



ROBERTO HENRIQUE DE LIMA RIBEIRO

**FENOTIPAGEM POR IMAGENS PARA COR DE POLPA DE
TUBÉRCULOS DE BATATA**

**LAVRAS – MG
2023**

ROBERTO HENRIQUE DE LIMA RIBEIRO

**FENOTIPAGEM POR IMAGENS PARA COR DE POLPA DE
TUBÉRCULOS DE BATATA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal
de Lavras, como parte das exigências
da matriz curricular do curso de
Agronomia.

Dr. Tiago de Souza Marçal
Orientador

Dr. Vinícius Quintão Carneiro
Coorientador

**LAVRAS – MG
2023**

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

Ribeiro, Roberto Henrique de Lima.

Fenotipagem por imagem para cor de polpa de tubérculos de
batata / Roberto Henrique de Lima Ribeiro. - 2023.

40 p. : il.

Orientador(a): Tiago de Souza Marçal.

Coorientador(a): Vinícius Quintão Carneiro.

TCC (graduação) - Universidade Federal de Lavras, 2023.

Bibliografia.

1. Melhoramento Genético 2. Avaliação Visual. 3. *Solanum
tuberosum*. I. Marçal, Tiago de Souza. II. Carneiro, Vinícius
Quintão. III. Título.

ROBERTO HENRIQUE DE LIMA RIBEIRO

**FENOTIPAGEM POR IMAGENS PARA COR DE POLPA DE
TUBÉRCULOS DE BATATA
IMAGING PHENOTYPING FOR POTATO TUBER PULP COLOR**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal
de Lavras, como parte das exigências
da matriz curricular do curso de
Agronomia.

APROVADO em 12 de junho de 2023.

Dr. Tiago de Souza Marçal

Dr. Vinicius Quintão Carneiro

Me. Luciana Aparecida Miguel

Dr. Tiago de Souza Marçal
Orientador

Dr. Vinicius Quintão Carneiro
Coorientador

**LAVRAS – MG
2023**

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Lavras (UFLA), ao Departamento de Biologia (DBI), e aos respectivos colaboradores, por toda estrutura e suporte para que este trabalho pudesse ser realizado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo fomento aos projetos desenvolvidos no Programa de Melhoramento Genético de Batata da UFLA (Probatata).

Ao meu orientador Tiago de Souza Marçal, por todos ensinamentos, pelos esforços investidos e por ser fonte de inspiração. Ao meu coorientador Vinicius Quintão Carneiro por todo apoio e dedicação a esse projeto.

Aos meus amigos de Probatata, Luciana, Milena, Lenin, Leticia, Ramon, José, Mayra, Vinícius e Rodrigo, pelos bons momentos e por todo esforço compartilhado.

Ao GEN e os amigos que fiz durante esse período, por me abrirem portas e me nortearem um caminho.

Agradeço aos meus pais Tereza e Roberto, pelos valores e ensinamento que foram minha base nessa jornada, que me apoiaram desde o início, acreditando nesse desafio inédito na nossa família, e que se orgulharam de cada nova conquista. Um agradecimento especial a minha mãe, que esteve sempre ao meu lado, mesmo que de muito longe.

Agradeço aos meus irmãos Otávio e Olavo, as minhas cunhadas Beatriz, Larissa, e Danielle, e aos meus cunhados Alysson e Felipe e Leonardo pelo apoio e pela amizade. A minha irmã Ana por ser minha amiga e confidente, e que na reta final deste ciclo, trouxe o Pedro ao mundo, uma nova razão pra continuar.

Às minhas amigas Isadora e Mayara que me acompanham desde a escola, e que torcem por cada conquista minha. Também aos amigos que fiz durante a graduação, aos que foram e aos que continuam, meu muito obrigado.

Agradeço aos meus sogros, Cristina e Luiz André. Os quais me acolheram na família como um filho, e me deram um lar longe dos meus pais.

Agradeço ao meu namorado Thalisson, por ser meu amigo, meu porto seguro, e minha mudança pra melhor. Por ser um homem dedicado, carinhoso e paciente. Agradeço a ele pelo ontem, pelo hoje, e pelo amanhã.

RESUMO

A cor de polpa do tubérculo é um caráter importante na seleção de novos clones de batata, pois é fundamental na definição da aptidão de mercado dos clones. A fenotipagem por imagens apresenta-se como alternativa promissora ao método de avaliação visual de cor que apresenta problemas de execução. Assim, o presente trabalho teve como objetivos: definir um protocolo para a aquisição das imagens digitais e validar o método de análise por imagens para avaliar cor de polpa de tubérculos de batata. Quatro tubérculos graúdos (com diâmetro maior que 45 mm) foram amostrados aleatoriamente de cada um dos 42 genótipos cultivados na safra de inverno na Fazenda Muquém da Universidade Federal de Lavras em Lavras-MG. Todos os tubérculos foram fatiados na espessura de 2 mm, e cinco fatias de cada um dos quatro tubérculos do mesmo genótipo foram dispostas em fileiras alinhadas sobre uma placa branca, totalizando 20 fatias, que foram fotografadas dentro de um mini estúdio, obtendo-se três imagens de cada tratamento, diferindo entre si apenas pela abertura do diafragma da câmera (F8, F10 e F11). Os valores de média, moda e a variância dos pixels de todas as fatias, tanto para o canal L quanto o canal b do sistema de cores Lab, foram extraídos através do processamento das imagens com auxílio do pacote OPENCV da linguagem *Python*. Os dados que corresponderam ao melhor protocolo de captura e processamento, foram correlacionados com as médias de notas visuais atribuídas por três avaliadores para cada tubérculo. O valor médio dos pixels do canal b, obtidos com as configurações F8 ou F10 são mais eficientes em discriminar os clones, além disso, a correlação entre os valores obtidos a partir desse protocolo, com a nota atribuída por avaliação visual é de 0,99, indicando que o método possui elevada associação com as notas de cor de polpa. Conclui-se que o emprego de fenotipagem por imagens para avaliar cor de polpa de batata é acurado e apresenta elevada precisão experimental.

Palavras-chave: *Solanum tuberosum*; avaliação visual; melhoramento genético.

ABSTRACT

The color of the tuber pulp is an important character in the selection of new potato clones, as it is fundamental in defining the market aptitude of the clones. Image phenotyping presents itself as a promising alternative to the visual color assessment method, which presents execution problems. Thus, the present work had as objectives: to define a protocol for the acquisition of digital images and to validate the image analysis method to evaluate the color of potato tuber pulp. Four large tubers (diameter greater than 45 mm) were randomly sampled from each of the 42 genotypes grown in the winter season at Muquém Farm at the Federal University of Lavras in Lavras-MG. All tubers were sliced to a thickness of 2 mm, and five slices of each of the four tubers of the same genotype were arranged in aligned rows on a white plate, totaling 20 slices, which were photographed inside a mini studio, resulting in three images of each treatment, differing from each other only by the aperture of the camera diaphragm (F8, F10 and F11). The mean, mode and pixel variance values of all slices, both for the L channel and the b channel of the Lab color system, were extracted by processing the images with the aid of the OPENCV package in the Python language. The data that corresponded to the best capture and processing protocol were correlated with the average visual scores assigned by three evaluators for each tuber. The average value of the b channel pixels, obtained with the F8 or F10 settings are more efficient in discriminating the clones, in addition, the correlation between the values obtained from this protocol, with the grade assigned by visual evaluation is 0.99, indicating that the method has a high association with pulp color scores. It is concluded that the use of image phenotyping to evaluate potato pulp color is accurate and presents high experimental precision.

Keywords: *Solanum tuberosum*; visual assessment; genetical enhancement.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Organização das fatias de batata sobre a placa de MDF.....	22
Figura 2 - Planta tridimensional do estúdio fotográfico.....	23
Figura 3 - Sentido de fatiamento do tubérculo (destaque em vermelho: fatias selecionadas)	24
Figura 4 - Exemplo de imagem utilizada para avaliação visual de cor de polpa.....	25
Figura 5 - Correlação entre a nota dos avaliadores e a MED de pixels.....	29
Figura 6 - Imagens com menor (134,45), médio (152,54) e maior (165,17) valor de média de pixel (MED) do canal b, respectivamente, em uma escala de 0 a 255 (capturadas com F10.....	30
Figura 7 - Comparação de iluminação entre as imagens do mesmo clone capturadas com diferentes configurações de câmera.....	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo de análise conjunta de variância na determinação de cor de polpa de batata através da quantificação da média (MED), moda (MOD) e variância (VAR) de pixels em imagens.....**27**

Tabela 2 - Resumo de análise conjunta de variância na determinação de cor de polpa de batata através da quantificação da média (MED), moda (MOD) e variância (VAR) de pixels em imagens.....**28**

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 A cultura da batata.....	14
2.2 Segmentação de mercado do Brasil.....	15
2.3 Melhoramento genético da batata	16
2.4 Fenômica e o uso de imagens.....	17
2.5 Aquisição de imagens e segmentação	19
2.6 Parâmetros fotográficos.....	20
3 METODOLOGIA.....	22
3.1 Determinação do protocolo para a aquisição de imagens digitais, visando a avaliação de cor de polpa em batata.....	22
3.2 Validação do método de fenotipagem por imagem.....	25
4 RESULTADOS	27
4.1 Determinação do protocolo para a aquisição de imagens digitais, visando a avaliação de cor de polpa em batata.....	27
4.2 Validação do método de fenotipagem por imagem.....	28
5 DISCUSSÃO	30
5.1 Determinação do protocolo para a aquisição de imagens digitais, visando a avaliação de cor de polpa em batata.....	30
5.2 Validação do método de fenotipagem por imagem.....	32
6 CONCLUSÕES.....	33
7 REFERÊNCIAS	34

1 INTRODUÇÃO

A batata é matéria-prima de diversos produtos, sendo este um dos fatores responsáveis pelo seu sucesso na cadeia produtiva de alimentos (KOCH et al., 2020). No Brasil, a cultura atende muitos segmentos de mercado, sendo a maior parte comercializada *in natura* (de mesa), ou destinada à produção de *chips*, batata palha e palitos pré-fritos e congelados. Ademais, produtos como conservas, flocos, amido e outros derivados, são produzidos em menor escala, correspondendo a uma parcela menos significativa do mercado (SOUZA, 2005; PEREIRA, 2010, PEREIRA; SILVA, 2019).

