



LETICIA NOVAIS PADUA

**SELEÇÃO DE CLONES DE BATATA COM APTIDÃO PARA O
PROCESSAMENTO INDUSTRIAL NA FORMA DE *CHIPS***

**LAVRAS - MG
2023**

LETICIA NOVAIS PADUA

**SELEÇÃO DE CLONES DE BATATA COM APTIDÃO PARA O PROCESSAMENTO
INDUSTRIAL NA FORMA DE *CHIPS***

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

Prof. Dr. Tiago de Souza Marçal
Orientador

Prof. Dr. Vinicius Quintão Carneiro
Co-orientador

**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).

Padua, Leticia Novais.

Seleção de clones de batata com aptidão para o processamento industrial na forma de *chips* / Leticia Novais Padua. - 2023.

50 p.

Orientador(a): Tiago de Souza Marçal.

Coorientador(a): Vinicius Quintão Carneiro.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2023.

Bibliografia.

1. Solanum tuberosum L. 2. melhoramento genético. 3. fenotipagem de alto rendimento. I. Marçal, Tiago de Souza. II. Carneiro, Vinicius Quintão. III. Título.

LETICIA NOVAIS PADUA

**SELEÇÃO DE CLONES DE BATATA COM APTIDÃO PARA O PROCESSAMENTO
INDUSTRIAL NA FORMA DE *CHIPS***

SELECTION OF POTATO CLONES FOR CHIPPING

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

APROVADA em 31 de Maio de 2023
Dr. Arione da Silva Pereira EMBRAPA
Prof. Dr. Luciano Donizete Gonçalves IFMG

Prof. Dr. Tiago de Souza Marçal
Orientador

Prof. Dr. Vinicius Quintão Carneiro
Co-orientador

**LAVRAS -MG
2023**

AGRADECIMENTOS

A Deus, toda honra e toda glória por ter me sustentado até aqui. Todo louvor a Ti, àquele que tudo em mim realizou.

Aos meus pais Carlos Henrique e Dorinha, por todas as palavras de incentivo, por todo amor incondicional, vocês são meu suporte. Obrigada por serem exemplo de sabedoria e honestidade, tenho orgulho de ser filha de vocês.

A minha irmã Lidia, pelos inúmeros conselhos dados, por cada palavra encorajadora. Obrigada por ser mais que uma irmã, por ser uma grande amiga e me agraciar com duas sobrinhas lindas.

A minha irmã Larissa (*in memoriam*), que deixou a vontade de viver como maior ensinamento, a saudade de você se fez presente todos os dias.

Ao meu noivo Vinicius, pelo incentivo, companheirismo, amor e paciência durante essa trajetória. Obrigada por estar sempre ao meu lado, por não ser apenas um noivo, mas um colega de profissão excepcional, foi ótimo estudar e trabalhar ao seu lado.

Ao Ministério Universidades Renovadas, em especial ao Grupo de Oração Universitário Magnificat por ser a manifestação do cuidado de Deus comigo. Aos Ministros Extraordinários da Comunhão Eucarística, por toda amizade e acolhimento. Vocês foram minha família em Lavras.

Ao meu orientador Tiago, por ser um ótimo profissional, por todo conhecimento compartilhado e por toda orientação durante esses dois anos. Obrigada pela paciência, ajuda, conselhos e confiança.

Ao meu coorientador professor Vinicius, por estar sempre de prontidão a qualquer ajuda, e por toda atenção.

Ao pesquisador da EMBRAPA Arione, pela atenção e contribuição desde o início do trabalho.

Ao professor Luciano, pela ajuda e pela excelência na condução do experimento em Bambuí, por toda atenção e contribuição.

Ao Programa de Melhoramento de Batata (PROBATATA), todos os colegas que trabalham ou trabalharam comigo durante esse tempo. Obrigada pela ajuda e por todo conhecimento compartilhado.

Ao técnico Ramon, pela amizade, pela ajuda e por todos os ensinamentos.

À Universidade Federal de Lavras, e em especial ao Programa de Genética e Melhoramento de Plantas, a todos os professores, técnicos e funcionários, pela estrutura e por todos os ensinamentos transmitidos.

