizados como ferramenta para inspeção de qualidade de produtos agrícolas e alimentares, como, estimar o número de frutos, prever produção, classificar frutos e cereais de acordo com morfologia e prever dimensões de área, comprimento, diâmetro e volume. Essas aplicações incluem o monitoramento aéreo de lavouras, detecção e reconhecimento de doenças, pragas, estresses abióticos, entre outros (PANDEY *et al.*, 2013).

Nos últimos anos a busca para encontrar metodologias que possibilite estimar dimensões e volume de produtos agrícolas por meio de imagens digitais atraíram muitos pesquisadores (CORTES *et al.*, 2017; KHOJASTEHNZHAND *et al.*, 2009; RASHIDI *et al.*, 2009; KOC 2007). Conhecendo as medidas longitudinais e transversais do fruto e sua cavidade interna é possível estimar o rendimento médio de polpa, sendo esta uma informação importante para atender as exigências do mercado, pois frutos que possuem polpa mais espessa conferem maior rendimento desta, fato importante para comercialização, industrialização dos frutos. Além de possibilitar estimar o peso e volume dos frutos, se torna possível o planejamento de armazenagem, dimensionar embalagens, transporte e comercialização.

O principal interesse dos programas de melhoramento, atualmente, é permitir que a fenômica atue de forma simultânea a genômica. Para isso, tem sido proposto desenvolvimento de plataformas de fenotipagem de alto rendimento (*High-Thoroughput Phenotyping Platforms*) combinando custo acessível com alta capacidade coletas, processamento e armazenamento de dados (ARAUS *et al.*, 2015). Para atingir tal objetivo já se verificou que é necessário conciliar conhecimentos das ciências biológicas, informática, matemática e engenharia (LI *et al.*, 2014), principalmente para minimizar o viés individual obtido pelas mensurações manuais e garantir acurácia e precisão nas medições (COBB *et al.*, 2013; FURBANK; TESTER, 2011).

Em geral, a fenotipagem de alto rendimento pode estar atrelada de forma harmoniosa com a biologia molecular, modelagem estatística, genética quantitativa e programas de melhoramento

genético especialmente aqueles direcionados para a prospecção, descoberta e validação de genes ou, ainda, para a seleção de genótipos que possuam características de interesse, como, tolerância a estresses bióticos e abióticos (ARAUS *et al.*, 2015; SOUSA *et al.*, 2015).

Modernas plataformas de fenotipagem possui uma aplicação desafiadora à visão computacional e análise de imagens, pois depende de avanços na área de computação, robótica, sistemas para captura, processamento e análise de imagens, tais como, modelagem tridimensional (3D), segmentação e classificação, metrologia por imagem, processamento de nuvens de pontos (FIORAN & SCHURR, 2013; FURBANK & TESTER, 2011). O sucesso da fenotipagem depende de uma equipe multidisciplinar, incluindo biólogos, físicos, matemáticos, geneticistas, bioquímico, fisiologistas, melhoristas de plantas entre outros profissionais, trabalhando em conjunto em busca de melhores resultados (ARAUS *et al.*, 2015).

No entanto, muitas destas plataformas foram desenvolvidas para aplicações com plantas modelo ou culturas de grande importância econômica, possuem alto custo para implantação, requer infraestrutura apropriada e depende do fabricante para calibração, manutenção e validação. (SOUSA *et al.*, 2015). Na maioria de plataformas de fenotipagem de plantas adquiridas “prontas para uso” de algumas companhias, o software para a captura e processamento das imagens é protegido por patente, o que restringe a sua utilização e praticamente inviabiliza qualquer alteração por parte do usuário (HAARTMANN *et al.*, 2011; KLUKAS *et al.*, 2014).

Atualmente, verifica-se que é necessário o desenvolvimento de plataformas genéricas e soluções modulares e flexíveis que permitam a avaliação simultânea do fenótipo de múltiplas espécies e capazes de acomodar necessidades experimentais diferentes. Além disso, é de grande utilidade o desenvolvimento de softwares livres para a obtenção de dados similares que podem ser modificados e utilizados sem restrições, em sistemas automatizados ou manuais (COBB *et al.*, 2013; FIORANI & SCHURR, 2013). Assim, irá tornar essa tecnologia acessível à sociedade.

### 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIANUAL. **Anuário da agricultura brasileira**. São Paulo, FNP- Consultoria e Agroinformativo, 2015.

ARAUS, J. L.; ELAZAB, A.; VERGARA, O.; CABRERA-BOSQUET, L.; SERRET, M. D.; ZAMAN-ALLAH, M.; CAINS, J. E. Novas tecnologias para fenotipagem. In: FRITSCH NETO, R.; BORÉM, A. **Fenômica: como a fenotipagem de próxima geração está revolucionando o melhoramento de plantas**. Viçosa, MG, 2015, p. 11- 29.

BERGER, B.; PARENT, B.; TESTER, M. High-throughput shoot imaging to study drought responses. **Journal of experimental botany**, v. 61, n. 13, p. 3519 - 3528, 2010.

BOLZAN, A., NAVA, D. E., GARCIA, F. R., VALGAS, R. A., SMANIOTTO, G. Biology of *Anastrepha grandis* (Diptera: Tephritidae) in different cucurbits. **Journal of economic entomology**, v. 108, n. 3, p. 1034-1039, 2015.

CLARK, R. T., MACCURDY, R. B., JUNG, J. K., SHAFF, J. E., MCCOUCH, S. R.; ANESHANSLEY, D. J.; KOCHIAN, L. V. Three-dimensional root phenotyping with a novel imaging and software platform. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 156, n. 2, p. 455-465, 2011.

COBB, J. N.; DECLERCK, G.; GREENBERG, A.; CLARK, R.; MCCOUCH, S. Next-generation phenotyping: requirements and strategies for enhancing our understanding of genotype-phenotype relationships and its relevance to crop improvement. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 126, n. 4, p. 867-87, 2013.

CORTES, D. F. M.; CATARINA, R. S.; BARROS, G. B. D. A.; ARÊDES, F. A. S.; SILVEIRA, S. F. D.; FERREGUETTI, G. A.; RAMOS, H. C. C.; VIANA, A. P.; PEREIRA, M. G. Model-assisted phenotyping by digital images in papaya breeding program. **Scientia Agricola**, v. 74, n. 4, p. 294-302, 2017.

DU, X.; SUN, Y.; LI, X.; ZHOU, J. LI, X. Genetic divergence among inbred lines in *Cucurbita moschata* from China. **Scientia Horticulture**. v. 127, n. 3, p. 207-213, 2011.

DHONDT, S.; WUYTS, N.; INZÉ, D. Cell to whole-plant phenotyping: the best is yet to come. **Trends in Plant Science**, v.18, n. 8, p. 428-439, 2013.

