



**LORENA CAROLINE DUMBÁ SILVA**

**VISÃO COMPUTACIONAL APLICADA À AVALIAÇÃO DA  
COR DO TEGUMENTO EM FEIJÃO CARIOCA**

**LAVRAS-MG  
2021**

**LORENA CAROLINE DUMBÁ SILVA**

**VISÃO COMPUTACIONAL APLICADA À AVALIAÇÃO DA COR DO  
TEGUMENTO EM FEIJÃO CARIOCA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Vinícius Quintão Carneiro  
Orientador

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Heloísa Oliveira dos Santos  
Coorientadora

**LAVRAS-MG  
2021**

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

Silva, Lorena Caroline Dumbá.

Visão Computacional Aplicada à Avaliação da Cor do  
Tegumento em Feijão Carioca / Lorena Caroline Dumbá Silva. -  
2021.

64 p. : il.

Orientador(a): Vinícius Quintão Carneiro.

Coorientador(a): Heloísa Oliveira dos Santos.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de  
Lavras, 2021.

Bibliografia.

1. Melhoramento do Feijoeiro. 2. Fenômica. 3. Imagens. I.  
Carneiro, Vinícius Quintão. II. Santos, Heloísa Oliveira dos. III.  
Título.

**LORENA CAROLINE DUMBÁ SILVA**

**VISÃO COMPUTACIONAL APLICADA À AVALIAÇÃO DA COR DO  
TEGUMENTO EM FEIJÃO CARIOCA**

**COMPUTATIONAL VISION APPLIED TO THE EVALUATION OF THE COLOR  
OF THE TEGUMENT IN CARIOCA BEAN**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 17 de junho de 2021.

Dr. Vinícius Quintão Carneiro

Dr<sup>a</sup> Heloísa Oliveira dos Santos

Dr<sup>a</sup> Elaine Aparecida de Souza

Dr. José Eustáquio de Souza Carneiro

Prof. Dr. Vinícius Quintão Carneiro  
Orientador

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Heloísa Oliveira dos Santos  
Coorientadora

**LAVRAS-MG  
2021**

*Aos meus pais, Wagner e Margarete, que não pouparam esforços para que eu concluísse esta etapa em minha vida, por serem a minha base, abrigo, por todo amor e dedicação.*

*Às minhas irmãs, Izabella e Ana Clara, pelo amor, união, todo carinho e ajuda.*

*Ao meu namorado, Vinícius Zuppa, pelo companheirismo e apoio, cuidado, dedicação e amor.*

*Dedico*

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), ao Departamento de Biologia, ao Programa de Genética e Melhoramento de Plantas, ao Departamento de Agricultura, ao Setor de Sementes e a todos os professores, técnicos e funcionários, por toda estrutura, oportunidade de estudo, aprendizado e crescimento acadêmico, profissional e pessoal.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo apoio.

Ao meu orientador, o Prof. Dr. Vinícius Quintão Carneiro, e a minha coorientadora, a Prof.<sup>a</sup> Dra. Heloísa Oliveira dos Santos, pela orientação e atenção, ajuda e confiança, conhecimento e parceria, profissionalismo e dedicação no desenvolvimento deste trabalho.

À banca avaliadora de Defesa, o Prof. Dr. José Eustáquio Carneiro e a Prof.<sup>a</sup> Dra. Elaine Souza, pela atenção e contribuição ao trabalho.

À banca avaliadora de Qualificação, a Prof.<sup>a</sup> Dra. Flávia Avelar e a Prof.<sup>a</sup> Dra. Flávia Botelho, pela atenção e contribuição ao trabalho.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), à Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), e à Universidade Federal de Viçosa (UFV), pela contribuição e parceria aos projetos de pesquisa do melhoramento genético do feijoeiro.

Ao Professor Magno Antônio Patto Ramalho e à Pesquisadora Ângela de Fátima Barbosa Abreu, por toda contribuição e dedicação ao melhoramento genético do feijoeiro.

Aos professores do Programa de Genética e Melhoramento de Plantas e aos funcionários. Em especial à Coordenadora do programa, Flávia Maria Avelar Gonçalves, à secretária do programa, Lilian Freitas, e à pós-doutoranda Fernanda Aparecida Castro Pereira, por toda atenção e ajuda. E também aos professores Adriano Teodoro Bruzi, Carlos Eduardo Pulcinelli, Giovana Augusta Torres, Flávia Barbosa Silva Botelho, João Cândido de Souza e Welison Andrade Pereira por todo aprendizado.

Aos funcionários do Setor de Sementes e Laboratório de Análise de Imagens Jaqueline, Rafaela e Geraldo. Em especial à pós-doutoranda Dayliane Andrade, por toda ajuda e contribuição ao trabalho.

A todos os estudantes de doutorado, mestrado e graduação do Programa de Melhoramento Genético do Feijoeiro. Em especial ao Reberth Renato, Júlio Miguel, Lucas Rosado, Andreza Rafaely e Letícia Miranda, pela ajuda e momentos de diversão.

Agradeço especialmente ao estudante de mestrado e colega de grupo de pesquisa, Everton Cardoso, por toda contribuição neste trabalho, ajuda e parceria.

Ao Núcleo de Estudos em Genética e Melhoramento de Plantas (GEN), do qual fiz parte da coordenação junto com Cláudio Fernandes, João Pedro, Rafael Miranda, Gustavo Pucci, Erik Souza, Diego Pospiesz, Brena Kelly, Paula Pádua, Liliana Leitão, Maiara Oliveira e Fernanda Stark, por tudo que fizemos juntos, pelos desafios e crescimento.

Às amigas que fiz ao longo do mestrado. Em especial ao Eric Vinícius, Camila Soares, Felipe Cardoso, Mariana Andrade, Carlos Montalvo, Alessandra Rivera, Kátia Regina, Danyllo Oliveira e Marcelo Trindade.

Aos meus avós *in memoriam* e a todos os meus familiares, minha avó, tios e primos, pelo carinho.

Aos meus pais, Wagner e Margarete, por serem o meu alicerce, por terem sido os principais responsáveis por este momento em minha vida e por todo esforço, apoio e amor destinados a mim.

À minhas irmãs, Izabella e Ana Clara, pelo amor, ajuda e companheirismo.

Ao meu namorado, Vinícius Zuppa, por todo carinho, ajuda e amizade desde quando nos conhecemos; por toda dedicação, cuidado, paciência, companheirismo, e por ser meu anjo e caminhar ao meu lado; por ser um exemplo de estudante, profissional, amigo e por toda nossa história e amor.

A Deus, por ter colocado todas essas pessoas em meu caminho e ter me permitido chegar até aqui.

E a todos aqueles que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho e para que eu chegasse até esta etapa da minha vida.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

**MUITO OBRIGADA!**

*“Não existe ser humano sadio se o solo não for sadio e as plantas bem nutridas.”*

*(Ana Primavesi)*

## RESUMO

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma das culturas que apresentam grande variabilidade de grãos quanto a cor, tamanho e formato. Essas particularidades são muito valorizadas pelo consumidor e pela indústria, sendo fundamentais para a aceitação de uma nova cultivar. O feijão do tipo carioca é o mais cultivado e consumido no Brasil, com mais de 70% da produção nacional, motivo pelo qual os programas de melhoramento do Brasil se dedicam, especialmente, ao desenvolvimento de cultivares desse grupo comercial. Tanto produtores, quanto cerealistas e consumidores buscam um feijão carioca de cor mais clara e que apresentem escurecimento tardio dos grãos, pois associam o escurecimento do tegumento com grãos velhos e de difícil cozimento, o que resulta em um produto de baixa qualidade, com menor valor de mercado. As principais formas de avaliação da coloração dos grãos de feijão são visuais ou por meio de equipamentos como o colorímetro. As avaliações visuais são realizadas com o uso de escala de notas, logo, não apresentam a mesma precisão quando comparados à medição realizada em um equipamento. Já com o colorímetro podemos ter limitações na quantidade e na variedade dos dados que podem ser obtidos. Novas abordagens, como a visão computacional oferecem promissoras soluções para aumentar a eficiência e eficácia do melhoramento para este caráter. Esta abordagem permite medir automaticamente uma variedade de imagens de alta resolução. As imagens digitais, são informações visuais armazenadas em forma digital, que podem ser visualizadas em sistemas computacionais. Como esse tipo de imagem é armazenado na forma binária nos sistemas computacionais, logo não estão sujeitas a influência ambiental, que poderia levar à perda de qualidade. Já o processamento digital dessas imagens é a área da ciência que busca analisar, processar ou melhorar imagens digitais para obter informações detalhadas sobre objetos de interesse.

**Palavras-chave:** Melhoramento do Feijoeiro; Fenômica; Imagens.

## ABSTRACT

The common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is one of the crops that present great variability of grains in terms of color, size, and shape. These particularities are highly valued by the consumer and the industry, being fundamental for the acceptance of a new cultivar. The carioca beans are the most cultivated and consumed in Brazil, with more than 70% of the national production, which is why the improvement programs in Brazil are dedicated, especially, to the development of cultivars from this commercial group. The producers, cereal producers, as well as consumers are looking for a carioca bean with a lighter color and with late darkening of the grains, as they associate the darkening of the tegument with old grains that are difficult to cook, resulting in a low-quality product with lower value market. The main ways of evaluating the color of beans are visually or through equipment such as a colorimeter. The evaluations are carried out using a grading scale, therefore, they do not present the same accuracy when compared to those obtained in an equipment. With the colorimeter, however, we can have limitations in the quality of specifications, in the quantity and variety of data that can be sought. New approaches, such as computer vision, offer solutions to increase the efficiency and effectiveness of the improvement for this character. This approach allows to automatically measure a variety of high-resolution images. Digital images are visual information stored in a digital form, which can be viewed in computer systems. As this type of image is stored in a binary form in computer systems, they are not available for environmental impact, which could lead to loss of quality. The digital processing of these images, on the other hand, is an area of science that seeks to analyze, process, or improve digital images to obtain information about objects of interest.

**Keywords:** Common Bean Breeding; Phenomics; Images.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Diagrama de cores CIE L* a* b*.....	20
Figura 2 -	Escala de notas utilizada na avaliação da coloração dos grãos de feijão carioca, conforme Silva et al. (2007) .....	43
Figura 3 -	Histograma dos valores de pixel do canal L dos grãos das linhagens BRSMG Madrepérola e BRS FC 406 nas três repetições do experimento da safra “águas” de 2019.....	46
Figura 4 -	Histograma dos valores de pixel do canal L dos grãos das linhagens BRSMG Madrepérola e BRS FC 406 nas três repetições do experimento da safra “seca” de 2020.....	47
Figura 5 -	Notas médias da cor do tegumento dos grãos das linhagens de feijão carioca (BRSMG Madrepérola, IAC Aruã, BRSMG Amuleto, BRSMG Zape, BRSMG Uai, BRS FC 406, Carioca MG e IAC Aysó) obtidas após a colheita (MP0) e aos 90 dias após a primeira avaliação (MP90) nos experimentos das safras “águas” de 2019 (A) e “seca” de 2020 (B).....	57
Figura 6 -	Média da moda dos valores dos pixels dos grãos de linhagens de feijão carioca (BRSMG Madrepérola, IAC Aruã, BRSMG Amuleto, BRSMG Zape, BRSMG Uai, BRS FC 406, Carioca MG e IAC Aysó) obtidas após a colheita (MP0) e aos 90 dias após a primeira avaliação (MP90) nos experimentos das safras “águas” de 2019 (A) e “seca” de 2020 (B).....	59

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Linhagens de feijão carioca recomendadas no Brasil ou em desenvolvimento, ano de recomendação ou desenvolvimento e instituição de origem.....	41
Tabela 2 -	Resumo das análises individuais de variância para as notas de cor do tegumento dos grãos após a colheita (NE0) e aos 90 dias após a primeira avaliação (NE90) dos experimentos de avaliação de linhagens nas safras “águas” de 2019 e “seca” de 2020.....	48
Tabela 3 -	Resumo das análises de variância para moda dos valores de pixels dos grãos no canal L após a colheita (MP0) e aos 90 dias após a primeira avaliação (MP90) dos experimentos nas safras “águas” de 2019 e “seca” de 2020.....	49
Tabela 4 -	Média das 70 linhagens de feijão carioca quanto a nota de cor do tegumento dos grãos após a colheita (NE0) e aos 90 dias após a primeira avaliação (NE90) e coloração dos grãos obtidas por imagens nas mesmas épocas de avaliação (MP0 e MP90) na safra “águas” de 2019.....	50
Tabela 5 -	Média das 70 linhagens de feijão carioca quanto a nota de cor do tegumento dos grãos após a colheita (NE0) e aos 90 dias após a primeira avaliação (NE90) e coloração dos grãos obtidas por imagens nas mesmas épocas de avaliação (MP0 e MP90) na safra “seca” de 2020.....	53
Tabela 6 -	Resumo da análise conjunta de variância para nota de cor do tegumento dos grãos após a colheita (NE0) e aos 90 dias após a primeira avaliação (NE90) e para moda de valores dos pixels dos grãos nas mesmas épocas de avaliação (MP0 e MP90) dos experimentos conduzidos nas safras “águas” de 2019 e “seca” de 2020.....	55

## SUMÁRIO

	<b>CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>13</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1</b>	<b>A cultura do feijoeiro .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2</b>	<b>Melhoramento genético do feijoeiro .....</b>	<b>17</b>
<b>2.3</b>	<b>Melhoramento de feijão carioca visando o retardamento no escurecimento dos grãos .....</b>	<b>19</b>
<b>2.4</b>	<b>Fenotipagem de elevado rendimento por meio de imagens digitais.....</b>	<b>21</b>
<b>2.4.1</b>	<b>Aquisição e pré-processamento de imagens .....</b>	<b>22</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Segmentação e extração de características de imagens.....</b>	<b>23</b>
<b>2.5</b>	<b>Utilização de imagens digitais para avaliação de grãos .....</b>	<b>25</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>27</b>
	 <b>CAPÍTULO 2: VISÃO COMPUTACIONAL APLICADA À AVALIAÇÃO DA COR DO TEGUMENTO EM FEIJÃO CARIOCA.</b>	 <b>35</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>38</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>40</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>44</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>60</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>61</b>

**CAPÍTULO 1**  
**VISÃO COMPUTACIONAL APLICADA AO MELHORAMENTO DO**  
**FELJOEIRO**

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O feijão faz parte da dieta de muitos países do mundo, principalmente os da América Central e do Sul, África Oriental e Austral e os da Ásia (MATTAR et al, 2016). Além de ser uma importante fonte de proteína, ele também possui altos níveis de minerais essenciais, como ferro, zinco, fósforo e cálcio (PINTO, 2016; DÍAZ et al., 2010; SILVA et al., 2009; LAJOLO et al., 1996; BAZEL; ANDERSON, 1994).

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma das culturas que apresentam grande variabilidade de grãos quanto à cor, tamanho e formato. Essas particularidades são muito valorizadas pelo consumidor e pela indústria, sendo fundamentais para a aceitação de uma nova cultivar (EMBRAPA, 2017; TABANATA et al., 2012; CARNEIRO et al., 2005; VIEIRA et al., 2005). No Brasil, os feijões do tipo carioca e preto são os principais, entretanto existem outros tipos comerciais com preferências regionalizadas, como por exemplo o feijão vermelho, na zona da mata de Minas Gerais. A preferência da população pelos tipos de feijão é regionalizada no país, entretanto, existe um predomínio pelo feijão carioca (SOUZA et al., 2013; VIEIRA et al., 2005; BALDANI; TEIXEIRA; SANTOS, 2002).

O feijão carioca é o tipo comercial mais produzido e consumido no Brasil, representando 70% (EMBRAPA, 2020). Assim, os principais programas de melhoramento do feijoeiro no Brasil têm focado no melhoramento desse tipo de grão. Os principais objetivos desses programas são obter linhagens com alta produtividade, arquitetura ereta de plantas que facilite a colheita mecanizada, resistência aos principais patógenos da cultura, precocidade e que atendam às exigências do mercado quanto ao padrão comercial dos grãos (BOTELHO et al., 2010; COSTA et al., 2010; CUNHA et al., 2005; MELO et al., 2006; RAMALHO et al., 2005; SILVA et al., 2007).

Os grãos de feijão carioca caracterizam-se por apresentar tamanho médio, em que a massa de 100 grãos esteja em torno de 25 gramas e com formato oblongo. Formatos achatados ou em forma de rim são indesejáveis (ARAÚJO, 2012; RAMALHO et al., 2004). Quanto à cor, os grãos são beges com rajadas marrons. A preferência do consumidor é por grãos com tegumentos claros e opacos, e de escurecimento tardio durante o armazenamento, já que essas características são associadas pelo consumidor a feijões mais novos e, conseqüentemente, a menor tempo de cozimento (LIMA, 2013; BRACKMANN et al., 2002). A presença, no grão, de halo amarelo também pode limitar a aceitação de uma nova cultivar, por atribuírem maior tempo de cocção a esta variável. No entanto, estudos indicam que os genes envolvidos na cor do halo não afetam a qualidade tecnológica do grão, de modo que a presença de halo amarelo

não tem influência no tempo de cozimento (ARAÚJO, 2012; SOUZA, 2004; LEAKELY, 1998).