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

A todos que de alguma forma me ajudaram e torceram para que eu chegasse até aqui.

MUITO OBRIGADA!

“Isto é uma ordem: sê firme e corajoso. Não te atemorizes, não tenhas medo, porque o Senhor está contigo em qualquer parte para onde fores.” (Josué 1, 9)

RESUMO

A batata (*Solanum tuberosum* L.) é a terceira cultura mais importante para alimentação humana do mundo, além de ser considerada um alimento base e conferir grande importância na segurança alimentar. Por ser um alimento muito versátil ganhou espaço nas refeições das famílias do mundo todo sendo consumida e preparada de diversas maneiras. O Brasil atualmente conta com sete estados produtores de batata, fato esse que fomenta cada vez mais as pesquisas e os estudos com essa cultura. Segundo dados da *United Nations Statistics Division of the Food and Agriculture Organization*, o Brasil ocupa a vigésima primeira posição no ranking de produção mundial, com 3,8 milhões de toneladas produzidas em 116 mil hectares. O mercado é dividido em dois segmentos: consumo *in natura* e processados industrialmente (*chips*, pré-fritas congeladas e batata palha). O consumo por alimentos processados tem aumentado nos últimos anos, especialmente na forma de *chips*. Contudo a produção nacional possui uma limitação, a cultivar mais utilizada para esse fim é a Atlantic, desenvolvida nos EUA sendo adaptada às condições de clima temperado. Dessa forma os programas de melhoramento de batata, tem focado no desenvolvimento de cultivares adaptadas ao clima tropical, com resistência as viroses (PVX e PVY) e com boa aptidão para indústria de *chips* (elevado teor de matéria seca, formato arredondado, baixo teor de açúcares e gemas vegetativas superficiais). Tais características influenciam na qualidade da fritura, uma vez que altos teores de açúcares redutores geram escurecimento dos *chips*. Aliado a essas características, as avaliações visuais tornam-se muito tendenciosas e subjetivas, levando os pesquisadores a procura de ferramentas mais precisas, como é o caso do uso da análise de imagem na avaliação de caracteres relacionados a cor: coloração de polpa e escurecimento dos *chips*. Com esse tipo de abordagem as avaliações tornam-se mais acuradas, uma vez que não ficam sujeitas a subjetividade dos avaliadores.

Palavras-chaves: *Solanum tuberosum* L.; melhoramento genético de batata; fenotipagem de alto rendimento.

ABSTRACT

The potato (*Solanum tuberosum* L.) is the third most important crop for human nutrition in the world, as well as being considered a staple food and conferring great importance on food security. Because it is a very versatile food, it has gained space in the meals of families all over the world, being consumed and prepared in a variety of ways. Brazil currently has seven potato-producing states, a fact that is encouraging more and more research and study into this crop. According to data from the United Nations Statistics Division of the Food and Agriculture Organization, Brazil ranks twenty-first in world production, with 3.8 million tons produced on 116 thousand hectares. The market is divided into two segments: fresh consumption and industrially processed (chips, frozen pre-fries and potato sticks). Consumption of processed foods has increased in recent years, especially in the form of chips. However, national production is limited by the fact that the most widely used cultivar for this purpose is Atlantic, developed in the USA and adapted to temperate climate conditions. Potato breeding programs have therefore focused on developing cultivars adapted to the tropical climate, with resistance to viruses (PVX and PVY) and with good suitability for the chip industry (high dry matter content, round shape, low sugar content and shallow vegetative buds). These characteristics influence frying quality, since high levels of reducing sugars cause the chips to darken. In addition to these characteristics, visual evaluations become very biased and subjective, leading researchers to look for more precise tools, such as the use of image analysis in the evaluation of color-related characters: flesh color and chip browning. With this type of approach, evaluations become more accurate, as they are not subject to the subjectivity of the evaluators.