FERREIRA, M. Aboboras e morangas das Américas para o Mundo. In: BARBIERI, R. L.; STUMPF, E. R. T. (Eds.). **Origem e evolução de plantas cultivadas**. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008, p. 59-88.

FERREIRA, M. G., SALVADOR, F. V., LIMA, M. N., AZEVEDO, A. M., LIMA NETO, I. S., SOBREIRA, F. M., SILVA, D. J. Genetic parameters, dissimilarity and performance of pumpkin accessions. **Horticultura Brasileira**, v. 34, n. 4, p. 537-546, 2016

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2007. 421 p.

FIORANI, F.; SCHURR, U. Future scenarios for plant phenotyping. **Annual review of plant biology**, v. 64, p. 267-291, 2013.

FISCHER, S. Z.; BARBIERI, R. L.; PEIL, R. M. N.; STUMPF, E. R.; NEITZKE, R. S.; SIGALES, C. V.; TREPTOW, R. O. Cultivo e uso de variedades crioulas de abóboras ornamentais no Rio Grande do Sul. **Horticultura Brasileira**, v. 34, n. 3, 2016.

FURBANK, R. T.; TESTER, M. Phenomics - technologies to relieve the phenotyping bottleneck. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 16, n. 12, p. 635-644, 2011.

GENTY, B.; MEYER, S. Quantitative mapping of leaf photosynthesis using chlorophyll fluorescence imaging. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 22, n. 2, p. 277-284, 1995.

GOMES, R. S. **Variabilidade morfoagronômica e nutricional de acessos de *Cucurbita moschata* Duch. Do Banco de Germoplasma de Hortaliças-UFV**. 2017. 37 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 2017.

HARTMANN, A.; CZAUDERNA, T.; HOFFMANN, R.; STEIN, N.; SCHREIBER, F. HTPHENO: An image analysis pipeline for high-throughput plant phenotyping. **BMC Bioinformatics**, v. 12, n. 1, p. 148, 2011.

HOULE, D.; GOVINDARAJU, D. R.; OMHOLT, S. Phenomics: the next challenge. **Nature Reviews. Genetics**, London, v. 11, n.12, p. 855-66, 2010.

HURD JR, P. D., LINSLEY, E. G., WHITAKER, T. W. Squash and gourd bees (*Peponapis, Xenoglossa*) and the origin of the cultivated *Cucurbita*. **Evolution**, v. 25, n. 1, p. 218-234, 1971.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2012. Produção Agrícola Municipal. Disponível em: <[www. Sidra. Ibge.gov.br](http://www.sidra.ibge.gov.br)> Acesso em 27 de jun. 2017.

KIM, M. Y; EUN, J. K; KIM, Y; CHOI, C.; LEE, B. Comparison of the chemical compositions and nutritive values of various pumpkin (*Cucurbitaceae*) species and parts. **Nutrition Research and Practice**. V. 6, n. 1. p. 21-27, 2012.

KHOJASTEHNZHAND, M.; OMID, M.; TABATABAEEFAR, A. Determination of orange volume and surface area using image processing technique. **International Agrophysics**, v. 23, n. 3, p. 237-242, 2009.

KOC, A.B. Determination of watermelon volume using ellipsoid approximation and image processing. **Postharvest Biology and Technology**, v. 45, n. 3, p. 366-37, 2007.

KLUKAS, C.; CHEN, D.; PAPE, J.M. Integrated Analysis Platform: An Open-Source Information System for High-Throughput Plant Phenotyping. **Plant Physiology**, v.165, n. 2, p. 506-518, 2014.

LENK, S.; CHAERLE, L.; PFÜNDEL, E. E.; LANGSDORF, G.; HAGENBEEK, D.; LICHTENTHALER, H. K.; STRAETEN, D. V.D; BUSCHMANN, C. Multispectral fluorescence and reflectance imaging at the leaf level and its possible applications. **Journal of Experimental Botany**, v. 58, n. 4, p. 807-814, 2006.

LI, L; ZHANG, Q; HUANG, D. A review of imaging techniques for plant phenotyping. **Sensors**, v. 14, n. 11, p. 20078-20111, 2014.

MACHADO JUNIOR, R.; GOMES, R. S.; ALMEIDA, C. F.; ALVES, F. M.; DELAZARI, F. T.; LAURINDO, R. D. F.; FERNANDES, R. H.; SILVA, D. J. H. Vegetable breeding as a strategy of biofortification in carotenoids and prevention of vitamin A deficiency. **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, n. 13, p. 1059-1066, 2017.

MERLOT, S.; MUSTILLI, A. C.; GENTY, B.; NORTH, H.; LEFEBVRE, V.; SOTTA, B.; VAVASSEUR, A.; GIRAUDAT, J. Use of infrared thermal imaging to isolate Arabidopsis mutants defective in stomatal regulation. **Plant Journal**, v. 30, n. 5, p. 601-609, 2002.

MONTES, J. M.; PAUL, C.; MELCHINGER, A. E. Determination of chemical composition and nutritional attributes of silage corn hybrids by near-infrared spectroscopy on chopper: evaluation of traits, sample presentation systems and calibration transferability. **Plant Breeding**, v. 126, n. 5, p. 521-526, 2007.

NICK, C.; BORÉM, A. **Abóboras e morangas: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2017. 203 p.

OLIVEIRA, R. L., GONCALVES, L. S. A., RODRIGUES, R., BABA, V. Y., SUDRÉ, C. P., SANTOS, M. H., ARANHA, F. M. Genetic divergence among pumpkin landraces. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 37, n.2, p 547-556, 2016.

PANDEY, R.; NAIK, S.; MARFATIA, R. Image Processing and Machine Learning for Automated Fruit Grading System: A Technical Review. **International Journal of Computer Applications**, v.81, n. 16, p. 29–39, 2013.

PETKOVA, Z. Y.; G.A. ANTOVA, G. A. Changes in the composition of pumpkin seeds (*Cucurbita moschata*) during development and maturation. **GRASAS Y ACEITES**. v. 66, n.1, p. 39-42, 2015.

RASHIDI, M.; GHOLAMI, M.; ABBASSI, S. Cantaloupe volume determination through image processing. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v.11, p. 623-631, 2009.

RESENDE, GM; BORGES, RME; GONÇALVES, NPS. Produtividade da cultura da abóbora em diferentes densidades de plantio no Vale do São Francisco. **Horticultura Brasileira** v. 31, n. 3, p. 504-508, 2013.

ROMANO, G.; ZIA, S.; SPREER, W.; SANCHEZ, C.; CAIRNS, J.; ARAUS, J. L.; MÜLLER, J. Use of thermography for high throughput phenotyping of tropical maize adaptation in water stress. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 79, n. 1, p. 67-74, 2011.