Para atender tantas demandas de mercado, além do incremento em produtividade e seleção de clones resistentes às principais doenças da cultura, também é necessário que os melhoristas se atenham aos caracteres de aparência, e a qualidade culinária dos tubérculos, pois estes são fundamentais para a definição da aptidão dos novos clones (PINTO et al., 2010). Dentre os caracteres de aparência que devem ser avaliados, a cor de polpa assume importância especial, pois, a cor do alimento é comumente associada pelos consumidores à qualidade e atratividade do produto final (SOUZA, 2005). Este caráter também é um descritor requerido pelo Ministério da Agricultura para o registro de novas cultivares, podendo ser classificado como: branca, creme, amarela clara, amarela média, e amarela escura (MAPA, 2012).

Na procura por batata de mesa, diferente segmento industrial, o teor de massa seca não tem sido um fator limitante para o desenvolvimento de novas cultivares, sendo relevante apenas os caracteres de aparência, como a casca que deve ser amarela, ou a polpa que deve ser de cor creme (HAYASHI, 2007). Por outro lado, quando se trata do processamento industrial, além de caracteres como formato, profundidade de gemas vegetativas, baixa incidência de distúrbios fisiológicos, e teor de matéria seca e açúcares redutores, que estão diretamente associados com a melhor qualidade e rendimento do produto, a cor de polpa dos tubérculos também é relevante, já que a preferência dos consumidores é por fritas de cor amarelo intenso e *chips* de coloração mais clara (SOUZA, 2005; GARCIA, 2015; FERNANDES FILHO, 2018). Assim, é ideal que os tubérculos destinados a produção de palitos pré-fritos tenham polpa de cor amarela, e os destinados a produção de *chips* tenham polpa de cor branca.

A principal forma de se avaliar cor de polpa tem sido por meio da utilização de escalas diagramáticas, como a proposta por Guedes et al. (2020), onde os avaliadores atribuem notas variando de 1 à 5 com base na sua percepção visual comparada à padrões

pré-estabelecidos, em que a nota 1 representa a polpa de coloração branca e a nota 5 representa a polpa de coloração amarela. Porém, esse método depende da percepção individual de cada avaliador (ARAÚJO, 2012), havendo diminuição na precisão experimental, já que a percepção de cor e luz depende de fatores como sexo e idade, por exemplo (JAINT et al. 2010; WESTHUYZEN; LEUSCHNER, 2018), além disso, a iluminação do ambiente e o cansaço do trabalho repetitivo também podem interferir nesse tipo de avaliação.

Outro meio utilizado para determinar a cor de polpa é com o emprego do colorímetro, onde são medidos alguns pontos da superfície do material analisado e são obtidos como resultados os valores dos canais L*, a*, b* do sistema Lab (CIE, 1976) referentes a luminosidade, variação de cor do verde ao vermelho, e variação do azul ao amarelo, respectivamente, utilizados conjuntamente para quantificar a cor seguindo o método proposto por MC-GUIRE (1992). Entretanto, mesmo esse método sendo mais preciso que o visual, o processo é mais demorado, já que deve ser feito individualmente para cada amostra, inviabilizando sua aplicação em um número grande de clones.

Uma alternativa aos métodos tradicionais de avaliação de cor, é o emprego da fenotipagem por imagens, onde essas são submetidas a análises gráficas, para extração de informações utilizadas, por exemplo, na determinação de severidade de doenças, medição de diferentes partes das plantas, determinação de formas e cores, entre outros (CARAZA-HATER; ENDELMAN, 2019). Neilson et al. (2021), relata o avanço de ganho genético na cultura da batata, através da identificação de genitores com maior valor genético para forma de tubérculos.

Dentre as vantagens do emprego de imagens para avaliações fenotípicas, estão a automação do processo, a grande quantidade de dados obtidos através de diferentes tratamentos das imagens, e o aumento na acurácia seletiva como consequência da elevada precisão experimental (CARNEIRO, 2018). Além disso, o baixo custo relativo de equipamentos é atrativo, necessitando apenas de uma câmera de alta resolução, um local de iluminação controlada e um computador para auxiliar no processo de captura das imagens (BELAN et al., 2020, NEILSON et al., 2021). Portanto, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um protocolo e validar o uso de fenotipagem por imagens para cor de polpa de tubérculos de batata.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A cultura da batata

Com elevado potencial produtivo e alto valor nutricional, a batata é um alimento de importância social e econômica, com papel fundamental na segurança alimentar mundial (DEVAUX et al., 2014; ZAHEER K.; AKHTAR, 2016; KOCH et al., 2020). Os tubérculos são fonte de proteínas, vitaminas B e C, minerais como potássio, magnésio, zinco e fósforo, e também possui alta concentração de carboidratos (NAVARRE et al., 2009; GIBSON; KURILICH, 2013; ABBA, 2019).

O centro de origem da batata está localizado nos altiplanos andinos da América do Sul, onde é cultivada há cerca de oito mil anos. Ao longo do tempo, foram desenvolvidas na região mais de cinco mil variedades alocadas em quatro espécies. A *Solanum tuberosum* é a mais relevante entre elas, pelo menos no que diz respeito ao fator econômico, por englobar a maior parte do *pool* genético das cultivares comerciais do mundo (LUTALADIO; CASTALDI, 2009; HAAN; RODRIGUEZ, 2016). A espécie é altamente heterozigótica, e os hábitos de reprodução autotetraploides resultaram em plantas muito diversas geneticamente, permitindo assim, a seleção de cultivares adaptadas à diferentes condições ambientais, e que contemplem diferentes formas de consumo (SLATER et al., 2018). No Brasil, os principais segmentos de mercado atendidos são: uso doméstico da batata *in natura*, processamento industrial de batata *chips* e palha; e a produção de batata em palitos pré-fritos congelados (PINTO et al., 2010).

Aproximadamente 115 mil hectares de batata foram cultivados no Brasil em 2019, dos quais 65% foram destinados ao consumo *in natura*, 15% ao mercado de *chips*, 12% para o mercado de pré-fritas e 8% para produção de sementes (BATATA SHOW, 2019; FAOSTAT, 2019). As diferentes combinações de clima, subclima e altitudes que ocorrem no território brasileiro, associadas ao uso de tecnologias de aplicação de defensivos, nutrição de plantas, e irrigação, possibilitam o cultivo extensivo da cultura em sete estados (MG, SP, PR, BA, GO, SC e BA) (EMBRAPA, 2004; SILVA, 2019). Minas Gerais é o maior produtor, com um terço da produção e cerca de 38 mil hectares cultivados, seguido do Paraná com 28 mil hectares e São Paulo com 9 mil (IBGE, 2018). Ainda que a produção brasileira tenha alcançado a marca de 3,85 milhões de toneladas em 2021, com plantio e colheita da cultura praticamente ao longo de todo o ano, o cultivo de batata para o mercado de palitos pré-fritos congelados e o setor de fornecimento de sementes não são autossuficientes, havendo demanda na compra de produto do mercado externo, de países

como Holanda, Alemanha e Argentina (HIRANO, 2009; FAOSTAT, 2018; CEPEA, 2019).

O cultivo nacional é marcado principalmente por fotoperíodo curto, temperaturas médias elevadas, e alta pressão de pragas e doenças. Tais fatores são responsáveis pela redução do funcionamento de processos fisiológicos responsáveis pela produção de fotoassimilados, diminuindo o enchimento de tubérculos, e conseqüentemente resultando em perdas significativas em produtividade (HAVERKORT; VERHAGEN, 2008; TORRES, 2016; PEREIRA; SILVA, 2019).

2.2 Segmentação de mercado do Brasil

Na cultura da batata, a “aptidão culinária” se dá pela capacidade do clone ser destinado a determinado segmento de mercado, compilando uma série de características dentro de padrões pré-estabelecidos. A avaliação destes caracteres no desenvolvimento de novas cultivares é essencial durante o processo de seleção para obtenção de cultivares que tenham boa aceitação de mercado, e atendam às necessidades dos consumidores e da indústria (MELO, 1999; PINTO et al., 2010). Independentemente do segmento, algumas características são indispensáveis para a qualidade e maior rendimento do produto final, como: tubérculos graúdos, saudáveis, sem esverdeamento, sem presença de distúrbios, com gemas vegetativas pouco aparentes, e baixa taxa de brotações (SOUZA, 2005).