Key words: *Solanum tuberosum* L.; potato breeding; high performance phenotyping.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1.** Distribuição dos alelos de resistência aos vírus *Potato Virus X* (PVX) e *Potato Virus Y* (PVY) nos clones avaliados. 30
- Figura 2.** Distribuição de frequências do número de repetições para os 44 tratamentos avaliados e a frequência de parcelas ocupadas por tratamentos repetidos [$pN = (N - Nt)/N$], em que N é o número de parcelas e Nt é o número de tratamentos..... 31
- Figura 3.** Disposição das fatias dos tubérculos de batata para avaliação de cor de polpa (A) e disposição dos *chips* (B). Na vertical: os quatro tubérculos de um mesmo tratamento. Na horizontal: fatias ou *chips* de um mesmo tubérculo. 32
- Figura 4.** Fritadeira elétrica com os quatro tubérculos de um mesmo tratamento sendo fritos de maneira simultânea. 33
- Figura 5.** Dispersão das médias de clones registradas em Bambuí e Lavras para os caracteres produtividade total de tubérculos (PTT, t ha⁻¹), produtividade de massa seca (PMST, t ha⁻¹) e teor de massa seca de tubérculos (TMST, %). Para cada um dos caracteres é apresentada a correlação de Person entre os locais, barras representando o desvio padrão do erro médio de comparação da cultivar Atlantic com os demais clones para cada local e a distribuição dos alelos de resistência aos vírus PVX e PVY. 38
- Figura 6.** Desempenho relativo dos clones em relação a cultivar Atlantic com base nas médias da análise conjunta para os caracteres produtividade total de tubérculos (PTT, t ha⁻¹), produtividade de massa seca (PMST, t ha⁻¹) e teor de massa seca de tubérculos (TMST, %). O desempenho médio da cultivar Atlantic foi 41,30 t ha⁻¹, 9,62 t ha⁻¹ e 23,20% para os caracteres PTT, PMST e TMST, respectivamente. 41
- Figura 7.** Dispersão das médias de cor de polpa de tubérculos (CPT) em Lavras nos anos de 2021 e 2022. Além disso, é apresentada a correlação de Person entre os anos, barras representando o desvio padrão do erro médio de comparação da cultivar Atlantic com os demais clones para cada ano e a distribuição dos alelos de resistência aos vírus PVX e PVY. 44
- Figura 8.** Dispersão da média da análise conjunta da cor de polpa de tubérculos (CPT) e da média de escurecimento dos *chips* (EC) da análise individual. Além disso, é apresentada a correlação de Person entre os anos, barras representando o desvio padrão do erro médio de comparação da cultivar Atlantic com os demais clones para cada caráter e a distribuição dos alelos de resistência aos vírus PVX e PVY. 45
- Figura 9.** Imagens digitais da cor de polpa de tubérculos (CPT) e de escurecimento dos *chips* (EC), da testemunha Atlantic (A), CCF01-20 (B), CCF03-09 (C), CCF22-10 (D), CCF25-08 (E).

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Contribuição relativa (%) dos efeitos de bloco, clone e resíduo nas análises individuais (Lavras e Bambuí) de variância, bem como a média, o coeficiente de variação (CV, %) e acurácia para produtividade total de tubérculos (PTT, t ha⁻¹), produtividade de massa seca de tubérculos (PMST, t ha⁻¹) e teor de massa seca de tubérculos (TMST, %) na safra de inverno de 2022.....36

Tabela 2. Contribuição relativa (%) dos efeitos de bloco dentro de local, clone, local, interação clones por locais e resíduo na análise conjunta de variância, bem como a média para produtividade total de tubérculos (PTT, t ha⁻¹), produtividade de massa seca de tubérculos (PMST, t ha⁻¹) e teor de massa seca de tubérculos (TMST, %) na safra de inverno de 2022. .37

Tabela 3. Contribuição relativa (%) dos efeitos clone e resíduo nas análises individuais (2021 e 2022) de variância, bem como a média, o coeficiente de variação (CV, %) e acurácia para a cor da polpa de tubérculos (CPT), escurecimento dos *chips* (EC). Contribuição relativa (%) dos efeitos clone, local, interação clones por locais e resíduo na análise conjunta de variância para o caráter CPT. Ambas as avaliações foram realizadas na safra de inverno em Lavras.42