SANTOS, T. T.; YASSITEPE, J. E. C. T., —Fenotipagem de plantas em larga escala: um novo campo de aplicação para a visão computacional na agricultura. In: MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, M. A. A.; LUCHIARI JUNIOR, A.; ROMANI, L. A. S. **Tecnologias da Informação e Comunicação e suas relações com a agricultura**, Brasília, DF: Embrapa, 2014, p. 85–100.

SILVA, D. J. H.; MOURA, M. C. C. L.; CASALI, V. W. D. Recursos genéticos do banco de germoplasma de hortaliças da UFV: histórico e expedições de coleta. **Horticultura Brasileira**. v. 19, n. 2, p. 108-114, 2001.

SOUSA, C. A. F.; DIAS, B. B. A.; MARTINS, P. K.; MOLINARI, H. B. C.; KOBAYASHI, A. K.; JÚNIOR, M. T. S. Nova abordagem para a fenotipagem de plantas: conceitos, ferramentas e perspectivas (New approach for plant phenotyping: concepts, current tools and perspectives). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, p. 660-672, 2015.

TILMAN, D.; BALZER, C.; HILL, J.; BEFORT, B. L. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v.108, n. 50, p. 20260-20264, 2011.

VALENZUELA, N. J.; MORALES, J. J. Z.; GALLEGOSINFANTE, J. A.; GUTIERREZ, F. A.; HERNÁNDEZ, I. L. C.; GUZMAN, N. E. R.; LAREDO, R. F. G. Chemical and Physicochemical Characterization of Winter Squash (*Cucurbita moschata* D.). **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**. v. 39, n. 1, p. 34-40, 2011.

VALOIS, A.C.C. Conservação de germoplasma vegetal ex situ. Em: **Diálogo XLV: Conservação de germoplasma vegetal. Memórias do curso realizado em Brasília pelo Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura, setembro 19-30 de 1994**. Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura, Uruguay. p.7-11, 1996.

VERONEZI, C. M.; JORGE, N. Aproveitamento de sementes de abóbora (*Cucurbita* sp) como fonte alimentar. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande**, v. 14, n. 1, p. 113-124, 2012.

WALTER, A.; LIEBISCH, F.; HUND, A. Plant phenotyping: from bean weighing to image analysis. **Plant Methods**, v. 11, p. 14, 2015.

WHITAKER, T.W.; BEMIS, W. P. Cucurbits – Cucumis, Citrullus, Cucurbita, Lagenaria (*Cucurbitaceae*). In: SIMMOND, N. W. **Evolution of crop plants**. London: Longman p. 64-69, 1976.

**EFICIÊNCIA DA FENOTIPAGEM DE FRUTOS DE ABÓBORA POR  
MEIO DE IMAGENS DIGITAIS**

# EFICIÊNCIA DA FENOTIPAGEM DE FRUTOS DE ABÓBORA POR MEIO DE IMAGENS DIGITAIS

## RESUMO

O fruto da aboboreira (*Cucurbita moschata* Duchesne) possui grande importância para atividades humanas, em especial na alimentação. O Brasil possui ampla variabilidade genética de abóbora e grande parte dessa variabilidade está conservada em Bancos de Germoplasma. O Banco de Germoplasma de Hortaliças da Universidade Federal de Viçosa (BGH-UFV) detém mais de 350 acessos de *C. moschata*, ainda pouco explorados. Apesar da facilidade e simplicidade das técnicas tradicionais aplicadas à caracterização dos frutos, elas demandam tempo, mão de obra e recursos financeiros. Alternativa interessante a estas avaliações é a fenotipagem de alta qualidade e em larga escala por meio de imagens, cujo tema é abordado pela fenômica. Nesse sentido, o objetivo foi avaliar a eficiência da fenotipagem de frutos de abóbora por meio de imagens digitais. Para isso, foram avaliadas 466 frutos provenientes de 148 acessos de *C. moschata* mantidos no BGH-UFV e 4 testemunhas comerciais. Após corte longitudinal, os frutos foram avaliados quanto aos descritores comprimento e diâmetro tanto do fruto e quanto da cavidade interna. Além da mensuração manual dos frutos, as imagens de cada um destes foram obtidas com câmera digital marca Sony DSR – WX350. Para que as imagens apresentassem elevada qualidade e padronização foi construído um estúdio fotográfico com dimensões adequadas e com controle de iluminação. Obtidas as imagens, as mensurações digitais foram realizadas por meio de um aplicativo desenvolvido com auxílio da biblioteca de processamento digital de imagens do MATLAB. A comparação entre as formas de avaliação foi realizada com programa estatístico GENES por meio das análises: Regressão linear simples e coeficiente de determinação; Viés; Correlação de Pearson; Índice de concordância proposto por Willmont et al. (1985); Índice de desempenho proposto por Camargo & Sentelhas (1997); Eficiência do método proposto por Zacharias et al. (1996); Erro médio absoluto; Erro máximo absoluto. Identificou-se leve variação entre as metodologias de fenotipagem. Entretanto, a avaliação por meio das mensurações nas imagens apresentou alta concordância, correlação quase perfeita e de desempenho classificado como ótimo em todos os descritores em comparação com as medidas manuais. Desta forma, pode-se afirmar que avaliação de frutos de abóbora por meio de imagens é eficiente, pois permite avaliar um grupo maior de genótipos com rapidez, praticidade, precisão e ainda armazenar as imagens para futuras pesquisas.

**Palavras chave:** Fenômica; pré-melhoramento; *Cucurbita moschata* D.

## ABSTRACT

The fruit of winter squash (*Cucurbita moschata* Duchesne) has great importance for human activities, especially in feeding. The country of Brazil holds a wide genetic variability of *C. moschata* and most of this variability is conserved in germoplasm banks. The Vegetable Germoplasm Bank of the Universidade Federal de Viçosa (BGH-UFV) holds more than 350 accessions of *C. moschata*, still little used. Despite the ease and simplicity of the traditional techniques used in the characterization of fruits, they require time, labor and financial resources. One alternative to this characterization is the phenotyping of high quality and in large scale through images, which is included in the phenomics. Thus, the objective of this work was to evaluate the efficiency of the phenotyping of fruits of winter squash through digital images. For this, it was evaluated 466 fruits from 148 accessions of *C. moschata* kept by the BGH-UFV and four checks. After longitudinal cutting, the fruits were evaluated as to the descriptors length and diameter of fruit and the internal cavity. Besides the manual measurement, images of each fruit were obtained with a Sony DSR- WX350 digital camera. A photographic studio was built with adequate dimensions and lighting control in order to obtain high quality images and with adequate standardization. Once the images were obtained, the digital measurements were carried out using an app developed with the aid of the digital image-processing library of MATLAB. The comparison between the forms of evaluation was performed using the statistical program GENES. The comparisons were carried out through the analyzes of simple linear regression and coefficient of determination, bias, correlation of Pearson, concordance index proposed by Willmont et al. (1985), performance index proposed by Camargo & Sentelhas (1997), efficiency of the method proposed by Zacharias et al. (1996), the absolute mean error and absolute maximum error. It was identified a slight variation among the phenotyping methodologies. However, the evaluation based on the measurements of images had high agreement, almost perfect correlation and performances classified as optimal in all the descriptors in comparison to the manual measurements. In this way, it can be affirmed that evaluation of winter squash fruits by means of images is efficient since it allows to evaluate a greater group of genotypes with higher speed, practicality, precision, besides allowing the storage of images for future purposes.