Na comercialização *in natura* no Brasil, a aptidão é definida pelos caracteres de aparência, pois é o fator mais relevante aos consumidores (HAYASHI, 2007). Para atender os padrões de mercado, os tubérculos devem ser ovalados e apresentar polpa de cor creme/amarela, e a casca deve ser amarela, lisa e brilhante (PINTO et al., 2010; PÁDUA et al., 2012; PEREIRA; SILVA, 2019; BATATA SHOW, 2020). A cultivar Ágata é a principal para esse segmento no Brasil, foi responsável por um grande incremento de produtividade através da substituição da cultivar Monalisa, atingindo produções de até 50 t/ha (500 kg por dia de ciclo), entretanto, é sensível ao calor e tem susceptibilidade às principais doenças que prejudicam a cultura no país (MIRANDA FILHO; FELTRAN, 2019).

Para estar apto ao processamento, são os critérios da indústria devem ser considerados, onde o formato, a cor e a qualidade de fritura são os caracteres mais relevantes (PEREIRA, 2000). Tanto na produção de *chips* quanto de palitos pré-fritos, para obtenção de batatas crocantes, sem escurecimento e de sabor agradável após a fritura, é fundamental que os tubérculos apresentem teor de matéria seca entre 20% e 24%,

enquanto o de açúcares redutores deve ser menor que 0,2% (MELO, 1999; PEREIRA, 2000). No caso dos *chips*, os tubérculos devem ter formato redondo e polpa de cor branca (FERNANDES FILHO, 2018). A principal representante cultivada no Brasil, é a americana Atlantic, com excelente qualidade culinária, porém, a susceptibilidade ao PVY é tão marcante que alterou a epidemiologia do vírus no seu cultivo nacional (MIRANDA FILHO; FELTRAN, 2019). Já na produção de palitos pré-fritos congelados, é necessário que os tubérculos sejam alongados (comprimento maior que 75 mm), e apresente polpa de cor amarela (GUEDES et al., 2020). A cultivar Asterix é a principal variedade explorada nesse segmento, mas é intolerante ao calor, dificultando a produção para comercialização em épocas quentes do ano, se fazendo comum a prática de armazenar as safras de inverno (MIRANDA FILHO; FELTRAN, 2019), deste modo, o desenvolvimento da agroindústria neste segmento também necessita de tubérculos com boa capacidade de armazenamento (SILVA, 2019), isto é, com baixa taxa de conversão de amido em açúcares redutores (PEREIRA, 2000).

2.3 Melhoramento genético da batata

O melhoramento genético de batata deu início no Brasil na década de 1930, com o estudo do desenvolvimento de cultivares introduzidas de países estrangeiros pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) (BATATA SHOW, 2021). Ao longo do tempo, com o surgimento de outros programas alocados no setor público e em universidades, iniciaram os cruzamentos visando o desenvolvimento de variedades adaptadas as condições de cultivo nacionais. O sucesso desses programas é relatado com o lançamento de cultivares como a Baronesa (Embrapa) que ocupou cerca de 70% da área plantada no Sul do país (NETO, 2008), ou ainda a cultivar Aracy lançada pelo IAC, que há setenta anos é referência de rusticidade e resistência a alternarioses, utilizada como testemunhas em ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU) (ABBA, 2021).

A maior parte dos programas de melhoramento de batata brasileiros utilizam de métodos convencionais como meio de obtenção de novas cultivares. As principais etapas que compreendem o melhoramento convencional são: seleção de genitores; hibridação; seleção de clones superiores longo das gerações clonais (BUSO, 1990; BRADSHAW; MACKAY, 1994; FERNANDES FILHO, 2018). A propagação da batata ocorre via clones, ou seja, utilizando tubérculos-semente, e tem como principal vantagem a obtenção de indivíduos geneticamente idênticos à planta que deu origem a esses tubérculos. Dessa forma, os caracteres de interesse podem ser transferidos e fixados dos pais para os filhos

já na geração F1, tais como resistência a doenças, aumento de produtividade e caracteres de aptidão culinária (ACQUAAH, 2012).

Entretanto, após a realização dos cruzamentos, é gerado um número muito elevado de sementes botânicas, assim, a identificação dos genótipos superiores é uma tarefa desafiadora, pois a alta complexidade genética dos pais, resulta numa progênie muito heterogênea, onde cada descendente recebe uma combinação única de alelos desejáveis e indesejáveis (BRADSHAW, 2017; CAMPOS; ORTIZ, 2020). Portanto, nas primeiras gerações clonais, é recomendado que sejam aplicadas seleções rigorosas apenas para os caracteres de alta herdabilidade, e posteriormente, as seleções relativas à produtividade, ao passo que se diminui o tamanho da população, enquanto o número de plantas de cada genótipo aumenta, e conseqüentemente a capacidade do clone expressar seu potencial produtivo (BRADSHAW; MACKAY, 1994). Os clones identificados com características desejáveis, são utilizados como parentais para a obtenção de populações recombinantes, e são conduzidas novas gerações clonais, em um período de tempo que pode durar entre nove e doze anos para a obtenção de uma nova cultivar comercial (JANSKY et al., 2016).

Ainda que haja sucesso na melhoria direcionada das características de menor variabilidade intraespecífica, o progresso do melhoramento convencional tem se tornado lento e limitado (HAMEED et al., 2018). É esperado que os avanços na genômica, proteômica, fenômica e bioinformática promovam avanços neste campo, afim de atender-se as demandas mais urgentes de forma mais rápida, inteligente e com menor custo (HAAN; RODRIGUEZ, 2016).

2.4 Fenômica e o uso de imagens

A fenômica, é um termo relativamente recente, se refere a fenotipagem de alta qualidade e em larga escala de caracteres fisiológicos, morfológicos e bioquímicas de organismos vivos (KHADER et al., 2014). Tem como base, o tripé formado pela interação genótipo \times fenótipo \times ambiente, e utiliza de ferramentas interdisciplinares da biologia, bioinformática, ciência de dados, entre outras, para sua execução (MIGICOVSKY et al., 2017; PRATAP et al., 2019). No melhoramento vegetal, a fenômica se dá pela caracterização de fenótipos de plantas com aquisição de dados de alta dimensão (HOULE et al., 2010), com minimização de custos e em um tempo mais curto quando comparado aos métodos tradicionais de avaliação, que normalmente são demorados, destrutivos e com elevado erro associado, por depender em sua grande maioria do fator humano

(FURBANK; TESTER, 2011; GROBKINSKY et al., 2015). Publicações recentes com estudo de caracterização utilizando descritores fenômicos, demonstram que estes são mais eficientes que os métodos convencionais na análise de variabilidade fenotípica (ROSETO et al., 2019; NANKAR et al., 2020), facilitando a seleção inclusive em espécies onde a cultura é altamente melhorada e é difícil promover o ganho genético (ARAUS; CARNS, 2014).

Os avanços da fenômica foram tão significativos nos últimos anos, que hoje é possível utilizar técnicas não invasivas através da aquisição de imagens para estimar a biomassa das plantas, analisar a saúde, a fenologia, as atividades metabólicas e etc. (GEHAN; KELLOGG, 2017). Dentre as vantagens do uso de imagem para a fenotipagem, é destacado a grande quantidade de informações geradas, com fácil gravação, transmissão e armazenamentos em bancos dados (PRATAP et al., 2019), além da manutenção da qualidade do material coletado em tempo indeterminado, já que as imagens digitais não sofrem avarias ambientais (CARNEIRO, 2018). Sua obtenção é feita basicamente de duas formas: plataformas aéreas e plataformas terrestres. As plataformas aéreas são aquelas que os sensores estão acoplados em Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT's) ou satélites. Com o aumento de altitude, o nível de captura abrange lotes maiores e em grandes escalas, utilizados por exemplo na determinação de déficit hídrico em lavouras, no mapeamento de propriedades, ou ainda, na contagem de bovinos em pastos ou sistemas de confinamento. Já as plataformas terrestres, utilizam sensores acoplados em tratores, casas de vegetação, e estúdios controlados, além dos equipamentos de uso manual, que permitem a captura das imagens a nível de parcela, de indivíduo, ou até partes específicas do material observado, como folhas e raiz no caso de plantas (PRATAP et al., 2019; WEBER et al., 2019).

No melhoramento genético, tem-se observado que o uso de imagens para determinação de caracteres morfológicos é promissor para a aplicação em maiores escalas e para o uso em programas comerciais. Na cultura da batata, através da aquisição de um modelo 3D, Liu et al. (2021), obtiveram dados de alta qualidade a respeito da uniformidade e características físicas das gemas vegetativas de tubérculos. A fenotipagem de plantas por imagens também pode ser aplicada nos estudos de diversidade genética, utilizando diferentes partes das plantas para o desenvolvimento de descritores morfológicos, de modo que diferentes dados obtidos podem ser inter cruzados para, por exemplo, aprimorar métodos relacionados ao estudo da variação genética entre populações e grupos (GANGA et al., 2004; BENTO et al., 2007). Este por sua vez,

aplicado aos bancos de germoplasma, é essencial para a conservação das mesmas (WIESBAUER, 2008)., e pode ser utilizado positivamente nos programas de melhoramento para otimizar a escolha de genitores nos blocos de cruzamento e aumentar as chances de obtenção de genótipos superiores.