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO GERAL	13
1. INTRODUÇÃO	15
2. REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 ORIGEM, IMPORTÂNCIA SOCIAL E ECONÔMICA DA CULTURA DA BATATA	16
2.2 SEGMENTOS DE MERCADO DA CULTURA DA BATATA	17
2.3 MELHORAMENTO GENÉTICO DE BATATA PARA O PROCESSAMENTO INDUSTRIAL NA FORMA DE CHIPS	18
2.3.1 IDEÓTIPO DE UM CLONE DE BATATA COM APTIDÃO PARA O PROCESSAMENTO INDUSTRIAL NA FORMA DE CHIPS	19
2.3.2 IMPACTO DAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS NO RENDIMENTO INDUSTRIAL DE CLONES DE BATATA COM APTIDÃO PARA O PROCESSAMENTO INDUSTRIAL NA FORMA DE CHIPS	20
2.4 ANÁLISE DE IMAGENS	20
REFERÊNCIAS	22
CAPÍTULO 2: SELEÇÃO DE CLONES DE BATATA COM APTIDÃO PARA O PROCESSAMENTO INDUSTRIAL NA FORMA DE CHIPS	25
1. INTRODUÇÃO	28
2. MATERIAL E MÉTODOS	30
2.1. CLONES AVALIADOS	30
2.2. DESCRIÇÃO DOS EXPERIMENTOS DE CAMPO	30
2.3. FENOTIPAGEM POR IMAGEM DA COR DA POLPA DE TUBÉRCULOS E ESCURECIMENTO DOS CHIPS	32
2.4. ANÁLISES ESTATÍSTICAS	34
2.4.1. CARACTERES AGRONÔMICOS	34
2.4.2. CARACTERES ORIUNDOS DAS ANÁLISES POR IMAGEM	35
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
3.1. EXPERIMENTOS DE CAMPO	36
3.2. FENOTIPAGEM POR IMAGEM DA COR DA POLPA DE TUBÉRCULOS E ESCURECIMENTO DOS CHIPS	42
4. CONCLUSÃO	46
REFERÊNCIAS	47

CAPÍTULO 1
INTRODUÇÃO GERAL

1. INTRODUÇÃO

A batata (*Solanum tuberosum* L.) é a terceira cultura alimentar mais importante do mundo, seguida do trigo e do arroz (FAOSTAT, 2020). Cerca de 1,3 bilhão de pessoas utilizam batata fresca como alimento base, o que resulta em um consumo de mais 50 kg do tubérculo por pessoa anualmente (DEVAUX, 2021). Além disso, a batata é considerada um alimento de grande importância na segurança alimentar global, pois contribui em quatro dimensões: (i) disponibilidade de alimentos, que refere-se ao abastecimento; (ii) acesso alimentar, que refere-se a capacidade de produzir ou comprar; (iii) qualidade e uso dos alimentos, que refere-se a nutrição obtida; e (iv) estabilidade alimentar, que refere-se a ideia de ter acesso a todo momento (FAO, 2006).

De acordo com dados da United Nations Statistics Division of the Food and Agriculture Organization (FAOSTAT, 2021), 55% da produção global da batata se concentra em cinco países, sendo a China o primeiro no ranking com 94 milhões de toneladas produzidas anualmente, seguida da Índia com 54 milhões, Ucrânia com 21 milhões, Estados Unidos da América com 19 milhões e a Rússia com 18 milhões de toneladas do tubérculo.

O Brasil ocupa a vigésima primeira posição no ranking com 3,8 milhões de toneladas produzidas em 116 mil hectares. De acordo com Associação Brasileira de Batata (ABBA), aproximadamente 36% dos tubérculos produzidos tem como destino o processamento industrial, totalizando 700 mil toneladas. Desse total, cerca de 400 mil toneladas são destinadas à indústria de batata *chips*. O mercado de batata é dividido em dois segmentos: mercado in natura e processamento industrial, sendo este último subdividido em *chips*, pré-fritas congeladas e batata palha.