A seleção de genótipos com aspecto de grãos desejados é um grande desafio, uma vez que esta é baseada na avaliação visual dos grãos por meio de uma escala de notas (RAMALHO et al., 1998). Assim, o sucesso na seleção é dependente da precisão e acurácia dos avaliadores. Esse processo, que depende da experiência do avaliador, é lento e pode ocasionar em erros na seleção e, conseqüentemente, na obtenção de linhagens de grãos com aspecto de interesse. Portanto, existe uma necessidade de se implementarem métodos automáticos, precisos, acurados e rápidos que permitam avaliar e classificar os genótipos quanto a este atributo (VENORA et al., 2009).

A maneira comumente utilizada, até então, para obter a cor de grãos é por meio de colorímetros (MAMBRIN et al., 2015). No entanto, métodos manuais como esse limitam a qualidade das medições, a quantidade e a variedade dos dados que podem ser obtidos. Novas abordagens, como a visão computacional, oferecem promissoras soluções para aumentar a eficiência e eficácia do melhoramento para este caráter (CARNEIRO, 2018). Esta abordagem permite medir automaticamente uma variedade de imagens de alta resolução (BYLESJO et al., 2008; WEIGHT et al., 2008; FRENCH et al., 2009; WANG et al., 2009; BREWER et al., 2006). O uso do processamento de imagens permite obter maior número de informações de formato, cor e textura dos grãos de forma rápida, precisa e acurada. Associado a essas medições, o uso de algoritmos de classificação para reconhecimento de padrões pode auxiliar na identificação automática de grãos e, conseqüentemente, na seleção de genótipos superiores quanto ao aspecto dos grãos (VENORA et al., 2009; BACCHETTA et al., 2008; GRANITTO et al., 2003).

Existem algumas propostas de utilização de imagens para classificação de grãos de feijão (AGUILERA et al., 2007; VENORA et al., 2007). Araújo et al. (2015) apresentaram um sistema computacional para classificação automática de grãos de feijão com base na coloração do tegumento, obtendo uma taxa média de acertos de 99,7%. Já Laurent et al. (2010) utilizaram imagens para avaliar o escurecimento de grãos de feijão durante o armazenamento. A inteligência artificial também tem sido utilizada para classificar grãos de feijão quanto à cor (KILIÇ et al., 2007).

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 A cultura do feijoeiro

O feijão constitui a base da alimentação da população brasileira. De acordo com a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO, 2020), leguminosas são alimentos ricos em proteínas, contêm carboidratos complexos, são ricos em fibras alimentares, vitaminas do complexo B, ferro, cálcio, e outros minerais (PADILHA, 2017). O baixo custo e alto valor nutricional dessa leguminosa, aliados à sensação de saciedade que desperta em seus consumidores, são questões determinantes para o sucesso do feijão entre os brasileiros (RAMOS; LIMA, 2018).

O feijão é cultivado em mais de 100 países, dos quais cinco desses são responsáveis por 63% da produção mundial (FAO, 2020). O Brasil é o maior produtor e consumidor de feijão comum (EMBRAPA, 2020). A cultura ocupa lugar de destaque na agricultura nacional, principalmente por ser cultivada em praticamente todas as regiões do país (EMBRAPA, 2010; IAPAR, 2001).

A produção nacional de feijão-comum no ano 2018/2019 foi de 2,23 milhões de toneladas em uma área aproximada de 1,49 milhões de hectares, o que corresponde a uma produtividade média de 1496 kg/ha. Os estados maiores produtores de feijão-comum no Brasil são Paraná, Minas Gerais, São Paulo, Bahia e Goiás. Minas Gerais é o segundo maior produtor do país, com produção de 491 mil toneladas e área cultivada superior a 287 mil ha, o que contabiliza uma produtividade de 1712 kg/ha no ano de 2018/2019 (EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO, 2019). A maior produção de feijão-comum do tipo carioca no Estado de Minas Gerais concentra-se nas regiões Noroeste, Sul, Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (MELO et al., 2007). O plantio nessas regiões é predominantemente comercial, com emprego de altos níveis de tecnologia nas lavouras. Destas, a utilização da irrigação por aspersão via pivô central tem favorecido o cultivo do feijoeiro e proporcionado aos produtores incremento nos níveis de produtividade, especialmente na safra de “outono-inverno” (SILVA; WANDER, 2018).

O feijão tem sido cultivado em algumas regiões do Brasil em três safras: “águas” (semeadura de outubro a novembro), “seca” (semeadura de fevereiro a março), e “outono-inverno” (semeadura de abril a junho). No plantio das “águas” e da “seca”, são observados cultivos tanto com baixo quanto com alto nível tecnológico. Já os cultivos de “outono-inverno”

são realizados por grandes produtores altamente tecnificados e com uso de irrigação (CARNEIRO et al., 2012).

O feijão-comum pode ser classificado em tipos comerciais como carioca, preto, vermelho, rosinha, mulatinho, roxo, jalo e outros (CARNEIRO et al., 2014). O feijão do tipo carioca é o mais cultivado e consumido no Brasil, com mais de 70% da produção nacional (SOUZA et al., 2013), motivo pelo qual os programas de melhoramento do Brasil se dedicam, especialmente, ao desenvolvimento de cultivares desse grupo comercial. Contudo, a preferência pelos outros tipos comerciais é regionalizada, como por exemplo, o feijão preto é o preferido no Rio Grande do Sul, Santa Catarina, sul e leste do Paraná, Rio de Janeiro, sudeste de Minas Gerais e sul do Espírito Santo. Já o feijão vermelho é preferido em algumas mesorregiões de Minas Gerais, especialmente na Zona da Mata (FERREIRA et al., 2010).

## 2.2 Melhoramento genético do feijoeiro

O melhoramento genético do feijão teve início no Brasil por volta de 1930. Entretanto, ganhou maior força na década de 1970 (VOYSEST, 2000), com o surgimento do feijão tipo carioca nas lavouras de São Paulo e posterior distribuição para todo o país pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) (ALMEIDA et al., 1971). O melhoramento da cultura tem sido realizado basicamente por instituições do setor público, como as Embrapas Arroz e Feijão e Clima Temperado, a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), o Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), a Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária (IPA), as Universidades Federais de Lavras (UFLA) e de Viçosa (UFV) (PAULA JÚNIOR; WENDLAND, 2012), a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri) e a empresa privada FT Pesquisa e Sementes (EMBRAPA, 2004).

A maioria dos programas de melhoramento de feijão no Brasil visam, predominantemente, a recomendação de cultivares que apresentem elevada produtividade de grãos, plantas com arquitetura adaptada à colheita mecanizada, resistência aos patógenos de maior importância, como a antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*) e a mancha-angular (*Pseudocercospora griseola*), precocidade e grãos com boa aceitação comercial. Estratégias como introdução de plantas e seleção de linhas puras, apesar de ainda importantes, foram muito utilizadas no passado. Exemplos de grande sucesso utilizando essas estratégias foram as cultivares Rico 23 e Carioca, obtidas por introdução de plantas e seleção de linhas puras,

respectivamente (SILVA, 2018; RAMALHO; SANTOS, 1982).

Obter linhagens que reúnam diversas características de interesse não é tarefa fácil, uma vez que muitas destas apresentam herança de natureza quantitativa (BARILI, 2015). Entretanto, os programas de melhoramento têm alcançado esse objetivo por meio da estratégia de hibridação. Esta visa reunir, em uma única linhagem, alelos favoráveis que estão distribuídos em diferentes genitores. Por sua vez, uma estratégia que se utiliza da hibridação e tem sido muito empregada na cultura do feijoeiro é a seleção recorrente. Esta se trata de um processo cíclico de melhoramento que envolve a obtenção de populações segregantes, avaliação das plantas ou progênies oriundas destas populações e recombinação das melhores plantas ou progênies. Esta estratégia permite aumentar a média da população ao longo dos ciclos de seleção, de modo que é possível manter os ciclos seletivos futuros com sucesso (HALLAUER, 1992; RAMALHO et al., 2001; GERALDI, 2005).

Diversos trabalhos evidenciam a eficiência da seleção recorrente na cultura do feijoeiro. Os programas de melhoramento da UFLA e da UFV empregam rotineiramente a seleção recorrente no melhoramento de feijão carioca, especialmente visando produtividade de grãos (PIRES, et al., 2014) e resistência a doenças como mancha angular (AMARO et al., 2007), antracnose e mofo branco (VASCONCELLOS et al., 2018). O Programa de seleção recorrente fenotípica visando resistência a *Pseudocercospora griseola* encontra-se no vigésimo ciclo de seleção. Este tem apresentado ganhos expressivos na resistência à mancha angular ao longo dos ciclos, mantendo variabilidade suficiente para a continuidade do programa com sucesso (ABREU et al., 2018; AMARO, 2007). Já o programa de seleção recorrente visando produtividade de grãos está no décimo oitavo ciclo, e diversas linhagens já foram recomendadas a partir deste. Estes programas são as principais fontes de linhagens da UFLA para compor os ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU) no Estado de Minas Gerais. As linhagens que se destacam nos ensaios de VCU são futuramente recomendadas aos produtores.

O sucesso dos programas de melhoramento também pode ser constatado principalmente pelo grande número de cultivares de feijão recomendadas. No Registro Nacional de Cultivares, atualmente estão registradas 360 cultivares de feijão (MAPA, 2020). Barili (2015) verificou um ganho de 6,74% ao ano ao avaliar cultivares de feijão carioca recomendadas em diferentes décadas. Para outras características, também houve incremento anual, como por exemplo, na ordem de 5,62% para número de vagens por planta, 4,59% para número de grãos por vagem, 2,08% para massa de mil grãos e 1,36% para aspecto do grão.

No estado de Minas Gerais, foi firmado um convênio entre as empresas Embrapa, EPAMIG, UFLA e UFV com o intuito de aumentar a eficiência na recomendação de cultivares

para o estado. Estas instituições conduzem os Ensaio de Valor de Cultivo e Uso (VCU) contendo linhagens desenvolvidas por cada uma das instituições. Assim, após dois anos de avaliação, a melhor linhagem é entregue à Embrapa, que tem a responsabilidade de obter o registro e conduzir o processo de difusão e comercialização de suas sementes (SENA, 2006; RAMALHO et al., 2004).

### **2.3 Melhoramento de feijão carioca visando o retardamento no escurecimento dos grãos**

O feijão do tipo carioca possui tegumento de cor creme com rajadas marrons e peso de 100 grãos, variando de 23 a 25 g (RAMALHO; ABREU, 2006). Tanto produtores, quanto cerealistas e consumidores buscam um feijão carioca de cor mais clara e que apresente escurecimento tardio dos grãos, pois associam o escurecimento do tegumento a grãos velhos e de difícil cozimento, o que resulta em um produto de baixa qualidade, com menor valor de mercado (PERINA et al., 2014).

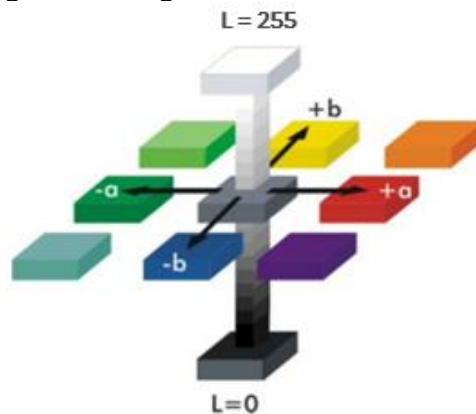
O escurecimento do tegumento do feijão carioca se deve a mudanças bioquímicas que ocorrem com o passar do tempo ao longo do pós-colheita. Os compostos fenólicos, principalmente os taninos, sofrem a oxidação por enzimas, como as peroxidases e polifenol oxidases, tornando os grãos mais escuros (ARIATI, 2018; MARLES et al., 2008). Segundo Siqueira et al. (2013), o escurecimento do tegumento de diferentes genótipos de feijão envolve a combinação de processos enzimáticos e não enzimáticos, sendo essas mudanças influenciadas por vários fatores, como elevada temperatura, umidade relativa do ar, presença de luz e oxigênio. Para Burle et al. (2010), além destes fatores, o escurecimento está relacionado à suscetibilidade do genótipo. Ao estudar o controle genético do escurecimento de grãos de feijão *pinto beans*, Junk-Knievel, et al. (2007) constatou que, neste processo, está envolvido um gene com dominância do alelo que condiciona escurecimento precoce.

Rodrigues et al. (2019) realizou um estudo para verificar se o gene que controla o escurecimento do tegumento em diferentes cultivares de feijão comum é o mesmo. Foram utilizados os marcadores SSR e SNP. O resultado dos dois marcadores foi idêntico e mostrou 87,5% de coincidência nos dados fenotípicos. Apenas duas linhagens, CNFM 11940 (mulatinho) e TAA Dama (carioca), apresentaram escurecimento lento do tegumento. Esse estudo concluiu que houve recombinação entre os marcadores e o gene *Sd*, ou então há outro gene causando escurecimento lento do tegumento dessas linhagens. Todas as progênies F<sub>2:3</sub> exibiram escurecimento lento do tegumento, indicando que não houve segregação. As

avaliações genotípicas e o teste de segregação indicaram que o mesmo gene (Sd) é responsável pelo escurecimento do tegumento dos feijões *pinto beans* e carioca. Análises de expressão gênica durante vários estágios de desenvolvimento do tegumento dos grãos podem ajudar a identificar o gene (Sd) se ele estiver envolvido na regulação de flavonoides (DUWADI et al., 2018).

As principais formas de avaliação da coloração dos grãos de feijão são visuais, ou por meio de equipamentos como o colorímetro. As avaliações visuais são realizadas com o uso de escala de notas, logo, não apresentam a mesma precisão quando comparadas à medição realizada em um equipamento. A coloração do tegumento das sementes pode ser quantificada em um colorímetro em três eixos (“L”,  $a^*$  e  $b^*$ ). O sistema de cores Lab foi estabelecido pela Comissão Internacional de Iluminação (CIE) de 1976 (CIE, 1976). Neste sistema, o valor de “L” representa a luminosidade e os valores de  $a^*$  e  $b^*$  indicam a cromaticidade. O valor de “L” caracteriza a luminância e é expresso de 0 para o preto, a 255 para o branco; o valor de  $a^*$  representa a cromaticidade do tom verde ao vermelho e adquire valor de -60 a +60; e o valor de  $b^*$ , ou seja, a saturação do azul ao amarelo, apresenta valores de -60 a +60 (POSSOBOM, 2014; BERNARDO, 2010).

Figura 1 - Diagrama de cores CIE  $L^* a^* b^*$ .



Fonte: Hunter (1996) (adaptado).

Varga et al. (2019) avaliaram o espaço de cor CIE Lab do tegumento de grãos de feijão. As coordenadas de cor  $L^* a^* b^*$  de 100 acessos de feijão comum pertencentes a cinco linhagens foram avaliadas por meio de dois métodos, colorímetro e visão computacional. No primeiro método, a cor do tegumento da semente foi avaliada pelo dispositivo Minolta Chroma Meter CR-410, com uma área de medição de cor de 50 mm e iluminação padrão D 65, arranjada para espectro de cores  $L^*, a^*, b^*$  (CIE, 1976). Já no segundo método, as imagens digitais de

cinco sementes por acesso foram adquiridas com câmera digital (Canon EOS 70D). As imagens foram transferidas para o computador, calibradas e a cor das amostras foi medida usando ImageJ. A diferença percentual entre os dois métodos em todas as amostras para a coordenada de cor L\* foi de 5,81%, para a coordenada de cor a\*, 23,32%, e para a cor b\*, 44,44%. Nesse estudo, análises revelaram que o método do colorímetro classificou corretamente 97% dos acessos em suas respectivas linhagens, enquanto, na visão computacional, os acertos foram de 99%. Portanto, a visão computacional pode ser considerada um método superior de obtenção não apenas de dados sobre a cor do tegumento, mas também de outras características morfológicas importantes para a classificação de linhagens de feijão, como altura e largura do grão. Todo o processo também pode ser automatizado, permitindo a análise de um grande número de amostras em menos tempo.

Estudos com colorímetro sobre a luminosidade (“L”) do tegumento em grãos de cultivares de feijão preto e carioca caracterizaram o padrão de tegumento de maior aceitação pelo consumidor. Segundo Ribeiro; Storck; Poersch (2008), cultivares de feijão tipo carioca com valores de “L” superiores a 55 são preferidas pelo consumidor, que associa a maior claridade dos grãos desta classe à colheita recente e ao rápido cozimento. No caso do feijão preto, menor valor de “L” é desejável, pois “L” superior a 22 é indicativo da presença de grãos arroxeados e, portanto, de menor qualidade (RIBEIRO; POSSEBON; STORCK, 2003). Para os valores de cromaticidade a\* e b\*, não foram encontradas referências de padrões aceitos para as diferentes classes de sementes. Na literatura, também não foram encontrados relatos de controle genético dos valores de luminosidade (“L”) e de cromaticidades (a\* e b\*) em sementes de feijão.

## **2.4 Fenotipagem de elevado rendimento por meio de imagens digitais**

As imagens digitais são informações visuais armazenadas de forma digital, que podem ser visualizadas em sistemas computacionais. Como esse tipo de imagem é armazenado na forma binária nos sistemas computacionais, logo não estão sujeitas à influência ambiental, que poderia levar à perda de qualidade. Já o processamento digital dessas imagens é a área da ciência que busca analisar, processar ou melhorar imagens digitais para obter informações detalhadas sobre objetos de interesse (CARNEIRO, 2018).