**Key words:** Phenomics; Pre breeding; *Cucurbita moschata* D.

## 1. INTRODUÇÃO

Dentre as Cucurbitáceas, o gênero *Cucurbita* possui grande importância, pois compreende cerca de 24 espécies, das quais cinco são cultivadas (*C. argyrosperma* H., *C. ficifolia* B., *C. maxima* D., *C. moschata* D. e *C. pepo* L.) (FERREIRA, 2008). A abóbora (*Cucurbita moschata* Duchesne) é hortaliça-fruto de dispersão cosmopolita, devido principalmente sua versatilidade de cultivo, disponibilidade de produção por todo ano e boa adaptabilidade às diversas condições ambientais.

O cultivo da abóbora desempenha grande importância socioeconômica, pois é utilizada para diversos fins industriais, alimentícios e medicinais (RESENDE *et al.*, 2013; OLIVEIRA *et al.*, 2016). Sua polpa possui elevado valor nutricional, açúcares, fibras e carboidratos, além de ser rica em carotenoides pró vitamina A, especialmente  $\beta$ -caroteno,  $\alpha$ -caroteno e luteína (MACHADO JUNIOR *et al.*, 2017). As sementes são ricas em proteínas, fibras, aminoácidos (tiamina, niacina) e possuem alta concentração de óleo com excelente teor de ácidos graxos insaturados (VERONEZI; JORGE 2012).

Em 2013, o volume comercializado de abóbora no Brasil foi superior a 48 mil toneladas, produzidas por cerca de 128 mil estabelecimentos localizados principalmente na região Nordeste e caracterizados por pequenas propriedades e cultivos comerciais. A média de produtividade da cultura é de 4,4 t ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2012; AGRIANUAL, 2015). Porém, a ausência de informações atualizadas sobre os dados da cadeia produtiva das abóboras constitui um entrave para avanços no setor.

O Brasil se destaca como importante detentor de variabilidade genética de *C. moschata*. Assim, preservar esta variabilidade em bancos de germoplasma é a principal forma de minimizar os efeitos negativos da erosão genética desta espécie (FERREIRA 2008). Para isso é necessário a realização de expedições de coleta e a documentação dos acessos, afim de posteriormente ser possível mensurar essa diversidade genética e promover o intercâmbio de germoplasma entre instituições de pesquisa.

O Banco de Germoplasma de Hortaliças da Universidade Federal de Viçosa (BGH-UFV), criado em 1966 com apoio da Fundação Rockefeller, detém cerca de 350 acessos de *Cucurbita* e mantém atividades de rotina como a caracterização e avaliação de recursos genéticos (SILVA, *et al.*, 2001). Estudos apontam para a expressiva variabilidade genética e bom desempenho agrônomo destes acessos (GOMES, 2017). Entretanto, pouco se sabe sobre seu verdadeiro

potencial destes acessos, pois há poucos estudos disponíveis na literatura (FERREIRA *et al.*, 2016).

O conhecimento da diversidade genética e o real potencial dos acessos é indispensável para programas de melhoramento genético de abóbora, principalmente quando o interesse é realizar cruzamentos e identificar populações segregantes promissoras. A avaliação dos frutos de abóbora para fins comerciais e em programas de melhoramento geralmente é realizada de forma manual. Apesar da facilidade e simplicidade das técnicas tradicionais empregadas na fenotipagem, estas demandam tempo, mão de obra, recurso financeiro e muitas estão associadas a elevado erro experimental, pois são realizadas de forma manual. A fim de aumentar a precisão, acurácia e rapidez das mensurações fenotípicas, tecnologias com base em análise e processamentos de imagens digitais tem sido utilizadas como alternativa às avaliações já consolidadas por proporcionar maior confiabilidade dos resultados obtidos pelos melhoristas (CORTES *et al.*, 2017).

Os termos fenômica têm sido associados a análises ópticas não destrutivas de características vegetais, principalmente com o uso de imagens (WALTER *et al.*, 2015). Esta metodologia propicia geração de grande quantidade de dados em período relativamente menor quando comparado à métodos convencionais (SOUSA *et al.*, 2015). O uso de imagens digitais tem despertado o interesse de pesquisadores, pois permite determinar atributos físicos de frutos por técnicas não destrutivas (KHOJASTEHNASHAND *et al.*, 2009).

A expectativa é que a fenotipagem baseada em imagens permitirá expandir experimentos e realizar avaliações fenotípicas rápidas e precisas. A aquisição de imagens pode ser realizada com equipamentos simples, como câmeras de foto e vídeo, scanners ou por meio técnicas mais modernas como microscópios eletrônicos, radares, aparelhos de raios-X, ultra-som e ressonância magnética e nuclear (BERGER *et al.*, 2010; HOULE *et al.*, 2010; MONTES *et al.*, 2007). Além disso, as imagens obtidas podem ser armazenadas com possibilidade de utilização em futuros estudos.

Nos últimos anos a busca por metodologias que possibilitem realizar a fenotipagem de produtos agrícolas por meio de imagens digitais atraíram muitos pesquisadores (CORTES *et al.*, 2017; MARTIN *et al.*, 2013; KHOJASTEHNASHAND *et al.*, 2009; RASHIDI *et al.*, 2009; ADAMI *et al.*, 2008; KOC 2007;). Por meio das dimensões do comprimento, diâmetro do fruto e de sua cavidade interna é possível determinar o rendimento médio de polpa, informação está de

grande relevância para os programas de melhoramento que visam desenvolver cultivares para atender as exigências do mercado consumidor. Além disso, com estas informações é possível estimar o peso e volume dos frutos, o que torna mais prático planejar o armazenamento dos frutos, desenvolvimento de embalagens, transporte e a comercialização. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência da fenotipagem de frutos de abóbora por meio de imagens digitais.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Preparo da área experimental e condução do experimento em campo**

O experimento foi conduzido na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão (UEPE) “Horta Velha” (20° 45’14’’ S, 42° 52’53’’ W e 648,74 m), pertencente ao Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, Brasil. Foram avaliados 466 frutos, referentes à 148 acessos de *Cucurbita moschata* (Duchesne) mantidos no Banco de Germoplasma de Hortaliças da Universidade Federal de Viçosa (BGH-UFV) e os híbridos comerciais Tetsukabuto e Jabras, as cultivares Jacarezinho e Maranhão, também caracterizados quanto a variabilidade morfoagronômica e nutricional por Gomes (2017).