Neste contexto, o consumo de batata *chips* tem aumentado nos últimos anos devido à preferência da população por alimentos processados. O aumento da demanda por matéria prima deve pressionar a cadeia produtiva. Contudo, a produção nacional é limitada pela baixa adaptação da principal cultivar utilizada na indústria de *chips* no país, a Atlantic. Essa cultivar foi desenvolvida nos EUA, sendo bem adaptada às condições de clima temperado. Assim, a menor adaptação às condições tropicais resultam em redução na produtividade, sobretudo devido às altas temperaturas, fotoperíodo mais curto e maior pressão de pragas e doenças (Silva et al., 2015).

Diante dos desafios impostos pelas condições tropicais, os programas de melhoramento de batata têm buscado desenvolver cultivares adaptadas e com boa aptidão para a indústria de *chips*, ou seja, com elevado teor de matéria seca, formato arredondado,

baixo teor de açúcares redutores, gemas vegetativas superficiais e baixa incidência de desordens fisiológicas nos tubérculos. O teor de açúcares e de matéria seca são caracteres que influenciam na qualidade de fritura, uma vez que altos teores de açúcares redutores geram escurecimento do tubérculo durante a fritura, enquanto o teor de matéria seca, está diretamente relacionado à absorção de óleo, rendimento industrial e textura do produto processado (Fernandes Filho et al., 2021).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Origem, importância social e econômica da cultura da batata

Evidências sobre a origem da batata (*Solanum tuberosum* L.) mostram cultivares silvestres em duas regiões da América do Sul, uma delas nas terras altas da Cordilheira dos Andes, começando pelo Peru ao norte da Argentina, e outra região de terras baixas no centro-sul do Chile. O tubérculo é consumido há mais de 8.000 anos por nativos da região (RIOS et al., 2007; SPOONER et al., 2014).

O gênero *Solanum*, família *Solanaceae*, conta com mais de 2000 espécies, porém cerca de 20 espécies são cultivadas. Dentre essas, destaca-se *Solanum tuberosum*, uma espécie autotetraploide, $2n = 4x = 48$ cromossomos, com herança tetrassômica multialélica (SILVA, 2015).

A Organização das Nações Unidas (ONU), declarou em 2008 como o Ano Internacional da Batata, ressaltando assim a importância do tubérculo no combate a fome. Tal atitude evidencia, e reforça a importância nutritiva da batata para alimentação humana, pois possui uma boa proporção de proteínas e calorias, sendo assim uma boa alternativa para países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento. Além disso, a batata é uma importante fonte de vitaminas do complexo B e, principalmente, de ácido ascórbico (vitamina C).

Diante dessas características a batata se tornou um dos alimentos mais importantes do mundo, sendo a primeira *commodity* não grão. A área colhida global do tubérculo em 2021 foi de 24 milhões de hectares e a produção anual com 470 milhões de toneladas (FAOSTAT, 2021). A China lidera a produção mundial de batata, sendo responsável por 94 milhões do total, em seguida está a Índia, Ucrânia, Estados Unidos e Rússia. No mesmo ano, o Brasil colheu aproximadamente 3,8 milhões de toneladas do tubérculo em 116 mil hectares (FAOSTAT, 2021). Além disso, segundo a ABBA, o país conta com cerca de 1,5 mil produtores do agronegócio da batata distribuídos em sete estados brasileiros (MG, SP, PR, RS, SC, GO e BA). O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2023) destaca

para a safra de 2023, uma redução de 2,9% na área colhida em relação ao ano 2022, mas com aumento de produtividade, totalizando 3,9 milhões de toneladas de batatas considerando em três safras (safras de inverno, seca e águas).

Além disso, segundo o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada, 11,7 mil hectares são plantados para indústria de *chips*, o que evidencia o potencial desse segmento para o país. Muitas empresas estão se destacando, um bom exemplo é o grupo Rocheto, considerado o maior produtor do tubérculo no país em 2017, responsável por 260 mil toneladas anual com fazendas em Minas Gerais, São Paulo e Mato Grosso. Em fevereiro de 2017 o grupo inaugurou sua segunda indústria de processamento de batatas pré fritas congeladas, a Bem Brasil (SILVA, 2017). Estas evidências reforçam a importância econômica da batata no país, principalmente as batatas destinadas ao processamento industrial.