A imagem digital é uma representação de uma matriz numérica bidimensional, em que cada segmento pontual dela corresponde a um pixel. As imagens podem ser classificadas em

binárias, escala de cinza e coloridas. As imagens binárias são dicotômicas, ou seja, os pixels assumem valores de 0 (preto) ou 255 (branco). Já nas imagens em escala de cinza, os pixels podem assumir valores entre 0 e 255. Para cada um destes valores, existe um tom de cinza associado. Em ambas, a imagem é constituída por uma única matriz de pixels.

A representação das imagens coloridas requer mais informação por pixel do que as imagens binárias e em escala de cinza, uma vez que é necessário representar todas as cores que conseguirmos enxergar. Para que isso seja possível, existem diferentes espaços de cores para representar imagens coloridas. Um dos mais comuns é o RGB, no qual a imagem é representada por três canais (matrizes) das três cores elementares (R – vermelho; G – Verde; B – Azul). Neste sistema, cada pixel é composto por três intensidades, uma para cada cor (KALAIVANI et al., 2013). A combinação dos três valores de cada pixel produz diferentes cores, que conseguimos observar em uma imagem.

Outros espaços de cores também são utilizados para representar imagens coloridas. Dentre estes, os espaços HSV (*hue, saturation, value*) e os propostos pela Comissão Internacional de Iluminação (Comission Internationale de l'Eclairage - CIE) têm sido muito utilizados para auxiliar no processamento de imagens digitais. No HSV, a matiz ou tonalidade (H) determina o comprimento de onda dominante da cor, enquanto a saturação (S) e o valor (V) se referem à quantidade de luz branca e à luminosidade presentes na imagem, respectivamente (HUNT, 2010).

O processamento de imagens digitais tem sido empregado em diversas áreas da ciência, especialmente nas áreas de robótica, computação e medicina (ALMEIDA, 2019). Este processamento pode ser subdividido nas seguintes etapas: aquisição, pré-processamento, segmentação e extração de características (KHIRADE; PATIL, 2015).

#### **2.4.1 Aquisição e pré-processamento de imagens**

A aquisição de imagens por meio de câmeras RGB é a forma mais simples e viável que tem sido utilizada. Entretanto, câmeras térmicas ou multiespectrais também têm sido utilizadas, devido à elevada capacidade de captação de informações que os dispositivos convencionais não conseguem obter (TATTARIS; REYNOLDS; CHAPMAN, 2016). Alguns estudos têm utilizado essas câmeras em laboratório por meio de estúdios fotográficos. Já a nível de campo, têm sido empregados drones ou plataformas de fenotipagem (WALTER; LIEBISCH; HUND, 2015).

A aquisição das imagens pode ser feita por equipamentos padronizados que já possuam o *software*. Com isso, é possível capturar as imagens de forma semiautomática ou automática, como é o caso do equipamento GroundEye®, em seus diferentes modelos, composto por um módulo de captação das imagens, bandeja para colocação dos grãos e *software* de análise de imagens (ANDRADE, 2017; ÁVILA, 2017; PINTO, 2017). Em algumas situações, os equipamentos e *softwares* permitem captar imagens em tempo real, o que agiliza o processo de captura e processamento das imagens. Após a aquisição das imagens, essas podem ser submetidas a alguns pré-processamentos que permitem compreender melhor as imagens.

#### **2.4.2 Segmentação e extração de características de imagens**

A segmentação é o processo pelo qual regiões que compõem uma imagem são separadas por meio de métodos que se baseiam em particularidades como cor, textura ou movimento dos objetos (SABROL, 2015). Essa etapa é essencial para poder extrair informações de regiões nas imagens e classificá-las corretamente.

As técnicas de segmentação mais utilizadas visam agrupar os pixels mais similares em regiões específicas da imagem. Dentre as várias ferramentas de segmentação, as duas principais são a aplicação de limiar de intensidade ou de técnicas de aprendizado de máquina não supervisionado com o intuito de agrupar pixels similares (SOLOMON; BRECKON, 2013). A primeira abordagem consiste em gerar uma imagem binária em que, ao conjunto de pixels cuja intensidade é superior ao limiar estabelecido previamente, é atribuído o valor de 255 (branco), e aos pixels com intensidade inferior a esse limiar é atribuído valor zero (preto).

A escolha do limiar pode ser baseada no estudo do histograma da imagem em questão. Imagens que apresentam histogramas com dois picos bem definidos facilitam a escolha visual do limiar. Entretanto, a escolha manual desse limiar não é a melhor estratégia. O método proposto por Otsu (1979) visa definir de forma automática esse limiar. Esse método consiste em identificar o valor de limiar que minimiza a variância dentro da classe dos pixels brancos e pretos após a aplicação dessa técnica. Imagens com problemas em sua aquisição e presença de ruídos dificultam a identificação desse limiar, uma vez que, no histograma, os picos podem não estar bem definidos. Portanto, a aplicação de limiar pode apresentar falhas na segmentação de imagens com esses problemas. Por esta razão, outras técnicas mais eficientes baseadas em aprendizado de máquina são utilizadas com essa finalidade.

As técnicas de aprendizado de máquina não supervisionado, cuja finalidade é o agrupamento de observações, são muito utilizadas na segmentação de imagens coloridas. Exemplos dessas técnicas são: k-Means, fuzzy C-Means e os mapas auto-organizáveis (MIRANDA, 2011). A vantagem de se utilizar essa abordagem é a possibilidade de identificar várias regiões da imagem por meio de uma única análise, já que é possível definir quantos grupos existem na imagem. Essas análises visam agrupar os pixels que apresentam similaridade quanto aos valores observados nos canais que compõem a imagem. Por isso, é importante definir quais canais de cores são mais úteis para discriminar os pixels. Algumas das aplicações dessa técnica se baseiam nos canais a e b da escala de cor Lab, uma vez que esses canais contêm toda a informação de cor da imagem. Entretanto, outras escalas de cores, como RGB e HSV, podem ser utilizadas (SABROL, 2015).

O passo seguinte à segmentação da imagem é a extração das características das regiões de interesse. Identificada uma região, que pode ser folhas, plantas, grãos ou outras estruturas, é possível quantificar medidas físicas, como as dimensões, a área, o perímetro ou outras medidas associadas à morfometria geométrica dessas regiões. Além dessas, podem-se extrair informações relativas à cor dessas estruturas, assim como permite estudos dos histogramas somente da região de interesse nos canais que compõem a imagem. Essa etapa é crucial, uma vez que essas informações podem ser utilizadas para auxiliar em estudos de classificação e predição na área de melhoramento de plantas, ou seja, exercem grande importância em estudos no melhoramento de plantas com enfoque na fenômica (SINGH et al., 2016).

Técnicas de aprendizado de máquina, como redes neurais artificiais, são muito utilizadas em estudos com imagens, pois propiciam resultados muito eficazes (SABROL, 2015; SINGH et al., 2016). Porém, para que as informações sejam utilizadas em problemas de classificação e predição, as imagens precisam ser todas processadas para este fim. Por isso, outra alternativa a todo esse processamento de imagens é a utilização das próprias imagens como entradas em redes neurais convolucionais. Essa abordagem de *deep learning* permite utilizar imagens como entradas no modelo e, por isso, tem enorme potencial para auxiliar em estudos de classificação aplicados ao melhoramento vegetal (CRUZ et al., 2017; LECUN; BENGIO; HINTON, 2015).

## 2.5 Utilização de imagens digitais para avaliação de grãos

O melhoramento vegetal é uma área cujos problemas são similares aos de áreas em que a visão computacional tem sido utilizada, como medicina e engenharia. Até pouco tempo, poucas eram as pesquisas que visavam utilizar imagens para auxiliar na seleção e identificação de genótipos superiores. Áreas da genética, como a genômica, se desenvolveram muito rápido, entretanto, as avaliações fenotípicas ficaram estagnadas por muito tempo (CROSSA et al., 2017). Porém, hoje já se sabe que somente as informações moleculares não são suficientes. Devido a isso, avaliações de alta qualidade são fundamentais para acompanhar os avanços da genômica e, conseqüentemente, aumentar a acurácia dos processos de seleção.

No campo da avaliação de grãos, houve grandes avanços por meio de técnicas simples, reprodutíveis, com geração rápida de resultados (REGO, 2019). A análise de imagens de grãos tem ganhado destaque, como por exemplo, os raios X na avaliação da morfologia interna de grãos (GOMES-JUNIOR, 2010; MELO et al., 2010). Trata-se de uma análise rápida, não destrutiva e que possibilita detectar grãos bem formados e áreas vazias ou que possuem algum dano. Além disso, é possível mensurar características morfológicas dos grãos, como área, largura, comprimento, circularidade e espaço vazio no interior dos grãos, que podem ser relacionadas com o seu potencial fisiológico. Boa parte destas análises são realizadas com o auxílio de *softwares*, o que torna o processo de avaliação automatizado, rápido e menos subjetivo.

Existem algumas propostas de utilização de imagens para classificação de grãos de feijão (AGUILERA et al., 2007; VENORA et al., 2007). Um *software* que vem sendo utilizado na avaliação de características morfológicas de grãos é o *Image J*, que é um *software* gratuito para processamento de imagens e foi desenvolvido pelo *National Institute of Mental Health*, nos EUA, em linguagem Java. No *software*, a mensuração das características é feita com base na contagem de *pixels* da região selecionada, mediante a calibração com base em um objeto de dimensões conhecidas (RASBAND, 2012). Além disso, o programa ainda permite a expansão da sua finalidade por meio do uso de *plug-ins* escritos em Java. Silva, et al. (2013), constataram que o mesmo foi eficiente na determinação do espaço vazio de grãos *Acca sellowiana*. Araújo et al. (2015) apresentaram um sistema computacional para classificação automática de grãos de feijão com base na coloração do tegumento, obtendo uma taxa média de acertos de 99,7%. Nesse sentido, a Inteligência artificial também tem sido utilizada para classificar grãos de feijão quanto à cor e ao tamanho (KILIÇ et al., 2007).

Kara et al. (2013) encontrou diferenças em tamanho, forma e características gravimétricas entre cultivares de feijão ao avaliar seus grãos por meio de imagens. Araújo et al. (2015) desenvolveram um sistema de computação visual para analisar grãos, classificando-os de acordo com a cor do tegumento. O sistema é composto por três módulos: mapeamento de cores de pixel, segmentação e classificação de grãos. No módulo de mapeamento de cores, eles apresentaram uma técnica que mapeia um pixel para diferentes tons de cinza, de acordo com sua similaridade para "cor de feijão" ou "cor de fundo".

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, A. F. B. et al. **BRSMG Uai: cultivar de feijão tipo carioca com planta de arquitetura ereta**. Comunicado técnico, 246: 1- 8, 2018. Santo Antônio de Goiás, GO, 2018.
- \_\_\_\_\_. **BRSMG Majestoso: mais uma opção de cultivar de grão carioca para o Estado de Minas Gerais**. Comunicado Técnico, 134: 1-2, 2006. Santo Antônio de Goiás, GO, 2006.
- AGUILERA, J. M. et al. Computer Vision for Quality Control in Latin American Food Industry: a Case Study. In: **Proceedings of 7th Int. Conf. on Computer Vision: Workshop on Computer Vision Applications for Developing Countries**, Rio de Janeiro, p. 1-11. 2007
- ALMEIDA, C. C. **Identificação e classificação de imagens usando rede neural convolucional e machine learning: implementação em sistema embarcado**. 2019. 202 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2019.
- ALMEIDA, L. D. A.; LEITÃO FILHO, H. F.; MYASAKA, S. Características do feijão carioca, um novo cultivar. **Bragantia**, v. 30, n. 7, p. 33-38, 1971.
- AMARO, G. B. et al. Phenotypic recurrent selection in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) with carioca-type grains for resistance to the fungi *Phaeoisariopsis griseola*. **Genetics and Molecular Biology**, v. 30, n. 3, p. 584-588, 2007.
- ANDRADE, D. B. **Evaluation of the physiological quality of to baccho seeds through image analysis**. 2017. 48 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.
- ARAÚJO, S. A.; PESSOTA, J. H.; KIM, H. Y. Beans quality inspection using correlation-based granulometry. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 40, p. 84-94, 2015.
- ARAÚJO, L. C. A. Seleção de linhagens de feijoeiro com escurecimento tardio dos grãos. 2012. 66 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.
- ARIATI, A. C. Avaliação do escurecimento do tegumento de genótipos de feijão carioca durante o armazenamento. 2018. 68 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2018.
- ÁVILA, M. A. B. Análise de imagem na avaliação do potencial fisiológico de sementes de soja. 2017. 42 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.
- BACCHETTA, G. et al. Morpho colorimetric characterization by image analysis to identify diaspores of wild plant species. **Flora**, v. 203, p. 669-682, 2008.

BARILI, L. D. Evolução dos cultivares de feijão carioca recomendados no Brasil. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento). 38p. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2015.

BAZEL, P.; ANDERSON, J. W. Nutrition and health implications of dry beans: A review. **Journal of the American College of Nutrition**, v. 13, p. 549-558, 1994.

BERNARDO, L. M. Histórias da luz e das cores. Porto: Universidade do Porto, Porto, 2010, 101p.

BRACKMANN, A. et al. Conservação de três genótipos de feijão (*Phaseolus vulgaris*L.) do grupo carioca em armazenamento refrigerado e em atmosfera controlada. **Ciência Rural**, v. 32, n. 6, p. 911-915, 2002.

BOTELHO, F. B. S. et al. Multiline as a strategy to reduce damage caused by *Colletotrichum lindemuthianum* in common bean. **Journal of Phytopathology**, v. 159, n. 3, p. 175-180, 2011.

BREWE, M. T. et al. Development of a controlled vocabulary and software application to analyze fruit shape variation in tomato and other plant species. **Plant Physiology**, v. 141, p. 15-25, 2006.

BYLESJO, M. et al. LAMINA: a tool for rapid quantification of leaf size and shape parameters. **BMC Plant Biology**, v. 8, n. 82, p. 1-9, 2008.

BURLE, M. L. et al. Microsatellite diversity and genetic structure among common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces in Brazil, a secondary center of diversity. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 121, p. 801-813, 2010.

CARNEIRO, J. E. S.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. Feijão do plantio a colheita. Viçosa-MG: Editora UFV, 384 p., 2014.

CARNEIRO, J. E. S. et al. BRSMG Madrepérola: common bean cultivar with late-darkening Carioca grain. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 12, p. 281-284, 2012.

CARNEIRO, J. C. S. et al. Perfil sensorial e aceitabilidade de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Food Science and Technology**, v. 25, n. 1, p. 18-24, 2005.

CARNEIRO, V. Q. **Aplicativos Computacionais Para o Melhoramento Genético Fundamentados em Análise de Imagens e Inteligência Computacional**. 2018. 137 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2018.

COMMISSION INTERNACIONALE DE IECLAIRAGE – (CIE). **Technical Report. CIE 15.2 Colorimetry**. Austria, Central Bureau of the CIE, p. 1-74, 1976.

COSTA, M. R. et al. Development and characterization of common black bean lines resistant to anthracnose, rust and angular leaf spot in Brazil. **Euphytica**, v. 176, p. 149-156, 2010.

CROSSA, J. et al. Genomic Selection in Plant Breeding: Methods, Models, and Perspectives. **Trends in Plant Science**, v. 22, n. 11, p. 961-975, 2017.

CRUZ, A. C. et al. X-FIDO: an effective application for detecting olive quick decline syndrome with deep learning and data fusion. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, n. 1741, p. 1-12, 2017.

CUNHA, W. G.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Selection aiming at upright growth habit common bean with carioca type grains. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 5, p. 379-386, 2005.

DÍAZ, A. M.; CALDAS, G. V.; BLAIR, M. W. Concentrations of condensed tannins and anthocyanins in common bean seed coats. **Food Research International**, v. 43, p. 595-601, 2010.

DUWADI, K. et al. Slowdarkening of pinto bean seed coat is associated with significant metabolite and transcript differences related to proanthocyanidin biosynthesis. **BMC Genomics**, v. 19, n. 260, p. 1-13, 2018.

EMBRAPA. **Agência Embrapa de Informação Tecnológica**. Disponível em: <[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijao/arvore/CONTAG01\\_69\\_1162003151646.html](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijao/arvore/CONTAG01_69_1162003151646.html)>. Acesso em: 26 jun. 2020.

\_\_\_\_\_. **Notícias: Genética eleva em um terço a produtividade do feijão-carioca no País**, 2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/30670636/genetica-eleva-em-um-terco-a-productividade-do-feijao-carioca-no-pais>>. Acesso em: 30 mar. 2020.

\_\_\_\_\_. **Socioeconomia**. Disponível em: <<https://www.cnpaf.embrapa.br/socioeconomia/index.htm>>. Acesso em: 26 jun. 2020.

\_\_\_\_\_. **Dados conjunturais da produção de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) e caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) no Brasil (1985 a 2018): área, produção e rendimento**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2019. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br/socioeconomia/index.htm>>. Acesso em: 30 mar. 2020.

\_\_\_\_\_. **Notícias: Cultivo superprecoce de feijão melhora produtividade e resistência a pragas**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/54800345/cultivo-superprecoce-de-feijao-melhora-productividade-e-resistencia-a-pragas>>. Acesso em: 26 mai. 2021.

\_\_\_\_\_. **Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Feijão de Arranca**. Disponível em: <[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio\\_sisal/arvore/CONT000fckhw71702wx5eo0a2ndxyore417p.html](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio_sisal/arvore/CONT000fckhw71702wx5eo0a2ndxyore417p.html)>. Acesso em: 26 mai. 2021.