2.5 Aquisição de imagens e segmentação

As imagens digitais são constituídas de minúsculos pontos denominados “pixels”, estes por sua vez, são representados por matrizes numéricas bidimensionais variando de 0 à 255. Existem três tipos de imagens: binárias, onde os pixels assumem somente duas cores, preto (0) e branco (255); escala de cinza, onde cada valor entre 0 e 255 corresponde à um tom de cinza, partindo do preto (0) ao branco (255); e as coloridas, que ao contrário dos outros dois tipos, possui mais de uma matriz de pixels.

Dentre os diferentes sistemas de representação de cores, três deles são os mais utilizados: o RGB (*red, green, blue*); o Lab; e o HSV (*hue, saturation, value*). O RGB é o mais conhecido, utilizado principalmente em telas de aparelhos eletrônicos. Cada uma de suas siglas corresponde à um canal diferente: vermelho (R); verde (G); e azul (B), sendo um sistema aditivo, pois a combinação da intensidade de cada uma dessas cores forma uma única cor visível aos nossos olhos. O Lab é um sistema que foi desenvolvido para se alinhar a percepção humana, constituído de um canal para a luminosidade (L), e dois canais para cromaticidade de cor do verde até o vermelho (a) e do azul ao amarelo (b) (BERNARDO, 2010). Já o sistema HSV é mais utilizado em softwares que fazem o processamento de imagens, dado sua alta capacidade de distinção, isto é, de separar os elementos constituintes das imagens, onde o H diz respeito ao comprimento de onda dominante da cor, o S está relacionado a saturação, ou seja, a quantidade de luz branca, e o V é o valor de luminosidade (HUNT, 2010).

Através da quantificação dos pixels e seus respectivos valores de acordo com o sistema de cores utilizado, é possível lançar mão de análise desses dados para obter caracterizações fenotípicas, com potencial de substituição de métodos menos precisos, como os de avaliações visuais. Silva (2021) observou que as informações extraídas do canal L do sistema Lab de imagens originalmente capturadas em RGB, foi altamente eficiente na determinação de escurecimento do tegumento de grãos de feijão, superando a avaliação visual. Para obter êxito na fenotipagem, a captura das imagens deve ser feita com cautela, já que a qualidade das mesmas depende essencialmente desta etapa. As câmeras que capturam imagens RGB são mais comumente utilizadas em plataformas

terrestres, devido principalmente ao custo, já que as câmeras multiespectrais (que fornecem uma quantidade maior de informações) são consideravelmente mais caras, e normalmente estão alocadas em satélites (WALTER et al., 2015). Após a aquisição das imagens, se necessário, são aplicadas técnicas de tratamento de para eventuais ajustes de brilho, contraste e suavizações. Em seguida é feita a segmentação, e só então ocorre a extração das características.

A etapa chamada de segmentação, se dá pela separação de partes de uma imagem, utilizando por exemplo, a cor como critério de agrupamento. Existem duas técnicas principais de segmentação, que fazem o agrupamento de pixels similares: o uso de limiares de intensidade, e técnicas de aprendizado de máquina não supervisionados (SOLOMON; BRECKON, 2013). No caso dos limiares de intensidade, é gerado uma imagem binária (preto e branca), onde primeiramente é estabelecido um valor limiar, e os pixels em que a intensidade ultrapassa o limiar recebem o valor de pixel para branco (255), e aqueles com intensidade inferior recebem o valor de pixel para preto (0).

O método mais utilizado para definição do limiar é o proposto por Otsu (1979), que utiliza da menor variância entre as classes dos pixels de imagens, obtida nos picos de histogramas. Porém, problemas de segmentação podem ocorrer com a aquisição problemática de imagens, onde pode ocorrer “poluições” na imagem, ou seja, partes da imagem que não correspondem ao material a ser analisado, e causam alterações indesejadas nos resultados. Outro meio de realizar a segmentação das imagens é através das técnicas de aprendizado de máquina, essas são mais modernas e tem maior capacidade de distinção de diferentes grupos dentro das imagens, por isso são amplamente utilizadas em imagens coloridas (MIRANDA, 2011). Após a segmentação, a extração de características pode ser realizada, utilizando os valores de pixels para caracterizar tamanho, formato, cor, intensidade de doenças e danos, etc.

2.6 Parâmetros fotográficos

A maioria das câmeras disponíveis no mercado, sejam elas acopladas em celulares, webcams, e outras, possuem modo automático de ajuste a luminosidade do ambiente, limitando a qualidade da imagem a ser captura. Enquanto outras possuem uma série de parâmetros ajustáveis manualmente, para a captura das imagens de acordo com o que é necessário ou desejado.

Três desses parâmetros são os principais utilizados para o ajuste da luz que irá ser capturada pela imagem, e devem ser utilizados em conjunto: o ISO que determina a

sensibilidade a luz do sensor da câmera, de modo que aumentando-se o valor do ISO, mais brilhante será a imagem, porém, mais granulada; a abertura (f) do diafragma da lente, tem o funcionamento análogo à íris do olho humano (de abertura e fechamento), e controla a quantidade de luz que será recebida pelo sensor da câmera, sendo que quanto maior o valor de f , menor a abertura do diafragma, portanto, mais escura ficará a imagem; e a velocidade do obturador (S), que representa o tempo que o diafragma levará para abrir e fechar, ou seja, o tempo que o sensor à luz ficará exposto à luz, assim, quanto maior for o tempo de exposição, mais iluminada será a imagem. (VERTCHENKO; VERTCHENKO, 2015).

3 METODOLOGIA

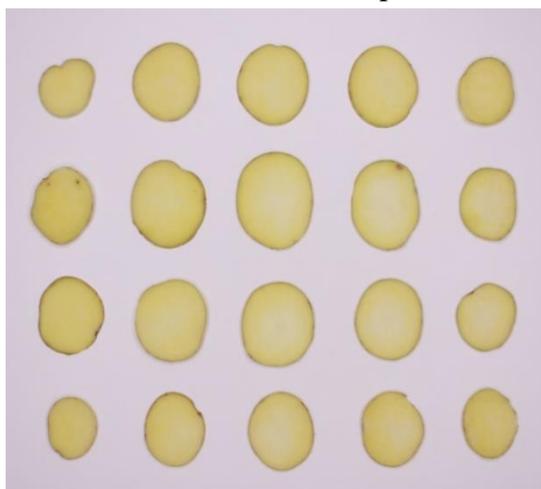
3.1 Determinação do protocolo para a aquisição de imagens digitais, visando a avaliação de cor de polpa em batata

Para definir o protocolo de obtenção de imagens digitais de cor de polpa em batata, foram utilizados 41 clones oriundos do PROBATATA – UFLA com aptidão para a indústria de *chips* (FERNANDES FILHO, 2018), juntamente com as testemunhas Atlantic. O cultivo ocorreu durante a safra de inverno, entre abril e setembro de 2022, no Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Agropecuária da Universidade Federal de Lavras (latitude: 21°14'43''S; longitude: 44°59'59''W; e altitude: 919 metros), no município Lavras – MG. Foram aplicados tratamentos agrônômicos seguindo os padrões de cultivos comerciais da região.

Logo após a colheita, as diferentes parcelas de cada genótipo foram agrupadas, e posteriormente dentro de cada grupo, foram selecionados quatro tubérculos de padrão comercial (diâmetro transversal acima de 45 mm).

Para a aquisição das imagens, 5 fatias de 2mm de espessura de cada tubérculo, obtidas com auxílio de um fatiador culinário manual, foram dispostas horizontalmente de forma alinhada sobre uma placa de *Medium Density Fiberboard* (MDF) com revestimento branco fosco (compondo o fundo da imagem), formando quatro linhas de diferentes tubérculos do mesmo genótipo, somando vinte fatias no total (Figura 1).

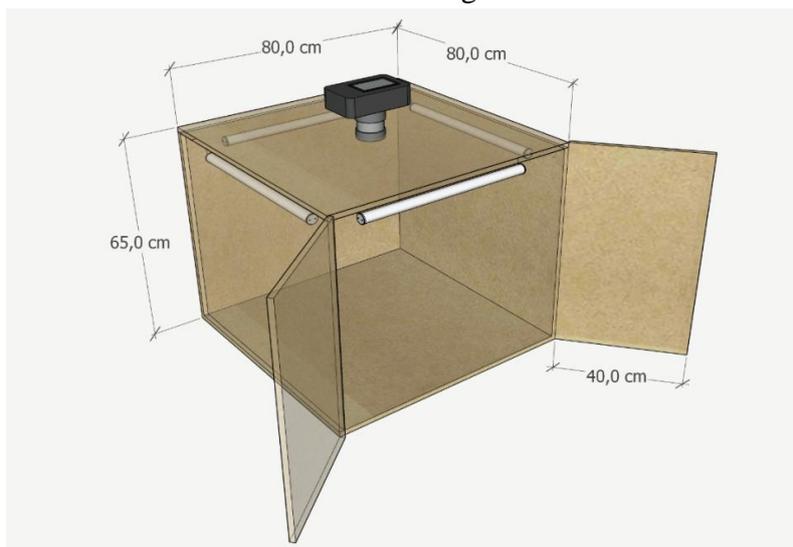
Figura 1 – Organização das fatias de batata sobre a placa de MDF.



Fonte: Do autor (2023).