2.2 Segmentos de mercado da cultura da batata

O mercado de batata possui basicamente dois segmentos: mercado *in natura*, e processamento industrial (*chips*, pré-fritas congeladas e batata palha). Para o mercado *in natura* busca-se selecionar clones com características de periderme lisa e brilhante, formato oval a alongado, boa aparência, e baixa porcentagem de desordens fisiológicas. Para o processamento industrial, o intuito é selecionar clones com alto teor de matéria seca, cor de polpa clara, gemas vegetativas superficiais, formato redondo (*chips*) ou alongado (palitos) (GUEDES et al., 2020).

Observa-se no Brasil uma redução do consumo de batatas frescas e o aumento do consumo de batatas processadas. Profissionais da área estimam que 100.000 hectares plantados anualmente são destinados ao mercado fresco (65%), à indústria de *chips* (15%), à indústria de pré-fritas (12%) e à batata semente (8%) (ABBA, 2020). Atualmente toda batata processada nas formas de *chips* e batata palha é produzida em terras brasileiras. Ainda de acordo com a Associação Brasileira de Batata (ABBA, 2020), 300 mil toneladas de batata são destinadas para produção de *chips* e 80 mil toneladas para batata palha.

As principais cultivares plantadas no Brasil são: Agata (45%), Asterix (15%), Orchestra (13%), Cúpidio (7%), Atlantic (7%), FL (7%) e Markies (6%) (ABBA, 2020). Nos últimos dois anos houve crescimento das cultivares Orchestra e BRS F63 – Camila e detrimento da cultivar Agata. O mercado predominante no Brasil, ainda é o *in natura*. Todavia, como descrito acima o mercado de batatas processadas segue crescendo no país,

demandando melhorias na cadeia produtiva e novas cultivares que atendam às exigências da indústria e da cadeia produtiva (Fernandes Filho et al., 2021).

2.3 Melhoramento genético de batata para o processamento industrial na forma de *chips*

O melhoramento de batata se iniciou a partir de 1910 (Bradshaw et al., 2022), envolvendo hibridações artificiais (após seleção dos melhores genitores), sendo realizadas de preferência em casa de vegetação. Assim, a hibridação artificial ganhou força em comparação à recombinação ao acaso em ambiente livre (no campo), devido à baixa taxa de fecundação cruzada da batata.

Neste sentido, são realizadas seleções fenotípicas baseadas na estratégia de seleção recorrente, que pode chegar a um período de 5 a 9 anos na geração de uma nova cultivar com características que superem as anteriores (Gopal, 2015). Em etapas iniciais do melhoramento de batata são avaliados milhares de indivíduos anualmente, sendo denominados testes de famílias clonais (TFC), onde corriqueiramente são avaliados 40 caracteres diferentes (Bradshaw, 2017).

Assim, muitos clones são avaliados todos os anos em programas de melhoramento de batata. Este fato é devido à batata possuir segregação tetrassômica, que libera mais variabilidade do que a segregação dissômica. Os melhoristas precisam avaliar populações grandes, no intuito de aumentar a probabilidade de selecionar indivíduos superiores (Pinto, 1999, Bradshaw et al., 2017).

No intuito de selecionar genótipos para indústria, o melhoramento da batata precisa atender algumas características gerais e outras mais específicas. Dentre as características gerais estão: produtividade, gemas vegetativas superficiais, alto teor de matéria seca e baixo teor de açúcares redutores. Já para características específicas, destaca-se o tamanho, formato do tubérculo e cor da polpa (Fernandes Filho et al., 2021), e capacidade de armazenamento refrigerado.

Por meio do melhoramento genético pode-se agregar características ideais como: produtividade de tubérculos; resistência a doenças viróticas, fúngicas e bacterianas; teor de matéria seca; aparência de tubérculos; entre outros. Como visto, são muitas características e se torna quase impossível combinar todas as características em uma única cultivar (Pinto, 1999). Um bom genótipo destinado à indústria de *chips* deve conter alto teor de matéria seca, formato redondo, olhos rasos e baixo teor de açúcares redutores. Contudo, além dessas

características a cultivar deve apresentar uma boa produtividade, com resistência a doenças e tolerância a estresses abióticos.