\_\_\_\_\_. Circular Técnica 65: Cultivares de Feijoeiro Comum para o Estado de Minas Gerais. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/210485/1/circ65.pdf>>. Acesso em: 26 mai. 2021.

- GERALDI, I. O. Por que realizar seleção recorrente. In: Simpósio de Atualização em Genética e Melhoramento de Plantas, 9., 2005, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Genética e Melhoramento de plantas, 2005. p. 1-8.
- FERREIRA, T.; RASBAND, W. Image Juserguide. **ImageJ/Fiji**, v. 1, p. 155-161, 2012.
- FRENCH, A. et al. High-throughput quantification of root growth using a novel image analysis tool. **Plant Physiology**, v. 150, p. 1784-1795, 2009.
- GOMES-JUNIOR, F.G. Aplicação da análise de imagens para avaliação da morfologia interna de sementes. **Informativo Abrates**, v. 20, n. 3, p. 33-39, 2010.
- GRANITTO, P. M. et al. Boosting classifiers for weed seeds identification. **Journal of Computer Science & Technology**, v. 3, n. 1, p. 34-39, 2003.
- HALLAUER, A. R. Recurrent selection in maize. **Plant Breeding Reviews**, p. 115-179, 1992.
- HUNT, K. A. **The Art of Image Processing with Java**. A K Peters/CRC Press. 1 ed. 2010. 300p.
- IAPAR – Instituto Agronômico do Paraná. **Documento 25. Cadeia produtiva do feijão: diagnóstico e demandas atuais**. Londrina: IAPAR, 2001. 48p. Disponível em: <[http://www.iapar.br/arquivos/File/zip\\_pdf/doc25.pdf](http://www.iapar.br/arquivos/File/zip_pdf/doc25.pdf)>. Acesso em: 12 nov. 2019.
- JUNK-KNIEVEL, D. C.; VANDERBERG, A.; BETT, K. E. Slow darkening in pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seed coats is controlled by a single major gene. **Crop Science**, v. 48, n. 1, p. 189-193, 2007.
- KALAIVANI, R.; MURUGANAND, S.; PERIASAMY, A. Identifying the quality of tomatoes in image processing using matlab. **International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering**, v. 2, n. 8, p. 3525-3531, 2013.
- KARA, M. et al. Seed size and shape analysis of registered common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars in Turkey using digital photography. **Tarım Bilimleri Dergisi**, v. 19, p. 219-234. 2013.
- KHIRADE, S. D.; PATIL, A. B. Plant Disease Detection Using Image Processing. 2015 **International Conference on Computing Communication Control and Automation**, p. 768-771, 2015.
- KILIÇ, K. et al. Classification system for beans using computer vision system and artificial neural networks. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 3, p. 897-904, 2007.
- LAJOLO, F. M.; GENOVESE, M. I.; MENEZES, E. W. Qualidade nutricional. In: ARAÚJO, R. S. et al. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: POTAFOS, 1996.
- LAURENT, B. et al. Digital camera images processing of hard-to-cook beans. **Journal of Engineering and Technology Research**, v. 2, n. 9, p. 177-188, 2010.

LEAKELY, C. L. A. Genotypic and phenotypic markers in common beans. In: EPTS, P. **Genetic resources of Phaseolus beans**. Boston: Kluwer, 1998. p. 245-327.

LECUN, Y.; BENGIO, Y.; HINTON, G. Deep learning. **Nature**, v. 521, n. 7553, p. 436-444, 2015.

LIMA, R. A. Z., **Armazenamento de feijão: uso da embalagem à vácuo na manutenção da qualidade**. 2013, p. 105. Tese (doutorado) entregue à Universidade Federal de Lavras, 2013.

MAMBRIN, R. B. et al. SELEÇÃO DE LINHAGENS DE FEIJÃO COM BASE NO PADRÃO E NA QUALIDADE DE SEMENTES. **Rev. Caatinga**, v. 28, n. 3, p. 147-156, 2015.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2020. Disponível em:

<[http://extranet.agricultura.gov.br/php/snpc/cultivarweb/cultivares\\_registradas.php](http://extranet.agricultura.gov.br/php/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php)>. Acesso em: 12 nov. 2020.

MARLES, S.; VANDENBERG, A.; BETT, K. Polyphenol oxidase activity and differential accumulation of polyphenolics in seed coats of pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) characterize postharvest color changes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, p. 7049-7056, 2008.

MATTAR, E. P. L. et al. Feijões do Vale do Juruá [livro eletrônico]. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Acre – IFAC. Rio Branco, 2016.369 p.

MELO, C. L. P. et al. Linhagens de feijão do cruzamento Ouro Negro x `Pérola` com características agronômicas favoráveis. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 1593-1598, 2006.

MELO, L. C. et al. Interação com ambientes e estabilidade de genótipos de feijoeiro comum na Região Centro Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 715-723, 2007.

MELO, R.A. et al. Use of X-ray to evaluate damage caused by weevils in cowpea seeds. **Horticultura Brasileira**, v. 28, n. 4, p. 472-476, 2010.

MIRANDA, J. I. **Processamento de imagens digitais: métodos multivariados em Java**. 1ed. Editora: Embrapa. 2011. 400p.

OTSU, N. A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms. **EEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, v. 9, n. 1, p. 62-66, 1979.

PADILHA, H. C. et al. Importância do consumo do feijão comum para o brasileiro. In: **Embrapa Arroz e Feijão-Resumo em anais de congresso (ALICE)**. Congresso Nacional de Pesquisa de Feijão, 12, 2017, Piracicaba.

PAULA JÚNIOR, T. J.; WENDLAND, A. **Melhoramento genético do feijoeiro-comum e prevenção de doenças**. Viçosa, MG: EPAMIG Zona da Mata, 2012. 157 p.

PERINA, E. F. et al. Technological quality of common bean grains obtained in different growing seasons. **Bragantia**, v. 73, n. 1, p.14-22, 2014.

PINTO, C. A. G. **Relação entre tamanho e potencial fisiológico de sementes de soja sob variações da disponibilidade hídrica**. Piracicaba, 2017. 64 p.

PINTO, J. V. Propriedades, física, químicas, nutricionais e tecnológicas de feijões (*Phaseolus vulgaris*L.) de diferentes grupos de cor. 2016. 167 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

PIRES, L.P.M. et al. Recurrent mass selection for upright plant architecture in common bean. **Scientia Agrícola**, v. 71, p. 240-243, 2014.

POSSOBOM, M. T. D. F. **Controle genético da coloração do tegumento e da concentração de ferro em sementes de feijão mesoamericano e andino**. 2014. 73 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Cultivares. In: VIEIRA, C.; PAULA JR., T. J. de; BORÉM, A. (Ed.). **Feijão**. 2. Ed. Viçosa: Editora UFV, 2006. p. 415-436.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; CARNEIRO, J. E. S. Cultivares. **Informe Agropecuário**, v. 25, n. 223, p. 21-32, 2004.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; SANTOS, J. B. Genetic progress after four cycles of recurrent selection for yield and grain traits in common bean. **Euphytica**, v. 144, p. 23-29, 2005.

\_\_\_\_\_. Melhoramento de espécies autógamas. In: NASS, L. L. et al. (Ed.). **Recursos genéticos e melhoramento de plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p. 201-230.

RAMALHO, M. A. P.; PIROLA, L. H.; ABREU, A. F. B. Alternativas na seleção de plantas de feijoeiro com porte ereto e grão tipo carioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 12, p. 1989-1994, 1998.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. Melhoramento do Feijão. Feijão | Tecnologia de Produção. **Informe Agropecuário**, v. 8, n. 90, 1982.

RAMOS, L. I.; LIMA, I. S. Narrativas do feijão histórias sobre o grão de preferência nacional. SEMOC – Semana de Mobilização Científica (21:2018: Salvador, BA).

REGO, C. H. Q. **Avaliação da morfologia interna e do vigor de sementes de feijão-caupi por meio de técnicas de análise de imagens**. 2019. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2020.

RIBEIRO, N. D.; POSSEBON, S. B.; STORCK, L. Progresso genético em caracteres agrônômicos no melhoramento do feijoeiro. **Ciência Rural**, v. 33, n. 4, p. 629-633, 2003.

RIBEIRO, N. D.; STORCK, L.; POERSCH, N. L. Classificação de lotes comerciais de feijão por meio da claridade do tegumento dos grãos. **Ciência Rural**, v. 38, n. 7, p. 2042-2045, 2008.

RODRIGUES, L. L. et al. Genetic control of seed coat darkening in common bean cultivars from three market classes. **Crop Science**, v. 59, p. 2046-2054, 2019.

SABROL, H. Recent studies of image and soft computing techniques for plant disease recognition and classification. **International Journal of Computer Applications**, v. 126, n. 1, p. 44-55, 2015.

SENA, M. R. Melhoria Participativa na cultura do feijoeiro. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas). 2006. 57 p. Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

SILVA, A. G.; ROCHA, L. C.; CANNIATI BRAZACA, S. G. Caracterização físico-química, digestibilidade proteica e atividade antioxidante de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Alimentos e Nutrição**, v. 24, n. 4, p. 591-598, 2009.

SILVA, F. B.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, Â. D. F. B. Seleção recorrente fenotípica para florescimento precoce de feijoeiro 'Carioca'. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 42, n. 10, p. 1437-1442, 2007.

SILVA, N. M. Qualidade tecnológica de cultivares de feijão preto e carioca recomendadas nos últimos 60 anos no Brasil. 2018. 32 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2018.

SILVA, O. F.; WANDER, A. E. **Caracterização e avaliação econômica do sistema de cultivo de feijão comum irrigado no Cerrado o caso da cultivar BRS Estilo**. 2018. In: TÔSTO, S. G.; BELARMINO, L. C.; CASTRO, G. S. A.; MANGABEIRA, J. A. de C.; SILVA, O. F. da (Ed.). Caracterização e avaliação econômica de sistemas de produção e cultivo de grãos em biomas brasileiros. Brasília, DF: Embrapa, 2018. p. 47-68.

\_\_\_\_\_. O feijão-comum no Brasil: passado, presente e futuro. Santo Antônio de Goiás: **Embrapa Arroz e Feijão**, 2013. 63 p.

SIQUEIRA, B. S. **Desenvolvimento dos fenômenos de escurecimento e endurecimento em feijão carioca: aspectos bioquímicos e tecnológicos**. 2013. 125 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.

SINGH, A. et al. Machine learning for high-throughput stress phenotyping in plants. **Trends in Plant Science**, v. 21, n. 2, p. 110-124, 2016.

SOLOMON, C.; BRECKON, T. **Fundamentos de processamento digital de imagens: uma abordagem prática com exemplos em matlab**. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2013

SOUZA, A. A. de. et al. **Produtividade de Genótipos de Feijão-Comum em Ensaio de VCU do Grupo Cores, no Norte de Minas Gerais, Conduzidos na “Safrade Inverno” do Ano 2013**. In: 8º Fórum FEPEG. Unimontes, 2014.

TABANATA, T. et al. American Society of Plant Biologists. SmartGrain: high-throughput phenotyping software for measuring seed shape through image analysis. **Plant Physiology**, v. 160, n. 4, p. 1871-1880, 2012.

TACO - **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos**. Disponível em: < <http://www.tbca.net.br/index.html> >. Acesso em: 26 jun. 2020.

TATTARIS, M.; REYNOLDS, M. P.; CHAPMAN, S. C. A Direct comparison of remote sensing approaches for high-throughput phenotyping in plant breeding. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, n. 1131, p. 1-9, 2016.

VARGA, F. et al. How does Computer vision compare to standard colorimeter in assessing the seed coat color of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) **Journal of Central European Agriculture**, v. 20, n. 4, p.1169-1178, 2019.

VASCONCELLOS, R. C. C. et al. Genetic progress in late cycles of recurrent selection for resistance to white mold in common bean. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, v. 61, p. 159-160, 2018.

VENORA, G. et al. Identification of Italian landraces of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) using an image analysis system. **Scientia Horticulturae**, v. 121, p. 410-418, 2009.

VENORA, G. et al. Tuscany beans landraces, on-line identification from seeds inspection by image analysis and Linear Discriminant Analysis. **Agrochimica**, v. 51, n 4-5, p. 254-268, 2007.

VIEIRA, C. et al. Melhoramento do feijão. In: BORÉM, A., (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: UFV, 2005. p. 301-392.

VOYSEST, V. O. **Mejoramento genético del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.): legado de variedades de América Latina 1930-1999**. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 2000. 19.

WALTER, A.; LIEBISCH, F.; HUND, A. Plant phenotyping: From bean weighing to image analysis. **Plant Methods**, v. 11, n. 1, p. 1-11, 2015.

WERBOS, P. J. **Beyond regression: new tools for prediction and analysis in the behavioral sciences**. Massachusetts: Harvard University, 1974.

WANG, L. et al. HYPO Trace: image analysis software for measuring hypocotyl growth and shape demonstrated on Arabidopsis seedlings undergoing photomorphogenesis. **Plant Physiology**, v. 149, p. 1632-1637, 2009.

WEIGHT, C.; PARNHAM, D.; WAITES, R. Leaf Analyser: a computational method for rapid and large-scale analyses of leaf shape variation. **Plant Journal**, v. 53, p. 578-586, 2008.

**CAPÍTULO 2**  
**VISÃO COMPUTACIONAL APLICADA À AVALIAÇÃO DA COR DO**  
**TEGUMENTO EM FEIJÃO CARIOCA**

## RESUMO

O feijão carioca é o tipo comercial mais produzido e consumido no Brasil. Assim, os principais programas de melhoramento do feijoeiro no país têm focado no melhoramento desse tipo de grão. O aspecto comercial dos grãos é um dos caracteres de grande importância na adoção de uma nova cultivar. Dentre os atributos relacionados ao aspecto comercial dos grãos, a cor mais clara e o escurecimento tardio com o armazenamento são fundamentais. Apesar do sucesso na seleção para esses caracteres, os melhoristas encontram dificuldades no processo de avaliação, que de modo geral é feito por meio de escala de notas, de forma subjetiva. Diante disso, a implementação de ferramentas que possam tornar o processo de avaliação menos laborioso e mais preciso são imprescindíveis. Assim, o objetivo deste trabalho foi propor o emprego de uma metodologia digital baseada em visão computacional para avaliar linhagens de feijão carioca quanto à cor do tegumento dos grãos. Um total de 71 linhagens de feijão de grãos tipo carioca de diferentes anos de recomendação e instituições de pesquisa do Brasil foram avaliadas em Lavras, MG, nas safras das “águas” de 2019 e da “seca” de 2020. Os experimentos foram conduzidos no Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em delineamento de blocos casualizados com três repetições. As linhagens foram avaliadas visualmente quanto à cor do tegumento dos grãos logo após a colheita e aos 90 dias após a primeira avaliação. Também foi realizada a aquisição de uma imagem em ambas as épocas de avaliação de cada parcela dos experimentos, contendo cerca de 100 grãos. A obtenção das imagens foi realizada com auxílio do equipamento GroundEye® (S800) no Laboratório de Imagens (LAS-UFLA) do Setor de Sementes do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras. As imagens foram processadas em linguagem *Python* a fim de mensurar o valor de pixel no canal L mais frequente (moda) nos grãos das imagens em ambas as épocas de avaliação. Os dados das linhagens quanto às avaliações visual e digital dos grãos foram submetidos a análises individuais e conjuntas de variância. As médias das linhagens quanto às características avaliadas foram submetidas ao teste de Scott – Knott. Constatou-se que a moda dos valores de pixel no canal L é um bom indicativo da cor do tegumento dos grãos e, portanto, deve ser utilizado como uma característica para discriminar as linhagens avaliadas. Além disso, a avaliação digital, baseada em visão computacional da cor do tegumento dos grãos de linhagens de feijão carioca, demonstrou ser mais precisa que a avaliação visual.

Palavras-chaves: Melhoramento do Feijoeiro; Fenômica; Imagens.

## ABSTRACT

The carioca bean is the commercial type most produced and consumed in Brazil. Thus, the main bean improvement programs in the country have focused on the improvement of this type of grain. The commercial aspect of the grains is one of the characters of great importance in the adoption of a new cultivar. Among the attributes related to the commercial aspect of the grains, the lighter color and late darkening with storage are founded. Despite the success in selecting these characters, breeders find difficulties in the evaluation process, which is generally done through a grading scale, in a form of specification. Therefore, the implementation of tools that can make the evaluation process less laborious and more accurate is essential. Thus, the objective of this work was to propose the use of a digital methodology based on computer vision to evaluate carioca bean lines regarding the color of the seed coat. A total of 71 carioca bean lines from different years of recommendation and research institutions in Brazil were evaluated in Lavras, MG, in the 2019 “water” and 2020 “dry” crops. The experiments were conducted in the Scientific and Technological Development Center, Federal University of Lavras (UFLA), in a randomized block design with three replications. The lines were visually evaluated for seed coat color right after harvest and for seed coat darkening in 90 days after the first evaluation. An image was also acquired for both evaluation times of each experimental plot containing about 100 grains. The images were obtained with the aid of the GroundEye® equipment (S800) in the Image Laboratory (LAS-UFLA) of the Seed Center in the Department of Agriculture of the Federal University of Lavras. The images were processed in Python to measure the pixel value in the most frequent L channel (mode) in the image grains of both evaluation times. The lineage data regarding the visual and digital evaluations of the grains were analyzed by individual and joint analysis of variance. The means of the lines regarding the evaluated characteristics were submitted to the Scott - Knott test. It was verified that the mode of pixel values in the L channel was found to be a good indicative of the grain coating color and therefore should be used as a characteristic to discriminate the evaluated lines. In addition, a digital evaluation based on computer vision of the coating color of grains from carioca bean lines needs to be more accurate than a visual evaluation.