O experimento foi conduzido no Laboratório de Fenômica do Departamento de Biologia da UFLA. As imagens em formato “.jpg” foram capturadas com auxílio de uma câmera modelo: Canon EOS D60, e lente Canon Zoom Lens EF-S 18-35mm, acopladas à um mini estúdio fotográfico de iluminação controlada, fabricado com MDF tipo “cru” de 15 mm de espessura, equipado com 4 lâmpadas de LED de 55 cm de comprimento, 9W,900 *lm*, e luz cor branco frio (Figura 2).

Figura 2 – Planta tridimensional do estúdio fotográfico.



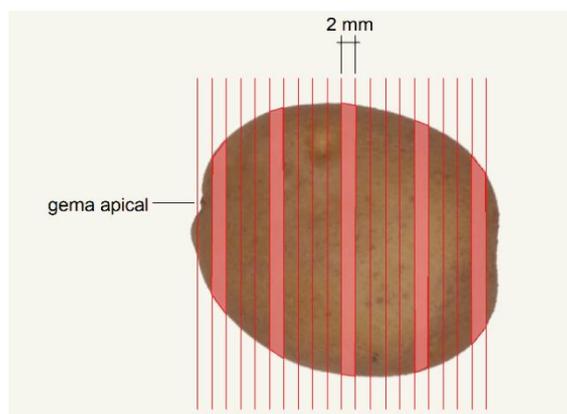
Fonte: Do autor (2023).

Três imagens de cada clone foram obtidas, totalizando 126 imagens, sendo 42 para cada configuração (combinação dos parâmetros ISO, *f* e *S*) utilizada na câmera fotográfica. O ISO (grau de sensibilidade do sensor da câmera à luz do ambiente) foi fixado em 200, e o tempo de exposição do obturador (*S*) foi fixado em 1/13. Variou-se a abertura do diafragma da lente (*f*), sendo: F8; F10; e F11. Foi utilizado o software “Canon EOS Utility” instalado em um computador conectado à câmera, afim de facilitar a captura das imagens.

Alguns cuidados foram tomados durante a aquisição das imagens, com intuito de garantir o sucesso no processamento das mesmas, sendo eles: i) fatiar o tubérculo em sentido transversal ao eixo da gema apical, e selecionar cinco fatias que representem o tubérculo como um todo, ou seja, uma fatia para cada 1/5 do tubérculo (Figura 3); ii) alinhar corretamente as fatias dentro do espaço de captura e evitar que elas se tocassem para viabilizar a remoção do fundo durante o processamento; iii) secar as fatias após o fatiamento; iv) fazer todo o processo do corte até a captura das fotos de forma rápida para

evitar oxidações que causam alteração na cor da polpa; v) manter a porta do estúdio fechada durante a captura das fotos, para impedir a interferência de iluminação externa.

Figura 3 – Sentido de fatiamento do tubérculo (destaque em vermelho: fatias selecionadas).



Fonte: Do autor (2023).

As imagens foram processadas afim de obter somente a informação contida na área das fatias dos tubérculos. Para facilitar a remoção do fundo, inicialmente o processo se deu convertendo digitalmente a imagem obtida no sistema RGB para o sistema HSV utilizando o canal S como base para aplicação da técnica de segmentação de limiarização de Otsu (1979), em que o valor limiar possibilitou a geração de duas imagens, uma contendo somente as fatias e outra contendo somente o fundo. A imagem que continha somente as fatias foi convertida para o sistema Lab, afim de aplicar a quantificação dos pixels pelos canais L (informa a intensidade de luz presente na imagem) e b (informa a variação de cor do amarelo ao azul), e se deu de três formas: o valor médio de todos os pixels em cada fatia (MED); o valor de pixel mais frequente em cada fatia (MOD); e a variância entre os valores dos pixels de cada fatia (VAR). O processamento das imagens e as quantificações de pixels foram realizadas com auxílio do pacote OPENCV da linguagem *Python*.

Os dados extraídos dos pixels das imagens foram submetidos às análises individuais, por configuração, e fatorial, combinando as diferentes configurações e clones avaliados. Contudo, em ambas as análises a unidade experimental adotada foi a média aritmética das cinco fatias de cada tubérculo, bem como o delineamento experimental inteiramente casualizado com quatro repetições representadas pelos quatro diferentes tubérculos amostrados de cada clone.

Para realizar as análises individuais, utilizou-se o modelo apresentado a seguir:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + e_{ij}$$

em que: y_{ij} representa a observação fenotípica do clone i na repetição j ; μ é o intercepto; τ_i representa o efeito fixo do clone i ; e_{ij} representa o erro aleatório do clone i na repetição j , com $e_{ij} \sim N(0, \sigma_e^2)$. Sempre que o efeito de clones foi significativo, realizou-se o agrupamento das médias pelo método de Scott-Knott.

A análise em esquema fatorial simples, clones \times configurações, foi realizada por meio do modelo apresentado a seguir:

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \alpha_j + (\tau\alpha)_{ij} + e_{ijk}$$

em que: y_{ijk} representa a observação fenotípica do clone i na configuração j e repetição k ; μ é o intercepto; τ_i representa o efeito fixo do clone i ; α_j representa o efeito fixo da configuração j ; representa o efeito fixo da interação entre o nível i do fator clone e nível j do fator configuração; e_{ijk} representa o erro aleatório do clone i na configuração j e repetição k , com $e_{ijk} \sim N(0, \sigma_e^2)$.

Todas as análises do presente trabalho foram realizadas com auxílio do software R (R CORE TEAM, 2020)

3.2 Validação do método de fenotipagem por imagem

Com base nos resultados obtidos na seção anterior “Determinação do protocolo para a aquisição de imagens digitais, visando a avaliação de cor de polpa em batata”, foi identificada a melhor configuração, ou seja, aquela que melhor discriminou os clones para a coloração de polpa, bem como a medida (MED, MOD ou VAR) mais apropriada para caracterizar as imagens.

Posteriormente, a imagem de cada clone foi subdividida em quatro novas imagens e cada uma delas representou um tubérculo (Figura 4). Antes da avaliação, as imagens foram aleatorizadas afim de evitar viés na avaliação.

Figura 4 – Imagem utilizada para avaliação visual de cor de polpa.



Fonte: Do autor (2023).

Em cada uma das imagens, foram atribuídas notas de três avaliadores, usando como referência a escala diagramática proposta por Guedes et al. (2020), classificando a coloração da polpa dos tubérculos em: 1 – branco; 2 – amarela clara; 3 – amarela média; 4 – creme; 5 – amarela escura. A nota média dos três avaliadores foi utilizada como indicador de cor de polpa para cada imagem. As análises estatísticas foram as mesmas realizadas nas análises individuais da seção anterior.

Para validar a metodologia de análise por imagem, os valores de média das notas foram correlacionados com os valores dos pixels extraídos das imagens. Além disso, comparou-se a precisão experimental das duas estratégias por meio da acurácia, coeficiente de variação experimental e número de grupos formados pelo método de Scott-Knott em nível de 5% de probabilidade.

4 RESULTADOS

4.1 Determinação do protocolo para a aquisição de imagens digitais, visando a avaliação de cor de polpa em batata

Houve efeito significativo para todas as fontes de variação à 1% de probabilidade para todos os caracteres avaliados em ambos os canais (L e b), exceto para a interação entre os fatores Configuração (CO) e Clone (CL).

Para o canal L, o caráter variância dos valores dos pixels (VAR) apresentou maior contribuição do fator CL (50,01%). Não obstante, os caracteres Média (MED) e Moda (MOD) apresentaram maior contribuição do fator CO (96,58% e 96,69%). Já no canal b, todos os caracteres apresentaram maior contribuição do fator CL (MED: 89,27%, MOD: 86,13% e VAR: 86,39%).

Em ambos os canais, os caracteres MED e MOD apresentaram os menores coeficiente de variação (CV), variando de 1,42% a 2,30%, quando comparados com o caráter VAR, cujos valores superaram 20%.

De maneira geral, independente da Configuração (F8, F10 e F11) e do caráter (MED, MOD e VAR), as acurácias associadas ao Canal b foram superiores (0,97 a 0,98) aquelas registradas no Canal L (0,69 a 0,86). Além disso, no Canal b, foi possível identificar maior número de grupos (4 a 7) quando comparado com o Canal L, no qual foram identificados apenas dois grupos pelo teste de Scott-Knott.

Tabela 1 – Resumo de análise conjunta de variância na determinação de cor de polpa de batata através da quantificação da média (MED), moda (MOD) e variância (VAR) dos valores de pixels em imagens para os canais L e b do sistema Lab.

	Caráter	Fatores (%)		Interação CO × CL	CV (%)	Acurácia (nº de grupos)		
		Configuração (CO)	Clone (CL)			F8	F10	F11
Canal L	MED	96,58**	01,21**	0,15 ^{ns}	1,51	0,72 (2)	0,73 (2)	0,69 (2)
	MOD	96,69**	01,13**	0,16 ^{ns}	1,42	0,71 (2)	0,71 (2)	0,69 (2)
	VAR	07,85**	50,01**	0,27 ^{ns}	20,17	0,85 (2)	0,86 (2)	0,85 (2)
Canal b	MED	02,25**	89,27**	0,02 ^{ns}	1,77	0,98 (7)	0,98 (7)	0,98 (6)
	MOD	02,92**	86,13**	0,49 ^{ns}	2,30	0,98 (6)	0,98 (6)	0,98 (6)
	VAR	00,48**	86,39**	0,36 ^{ns}	22,64	0,97 (4)	0,97 (6)	0,98 (5)

Canal L: “*Light*” no sistema Lab; Canal b: “*blue*” no sistema Lab; Fatores (%): contribuição do Quadrado Médio em relação ao total; CV (%): Coeficiente de Variação; F8, F10 e F11: diferentes configurações de câmera para o parâmetro abertura (f); **: significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Fonte: Do autor (2023).