Segundo Neele et al. (1991), é de fundamental importância que a escolha dos genitores seja feita com muita cautela, pois eles devem possuir boa capacidade de combinação, alto desempenho médio e não serem aparentados. Neste contexto, os melhoristas de batata necessitam reunir todas as estratégias do melhoramento de plantas, visando alcançar um genótipo ideal para indústria de batata, com o menor tempo possível e ao mesmo tempo obtendo ganho genético.

2.3.1 Ideótipo de um clone de batata com aptidão para o processamento industrial na forma de *chips*

De forma geral o processamento industrial de batatas pode ser tanto para palitos pré-fritos congelados, ou na forma de *chips* ou batata palha. Existem caracteres gerais para ambos os segmentos: produtividade, gemas vegetativas superficiais, alto teor de matéria seca e baixo teor de açúcares redutores. Já para o mercado de mesa (*in natura*), os caracteres avaliados são tamanho, o formato, a cor da polpa e a cor e textura da periderme (Fernandes Filho. et al., 2021).

Em ambos os segmentos do mercado de batata é necessário que as cultivares tenham bons rendimentos dos componentes de produção e tenha menor interação entre os ambientes que será cultivada (Andrade, 2021). As avaliações do processamento industrial na forma de *chips*, devem atender algumas premissas fundamentais como: Formato redondo dos tubérculos para *chips*; alta uniformidade; alto teor de matéria seca (>20%) que está diretamente ligada a boa qualidade de fritura; baixo teor de açúcares redutores (10 a 15 mg g⁻¹ de matéria seca) em que durante a fritura atuam como substrato para a reação de Maillard, resultando em *chips* escuros e amargos (Müller et al., 2009). Contudo, o teor de matéria seca e de açúcares redutores estão sujeitos às condições ambientais, de cultivo e de armazenamento.

Um outro fator importante para indústria é o teor de amido, principal fonte de reserva da batata, que varia de acordo com a cultivar e condições de cultivo. A amilose e amilopectina são os principais constituintes do amido, sendo a amilose a que contribui diretamente para *chips* crocantes e resistentes.

2.3.2 Impacto das condições climáticas no rendimento industrial de clones de batata com aptidão para o processamento industrial na forma de *chips*

A cultura da batata possui uma grande sensibilidade a altas temperaturas, tal fato pode ser observado nas fases de desenvolvimento da planta: emergência, tuberização, crescimento e amadurecimento dos tubérculos. A fase que é mais afetada pelo estresse térmico é a fase de desenvolvimento da parte aérea, a qual aumenta a intensidade de respiração e reduz a reserva de fotoassimilados nos tubérculos (Menezes et al., 2001), provocando conseqüentemente uma redução na produtividade.

Contudo, diversos motivos levam a redução da produtividade, como: redução da fotossíntese, aumento de perdas com a respiração, diminuição da partição de fotoassimilados para os tubérculos e perda de qualidade. Além disso o estresse causado pelas temperaturas elevadas, propicia a ocorrência de desordens fisiológicas (rachaduras, embonecamento e mancha ferruginosa) e tubérculos com menor teor de matéria seca, características indesejáveis para a indústria (Pinto et al., 2010). A temperatura ideal para o cultivo do tubérculo está entre 15 e 21°C (Haverkort & Verhagen, 2008).

Atualmente, algumas cultivares de batata utilizadas no Brasil foram introduzidas no país por possuírem boas características produtivas. Porém, tais cultivares são adaptadas ao clima temperado, ou seja temperaturas mais amenas e dias longos. Um exemplo é a *Atlantic*, cultivar americana desenvolvida para atender a indústria de *chips*, que soma diversas características importantes como: formato arredondado, elevado teor de matéria seca, boa aparência, além de alta produtividade (Silva et al., 2015). Porém, quando submetida a condições tropicais sofre influência das altas temperaturas e do fotoperíodo curto, culminando na redução da produtividade e baixos rendimentos na indústria (Kooman et al., 1996; Fernandes Filho, et al., 2021).