**Keywords:** Common Bean Breeding; Phenomics; Images.

## 1 INTRODUÇÃO

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma das culturas que apresentam grande variabilidade de grãos quanto a cor, tamanho e formato. Essas particularidades são muito valorizadas pelo consumidor e pela indústria, sendo fundamentais para a aceitação de uma nova cultivar (EMBRAPA, 2017; TABANATA et al., 2012; CARNEIRO et al., 2005; VIEIRA et al., 2005). O feijão do tipo carioca é o mais cultivado e consumido no Brasil, por mais de 70% da produção nacional (SOUZA et al., 2013), motivo pelo qual os programas de melhoramento do Brasil se dedicam, especialmente, ao desenvolvimento de cultivares desse grupo comercial.

A aceitação dos grãos de feijão carioca pelos consumidores é condicionada à coloração do tegumento. Por isso, os produtores desta cultura buscam por cultivares de feijão carioca que apresentem grãos que permanecem claros por maior tempo. Assim, mesmo que armazenados, os grãos permanecerão claros sem perda de valor comercial. Uma vez que esta é uma das principais demandas dos produtores, os programas de melhoramento têm se dedicado ao desenvolvimento de cultivares com este fenótipo. A cultivar BRSMG Madrepérola é um exemplo de sucesso do melhoramento do feijoeiro quanto a este caráter, pois apresenta grãos claros com escurecimento lento do tegumento (CARNEIRO et al., 2012).

A avaliação da cor e do escurecimento do tegumento do feijão carioca tem sido, em sua maior parte, realizada visualmente (SIQUEIRA, 2013; ARAUJO, 2012) e, em algumas situações, por meio do colorímetro (SILVA, 2007; QUEIROZ, 2004). As atribuições de notas nas avaliações visuais são realizadas por um ou mais avaliadores, que se utilizam de uma escala padrão para a característica e, por isso, dependem da experiência dos avaliadores em reconhecer os padrões pré-estabelecidos na escala (ARAÚJO, 2012). Portanto, avaliações desta natureza não apresentam a mesma precisão quando comparadas à realizada em um equipamento.

A cor do tegumento dos grãos, quando quantificada em um colorímetro, é determinada por três valores relativos aos canais (“L”, a\* e b\*) do sistema de cor Lab, estabelecido pela Comissão Internacional de Iluminação (CIE) de 1976 (CIE, 1976). Um dos entraves desta quantificação é que este equipamento se utiliza de uma pequena amostra de grãos para realizar a mensuração, o que pode reduzir a precisão da avaliação. Além disso, esta mensuração requer maior quantidade de tempo, o que inviabiliza a sua utilização quando são avaliados um grande número de genótipos.

No sistema CIE Lab, o valor de “L” representa a luminosidade, e os valores de a\* e b\* indicam a cromaticidade. O valor de “L”, que caracteriza a luminância, é expresso de 0 para o preto a 255 para o branco; o valor de a\* representa a cromaticidade do tom verde ao vermelho

e adquire valor de -60 a +60; e o valor de  $b^*$ , ou seja, a saturação do azul ao amarelo, apresenta valores de -60 a +60 (POSSOBOM, 2014; BERNARDO, 2010).

A acurácia de seleção para qualquer caráter é altamente influenciada pela precisão na sua avaliação (RAMALHO et al., 2012). Portanto, o emprego de novas metodologias de avaliação mais precisas irá proporcionar maior sucesso na seleção. A visão computacional fornece ferramentas como as de imagens para auxiliar no aumento da precisão na avaliação de diversos caracteres. Dentre as vantagens das avaliações desta natureza, estão o maior número de dados gerados, a maior rapidez de execução e a automação do processo. Ademais, problemas de amostragem, como o relatado quando se utiliza o colorímetro, também são reduzidos, uma vez que, em uma única imagem, pode conter um grande número de grãos.

A visão computacional é empregada ostensivamente em áreas como a medicina, engenharias e computação (ALMEIDA, 2019). O melhoramento vegetal é uma área cujos problemas são similares aos de áreas em que a visão computacional tem sido utilizada. Até pouco tempo, poucas eram as pesquisas que visavam utilizar imagens para auxiliar na seleção e identificação de genótipos superiores. Outras áreas da genética, como a genômica, desenvolveram-se muito rápido. Entretanto, as avaliações fenotípicas ficaram estagnadas por muito tempo (CROSSA et al., 2017). Porém, já se sabe que somente as informações moleculares não são suficientes. Assim, avaliações fenotípicas de alta qualidade são fundamentais para acompanhar os avanços da genômica e, conseqüentemente, aumentar a acurácia de seleção.

A utilização de imagens no melhoramento genético do feijoeiro, especialmente na avaliação de grãos, constitui uma importante ferramenta para auxiliar na seleção de genótipos superiores. Entretanto, esta ferramenta ainda tem sido pouco explorada pelos programas de melhoramento da cultura. Portanto, torna-se necessário o aprimoramento de técnicas e recursos computacionais voltados à avaliação de grãos com foco no melhoramento genético. Esta seria uma alternativa a ser empregada na avaliação da coloração e do escurecimento dos grãos de feijão carioca, que tem sido realizada rotineiramente de forma visual pelos programas de melhoramento. Portanto, o objetivo deste trabalho foi propor e avaliar o emprego de uma metodologia digital baseada em visão computacional para avaliar linhagens de feijão carioca quanto à cor do tegumento dos grãos.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Um total de 71 linhagens de feijão de grãos tipo carioca (Tabela 1), de diferentes instituições de pesquisa do Brasil, foram avaliadas em experimentos de campo nas safras “águas” de 2019 e “seca” de 2020. A cultivar GOL foi avaliada somente na safra “seca” de 2020, enquanto as demais foram avaliadas em ambos os experimentos. As avaliações foram conduzidas na área experimental do Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico da Universidade Federal de Lavras (UFLA), situado a 918 metros de altitude, 21°58’ de latitude Sul e 42°22’ de longitude Oeste. O delineamento experimental foi feito em blocos casualizados e com três repetições. As parcelas experimentais foram compostas por duas linhas de dois metros, espaçadas de 0,6 metros. A adubação e os tratos culturais foram realizados de acordo com o recomendado para a cultura do feijão no Estado de Minas Gerais, segundo Carneiro et al. (2014).

Tabela 1 - Linhagens de feijão carioca recomendadas no Brasil ou em desenvolvimento, ano de recomendação ou desenvolvimento e instituição de origem (continua).

<b>Linhagens</b>	<b>Ano</b>	<b>Origem</b>	<b>Linhagens</b>	<b>Ano</b>	<b>Origem</b>
Carioca 1030	1970	IAC	IPR Eldorado	2006	IAPAR
Carioca 80	1980	IAC	BRS Cometa	2006	Embrapa
IAC Aysó	1980	IAC	IPR Tangará	2007	IAPAR
Carioca MG	1982	UFLA	IAC Alvorada	2007	IAC
IAPAR 16	1986	IAPAR	IPR 139	2007	IAPAR
IAC Carioca	1987	IAC	BRS Estilo	2009	Embrapa
IAPAR 80	1987	IAPAR	IAC Formoso	2010	IAC
Rio doce	1987	EMCAPA	IPR Campos Gerais	2011	IAPAR
Carioca 1070	1989	IAC	BRS Notável	2011	Embrapa
IAPAR 31	1991	IAPAR	BRS Ametista	2011	Embrapa
Aporé	1992	EMGOPA	BRSMG Madrepérola	2012	Convênio
IAPAR 57	1992	IAPAR	VC 17	2013	UFV
FT Bonito	1992	FT- Sementes	IPR Curió	2013	IAPAR
Rudá	1994	EMCAPA	IPR Andorinha	2013	IAPAR
IAC Pyatã	1994	IAC	IAC Milênio	2013	IAC
BR- IPA 11- Brígida	1994	IPA/PE	IAC Imperador	2013	IAC
Rudá R	1995	UFV	TAA Dama	2013	Agropecuária Terra Alta
IAC Aruã	1996	IAC	TAA GOL	2013	Agropecuária Terra Alta
BRS Pérola	1996	Embrapa	IPR Quero-Quero	2014	IAPAR
IAC Akytã	1996	IAC	BRSMG Uai	2015	Convênio

Tabela 1 - Linhagens de feijão carioca recomendadas no Brasil ou em desenvolvimento, ano de recomendação ou desenvolvimento e instituição de origem (conclusão).

<b>Linhagens</b>	<b>Ano</b>	<b>Origem</b>	<b>Linhagens</b>	<b>Ano</b>	<b>Origem</b>
Princesa	1997	Embrapa	VC15	2015	UFV
IAPAR 81	1997	IAPAR	IPR Bem-te-vi	2015	IAPAR
Porto Real	1998	FT- Sementes	BRS FC 104	2017	Embrapa
BRSMG Talismã	2002	Convênio	BRS Majestoso	2006	Embrapa
BRS Pontal	2003	Embrapa	BRS FC 406	2016	Embrapa
BRS Requite	2003	Embrapa	RPXI-26	2020	UFLA
BRS Horizonte	2004	Embrapa	BRSMG Zape	2020	UFV
IPR Colibri	2004	IAPAR	BRSMG Amuleto	2020	UFLA
IPR Saracura	2004	IAPAR	RPXI-18	2020	UFLA
SCS Guará	2004	EPAGRI	CXIII-1.23	2020	UFLA
IAC Ybaté	2005	IAC	MAX-10	2020	UFLA
BRSMG Pioneiro	2005	Convênio	MAX-9	2020	UFLA
IAC Votuporanga	2005	IAC	RPXI-43	2020	UFLA
IAC Apuã	2005	IAC	*BRS CNFC 15534	2021	Embrapa
IPR Siriri	2006	IAPAR			

Embrapa: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; IAC: Instituto Agronômico de Campinas; IAPAR: Instituto Agronômico do Paraná; EPAGRI: Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina; EMCAPA: Empresa Capixaba de Pesquisa Agropecuária; EMGOPA: Empresa Goiana de Pesquisa Agropecuária; IPA/PE: Instituto Agronômico de Pernambuco; UFV: Universidade Federal de Viçosa; UFLA: Universidade Federal de Lavras; Epamig: Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais; Convênio: Parceria entre UFLA, UFV, Embrapa e Epamig. \*BRS CNFC 15534: linhagem em desenvolvimento.

Fonte: Do autor (2021).

As linhagens foram avaliadas quanto à cor do tegumento dos grãos logo após a colheita e 90 dias após a primeira avaliação, conforme adaptação da escala de notas proposta por Silva et al., (2007). Nesta escala, a nota 1 refere-se a cor de fundo dos grãos muito clara, 2 mediamente claro, 3 claro, 4 mediamente escuro e 5 muito escuro (FIGURA 2). Além destas classes, também foram atribuídas notas intermediárias (1,5; 2,5; 3,5 e 4,5) entre cada uma destas classes.

Figura 2 - Escala de notas utilizada na avaliação da coloração de grãos de feijão carioca, conforme Silva et al. (2007).



Fonte: Do autor (2021).

A aquisição das imagens dos grãos de cada linhagem seguiu a mesma estrutura de delineamento em blocos casualizados utilizada na avaliação visual dos grãos das parcelas obtidas nos experimentos de campo. Assim, foi obtida uma imagem contendo cerca de 100 grãos de cada parcela. A obtenção das imagens foi realizada no Laboratório de Imagens (LAS-UFLA) do Setor de Sementes do Departamento de Agricultura da UFLA. As imagens, em formato “.jpg”, foram obtidas no equipamento GroundEye®, modelo S800, composto por um módulo de captação de imagens (ANDRADE, 2017; ÁVILA, 2017; PINTO, 2017).

No momento da captura das imagens de cada parcela no equipamento GroundEye®, modelo S800, foram tomados os seguintes cuidados: disposição dos grãos na bandeja de forma a não encostar um no outro e estarem todos dentro da área de captação da imagem e observação no computador se no momento do fechamento da bandeja houve a movimentação de grãos, fazendo com que se encostassem um no outro ou saíssem da área delimitada de captação da imagem. Esses cuidados são necessários, para que se tenha a garantia de que a imagem será composta por todos os grãos da parcela. E também, para que essas imagens possam ser usadas para outros tipos de avaliações, como por exemplo, para avaliar o formato, que precisa que os grãos não estejam se encostando, pois isso comprometerá a análise no software posteriormente.

As imagens capturadas de cada parcela foram submetidas à segmentação para obtenção somente da região dos grãos e eliminação do fundo da imagem. Nesta etapa, a imagem obtida no sistema de cor RGB foi convertida para o sistema Lab para tornar o processo de segmentação mais facilitado. A matriz da imagem do canal b foi utilizada como base para aplicar a técnica de segmentação de limiarização proposta por Otsu (1979). O valor de limiar foi utilizado para gerar uma imagem colorida no sistema de cor Lab contendo somente os grãos, e outra contendo o fundo da imagem. A partir da imagem contendo somente os grãos, foi obtido o histograma

do canal L somente da área útil dos grãos. Também foi quantificado o valor de pixel mais frequente do canal L nesta região. Este canal foi adotado por informar a quantidade de luz branca na imagem. Assim, foram obtidas as modas dos pixels dos grãos no canal L após a colheita e 90 dias após a primeira avaliação. Todo o processamento das imagens foi realizado com auxílio da biblioteca OPENCV, da linguagem *Python*.

As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do *software* GENES (CRUZ, 2013). Os dados das linhagens quanto à avaliação visual e digital dos grãos foram submetidos às análises individuais de variância, conforme o modelo estatístico:

$$Y_{ij} = \mu + b_j + l_i + e_{ij}$$

em que:

$Y_{ij}$  é o valor observado na parcela que contém a  $i$ -ésima linhagem no  $j$ -ésimo bloco;

$\mu$  é a média geral do experimento;

$B_j$  é o efeito aleatório do  $j$ -ésimo bloco;

$L_i$  é o efeito fixo da  $i$ -ésima linhagem e

$e_{ij}$  é o erro aleatório que incide na parcela da  $i$ -ésima linhagem no  $j$ -ésimo bloco.

Nas análises de variância em que o efeito de linhagens foi significativo, foram realizados testes de agrupamento de média segundo Scott -Knott (1974).

Foram realizadas análises conjuntas de variância conforme o seguinte modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + B/E_{jk} + L_i + E_j + LE_{ij} + e_{ijk}$$

no qual:

$Y_{ijk}$  é o valor observado da  $i$ -ésima linhagem, no  $j$ -ésimo ambiente e  $k$ -ésimo bloco;

$\mu$  é a média geral dos experimentos;

$L_i$  é o efeito fixo da  $i$ -ésima linhagem;

$B/E_{jk}$  é o efeito aleatório do  $k$ -ésimo bloco dentro do  $j$ -ésimo ambiente;

$E_j$  é o efeito fixo do  $j$ -ésimo ambiente;

$LE_{ij}$  é o efeito fixo da interação da  $i$ -ésima linhagem com o  $j$ -ésimo ambiente e

$e_{ijk}$  é o erro aleatório associado a  $Y_{ijk}$ .

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

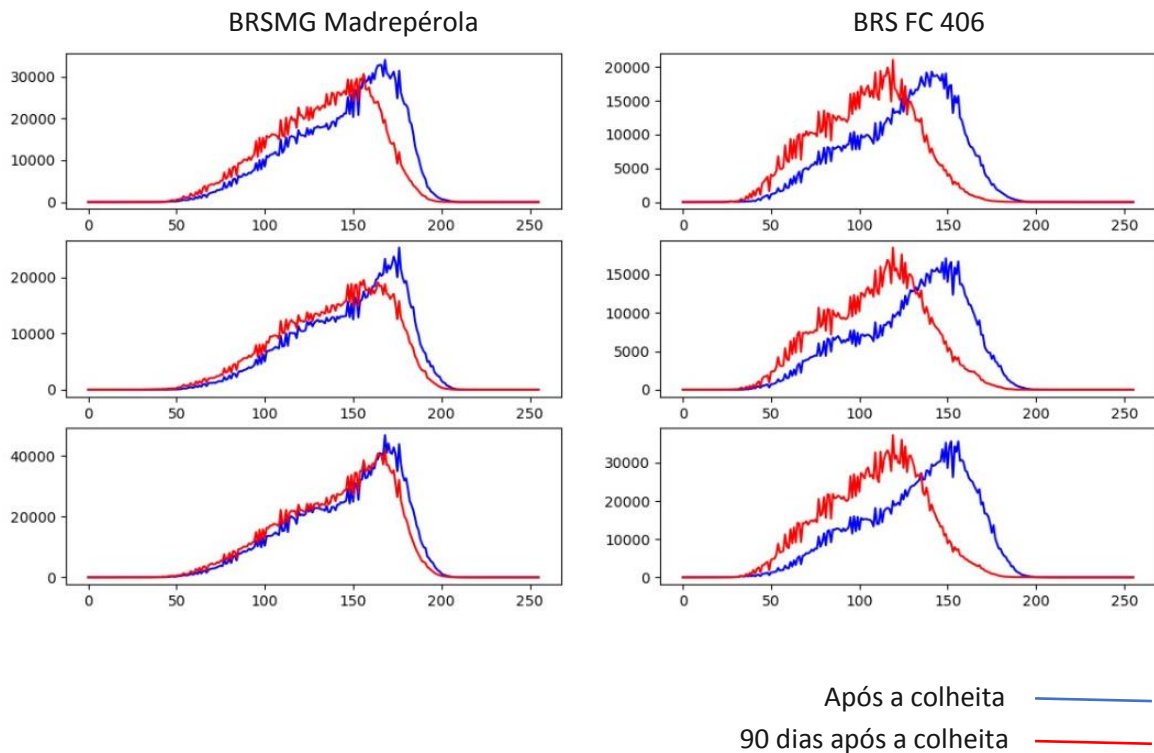
A distribuição, no canal L, dos valores dos pixels dos grãos de uma mesma linhagem em uma mesma época de avaliação foi similar nas três repetições dos experimentos (Figuras 3 e 4). Entretanto, foi constatada diferença nas distribuições quando se comparou linhagens diferentes nas mesmas épocas de avaliação. Essa diferença foi mais pronunciada no experimento conduzido na safra “seca” de 2020 (Figura 4). Neste experimento, foi observado que cultivares como a BRSMG Madrepérola, que possuem grãos mais claros, apresentaram maior quantidade de pixels com valores mais elevados, enquanto cultivares com grãos mais escuros, como a BRS FC 406, apresentaram maior quantidade de pixel com valores mais baixos. Portanto, verificou-se que o canal L foi suficiente para demonstrar as diferenças de cor do tegumento dos grãos das cultivares avaliadas.