A escolha das melhores combinações entre canal, caráter e Configuração de câmera, foi tomada com base no desempenho individual e conjunto desses fatores. Os resultados obtidos nesta seção, apontam o Canal b como o mais eficiente na identificação de variabilidade entre os clones. Com base no CV, o caráter MED foi o mais preciso, e apesar da alta acurácia entre todas as configurações, o número de grupos identificados pelo teste de Scott-Knott foi maior para as configurações F8 e F10, podendo ser adotados ambas as configurações. Entretanto, por convencionalidade, para dar segmento a próxima seção da metodologia (Validação do método de fenotipagem por imagem), foram utilizados os dados de MED analisados com o Canal b, das imagens obtidas com a Configuração de câmera F10.

4.2 Validação do método de fenotipagem por imagem

Assim como as imagens, a avaliação de cor utilizando notas visuais também foi eficaz em discriminar os clones, com efeito significativo à 1% de probabilidade.

Ambos os métodos apresentaram elevada acurácia (0,98), entretanto, o CV foi menor para a avaliação com imagens (1,75%), indicando maior precisão experimental quando comparado a avaliação com notas visuais (13,88%).

O número de grupos contrastantes identificados pelo teste de Scott-knott foi superior no método de avaliação por imagens (7 grupos), contra 4 grupos identificados na avaliação por notas. Indicando que o uso de imagens é mais eficiente em discriminar os clones pela cor de polpa.

Tabela 2 – Estimativas de parâmetros estatísticos para avaliação de cor de polpa de batata com imagens e notas visuais.

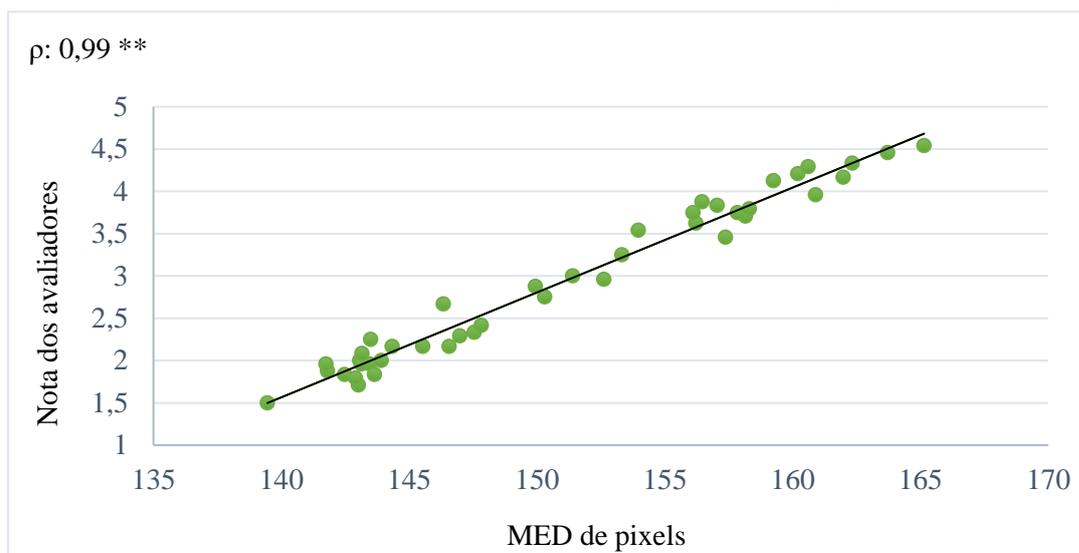
Estimativa	Imagem	Nota Visual
F	32,5**	21,8**
CV (%)	1,75	13,88
Acurácia	0,98	0,98
Nº de grupos (SK)	7	4

Nº de grupos (SK): quantidade de grupos formados pelo teste de Scott-Knott; CV (%): Coeficiente de Variação. **: significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Fonte: Do autor (2023).

A correlação entre as médias obtidas através de nota visual e as imagens à nível de tratamento foi de 0,99 (Figura 5). Esse valor indica uma correlação muito alta segundo os níveis propostos por Hopkins (2000).

Figura 5 – Correlação entre a nota dos avaliadores e a MED de pixels.



Fonte: Do autor (2023).

5 DISCUSSÃO

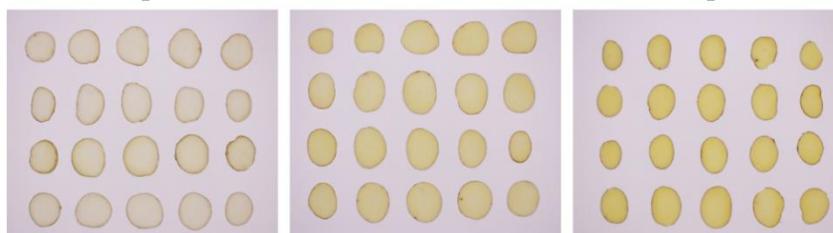
5.1 Determinação do protocolo para a aquisição de imagens digitais, visando a avaliação de cor de polpa em batata

A análise conjunta entre configuração (CO) e clone (CL) apresentou efeito não significativo, já que não houve interação entre os fatores, ou seja, o ranqueamento dos clones de acordo com a variação de cor da polpa não é alterado de maneira considerável diante das diferentes configurações de câmera utilizadas. Em contraponto, tanto para CO quanto para CL houve efeito significativo, evidenciando a eficácia na discriminação de cada fator somente de maneira isolada.

Para os dados obtidos através da análise dos pixels do canal b, a maior contribuição do fator CL para a soma de quadrados total os caracteres MED e MOD (ambos acima de 86%), associada à elevados índices de precisão experimental (CV e acurácia), indicam que o método de fenotipagem por imagens foi eficiente em discriminar os clones pela cor de polpa do tubérculo. Apesar de CL representar a maior contribuição para o caráter VAR no canal b (também acima de 86%), este não se mostrou adequado para discriminar cor de polpa, pois seu CV foi de 22,64%, indicando baixa precisão experimental (PIMENTEL GOMES, 1985), este também foi capaz de discriminar menos grupos pelo teste de Scott-Knott em comparação aos outros caracteres.

A maior contribuição do fator CL na variação dos caracteres, pode estar relacionada ao fato de que o canal b diz respeito a saturação do pixel variando do azul ao amarelo, e, tratando-se de um estudo que utilizou genótipos com tubérculos que tem como pigmento a antoxantina, responsável pela coloração amarelada da polpa (ROCHA; REED, 2014), os valores dos pixels apresentam-se responsivos a variação de amarelo destes tubérculos, variando entre menor valor (134,45) para tubérculos de coloração mais clara, valor médio (152,54) e maior valor (165,17) para tubérculos de coloração mais intensa (Figura 6).

Figura 6 – Menor (134,45), médio (152,54) e maior (165,17) valor de média de pixel (MED) do canal b, respectivamente, em uma escala de 0 a 255 (capturadas com F10).

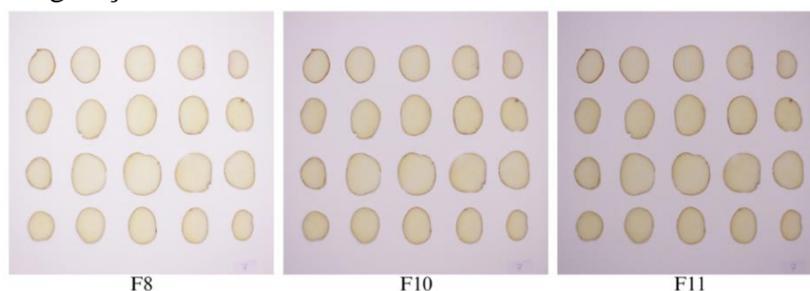


Fonte: Do autor (2023).

No canal L, o caráter VAR também resultou em um alto CV (20,17%), indicando baixa precisão experimental. Entretanto, ao contrário dos resultados obtidos pelo canal b, a contribuição da soma dos quadrados esteve majoritariamente associada à CO para MED e MOD (acima de 96%). Dessa forma, o canal L apresentou-se incapaz de discriminar os clones pela cor de polpa dos tubérculos.

O canal L é responsivo a intensidade de luz presente na imagem. Assim, ocorreram alterações na iluminação em função do tamanho da abertura do diafragma da lente, indo de mais aberto (F8) até mais fechado (F11), ou seja, do mais claro ao mais escuro (Figura 7). Desse modo, o canal só pode classificar imagens mais claras e imagens mais escuras, e não diferentes intensidades da coloração amarela. Este resultado é elucidado pela formação de apenas dois grupos contrastantes pelo teste de médias de Scott-Knott, para todos os caracteres em todas as configurações de câmera.

Figura 7 – Comparação de iluminação entre as imagens do mesmo clone capturadas com diferentes configurações de câmera



Fonte: Do autor (2023).