### **2.2. Avaliação manual**

Em laboratório, os frutos foram cortados longitudinalmente e avaliados com auxílio de régua milimétrica quanto aos descritores: Comprimento do fruto (CF): determinado por meio da medida longitudinal do fruto; Diâmetro do fruto (DF): obtido por meio da medida transversal do fruto; Comprimento da Cavidade Interna (CCI): determinado pela medida longitudinal da cavidade interna; Diâmetro da Cavidade Interna (DCI): obtido por meio da medida transversal da cavidade interna.

### **2.3. Aquisição de imagens**

Após a avaliação manual, os frutos foram devidamente identificados e fotografados. Para que fosse obtida imagens com elevada qualidade e padronização foi construído um estúdio fotográfico com dimensões adequadas aos frutos. Para isso foi confeccionado um estúdio com o formato de um cubo com volume de 1,0 m<sup>3</sup> (Figura 1). Este apresenta as laterais e a parte

superior abertas. As aberturas laterais de dimensão 0,9 x 0,7 m foram cobertas com tecido (Failete) de cor branca, que atuou como difusor de luz. Na parte externa a estas laterais foram colocados refletores modelo Barcelona Acrilus com lâmpada de LED 12W, fixados em uma base de 0,3m em ângulo de 90° à 0,5 m do estúdio, que permitiu a distribuição uniforme de luz em todas as direções e evitou a formação de sombras. A superfície inferior de dimensão 1,0 m<sup>2</sup> foi pintada na cor preta e nas quatro extremidades desta foram colocadas imagens de referência de forma quadriculada nas cores branco e azul com dimensões de 10 x 10 cm ( Figura 2). A representação tridimensional deste estúdio está disponível em [www.fenomica.com.br](http://www.fenomica.com.br). Os frutos foram posicionados no centro do campo de visão da câmera, a qual foi fixada a 1 metro de altura da superfície inferior do estúdio.



Figura 1: Estúdio utilizado para aquisição das imagens

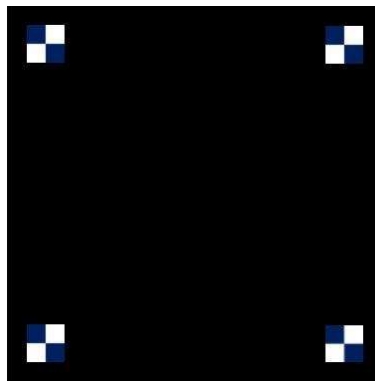


Figura 2: Superfície inferior do estúdio utilizado para aquisição das imagens

O equipamento utilizado pra registrar as imagens foi uma câmera digital marca Sony Cyber- Shot DSR – WX350 de 14,1 mega pixels (Figura 3). A resolução da câmera foi

padronizada, com ISO 100, F 3.5, dimensão 3664 x 3664 pixels, resolução 350 x 350 dpi, intensidade de 24 bits, flash desligado, representação de cores sRGB e salvas no formato JPEG.



Figura 3: Câmera digital Sony Cyber- Shot DSR – WX350

#### 2.4. Avaliação dos frutos por meio de imagem digital

A avaliação das imagens foi realizada por meio do software FENOM, disponível em [www.fenomica.com.br](http://www.fenomica.com.br). Este software conta com procedimentos de aquisição de imagens em tempo real, pré-processamento, segmentação e mensuração de imagens. Para este trabalho foi utilizado o procedimento de mensuração de distâncias entre pontos estabelecidos pelo usuário.

As imagens de referência (Figura 4) foram utilizadas no intuito de identificar as dimensões de cada pixel nas imagens. Por meio desta informação foi possível determinar um fator de conversão, em que um pixel correspondeu à 0,0269 cm. De posse deste fator de conversão, foi possível mensurar qualquer parte do fruto por meio de uma ferramenta que permitiu a seleção dos pontos de interesse na imagem. Posteriormente, com base nas distâncias em pixels entre os pontos e o fator de conversão de um pixel obteve-se as distâncias em centímetros das características de interesse comprimento e diâmetro do fruto e da cavidade interna.

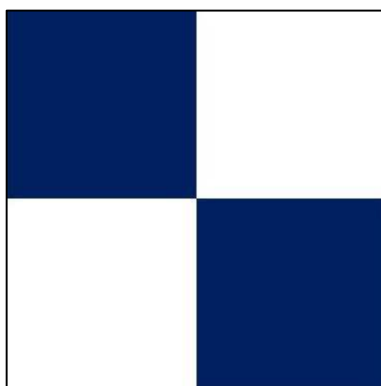


Figura 4: Imagem de referência de forma quadriculada nas cores branco e azul com dimensões de 10 x 10cm.

## 2.5. Aplicação de dados

A avaliação da eficácia da fenotipagem por meio da imagem digital e sua concordância ao método manual, foi realizada com auxílio do software GENES (Cruz, 2013). Foram adotadas as seguintes medidas de confiabilidade:

i) coeficiente angular ( $\beta$ ) e do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) da regressão linear simples sem intercepto (modelo:  $Y = \beta X + e$ , onde  $Y$  é o valor obtido a partir da análise de imagens,  $\beta$  é o coeficiente angular e  $X$  o valor obtido com a mensuração manual. O valor de  $\beta$  foi testado pelo teste t, com  $\alpha \leq 0,05$ , cujas hipóteses foram:  $H_0: \beta = 1$  e  $H_a: \beta \neq 1$ );

ii) Viés ( $Viés = \hat{\beta} - 1$ );

iii) correlação de Person ( $r$ ) (Eq. 1), conforme classificação proposta por Hopkins (2000) (Tabela 1);

iv) índice de concordância ( $d$ ) proposto por Willmont *et al.* (1985) (Eq. 2);

v) índice de desempenho ( $c$ ) proposto por Camargo e Sentelhas (1997) (Eq. 3), cujos critérios de interpretação estão presentes na Tabela 2;

vi) eficiência do método (EF) proposto por Zacharias *et al.* (1996) (Eq. 4);

vii) erro médio absoluto (EMA) (Eq. 5);

viii) erro máximo absoluto (EMAX) (Eq. 6).