O escurecimento dos grãos ao longo do tempo foi evidenciado pelas diferenças nas distribuições dos valores dos pixels dos grãos de uma mesma linhagem na mesma parcela em épocas de avaliação diferentes (Figuras 3 e 4). As cultivares que possuem grãos com escurecimento lento do tegumento, como a BRSMG Madrepérola, apresentaram histogramas após a colheita muito similares àqueles de imagens obtidas 90 dias após a primeira avaliação. Para esta cultivar, houve uma redução mínima no valor da moda dos pixels das imagens obtidas após a colheita em relação a de 90 dias após a primeira avaliação. Já cultivares com grãos que escurecem rapidamente, como a BRS FC 406, apresentaram histogramas distintos nas duas épocas de avaliação. Houve, de modo geral, uma considerável redução na quantidade dos pixels com valores mais elevados nos histogramas das imagens obtidas 90 dias após a primeira avaliação, especialmente na moda. Laurent et al. (2010) ao avaliar, por meio de visão computacional, o escurecimento do tegumento de grãos do tipo vermelho ao longo do tempo, verificaram comportamento similar.

A moda dos valores de pixels no canal L é um bom indicativo da cor do tegumento dos grãos, uma vez que representa os valores mais frequentes na imagem. Portanto, pode ser utilizada como uma característica para discriminar as linhagens avaliadas. Trabalhos com colorímetro também utilizam o canal L para indicar a cor do tegumento dos grãos (VARGA et al., 2019). Entretanto, tais trabalhos se baseiam na média da região capturada. Neste trabalho, optou-se pela moda dos valores dos pixels que constituem todos os grãos de cada imagem, uma vez que a maioria dos pixels constituintes dos grãos são da região do fundo dos mesmos e, portanto, essa variável não sofre influência da coloração das rajas. A utilização da moda dos valores dos pixels, desta forma, também agiliza todo o processamento das imagens, uma vez

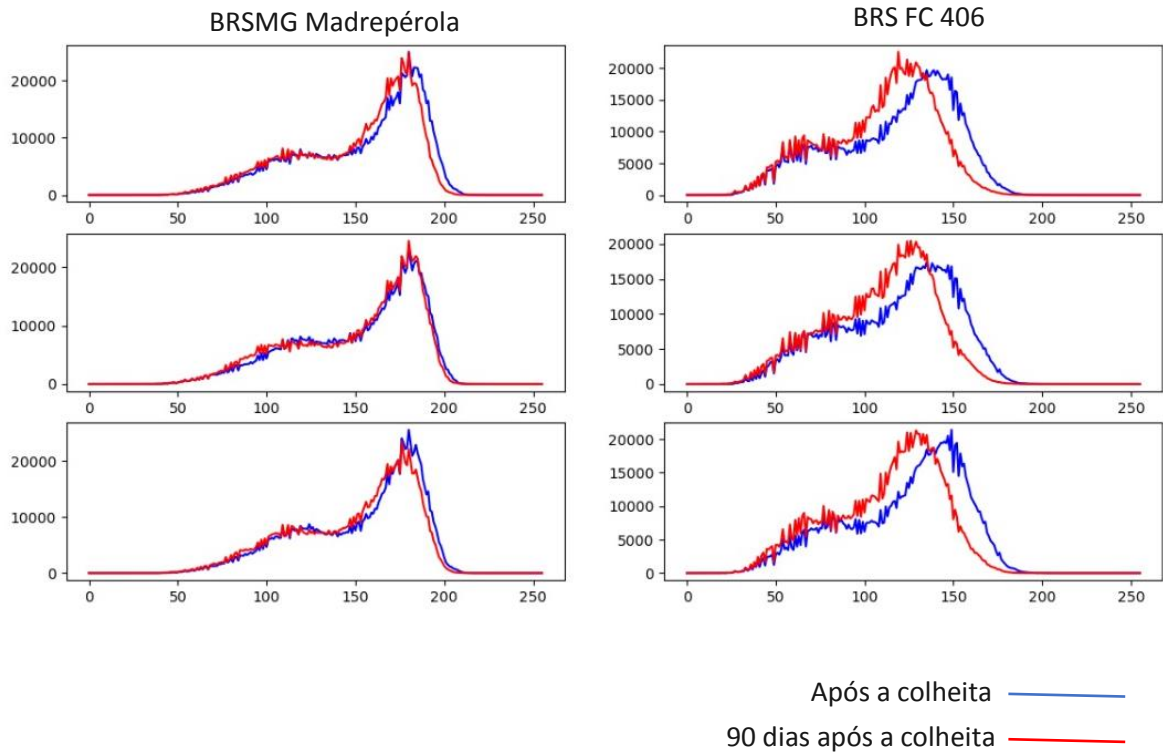
que não requer obter dados individualizados dos grãos. Desta maneira, é obtido um único histograma que contempla a região de todos os grãos das imagens.

Figura 3 - Histograma dos valores de pixel do canal L dos grãos das linhagens BRSMG Madrepérola e BRS FC 406, nas três repetições do experimento da safra “águas” de 2019.



Fonte: Do autor (2021).

Figura 4 - Histograma dos valores de pixel do canal L dos grãos das linhagens BRSMG Madrepérola e BRS FC 406 nas três repetições do experimento da safra “seca” de 2020.



Fonte: Do autor (2021).

O efeito de linhagens foi significativo tanto para as notas de cor do tegumento dos grãos após a colheita (NE0), quanto aos 90 dias após a primeira avaliação (NE90), em ambos os experimentos (Tabela 2). Portanto, foi detectado que pelo menos uma das médias das linhagens para essas características diferiu das demais. Foram observados valores de coeficiente de variação (CV) de 16,11% e 18,15% na safra “úguas” de 2019 para NE0 e NE90, respectivamente. Já na safra “seca” de 2020, foram obtidos os valores de CV de 15,33% para NE0, e 10,07% para NE90. Esses CVs são semelhantes aos encontrados na literatura para esta característica (RODRIGUES, 2018). Tais valores são considerados médios de acordo com PIMENTEL-GOMES (1985) e, portanto, evidenciam a boa precisão experimental destas avaliações.

Tabela 2 - Resumo das análises individuais de variância para as notas de cor do tegumento dos grãos após a colheita (NE0) e aos 90 dias após a primeira avaliação (NE90), dos experimentos de avaliação de linhagens nas safras “águas” de 2019 e “seca” de 2020.

FV	GL	QM			
		ÁGUAS 2019		SECA 2020	
		NE0	NE90	NE0	NE90
Blocos	2	1,1021	1,5575	0,8055	0,8886
Linhagens	(69) 70 <sup>+</sup>	2,1065 <sup>**</sup>	2,9363 <sup>**</sup>	3,4332 <sup>**</sup>	2,0789 <sup>**</sup>
Resíduo	(138) 140	0,3104	0,5432	0,2604	0,1163
Média	-	3,4577	4,0610	3,3282	3,3842
CV (%)	-	16,1139	18,1490	15,3327	10,0768

FV: Fonte de Variação; GL: grau de liberdade; QM: Quadrado Médio; CV (%): Coeficiente de Variação; NE0: Nota de cor do tegumento logo após a colheita; NE90: Nota de cor do tegumento 90 dias após a colheita. <sup>+</sup>Valores entre parênteses representam graus de liberdade para o experimento realizado na safra “águas” de 2019, e valores sem parênteses representam graus de liberdade para o experimento realizado na safra “seca” de 2020. <sup>\*\*</sup>: significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Fonte: Do autor (2021).

Nas análises individuais de variância para os dois experimentos, foi observado efeito significativo de linhagens para a moda dos valores de pixels dos grãos no canal L, tanto após a colheita (MP0), quanto aos 90 dias após a primeira avaliação (MP90) (Tabela 3). Assim como para NE0 e NE90, também foi detectado que pelo menos uma das médias das linhagens avaliadas para essas características diferiu das demais. Na safra “águas” de 2019, os valores de CV para MP0 e MP90 foram de 4,33% e 6,48%, respectivamente. Já na safra da “seca” de 2020, foram obtidos os valores de CV de 3,65% e 3,13% para MP0 e MP90, respectivamente. Segundo Pimentel-Gomes (1985), esses CVs são considerados baixos, o que evidencia a alta precisão experimental.

Tabela 3 - Resumo das análises de variância para moda dos valores de pixels dos grãos no canal L após a colheita (MP0) e aos 90 dias após a primeira avaliação (MP90), dos experimentos nas safras “águas” de 2019 e “seca” de 2020.

FV	GL	QM			
		ÁGUAS 2019		SECA 2020	
		MP0	MP90	MP0	MP90
Blocos	2	177,1455	653,3005	179,3081	17,9354
Linhagens	(69) 70 <sup>+</sup>	389,3976**	480,9824**	371,7206**	474,4787*
Resíduo	(138) 140	42,1075	65,6814	30,4541	19,2255
Média	-	149,6385	125,0328	151,1299	139,7667
CV (%)	-	4,3365	6,4818	3,6515	3,1371

FV: Fonte de Variação; GL: grau de liberdade; QM: Quadrado Médio; CV (%): Coeficiente de Variação; MP0: moda dos valores de pixels dos grãos no canal L após a colheita; NE90: moda dos valores de pixels dos grãos no canal L após 90 dias da primeira avaliação. <sup>+</sup>Valores entre parênteses representam graus de liberdade para o experimento realizado na safra “águas” de 2019, e Valores sem parênteses representam graus de liberdade para o experimento realizado na safra “seca” de 2020. \*\*: significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Fonte: Do autor (2021).

Os valores de CV para as características de cor do tegumento dos grãos obtidos por meio digital (MP0 e MP90) foram inferiores aos observados por meio da avaliação visual com emprego de escala de notas (NE0 e NE90). Houve uma redução de três a quatro vezes no CV das avaliações digitais em relação àquelas obtidas visualmente (Tabelas 2 e 3). Isso é um indicativo de que as avaliações por imagens proporcionam maior precisão experimental, fator crucial para incrementar a acurácia de seleção para este caráter.

As médias da nota de cor do tegumento dos grãos após a colheita (NE0) variaram de 1,33 a 5,00 na safra “águas” de 2019 (Tabela 4). As linhagens foram subdivididas em quatro grupos pelo teste de Scott-Knott, tanto para NE0, quanto para NE90. O grupo com menores notas médias após a colheita foi composto por 11 linhagens, que apresentaram valores menores ou iguais a 2,5. Já o grupo com maiores notas foi composto por 23 linhagens, com notas superiores a 4,17. Aos 90 dias após a colheita, as médias das notas variaram de 1,17 a 5,00. Foram observadas sete linhagens no grupo com menores notas médias para a cor do tegumento dos grãos nessa época de avaliação. Estas apresentaram notas inferiores a 2,33. Já o grupo com maiores notas foi composto por 14 linhagens, com notas superiores a 4,50.

As médias da moda no canal L após a colheita (MP0) variaram de 86,33 a 173,33 no experimento da safra “águas” de 2019 (Tabela 4). Tanto para MP0, quanto para MP90, foram formados cinco grupos de linhagens. O grupo com maiores médias para MP0 foi composto por

duas linhagens (BRSMG Madrepérola e Porto Real), com valores superiores a 170. Somente a linhagem IAC Aysó foi alocada no grupo de menor média para MP0, com o valor de 86,33. Essa foi a única linhagem com média de MP0 inferior a 100, o que indica que ela possui grãos muito escuros logo após a colheita, como também foi observado visualmente.

No experimento da safra “águas” de 2019, as médias de MP90 variaram de 69,33 a 160,00 (Tabela 4). O grupo com maiores médias desta característica foi composto por cinco linhagens, com valores superiores a 147,00. Somente a linhagem IAC Aysó foi alocada no grupo de menor média de MP90, com o valor de 69,33. Semelhante ao que ocorreu logo após a colheita, essa linhagem apresentou média inferior a 100 para a característica MP90.

Tabela 4 - Média da nota de cor do tegumento dos grãos após a colheita (NE0), e aos 90 dias após a primeira avaliação (NE90), e coloração dos grãos obtidas por imagens nas mesmas épocas de avaliação (MP0 e MP90) de cultivares de feijão avaliadas na safra “águas” de 2019 (continua).

<b>CULTIVARES</b>	<b>NE0</b>	<b>NE90</b>	<b>MP0</b>	<b>MP90</b>
IAC Aruã	1,33 d	1,17 d	154,33 c	148,33 a
BRSMG Madrepérola	1,67 d	1,33 d	170,67 a	160,00 a
TAA Dama	1,83 d	1,33 d	160,00 b	151,33 a
MAX-10	1,83 d	3,50 b	163,33 b	139,00 b
IAC Formoso	2,00 d	2,33 d	155,33 c	133,00 b
Porto Real	2,00 d	2,17 d	173,33 a	147,67 a
IAC Milênio	2,00 d	4,17 b	161,67 b	136,33 b
Dama Comércio	2,33 d	1,33 d	153,00 c	147,67 a
CXIII-1,23	2,33 d	3,67 b	161,67 b	137,67 b
MAX-9	2,50 d	3,67 b	155,67 c	128,33 c
IPR 139	2,50 d	3,67 b	160,33 b	136,33 b
IPR Campos Gerais	2,67 c	3,33 c	151,33 c	126,00 c
IPR Andorinha	2,83 c	4,00 b	155,33 c	131,33 b
IPR Siriri	2,83 c	4,17 b	162,33 b	140,67 b
Princesa	2,83 c	3,67 b	151,33 c	120,67 c
BRS Majestoso	3,00 c	2,17 d	160,00 b	139,00 b
CXII-13	3,00 c	4,17 b	151,33 c	127,67 c
SCS Guará	3,00 c	4,50 a	158,67 b	126,67 c
BRSMG Talismã	3,00 c	4,00 b	152,67 c	134,00 b
BRS Estilo	3,00 c	4,17 b	154,00 c	127,67 c
VC 17	3,00 c	4,67 a	154,33 c	125,67 c
BRS CNFC 15534	3,00 c	3,67 b	153,00 c	122,33 c
BRSMG Amuleto	3,00 c	4,67 a	151,00 c	122,33 c
RP 1	3,17 c	3,50 b	150,33 c	124,67 c
VC15	3,17 c	4,00 b	154,33 c	125,33 c

Tabela 4 - Média da nota de cor do tegumento dos grãos após a colheita (NE0), e aos 90 dias após a primeira avaliação (NE90), e coloração dos grãos obtidas por imagens nas mesmas épocas de avaliação (MP0 e MP90) de cultivares de feijão avaliadas na safra “águas” de 2019 (continua).