Tanto o CV quanto a acurácia são medidas de precisão experimental, porém, para a batata, o CV não possui uma classificação própria, sendo utilizada comumente a escala proposta por Pimentel Gomes (1985) que é uma escala generalista, enquanto a acurácia considera não somente a magnitude da variação residual, mas também o controle genético do caractere, ou seja, com maior especificidade para diferentes experimentos (RESENDE, DUARTE, 2007). Os CVs dos caracteres MED e MOD no canal b, indicaram elevada precisão experimental, com valores de até 2,30% (PIMENTEL-GOMES, 1985), já para a acurácia, todos os valores foram iguais a 0,98, (muito alto) representando também alta precisão experimental seguindo o padrão proposto por Resende & Duarte (2007). Estes resultados corroboram com os trabalhos desenvolvidos por Silva (2021), Cardoso (2022) e Neilson *et al.* (2021), que demonstraram que as análises por imagens são altamente precisas e podem solucionar problemas inerentes a análises

visuais, como subjetividade, aplicabilidade e baixa precisão, possibilitando o desenvolvimento de plantas com ganho genético significativo (PRATAP et al., 2019).

Todos as combinações de MED e MOD com as diferentes configurações apresentaram-se eficientes em discriminar cor de polpa pelo canal b, entretanto, através de observações mais criteriosas, percebe-se que o CV para MED (1,77%) foi ligeiramente inferior ao CV de MOD (2,30%). Além disso, ao considerar os números de grupos contrastantes criados pelo teste de Scott-Knott, observa-se que as configurações de F8 e F10 do caráter MED foram capazes de discriminar mais grupos contrastantes (7) do que o restante das combinações (6). Portanto, ambas as configurações F8 e F10 combinadas com o caráter MED apresentam a mesma capacidade de discriminar os clones pela cor de polpa dos tubérculos.

5.2 Validação do método de fenotipagem por imagem

Através da classificação proposta por Hopkins (2000) é possível determinar o grau de correlação entre variáveis utilizando o valor do coeficiente de correlação (ρ). A correlação entre notas atribuídas de forma visual e os valores obtidos pelo método de fenotipagem por imagens foi de 0,99, ou seja, classificada como quase perfeita, indicando uma forte associação linear entre os dados, portanto, validando o uso da análise de imagens para determinação de cor de polpa de tubérculos.

Ainda que haja correlação entre os métodos, considerando as medidas de precisão experimental, é possível perceber que o método de fenotipagem por imagens é mais preciso, pois, apesar de ambos apresentarem a mesma acurácia (0,98), o CV foi bastante inferior para os dados de imagem (1,75%), indicando maior precisão em relação as notas visuais (13,88%). Outro indicativo importante é o valor do teste F, que está relacionado a variação dos resíduos, de modo que quanto maior o valor de F, menor a variação residual e mais preciso é o dado (REGAZZI,1999), e enquanto o valor de F foi de 21,8 para nota visual, os dados de imagem tiveram um F de 32,5. Finalmente, a distinção de 7 grupos contra apenas 4 grupos contrastantes pelo teste de Scott-Knott indica que a avaliação por imagens foi capaz de captar menores variações entre a cor de polpa dos tubérculos.

Além das medidas de precisão experimental evidenciarem que o método de fenotipagem por imagens é mais preciso, outros fatores como a durabilidade do material coletado, a rapidez e praticidade com que o processo é feito, corroboram para a viabilidade de adoção deste método para avaliar a cor de polpa de tubérculos de batata.

6 CONCLUSÕES

As configurações de câmera F8 ou F10 combinadas com a média dos valores de pixels do canal b do sistema Lab, são similares e eficientes em discriminar clones de batata pela cor de polpa dos tubérculos. Além disso, o método de fenotipagem por imagens para a avaliação de cor de polpa de tubérculos de batata é mais preciso e discriminou mais grupos contrastantes que o método de avaliação visual.

7 REFERÊNCIAS

ABBA - BATATA SHOW. **A Revista da Batata**. Itapetininga, 2019. Disponível em: <http://www.abbabatatabrasileira.com.br/site/wp-content/uploads/2019/5/RBS-55-2.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2022.

ABBA - BATATA SHOW. **A Revista da Batata**. Itapetininga, 2020. Disponível em: <http://www.abbabatatabrasileira.com.br/site/wp-content/uploads/2020/10/RBS-57-1.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2022.

ABBA - BATATA SHOW. **A Revista da Batata**. Itapetininga, 2021. Disponível em: <http://www.abbabatatabrasileira.com.br/site/wp-content/uploads/2021/13/RBS-58-1.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2022.

ACQUAAH, G. Principles of plant genetics and breeding. 2. ed. Maryland: John Wiley & Sons, 2012. 732 p. Disponível em: <http://gtu.ge/AgroLib/Principles%20of%20Plant%20Genetics%20and%20Breeding.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2023.

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.

ARAUS, J. L.; CAIRNS, J. E. Field high-throughput phenotyping: the new crop breeding frontier. **Trends in plant science**, 19(1), 52-61, 2020.

ARCAUTE, R.R.; CARRASCO, A.; ORTEGA, F.; et al. Evaluation of Genetic Resources in a Potato Breeding Program for Chip Quality. **Agronomy**. 2022.

BELAN, P. A. *et al.* Machine vision system for quality inspection of beans. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 111(11), 3421-3435, 2020.

BENTO, C.S.; et al. Descritores qualitativos e multicategóricos na estimativa da variabilidade fenotípica entre acessos de pimentas. **Scientia Agraria**. 149-156, 2007.

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

BRADSHAW, J. E. Review and Analysis of Limitations in Ways to Improve Conventional Potato Breeding. **Potato Research**, v. 60, n. 2, p. 171–193, 2017.

BRADSHAW, J. E; MACKAY, J.L. Inheritance of table and processing quality. In: **Potato Genetics**. Cambridge: CAB International, a. p. 285–315, 1994.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. INSTRUÇÕES PARA EXECUÇÃO DOS ENSAIOS DE DISTINGUIBILIDADE, HOMOGENEIDADE E ESTABILIDADE DE CULTIVARES DE BATATA (*Solanum tuberosum* L). Brasília, DF: Mapa, 2012.

CAMPOS, H.; ORTIZ, O. The potato Crop. First Edition. Switzerland: Springer Nature Switzerland. 2020.

CARAZA-HARTER, M.V.; ENDELMAN, F.B. Image-based phenotyping and genetic analysis of potato skin set and color. **Crop Breeding & Genetics**. 2019.

CARNEIRO, Vinícius Quintão. **Aplicativos computacionais para o melhoramento genético fundamentados em análise de imagens e inteligência computacional**. 2018. 127 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2018.

CARSOSO, E.S. **Análise de imagens na fenotipagem do tamanho e forma de grãos de cultivares de feijão**. 2022. 65 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2021.

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

ENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA (CEPEA). PIB do agronegócio brasileiro de 1996 a 2018. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>>. Acesso em: 13 jan. 2023.

FAOSTAT – United Nations Statistics Division of the Food and Agriculture Organization. 2019. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCLD>> Acesso em: 21 nov. 2022.

FERNANDES FILHO, C.C. **Seleção de genitores e de clones de batata para a indústria de chips**. Tese (Mestrado em Agronomia) – Pós-graduação em genética e melhoramento de plantas – Universidade Federal de Lavras (UFLA). Lavras, p.68, 2018.

FURBANK, R.T.; TESTER, M. Phenomics—technologies to relieve the phenotyping bottleneck. **Trends in Plant Science**. 16, 635–644, 2011.

GANGA, R.M.D.; RUGGIERO, C.; LEMOS, E.G.M.; et al. Diversidade Genética em maracujazeiro-amarelo utilizando marcadores moleculares fALP. 494-499. 2004.

GARCIA, E. L.; CARMO, E. L. D.; PÁDUA, J. G. D.; LEONEL, M. Potencialidade de processamento industrial de cultivares de batatas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 10, p.1742-1747, 2015.

GEHAN, M.A.; KELLOGG, E.A. High-throughput phenotyping. **American Journal Bot.** 505–508, 2017.

GIBSON, S.; KURILICH, A.C.; The nutritional value of potatoes and potato products in the UK diet. **Nutrition Bulletin**. 389-399, 2013.

GROBKINSKY, G.K.; SVENSGAARD, J.; CHRISTENSEN, S.; ROITSCH, T. Plant phenomics and the need for physiological phenotyping across scales to narrow the

genotype-to-phenotype knowledge gap. **Journal of Experimental Botany**. 5429-5440, jun. 2015.

GUEDES, M.L.; ANDRADE, M.H.M.L.; CHAGAS, R.R.; CARVALHO, R.P., FERNANDES FILHO, C.C.; PINTO, C.A.B.P. Escalas diagramáticas para avaliação do fenótipo de tubérculos de batata. **Agronomic Crop Journal**. V. 29, n. 2, 2020.

HAAN, S.; RODRIGUEZ, F. Potato Origin and Production. **Advances in Potato Chemistry and Technology**. 2016.

HAMEED, A.; ZAIDI, S. S.; SHAKIR, S.; MANSOOR, S. Applications of New Breeding Technologies for Potato Improvement. **Frontiers in plantscience**, v. 9, 2018.