Conforme as seguintes equações:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) * (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} * \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (\text{Eq. 1})$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|y_i - \bar{x}| + |x_i - \bar{x}|)^2} \quad (\text{Eq. 2})$$

$$c = r * d \quad (\text{Eq. 3})$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 - \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (\text{Eq. 4})$$

$$EMA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |X_i - Y_i| \quad (\text{Eq. 5})$$

$$EMAX = MAX (|X_i - Y_i|)_{i=1}^n \text{ (Eq. 6)}$$

em que  $X_i$  corresponde o i-ésimo valor obtido com mensuração manual,  $Y_i$  representa o i-ésimo valor observado a partir da análise de imagens,  $\bar{X}$  a média dos valores obtido pela mensuração manual e  $\bar{Y}$  a média dos valor observados a partir da análise de imagens.

Tabela 1: Classificação dos valores do coeficiente de correlação de Person (r), proposto por Hopkins (2000)

Coeficiente de correlação “r”	Classificação
0,0 a 0,1	Muito baixa
0,1 a 0,3	Baixa
0,3 a 0,5	Moderada
0,5 a 0,7	Alta
0,7 a 0,9	Muito alta
0,9 a 1,0	Quase perfeita

Tabela 2: Critério de interpretação do índice de desempenho “c” proposto por Camargo e Sentelhas (1997)

Valor de “c”	Desempenho
> 0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sofrível
0,41 a 0,50	Mau
≤ 0,40	Péssimo

### 3. RESULTADOS e DISCUSSÃO

Os valores de correlação de Pearson, para todos os caracteres, foram superiores a 0,9973, que segundo HOPKINS (2000) indicam correlações quase perfeitas, ou seja, existe elevado grau de associação linear entre as duas metodologias de avaliação de frutos de abóbora. Os resultados obtidos pelo índice de eficiência do método proposto por Zacharias *et al.* (1996) comprova que existe conformidade entre os resultados dos dois métodos estudados, onde os valores foram próximos a 1 (Tabela 3).

De acordo com este índice concordância proposto por WILMONTT *et al.* (1985) é possível medir o afastamento dos valores observados por meio de imagens em relação aos

obtidos pela forma manual, em que o índice varia de zero para nenhuma concordância à 1 para concordância perfeita. Os valores obtidos foram superior a 0,9313 (Tabela 3). Resultados semelhantes foram obtidos por ADAMI *et al.* (2008) e MARTIN *et al.* (2013), que concluíram que a avaliação de área foliar por imagem digital é uma alternativa ao método tradicional, pois permite medidas mais acuradas desta característica.

Os valores de índice de desempenho para todos os caracteres foram superiores a 0,9292, que segundo critério definido Camargo & Sentelhas (1997) indica que a avaliação de frutos de abóbora por meio de imagens apresenta ótimo desempenho. Portanto, esta forma de avaliação é equivalente a avaliação manual (Tabela 3). Ramos *et al.* (2015) obtiveram valores semelhantes ao estimar área foliar de plantas de algodão, caju, soja e milho ao se basearem em medidas lineares e matéria seca por meio da calibração prévia de imagens digitais.

O uso da análise de correlação de Pearson, índice de concordância, e índices de desempenho e eficiência do método, são frequentemente empregados para verificar a similaridade entre duas ou mais metodologias. Estas metodologias têm sido utilizadas para estimar evapotranspiração de referência (CUNHA *et al.*, 2013; TAGLIAFERRE *et al.*, 2012; BRAGANÇA *et al.*, 2010; PEREIRA *et al.*, 2009,) e área foliar (ADAMI *et al.*, 2008; MARTIN *et al.*, 2013; RICHTER *et al.*, 2014).

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que o método de fenotipagem de frutos de abóbora por meio de imagens digitais é útil para a caracterização de acessos de abóbora e permite praticar a seleção, uma vez que a metodologia proposta (por imagens digitais) segue a mesma proporção a tradicional (manual). A partir dos descritores avaliados é possível estimar a espessura de polpa, característica de importância em programas de melhoramento desta espécie, pois frutos que possuem polpa mais espessa conferem maior rendimento desta, fato importante para comercialização, industrialização dos frutos.

Tabela 3: Coeficiente de Pearson<sup>1</sup> (r), índice de concordância<sup>2</sup> (d), e índice de desempenho<sup>3</sup> (c), eficiência do método<sup>4</sup> (EF), obtidos mediante a comparação entre as medidas realizadas de forma manual e por meio da análise de imagens na caracterização morfoagrônoma de frutos de acessos abóbora mantidos no BGH-UFV

Descritores	r	d	c	EF
Comprimento do fruto	0,9981	0,9748	0,9730	0,8845
Diâmetro do fruto	0,9986	0,9322	0,9309	0,6388
Comprimento da cavidade interna	0,9973	0,9762	0,9736	0,8889
Diâmetro da cavidade interna	0,9979	0,9313	0,9292	0,6448

<sup>1</sup>Correlação de Person, seguindo a classificação proposta por Hopkins (2000); <sup>2</sup>Índice de concordância de acordo com Wiilmontt *et al.* (1985); <sup>3</sup>Índice do desempenho e sua classificação de acordo com Camargo & Sentelhas (1997); <sup>4</sup>Eficiência do método, de acordo com Zacharias *et al.* (1996).

As estimativas do coeficiente angular da regressão para todos descritores avaliados diferiram significativamente de 1, pelo teste  $t$  ( $\alpha \leq 0,05$ ) (Figura 5). Isso indica que os valores observados para estes caracteres por meio das imagens não acompanharam a proporção 1:1 em relação aos valores obtidos por meio da avaliação manual. Entretanto o coeficiente de determinação evidenciam a existência de alta associação entre os valores obtidos nas equações de regressão com  $r^2$  superior a 0,93 (Figura 5). Isto indica que os dados obtidos por meio de imagens digitais são confiáveis para a caracterização de frutos de abóbora. Estes resultados corroboram com trabalhos que envolvem a estimação do volume de frutos de outras cucurbitáceas por meio de imagens digitais (RASHIDI *et al.*, 2009; KOC 2007).