<b>CULTIVARES</b>	<b>NE0</b>	<b>NE90</b>	<b>MP0</b>	<b>MP90</b>
IPR Eldourado	3,17 c	3,00 c	148,33 c	125,00 c
BRS Pontal	3,17 c	3,17 c	157,00 c	131,00 b
IPR Tangará	3,33 c	3,33 c	159,33 b	140,33 b
RPXI-18	3,33 c	4,17 b	151,00 c	126,00 c
IPR Bem-te-vi	3,33 c	3,83 b	151,33 c	131,33 b
BRSMG Uai	3,33 c	2,83 c	154,33 c	125,67 c
RPXI-26	3,33 c	3,83 b	149,67 c	125,67 c
RPXI-43	3,33 c	3,17 c	156,67 c	132,33 b
IPR Curió	3,33 c	4,33 b	150,67 c	131,67 b
Carioca 1070	3,33 c	5,00 a	149,00 c	119,00 c
BRS Horizonte	3,50 b	4,50 a	153,00 c	122,33 c
IAC Akytã	3,50 b	4,67 a	151,67 c	128,33 c
IAC Imperador	3,50 b	4,67 a	156,00 c	129,67 b
FT Bonito	3,50 b	4,83 a	151,33 c	127,67 c
IPR Saracura	3,67 b	4,00 b	150,67 c	126,00 c
IAPAR 81	3,67 b	3,83 b	154,33 c	125,33 c
BRS Requite	3,67 b	4,00 b	148,33 c	126,00 c
BRSMG Zape	3,67 b	4,33 b	154,33 c	126,00 c
IAC Alvorada	3,67 b	4,50 a	151,33 c	119,00 c
IAC Pyatã	3,83 b	4,33 b	148,33 c	123,67 c
BRS Pérola	3,83 b	5,00 a	153,00 c	124,33 c
IAPAR 57	3,83 b	5,00 a	147,00 c	116,67 d
BRS FC 104	4,00 b	5,00 a	149,00 c	120,67 c
IAC Apuã	4,17 a	4,67 a	150,67 c	122,33 c
BRS Cometa	4,17 a	5,00 a	150,00 c	121,33 c
IPR Quero-Quero	4,17 a	4,50 a	149,00 c	125,67 c
BRSMG Pioneiro	4,17 a	4,33 b	150,33 c	124,00 c
IAC Carioca	4,17 a	4,17 b	149,00 c	122,33 c
Rudá	4,17 a	4,67 a	136,67 d	112,33 d
BRS Notável	4,33 a	4,17 b	149,00 c	124,33 c
IPR Colibri	4,33 a	4,83 a	138,67 d	119,00 c
BR- IPA 11-Brígida	4,33 a	5,00 a	139,67 d	113,33 d
BRS FC 406	4,33 a	5,00 a	148,67 c	119,00 c
IAPAR 31	4,33 a	5,00 a	135,00 d	115,67 d
Carioca 1030	4,33 a	5,00 a	139,00 d	115,67 d
IAPAR 16	4,33 a	5,00 a	133,00 d	107,67 d
Rudá R	4,50 a	4,00 b	144,33 c	109,00 d
BRS Ametista	4,50 a	4,67 a	150,67 c	117,33 d
IAC Votuporanga	4,50 a	5,00 a	135,33 d	116,33 d

Tabela 4 - Média da nota de cor do tegumento dos grãos após a colheita (NE0), e aos 90 dias após a primeira avaliação (NE90), e coloração dos grãos obtidas por imagens nas mesmas épocas de avaliação (MP0 e MP90) de cultivares de feijão avaliadas na safra “úguas” de 2019 (conclusão).

<b>CULTIVARES</b>	<b>NE0</b>	<b>NE90</b>	<b>MP0</b>	<b>MP90</b>
Carioca 80	4,50 a	5,00 a	139,00 d	115,67 d
IAPAR 80	4,50 a	5,00 a	135,00 d	112,33 d
Rio doce	4,50 a	5,00 a	138,00 d	111,00 d
Carioca MG	4,50 a	5,00 a	131,00 d	105,00 d
Aporã	4,50 a	5,00 a	135,00 d	107,67 d
IAC Ybaté	4,50 a	5,00 a	136,00 d	107,67 d
IAC Aysó	5,00 a	5,00 a	86,33 e	69,33 e
Média	3,50	4,17	151,33	125,33

Linhagens com letras iguais na coluna são alocados no mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott (1974) a 5% de probabilidade. NE0: Nota de cor do tegumento logo após a colheita; NE90: Nota de cor do tegumento 90 dias após a colheita; MP0: moda dos valores de pixels no canal L logo após a colheita; MP90 moda dos valores de pixels no canal L 90 dias após a colheita.

Fonte: Do autor (2021).

As médias da nota de cor do tegumento dos grãos após a colheita (NE0) variaram de 1,00 a 5,00 na safra “seca” de 2020 (Tabela 5). No teste de Scott-Knott para NE0 foram formados quatro grupos de linhagens. O grupo com menores médias de NE0 foi composto por 15 linhagens, que apresentaram valores iguais ou inferiores a 2,31. Já o grupo com maiores médias desta característica foi composto por 14 linhagens com notas iguais ou superiores a 4,67. Para NE90, foram observados seis grupos de linhagens com valores médios entre 1,00 a 5,00. Foram observadas duas linhagens (BRSMG Madrepérola e IAC Aruã) no grupo com menores médias para NE90. Estas apresentaram notas inferiores a 1,50. Já o grupo com maiores valores médios para esta característica foi composto por quatro linhagens (BR- IPA 11-Brigida, Rudá, Rudá R e IAC-Aysó), com notas iguais ou superiores a 4,83.

As médias de MP0 variaram 119,00 a 180,00 na safra “seca” de 2020 (Tabela 5). Foram formados seis grupos de linhagens para esta característica. Somente a linhagem BRSMG Madrepérola foi alocada no grupo de maior média para MP0, com o valor de 180,00. Essa foi a única linhagem com MP0 com valor mais elevado, o que indica que essa linhagem possui grãos muito claros logo após a colheita. O grupo com menores médias e MP0 foi composto por três linhagens (Carioca MG, Rudá R e IAC Aysó), com valores iguais ou inferiores a 125,67.

No teste de Scott-Knott para MP90 foram formados oito grupos e as médias das linhagens variaram de 109,00 a 178,67. Semelhante ao que ocorreu logo após a colheita,

somente a linhagem BRSMG Madrepérola foi alocada no grupo de maior média para MP90, com o valor de 178,67. Houve uma pequena diferença de 0,74 unidades para essa linhagem entre as duas épocas de avaliação, o que indica que essa linhagem permanece com os grãos claros, mesmo 90 dias após a colheita. O grupo com menores médias para MP90 foi composto por duas linhagens (Rudá R e IAC Aysó), com valores iguais ou inferiores a 112,33.

Tabela 5 - Média da nota de cor do tegumento dos grãos após a colheita (NE0) e aos 90 dias após a primeira avaliação (NE90), e coloração dos grãos obtidas por imagens nas mesmas épocas de avaliação (MP0 e MP90) de cultivares avaliadas na safra “seca” de 2020 (continua).

<b>CULTIVARES</b>	<b>NE0</b>		<b>NE90</b>		<b>MP0</b>		<b>MP90</b>	
BRSMG Madrepérola	1,00	d	1,00	f	180,00	a	178,67	a
IAC Aruã	1,50	d	1,50	f	168,00	b	160,00	b
CXII-13	1,83	d	2,33	e	162,33	c	150,00	c
Porto Real	2,00	d	2,00	e	168,00	b	154,67	b
CXIII-1.23	2,00	d	2,33	e	159,33	c	148,33	c
FT Bonito	2,00	d	2,33	e	168,00	b	154,67	b
BRSMG Amuleto	2,00	d	2,50	e	167,00	b	150,67	c
IAC Milênio	2,00	d	2,67	e	158,33	c	148,33	c
IAPAR 57	2,00	d	2,67	e	162,23	c	148,54	c
VC15	2,00	d	3,00	d	159,33	c	148,33	c
VC 17	2,17	d	2,67	e	156,67	d	147,00	c
IPR Siriri	2,17	d	2,67	e	168,00	b	155,00	b
MAX-9	2,17	d	2,67	e	162,67	c	149,33	c
BRSMG Zape	2,17	d	2,83	d	162,89	c	149,73	c
IPR Tangara	2,31	d	2,83	d	160,67	c	147,00	c
IPR Saracura	2,50	c	2,50	e	155,35	d	148,04	c
IPR Bem-te-vi	2,50	c	2,83	d	158,67	c	148,33	c
IPR 139	2,50	c	2,83	d	165,35	b	152,54	b
IPR Campos Gerais	2,56	c	3,00	d	151,00	d	147,00	c
RP 1	2,56	c	3,17	d	148,33	d	134,00	e
MAX-10	2,67	c	2,50	e	166,00	b	147,67	c
SCS Guará	2,67	c	2,67	e	152,00	d	147,67	c
IPR Eldourado	2,67	c	2,67	e	155,67	d	147,00	c
IAC Alvorada	2,67	c	2,67	e	162,33	c	151,00	c
BRS Estilo	2,67	c	3,00	d	151,33	d	143,00	d
BRSMG Talismã	2,67	c	3,00	d	158,00	c	147,67	c
IPR Curió	2,67	c	3,33	d	159,33	c	149,33	c
Princesa	2,67	c	3,50	d	147,00	d	133,33	e
IAC Carioca	2,67	c	3,83	c	151,67	d	147,67	c
IAPAR 81	2,83	c	2,83	d	153,33	d	144,33	d
IPR Andorinha	3,00	c	3,00	d	151,33	d	147,00	c

Tabela 5 - Média da nota de cor do tegumento dos grãos após a colheita (NE0) e aos 90 dias após a primeira avaliação (NE90), e coloração dos grãos obtidas por imagens nas mesmas épocas de avaliação (MP0 e MP90) de cultivares avaliadas na safra “seca” de 2020 (continua).

<b>CULTIVARES</b>	<b>NE0</b>		<b>NE90</b>		<b>MP0</b>		<b>MP90</b>	
TAA Dama	3,00	c	3,00	d	156,00	d	149,67	c
IAC Formoso	3,00	c	3,17	d	151,00	d	147,00	c
RPXI-26	3,00	c	4,00	c	149,67	d	133,00	e
BRS Horizonte	3,06	c	3,67	c	149,00	d	147,00	c
RPXI-18	3,21	c	3,26	d	149,23	d	138,54	d
BRS Majestoso	3,33	c	3,33	d	149,67	d	139,67	d
RPXI-43	3,33	c	3,50	d	149,67	d	136,00	e
BRS Requite	3,33	c	3,67	c	153,33	d	147,00	c
IAC Pyatã	3,50	b	3,26	d	153,33	d	141,67	d
Carioca 1070	3,50	b	3,83	c	148,33	d	130,00	f
BRSMG Uai	3,56	b	3,30	d	152,00	d	139,00	d
BRSMG Pioneiro	3,67	b	3,00	d	149,00	d	140,33	d
BRS Pérola	3,67	b	3,67	c	150,00	d	137,67	d
IPR Quero-Quero	3,83	b	3,17	d	155,33	d	142,33	d
BRS Notável	3,83	b	3,33	d	151,67	d	147,00	c
IAC Imperador	3,83	b	3,67	c	150,33	d	143,00	d
BRS Ametista	3,83	b	3,83	c	152,33	d	147,00	c
IAC Akytã	3,96	b	3,26	d	147,76	d	134,73	e
IAPAR 31	4,00	b	3,50	d	144,33	e	130,00	f
Carioca 1030	4,00	b	4,33	b	143,00	e	126,00	f
BRS CNFC 15534	4,17	b	3,33	d	148,67	d	133,00	e
BRS Cometa	4,17	b	4,33	b	147,00	d	129,33	f
GOL	4,33	b	4,00	c	153,39	d	147,23	c
Carioca 80	4,33	b	4,17	c	148,33	d	128,00	f
IPR Colibri	4,33	b	4,33	b	144,33	e	129,00	f
BR- IPA 11-Brigida	4,33	b	4,83	a	138,67	e	120,67	g
BRS Pontal	4,67	a	3,67	c	149,00	d	133,00	e
IAPAR 80	4,67	a	4,33	b	140,00	e	126,33	f
Rudá	4,67	a	5,00	a	133,67	e	125,33	f
BRS FC 104	4,83	a	4,17	c	144,67	e	136,67	e
BRS FC 406	4,83	a	4,33	b	139,67	e	124,67	f
Rio doce	4,83	a	4,33	b	135,33	e	117,33	g
Aporé	4,83	a	4,55	b	140,33	e	124,00	f
IAC Ybaté	5,00	a	4,00	c	138,33	e	124,00	f
IAC Apuã	5,00	a	4,17	c	133,67	e	122,33	g
Carioca MG	5,00	a	4,50	b	125,67	f	115,67	g
IAPAR 16	5,00	a	4,67	b	133,23	e	118,54	g
IAC Aysó	5,00	a	5,00	a	119,00	f	109,00	h
Rudá R	5,00	a	5,00	a	122,67	f	112,33	h

Tabela 5 - Média da nota de cor do tegumento dos grãos após a colheita (NE0) e aos 90 dias após a primeira avaliação (NE90), e coloração dos grãos obtidas por imagens nas mesmas épocas de avaliação (MP0 e MP90) de cultivares avaliadas na safra “seca” de 2020 (conclusão).

<b>CULTIVARES</b>	<b>NE0</b>	<b>NE90</b>	<b>MP0</b>	<b>MP90</b>
IAC Votuporanga	5,00 a	4,49 b	139,47 e	124,54 f
Média	3,21	3,30	151,33	143,00

Linhagens com letras iguais na coluna são alocados no mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott (1974) a 5% de probabilidade. NE0: Nota de cor do tegumento logo após a colheita; NE90: Nota de cor do tegumento 90 dias após a colheita; MP0: moda dos valores de pixels no canal L logo após a colheita; MP90: moda dos valores de pixels no canal L 90 dias após a colheita.

Fonte: Do autor (2021).

Houve efeito significativo da interação das linhagens por experimentos para todas as características, ou seja, as linhagens apresentaram respostas diferentes quanto à cor dos grãos ao longo dos experimentos, tanto nas avaliações visuais, quanto nas digitais (Tabela 6). Assim, optou-se por estudar as respostas das linhagens por ambas as metodologias (visual e digital) em cada experimento (Tabelas 2, 3, 4 e 5). Outro fator que foi considerado para escolher tal estratégia foi verificar a influência da safra na cor do tegumento dos grãos. Observou-se que, de modo geral, as linhagens da safra “águas” apresentaram grãos mais escuros. Isso se deve ao fato de que os grãos podem ficar manchados nesta safra devido à maior umidade dos grãos no momento da colheita, que é realizada em períodos chuvosos. Entretanto, estudos mais aprofundados, com maior quantidade de experimentos, devem ser realizados para avaliar a influência da safra na cor do tegumento dos grãos.

Tabela 6 - Resumo da análise conjunta de variância para nota de cor do tegumento dos grãos após a colheita (NE0) e aos 90 dias após a primeira avaliação (NE90), e para moda de valores dos pixels dos grãos nas mesmas épocas de avaliação (MP0 e MP90) de cultivares de feijão avaliadas nas safras das “águas” de 2019, e “seca” de 2020.

FV	GL	QM			
		NE0	MP0	NE90	MP90
Bloco/Exp.	4	0,8891	178,4112	1,2379	340,5835
Linhagens (L)	69	4,8053**	674,6281**	3,7808**	846,3588**
Experimentos (E)	1	2,6874 <sup>ns</sup>	238,5432 <sup>ns</sup>	55,1301**	23469,6672**
Interação LxE	69	0,7144**	96,7979**	0,9623**	97,9027**
Resíduo	276	0,2857	36,5749	0,3319	42,9859
Média	-	3,3938	150,3441	3,7377	132,1848
CV (%)	-	15,7487	4,0226	15,4136	4,9599

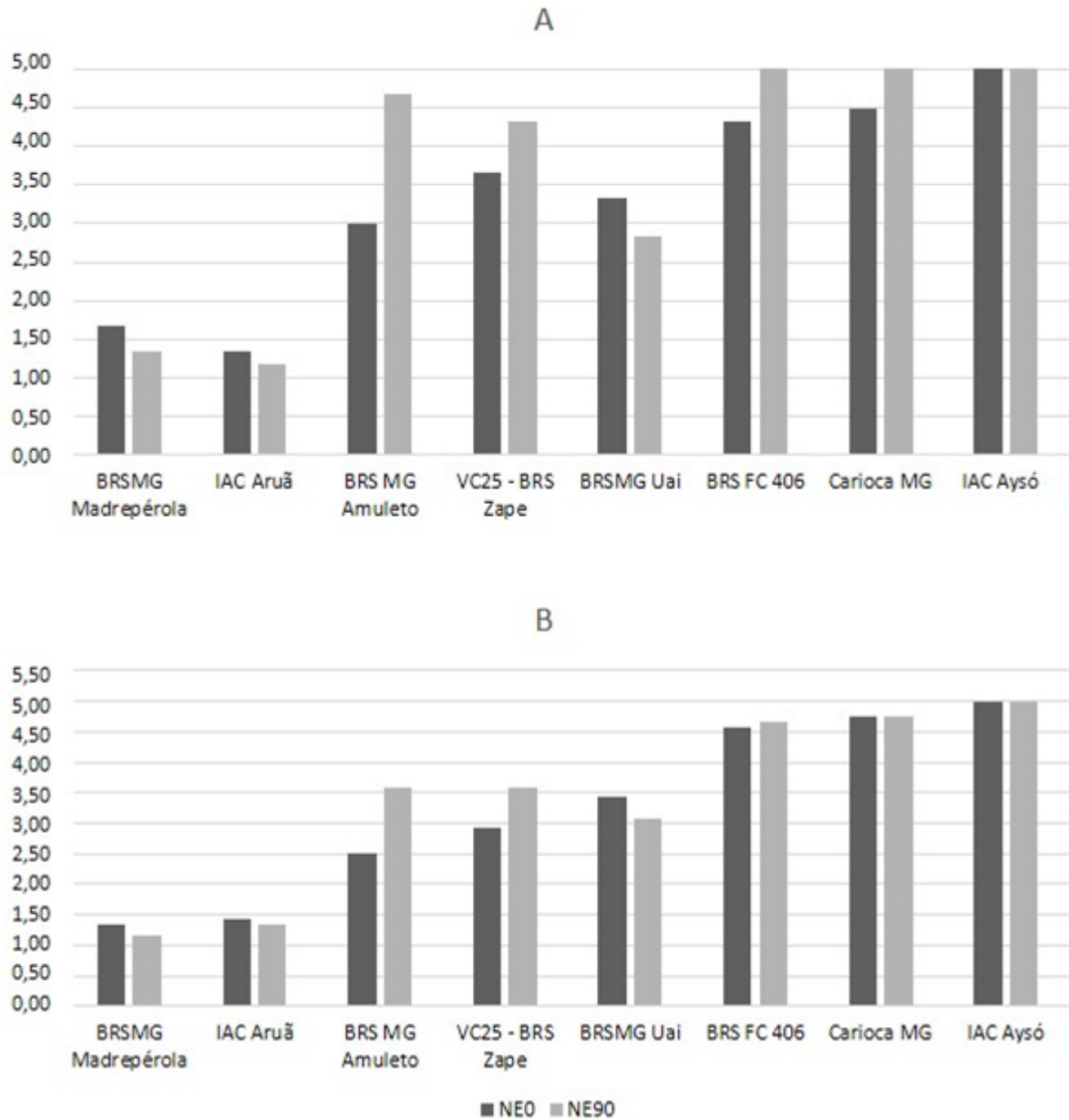
FV: Fonte de Variação; GL: grau de liberdade; QM: Quadrado Médio; \*\*, ns: significativo a 1% de probabilidade e não significativo, respectivamente, pelo teste F.