HAVERKORT, A. J.; VERHAGEN, A. Climate change and its repercussions for the potato supply chain. **Potato research**, v. 51, p. 223-237, 2008.

HAYASHI, P. Variedade cupido: nova opção para mercado fresco. **Batata Show**, Itapetininga, v. 1, n. 3, p.14, 2007.

HIRANO, E. Análise sobre a situação atual e perspectivas da batata semente no Brasil. **Batata Show**, v. 9, p. 10-12, 2009.

HOPKINS, W. G. **Correlation coefficient: a new view of statistics**. 2000. Disponível em: <<http://www.sportsci.org/resource/stats/correl.html>>. Acesso em: 10, mai. 2023

HOULE, D.; GOVINDARAJU, D.R.; OMHOLT, S. Phenomics: the next Challenge. **Nature Reviews Genetics**. 11, 855–866, 2010.

HUNT, K. A. **The Art of Image Processing with Java**. A K Peters/CRC Press. 2010.

IGBE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola** – 2018.

JAINT, N; VERMA, P; MITTAL, S; MITTAL, S; SINGH, A.K; MUNJAL, S. Gender based alteration in color perception. **Indian J Physiol Pharmacol**. 2010.

JANSKY, S.H.; CHARKOWSKI, A.O.; DOUCHES, D.S.; GUSMINI, G.; RICHAEEL, C.; BETHKE, P.C.; SPOONER, D.M.; et al. Reinventing potato as a diploid inbred line-based crop. **Crop Science**, v. 56, n. 4, p. 1412-1422, 2016.

KHADER, S.; MAHANTESHA, B.N.N.; OOMMEN K.M.; RAMANATHAN, S. POEAS: Análise Fenômica Vegetal Automatizada Usando Ontologia Vegetal. **Bioinformatics and Biology Insights**. 209-214, 2014.

KOCH, M.; NAUMANN, M.; PAWELZIK, E.; GRANSEE, A.; THIEL, H. The Importance of Nutrient Management for Potato Production Part I: Plant Nutrition and Yield. **Potato Res**. 63, 97–119, 2020.

KOCH, M.; NAUMANN, M.; PAWELZIK, E.; GRANSEE, A.; THIEL, H. The Importance of Nutrient Management for Potato Production Part I: Plant Nutrition and Yield. **Potato Res**. 63, 97–119, 2020.

- LIU, J.; XU, X.; LIU, Y.; RAO, Z.; SMITH, M.L.; JIN, L.; LI, B. Quantitative potato tuber phenotyping by 3D Imaging. **ScienceDirect**. 48-59, 2021.
- LUTALADIO, N.; CASTALDI, L. Potato: The hidden treasure. **Journal of Food and Analysis** **22**. 491-493, 2009.
- MC-GUIRE, R.G. Reporting of Objective Color Measurements. **HorScience**. Vol. 27(12), 1254-1255, 1992.
- MELO, P.E. Cultivares de batata potencialmente úteis para o processamento na forma de fritura no Brasil e manejo para obtenção de tubérculos adequados. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.20, p. 112-119, 1999.
- MIGICOVSKY, Z.; SAWLER, J.; GARDNER, K.M; ARADHYA, M.K. Patterns of genomic and phenomic diversity in wine and table grapes. **Horticulture Research**. 2017.
- MIRANDA, J. I. **Processamento de imagens digitais: métodos multivariados em Java**. 1ed. Editora: Embrapa. 2011.
- MIRANDA FILHO, H.S.; FELTRAN, J.C. Breve Histórico Sobre as Variedades de batata Utilizadas no estado de São Paulo. **Batata Show**, p. 10, 2019.
- NANKAR, A.N.; TRINGOVSKA, I.; GROZEVA, S.; GANEVA, D.; KOSTOVA, D. Tomato phenotypic diversity determined by combined approaches of conventional and high-throughput tomato analyzer phenotyping. **Plants**. 2020.
- NAVARRE, D.A.; GOYER, A.; SHAKYA, R. Nutritional value of potatoes: vitamin, phytonutrient, and mineral content. *Advances in potato chemistry and technology*. **Academic Press**. 2009.
- NEILSON, J.A.D.; SMITH, A.M.; MESINA, L.; VIVIAN, R.; SMIENK, S.; DE KOYER, D. Potato Tuber Shape Phenotyping Using RGB Imaging. **Agronomy**. 2021.
- NETO, F.N. **O programa de melhoramento genético de batata da Embrapa**. Seminário em Genética e Melhoramento de Plantas – Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento de Plantas (USP – ESALQ). 2008.
- OTSU, N. A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, v. 9, n. 1, p. 62-66, 1979.
- PÁDUA, J.G.; et al. Cultivares de batata para o mercado segmentado. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v. 8, p. 36-46, 2012.
- PEREIRA, A. DA S. **IV SIMPÓSIO DE ATUALIZAÇÃO E MELHORAMENTO DE PLANTAS**. Melhoramento genético da batata. Anais. Lavras: UFLA, 2000.
- PEREIRA, A. S.; SILVA, G. O.; BERTONCINI, O.; CASTRO, C. M.; et al. Potencial de clones elite de batata como novas cultivares para Minas Gerais. **Horticultura Brasileira**, Recife, v. 28, n. 4, p.399-405, 2010.

- PEREIRA, A.S.; SILVA, G.O. Batata: Evolução na oferta de cultivares brasileiras e na produção de tubérculos-sementes. **Seednews**, v. 23, n. 2, p. 36-39, 2019.
- PIMENTEL GOMES, F. Curso de Estatística Experimental em São Paulo: **Nobel**, 467 p., 1985.
- PINTO, C.A.B.P.; TEIXEIRA, A.L.; NEDER, D.G.; ARAÚJO, R.R.; SOARES, A.R.O.; RIBEIRO, G.H.M.R.; LEPRE, A.L. Potencial de clones elite de batata como novas cultivares para Minas Gerais. **Horticultura Brasileira**.v. 28, p. 399-405, 2010.
- PRATAP, A.; GUPTA, S.; MAGHAVAN, R., GUPTA, S.K.; et al. Using Plant Phenomics to Exploit the Gains of Genomics. **Agronomy**. 126-151, 2019.
- R CORE TEAM (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<https://www.Rproject.org/>>.
- REGAZZI, A.J. Teste para verificar a identidade de modelos de regressão e a igualdade de parâmetros no caso de dados de delineamentos experimentais. 1999.
- RESENDE, M.D.V.; DUARTE, J.B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliações de cultivares. **Pesq Agropec Trop**. Pag 182-194, set. 2007.
- ROCHA, D.S.; REED, E. Pigmentos naturais em alimentos e sua importância para a saúde. **Revista EVS-Revista de Ciências Ambientais e Saúde**, v. 41, n. 1, p. 76-85, 2014.
- ROSETO, A.; PÉREZ, J.L.; ROSETO, D.; BURGOS-PAZ, W.; et al. Morphometric and colometric tools to dissect morphological diversity: Na application in Sweet potato [Ipomoea batatas (L.)]. **Genetic Resourt**. 1257-1278. 2019.
- SILVA, L. C. D. **Visão computacional aplicada à avaliação da cor do tegumento em feijão carioca**. 2021. 64 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2021.
- SILVA, T.A. **Melhoramento genético de batata para processamento na forma de palitos pré-fritos**. 2019. 106 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2019.
- SLATER, A.T.; COGAN, N.O.I; RODONI, B.C.; DAETTLER, H.D.; et al. Breeding Differently – the Digital Revolution: High-Throughput Phenotyping and Genotyping. **Potato Research**. 337-352, 2018.
- SOLOMON C.; BRECKON T. **Fundamentos de processamento digital de imagens: uma abordagem prática com exemplos em Matlab**. 1 ed. Editora LTC. 281p, 2013
- SOUZA, Z.S. Qualidade na produção de batata. **Agropecuária Catarinense**. V.18, n.2, julho de 2005.

- TORRES, A.J.P. **Avanços no programa de melhoramento de batata da UFPA visando tolerância ao calor**. 2016. 70 p. Dissertação (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.
- VERTCHENKO, L.; VERTCHENKO, L. Fotometria usando câmera fotográfica digital. **Abakós**, v. 3, n. 2, p. 108-117, 2015.
- WALTER, A.; LIEBISCH, F.; HUND, A. Plant phenotyping: from bean weighing to image analysis. **Plant Methods**, v. 11, p. 14, 2015.
- WEBER, F.L.; et al.; CAGNIN, M.I.; PAIVA, M.B.; et al. Use of computational vision and UAVs in livestock: a Literature review. **14th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)**. Portugal, pp. 1-7, 2019.
- WESTHUYZEN, J.G.; LEUSCHNER, F.W. The effect of age on White light perception. **International journal of Sustainable lighting**. Oct, 2018.
- WIESBAUER, M.B. **Biologia reprodutiva e diversidade genética de *Dyckia distachya* Hassler (Bromeliaceae) como subsídio para conservação e reintrodução de populações extintas na natureza**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, Florianópolis, 2008.
- WREGE, M.S.; HERTER, F.G.; PEREIRA, A.D.S.; Caramori, P.H.; et al. (2004). Caracterização climática das regiões produtoras de batata no Brasil. Embrapa, 2004.
- ZAHEER K.; AKHTAR M.H. Potato Production, Usage, and Nutrition. A Review. **CritRev Food Sci Nutr**. v. 56, p. 711-721, 2016.