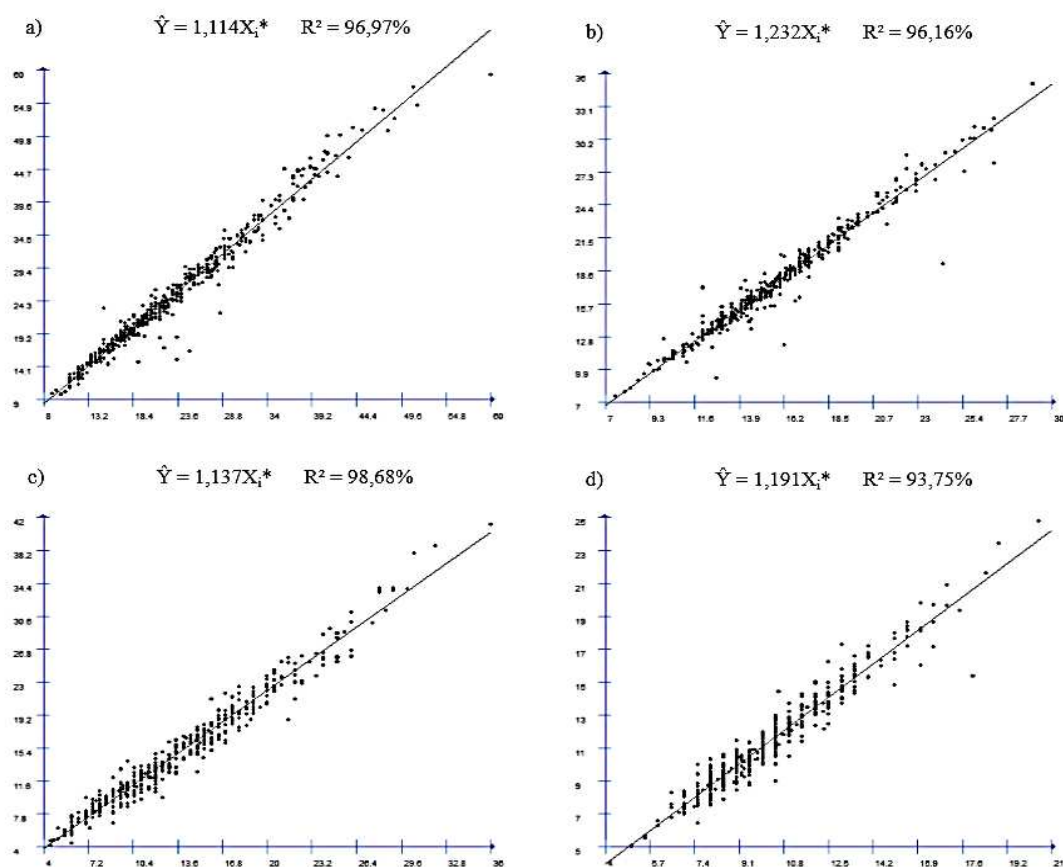


Figura 5: Gráfico de dispersão das metodologias empregadas caracterização morfoagrônoma de furtos de acessos abóbora (x) avaliação manual e (y) análise por imagens digitais. a) Comprimento do fruto; b) Diâmetro do fruto; c) Comprimento da cavidade interna; d) Diâmetro da cavidade interna.

Os valores do viés foram positivos, variando de 0,1145 a 0,2324, indicam que a avaliação por meio de imagens apresenta leve superestimação das medidas dos caracteres (Tabela 4). Essa superestimação foi maior tanto para o diâmetro do fruto como da cavidade interna. Entretanto, o EMA indicou que o comprimento do fruto apresentou em média maior erro absoluto (2,29 cm). Para este caráter também foi observado o maior valor de erro em relação às duas formas de avaliação, valor este de 8,81 cm (Tabela 4).

Estes resultados podem ser evidenciados pelas análises do erro médio absoluto e erro máximo absoluto, que indicam a variação média e o maior erro observado entre as duas metodologias utilizadas para a caracterização dos frutos, respectivamente. Em ambos os

resultados é possível observar uma menor variação para o descritor diâmetro da cavidade interna e maior comprimento do fruto, sendo que essa variação também segue tendência ao aumento das médias obtidas para os descritores.

As variações em termos de valores dos caracteres em relação às metodologias podem ter ocorrido devido ao elevado conjunto de frutos utilizados e a divergência morfológica entre eles, pois a maioria são provenientes de acessos mantidos no BGH-UFV. Cortes *et al.* (2017) ao avaliarem o comprimento e diâmetro de frutos em mamão por meio de imagens digitais obtiveram estimativas de erro igual a zero. Entretanto, utilizaram apenas 50 frutos previamente selecionados da variedade “THB”, o que sugere frutos com maior uniformidade.

Outra fonte de variação que pode ter contribuído para a falta de relação 1:1 entre as metodologias é que distância entre a câmera fotográfica e a superfície superior dos frutos variava de acordo com o diâmetro dos mesmos. Esta distância é inversamente proporcional ao diâmetro do fruto. Este tipo de variação foi observada ao estudar o uso de imagens digitais para estimar o volume de melancias, na qual a média que o tamanho dos frutos aumentava, o programa superestimava seu volume (KOC, 2007). Este problema pode ser resolvido ao implementar algoritmos mais complexos que possam corrigir essa variação no tamanho dos frutos ou ao empregar métodos de processamento de imagens (KHOJASTEHNZHAND *et al.* 2009). Outra alternativa é aperfeiçoar a técnica de aquisição de imagens, implementando dispositivo que permita a regulação da distância entre a superfície do fruto e a lente da câmera de forma que tal distancia permaneça fixa independentemente do tamanho dos frutos.

Tabela 4: Valores das médias das medidas realizadas de forma manual e por meio da análise de imagens na caracterização morfoagronômica de frutos de acessos abóbora mantidos no BGH-UFV, valores do viés (Viés), erro médio absoluto (EMA) e erro máximo absoluto (EMAX)

Descritores	Médias		Viés	EMA (cm)	EMAX (cm)
	Manual	Digital			
Comprimento fruto	23,09	25,17	0,1145	2,29	8,81
Diâmetro fruto	15,76	17,53	0,2324	1,84	6,31
Comprimento cavidade interna	13,62	14,82	0,1379	1,40	7,39
Diâmetro cavidade interna	10,23	11,37	0,1920	1,19	4,42

A utilização de imagens digitais apresentou elevado potencial para auxiliar os programas de melhoramento na identificação de genótipos superiores e principalmente por tornar as avaliações mais rápidas, práticas e precisas. A avaliação de experimentos em muitos casos estão suscetíveis a erros de mensuração, digitação e a perda de informações. Neste sentido, a aquisição e avaliação de plantas por imagens em programas de melhoramento propicia uma grande vantagem pois é possível armazenar as imagens para posterior utilização e reduz o risco de erros humanos, já que serão os computadores que realizarão as mensurações (CORTES *et al.*, 2017; MARTIN *et al.*, 2013; RASHIDI *et al.*, 2009; KHOJASTEHNZHAND *et al.*, 2009; KOC, 2007).

#### **4. CONCLUSÃO**

A utilização de imagens digitais de frutos de abóbora permitiu avaliações rápidas, práticas, eficientes e com elevada concordância com a avaliação manual.

#### **5. AGRADECIMENTOS**

A CAPES, CNPq e FAPEMIG pela concessão de bolsas de estudos e recursos financeiros para o desenvolvimento do projeto.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMI, M.; HASTENREITER, F. A.; FLUMIGNAN, D. L.; FARIA, R. T. Estimativa de área de folíolos de soja usando imagens digitais e dimensões foliares. **Bragantia**, v. 67, n. 4, p. 1053-1058 2008.

AGRIANUAL. **Anuário da agricultura brasileira**. São Paulo, FNP- Consultoria e Agroinformativo, 2015.