Fonte: Do autor (2021).

Os CVs para a cor do tegumento dos grãos obtidos pela avaliação visual (15,75 e 15,41) em ambas as épocas de avaliação foram maiores que os observados ao utilizar a avaliação digital (4,02 e 4,96). Essa redução foi de três a quatro vezes, como também foi observado nas análises individuais de variância (Tabelas 2 e 3), o que realça a maior precisão experimental da avaliação digital para a cor do tegumento dos grãos.

De modo geral, as notas médias de cor de tegumento nas duas épocas de avaliação (NE0 e NE90) foram mais elevadas na safra “águas” de 2019 (Tabelas 4 e 5; Figuras 5 e 6), o que indica que, nesta safra, os grãos estavam mais escuros. Foi observado também um maior incremento no valor da nota média da cor do tegumento dos grãos aos 90 dias após a primeira avaliação na safra “águas” de 2019. Isso pode ser explicado pelos grãos estarem manchados nesta safra devido à colheita dos experimentos ser realizada em períodos chuvosos, o que pode tornar os grãos mais escuros. Entretanto, foi possível discriminar as linhagens quanto a estas características mesmo com esta influência da safra (Tabelas 2 e 4). Portanto, há indícios de que a safra “seca” proporciona uma melhor avaliação e discriminação das linhagens avaliadas. Porém, mais experimentos devem ser realizados para corroborar tais resultados.

Figura 5 - Notas médias de cor do tegumento dos grãos das linhagens de feijão carioca (BRSMG Madrepérola, IAC Aruã, BRSMG Amuleto, BRSMG Zape, BRSMG Uai, BRS FC 406, Carioca MG e IAC Aysó) obtidas após a colheita (MP0) e 90 dias após a primeira avaliação (MP90) nos experimentos das safras “águas” de 2019 (A) e “seca” de 2020 (B).



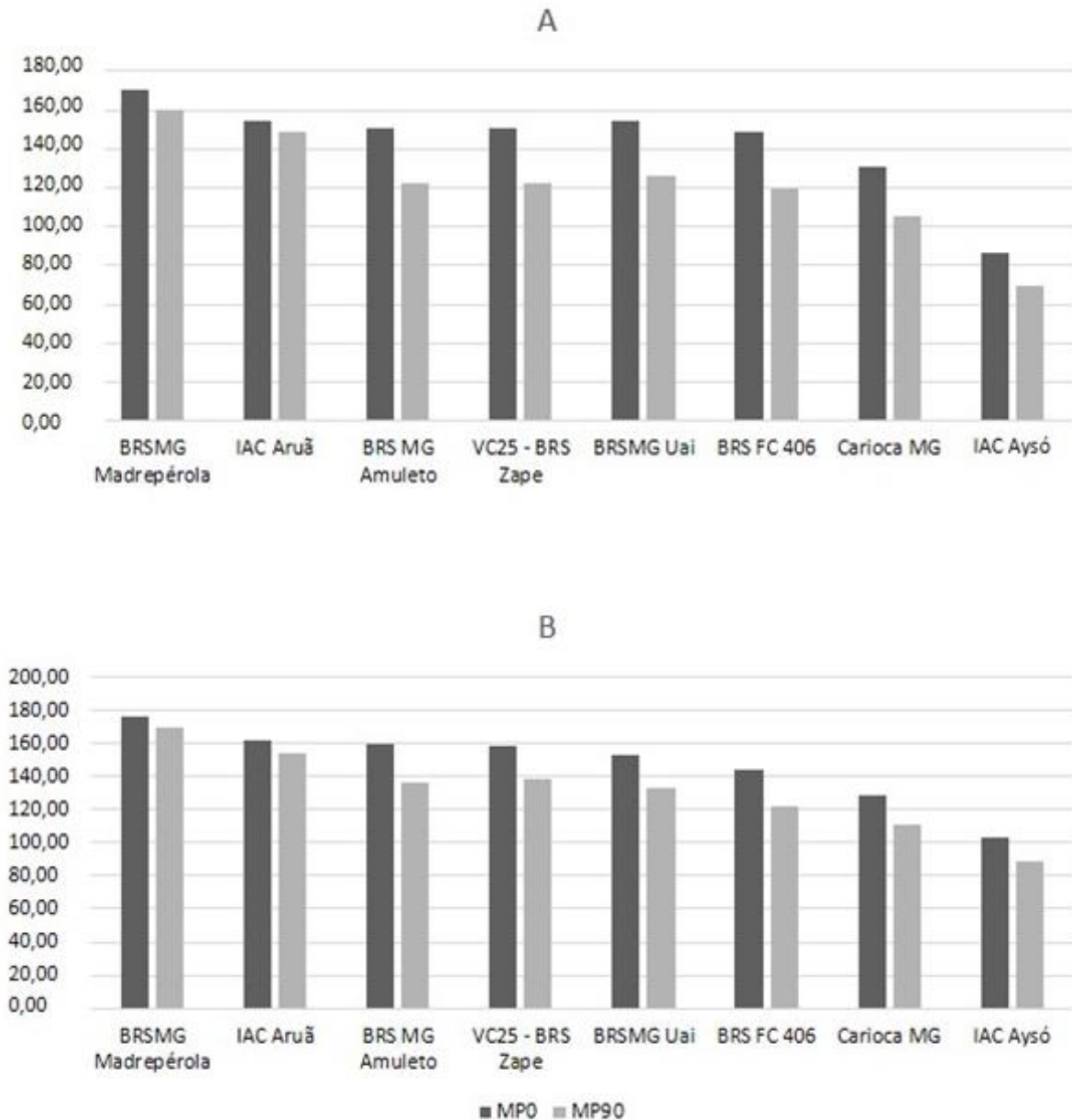
Fonte: Do autor (2021).

Algumas das linhagens avaliadas neste trabalho possuem padrões de escurecimento de grãos já descritos na literatura, como por exemplo, BRSMG Madrepérola, IAC Aruã, BRSMG Uai, Carioca MG e IAC Aysó (Figuras 5 e 6) (SANTOS, 2020; CARNEIRO et al., 2012; LOPES, 2011). Enquanto as duas primeiras possuem grãos claros, com notas neste trabalho

inferiores a 2,00, as três últimas já possuem grãos escuros, com notas iguais ou superiores a 3,00, especialmente a Carioca MG e a IAC Aysó. As linhagens BRSMG Amuleto, BRSMG Zape e BRS FC 406 ainda são pouco descritas na literatura, uma vez que as duas primeiras estão em processo de recomendação e a terceira foi recentemente recomendada. Nas figuras 5 e 6, observa-se que a BRS FC 406 possui grãos muito escuros, com notas médias superiores a 4,00 em ambas as épocas de avaliação e safras. Já as linhagens BRSMG Amuleto e BRSMG Zape apresentaram notas médias entre 2,00 e 3,00 na safra “seca” de 2020, e superiores a 3,00 na safra “águas” de 2019, o que corrobora a observação de que, na safra das “águas”, os grãos podem perder qualidade devido à maior umidade por ocasião da colheita.

Na avaliação visual (NE0 e NE90), foram detectados certos problemas que inviabilizam o emprego de escala de notas para avaliar a cor do tegumento de grãos. As médias de notas de algumas linhagens em NE90 foram inferiores às observadas em NE0 (Tabela 4 e 5; Figura 5), como também foi observado para as cultivares BRSMG Madrepérola, IAC Aruã e BRSMG UAI, na safra “águas” de 2019, e BRSMG Uai, BRS FC 406 e Carioca MG, na safra “seca” de 2020 (Figura 5). Tal observação é indesejada, uma vez que indica que os grãos estariam mais claros após o armazenamento. Isso pode ocorrer em avaliações visuais devido à influência do avaliador, o que é indesejado pelos programas de melhoramento. Já ao se observarem as médias obtidas na avaliação digital (MP0 e MP90), constata-se que problemas como estes não ocorreram (Tabelas 4 e 5; Figura 6), o que demonstra que a metodologia digital baseada em visão computacional, além de ser mais precisa, quantifica melhor a cor do tegumento dos grãos de linhagens de feijão carioca.

Figura 6 - Média da moda dos valores dos pixels dos grãos de linhagens de feijão carioca (BRSMG Madrepérola, IAC Aruã, BRSMG Amuleto, BRSMG Zape, BRSMG Uai, BRS FC 406, Carioca MG e IAC Aysó) obtidas após a colheita (MP0) e 90 dias após a primeira avaliação (MP90) nos experimentos das safras “úguas” de 2019 (A) e “seca” de 2020 (B).



Fonte: Do autor (2021).

A avaliação digital da cor do tegumento dos grãos de feijão carioca por visão computacional demonstrou ser uma alternativa viável em substituição à avaliação visual, uma vez que é mais precisa, permite discriminar melhor as linhagens avaliadas, não é influenciada pela experiência do avaliador e permite automatizar todo o processo. Ribeiro et al. (2008)

sugere que a avaliação da coloração dos grãos de feijão deve ser empregada pelos programas de melhoramento, uma vez que é de alta precisão experimental, não requer a destruição do grão, é rápida e de simples execução. Além destas particularidades, a visão computacional permite extrair, além da cor do tegumento dos grãos, maior número de informações de cor, tamanho e formato dos grãos que podem ser empregadas na seleção de genótipos superiores (VENORA et al., 2009; BACCHETTA et al., 2008; GRANITTO et al., 2003). Outra grande vantagem desta metodologia é que as imagens capturadas são armazenadas sem perda de qualidade para serem empregadas futuramente em outras metodologias estatísticas ou de inteligência artificial. Nesse sentido, é importante a coleta de imagens em experimentos futuros, para montar um banco de imagens de grãos de linhagens de feijão tipo carioca.

Nesse sentido, a visão computacional se mostrou muito eficaz na avaliação da cor do tegumento dos grãos de linhagens de feijão tipo carioca. Tal abordagem também tem potencial para auxiliar na avaliação de grãos de outros tipos comerciais, como o vermelho e o preto, que é realizada rotineiramente pelos programas de melhoramento que trabalham com estes tipos comerciais (MENDOZA; KELLY; CICHY, 2016). Os resultados obtidos neste trabalho também evidenciam que a visão computacional tem potencial para ser empregada em outras etapas de um programa de melhoramento, como na seleção de indivíduos e progênies. Entretanto, estudos com tais genótipos devem ser realizados, para comprovar a eficácia da visão computacional nestas etapas.

## **4 CONCLUSÃO**

A avaliação digital da cor do tegumento dos grãos de feijão carioca, baseada em visão computacional, demonstrou ser mais precisa e discriminou as linhagens de forma mais eficaz que a avaliação visual.

A safra “seca” de 2020 permitiu discriminar melhor as linhagens quanto à cor do tegumento dos grãos nas avaliações visual e digital.

A metodologia de visão computacional permitiu identificar a linhagem BRSMG Madrepérola como destaque, por apresentar grãos mais claros e com escurecimento tardio do tegumento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, C. C. **Identificação e classificação de imagens usando rede neural convolucional e machine learning: implementação em sistema embarcado**. 2019. 202 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2019).
- ARAÚJO, L. C. A. Seleção de linhagens de feijoeiro com escurecimento tardio dos grãos. 2012. 66 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.
- BACCHETTA, G. et al. Morpho colorimetric characterization by image analysis to identify diaspores of wild plant species. **Flora**, v. 203, p. 669-682, 2008.
- BARILI, L. D. Evolução dos cultivares de feijão carioca recomendados no Brasil. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento). 38p. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2015.
- BERNARDO, L. M. Histórias da luz e das cores. Porto: Universidade do Porto, Porto, 2010. 101p.
- CARNEIRO, J. E. S. et al. BRSMG Madrepérola: common bean cultivar with late-darkening Carioca grain. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 12, p. 281-284, 2012.
- CARNEIRO, J. C. S. et al. Perfil sensorial e aceitabilidade de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Food Science and Technology**, v. 25, n. 1, p. 18-24, 2005.
- CARNEIRO, V. Q. **Aplicativos Computacionais Para o Melhoramento Genético Fundamentados em Análise de Imagens e Inteligência Computacional**. 2018. 137 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2018.
- COMMISSION INTERNACIONALE DE IECLAIRAGE – (CIE). **Technical Report. CIE 15.2 Colorimetry**. Austria, Central Bureau of the CIE, p. 1-74, 1976.
- CROSSA, J. et al. Genomic Selection in Plant Breeding: Methods, Models, and Perspectives. **Trends in Plant Science**, v. 22, n. 11, p. 961-975, 2017.
- CRUZ, C. D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**, v. 35, p. 271-276, 2013.
- GRANITTO, P. M. et al. Boosting classifiers for weed seeds identification. **Journal of Computer Science & Technology**, v. 3, n. 1, p. 34-39, 2003.
- EMBRAPA. **Notícias: Genética eleva em um terço a produtividade do feijão-carioca no País**, 2017. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/30670636/genetica-eleva-em-um-terco-a-produtividade-do-feijao-carioca-no-pais> >. Acesso em: 30 mar. 2020.

LAURENT, B. et al. Digital camera images processing of hard-to-cook beans. **Journal of Engineering and Technology Research**, v. 2, n. 9, p. 177-188, 2010.

LOPES, R. L. T. **Características tecnológicas de genótipos de feijoeiro em razão de épocas de cultivo e períodos de armazenamento**. 2011. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical – Instituto Agronômico de Campinas. Campinas, 2011.

MENDOZA, F. A.; KELLY, J. D.; CICHY, K. Automated prediction of sensory scores for color and appearance in canned black beans (*Phaseolus vulgaris* L.) using machine vision, **International Journal of Food Properties**, v. 20, n. 1, p. 83-99, 2016.

PIMENTEL-GOMES, F. Curso de Estatística Experimental. 12. ed. Piracicaba: Livraria Nobel, 1985. 467p.

PINTO, C. A. G. Relação entre tamanho e potencial fisiológico de sementes de soja sob variações da disponibilidade hídrica. Piracicaba, 2017. 64 p.

POSSOBOM, M. T. D. F. **Controle genético da coloração do tegumento e da concentração de ferro em sementes de feijão mesoamericano e andino**. 2014. 73 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

QUEIROZ, T. F. N. Relação entre conteúdo de taninos e cor do tegumento em feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) do tipo carioca. 2004. 69 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2004.

RAMALHO, M. A. P. et al. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: Editora UFLA. 2012. 522p.

RIBEIRO, N. D. R.; STORCK, L.; POERSCH, N. L. Classify the common bean commercial lots by the clarity of the grain tegument. **Ciência Rural**, v. 38, n. 7, p. 2042-2045, 2008.

RODRIGUES, L. L. Controle Genético do Escurecimento dos Grãos de Feijão com Diferentes Tipos de Grão e Origens. 2018. 62 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2018.

SANTOS, I. L. Associação genômica ampla para cor e escurecimento do tegumento do grão de feijão carioca. 2020. 108 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico de Campinas. Campinas, 2020.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, v. 30, n. 3, p. 507-512, 1974.

SILVA, G. S. et al. Controle genético do escurecimento precoce de grãos de feijão tipo carioca. 2007. 52 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

SIQUEIRA, B. S. **Desenvolvimento dos fenômenos de escurecimento e endurecimento em feijão carioca: aspectos bioquímicos e tecnológicos**. 2013. 125 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.

SOUZA, A. A. de. et al. **Produtividade de Genótipos de Feijão-Comum em Ensaio de VCU do Grupo Cores, no Norte de Minas Gerais, Conduzidos na “Safra De Inverno” do Ano 2013.** In: 8º Fórum FEPEG. Unimontes, 2014.

TABANATA, T. et al. American Society of Plant Biologists. SmartGrain: high-throughput phenotyping software for measuring seed shape through image analysis. **Plant Physiology**, v. 160, n. 4, p. 1871-1880, 2012.

VARGA, F. et al. How does Computer vision compare to standard colorimeter in assessing the seed coat color of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) **Journal of Central European Agriculture**, v. 20, n. 4, p.1169-1178, 2019.

VENORA, G. et al. Identification of Italian landraces of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) using an image analysis system. **Scientia Horticulturae**, v. 121, p. 410-418, 2009.