BRAGANÇA, R.; REIS, E. F.; GARCIA, G. D. O.; PEZZOPANE, J. E. M. Estudo comparativo da estimativa da evapotranspiração de referência no período chuvoso para três localidades no estado do espírito santo. **IDESIA**, v.28, p.21-29, 2010.

BERGER, B.; PARENT, B.; TESTER, M. High-throughput shoot imaging to study drought responses. **Journal of experimental botany**, v. 61, n. 13, p. 3519 - 3528, 2010.

CORTES, D. F. M.; CATARINA, R. S.; BARROS, G. B. D. A.; ARÊDES, F. A. S.; SILVEIRA, S. F. D.; FERREGUETTI, G. A.; RAMOS, H. C. C.; VIANA, A. P.; PEREIRA, M. G. Model-assisted phenotyping by digital images in papaya breeding program. **Scientia Agricola**, v. 74, n. 4, p. 294-302, 2017.

CRUZ, C. D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.35, p.271-276, 2013.

CUNHA, P. C.R.; NASCIMENTO, J. L.; SILVEIRA, P. M.; ALVES JÚNIOR, J. Eficiência de métodos para o cálculo de coeficientes do tanque classe A na estimativa da evapotranspiração de referência. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 2, 2013

FERREIRA, M. Aboboras e morangas das Américas para o Mundo. In: BARBIERI, R. L.; STUMPF, E. R. T. (Eds.). **Origem e evolução de plantas cultivadas**. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008, p. 59-88.

FERREIRA, M. G., SALVADOR, F. V., LIMA, M. N., AZEVEDO, A. M., LIMA NETO, I. S., SOBREIRA, F. M., SILVA, D. J. Genetic parameters, dissimilarity and performance of pumpkin accessions. **Horticultura Brasileira**, v. 34, n. 4, p. 537-546, 2016.

GOMES, R. S. **Variabilidade morfoagronômica e nutricional de acessos de Cucurbita moschata Duch. Do Banco de Germoplasma de Hortaliças-UFV**. 2017. 37 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 2017.

HOPKINS, W. G. **Correlation coefficient**: a new view of statistics. 2000. Disponível em: <<http://www.sportsci.org/resource/stats/correl.html>>. Acesso em: 27 junho 2017

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2012. Produção Agrícola Municipal. Disponível em: <[www.Sidra.Ibge.gov.br](http://www.Sidra.Ibge.gov.br)> Acesso em 27 de junho 2017.

KHOJASTEHNASHAND, M.; OMID, M.; TABATABAEFFAR, A. Determination of orange volume and surface area using image processing technique. **International Agrophysics**, v. 23, n. 3, p. 237-242, 2009.

KOC, A.B. Determination of watermelon volume using ellipsoid approximation and image processing. **Postharvest Biology and Technology**, v. 45, n. 3, p. 366-37, 2007.

MACHADO JUNIOR, R.; GOMES, R. S.; ALMEIDA, C. F.; ALVES, F. M.; DELAZARI, F. T.; LAURINDO, R. D. F.; FERNANDES, R. H.; SILVA, D. J. H. Vegetable breeding as a strategy of biofortification in carotenoids and prevention of vitamin A deficiency. **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, n. 13, p. 1059-1066, 2017.

MARTIN, T.N.; MARCHESE, J. A.; SOUSA, A. K. F.; CURTI, G. L., FOGOLARI, H.; CUNHA, V. S. Uso do software ImageJ na estimativa de área foliar para a cultura do feijão. **Interciencia**, v. 38, n. 12, p. 843-848, 2013.

NICK, C.; BORÉM, A. **Abóboras e morangas: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2017. 203 p.

OLIVEIRA, R. L., GONCALVES, L. S. A., RODRIGUES, R., BABA, V. Y., SUDRÉ, C. P., SANTOS, M. H., ARANHA, F. M. Genetic divergence among pumpkin landraces. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 37, n.2, p 547-556, 2016.

PEREIRA, D. R.; YANAGI, S. N. M.; MELLO, C. R.; SILVA, A. M.; SILVA, L. A. Desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região da Serra da Mantiqueira, MG. **Ciência Rural**, v.39, n.9, p.2488-2493, 2009.

RAMOS, F. T.; FERREIRA, L. S.; PIVETTA, F.; MAIA, J. C. S. Área do limbo foliar de diferentes plantas estimada por medidas lineares e matéria seca, calibradas com o software IMAGEJ. **Interciencia**, v. 40, n. 8, p. 570-575, 2015.

RASHIDI, M.; GHOLAMI, M.; ABBASSI, S. Cantaloupe volume determination through image processing. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v.11, p. 623-631, 2009.

RESENDE, G. M.; BORGES, R. M. E.; GONÇALVES, N. P. S. Produtividade da cultura da abóbora em diferentes densidades de plantio no Vale do São Francisco. **Horticultura Brasileira** v. 31, n. 3, p. 504-508, 2013.

SILVA, D. J. H.; MOURA, M. C. C. L.; CASALI, V. W. D. Recursos genéticos do banco de germoplasma de hortaliças da UFV: histórico e expedições de coleta. **Horticultura Brasileira**. v. 19, n. 2, p. 108-114, 2001.

SOBREIRA, F. M. **Divergência genética entre acessos de abóbora para estabelecimento de coleção nuclear e pré-melhoramento para óleo funcional**. 2013. 89 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 2013.

SOUSA, C. A. F.; DIAS, B. B. A.; MARTINS, P. K.; MOLINARI, H. B. C.; KOBAYASHI, A. K.; JÚNIOR, M. T. S. Nova abordagem para a fenotipagem de plantas: conceitos, ferramentas e perspectivas (New approach for plant phenotyping: concepts, current tools and perspectives). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, p. 660-672, 2015.

TAGLIAFERRE, C.; SILVA, J. P.; PAULA, A., GUIMARAES, D. U. G.; BARROSO, N. I. S. Estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades do Estado da Bahia. **Revista Caatinga**, v.25, n.2, p.136-143, 2012.

VERONEZI, C. M.; JORGE, N. Aproveitamento de sementes de abóbora (Cucurbita sp) como fonte alimentar. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande**, v. 14, n. 1, p. 113-124, 2012.

Willmott, C. J.; Ackleson, S. G.; Davis, R. E.; Feddema, J. J.; Klink, K. M.; Legates, D. R.; O'SONNELL, J; Rowe, C. M. Statistics for evaluation and comparasion of models. **Journal of Geophysical Research**, v.90, N. c5, p.8995-9005, 1985.

ZACHARIAS, S.; HEATWOLE, C. D.; COAKLEY, C. W. Robust quantitative techniques for validating pesticide transport models. **Transactions of the ASAE**, v. 39, n. 1, p. 47-54, 1996.