2.4 Análise de imagens

Imagens são informações visuais que podem ser acondicionadas em: papel, pinturas, fotografias, entre outros. Já as imagens que visualizamos em sistemas computacionais são chamadas imagens digitais, as quais são armazenadas de forma binária. Diferente dos outros tipos de imagens, no formato digital não há perda de qualidade, uma vez que não sofrem intervenção ambiental, mantendo assim sua qualidade (Carneiro, 2018).

Há diferentes tipos de imagens as quais são caracterizadas pelo número de canais, ou seja, imagens com 1 canal cada pixel tem valor único para uma determinada intensidade. Em

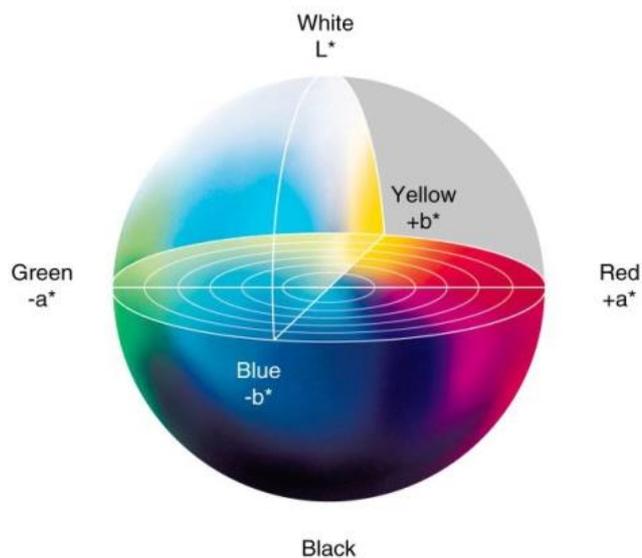
imagens com mais canais, cada pixel tem o valor correspondente ao número de canais, geralmente essas imagens são coloridas (Solomon & Breckon 2013).

De forma geral, as imagens podem ser classificadas em: binárias – chamadas dicotômicas - onde os valores de pixels variam entre 0 (preto) e 255 (branco); escala de cinza, com pixels assumindo valores entre 0 e 255; e coloridas, as quais necessitam de maiores informações por pixel para que possam representar todas as cores que enxergamos. A utilização de espaços de cor é necessária por conter informação a respeito das cores, e o sistema mais utilizado é o RGB (R: vermelho, G: verde, B: azul) onde a imagem é oriunda de três canais (matrizes) das três cores elementares. Além disso cada pixel é constituído por três intensidades, sendo um para cada cor (Kalaivani et al., 2013). As diferentes cores que observamos em uma imagem é devido à combinação dos três valores de cada pixel.

Além do espaço de cor RGB, existem outros que também são muito utilizados para retratar as cores, como é o caso do HSV (hue, saturation, value) e os apresentados pela Comissão Internacional de Iluminação (Comission Internationale de l'Eclairage - CIE).

O espaço de cor Lab da CIE (Figura 1) tem sido amplamente utilizado nos programas de melhoramento para análise de imagens. Cada um dos canais desse espaço de cor tem uma especificidade. O canal “L” é de luminosidade, e os canais a^* e b^* canais de cores. O valor de “L” varia do preto (0) ao branco (100); o valor de a^* varia de verde (-60) até o vermelho (+60) e o valor de b^* varia do azul (-60) ao amarelo (+60).

Figura 1. Espaço de cor CIE Lab



Fonte: blogdaleart.wordpress.com

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, M. H. M. L., et al. Stability of potato clones resistant to potato virus Y under subtropical conditions. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**. 2021.
- ABBA - BATATA SHOW: **A revista da Batata**. Associação Brasileira da Batata, n 58, Dez., 2020.
- 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, John E. A brief history of the impact of potato genetics on the breeding of tetraploid potato cultivars for tuber propagation. **Potato Research**, v. 65, n. 3, p. 461-501, 2022.
- 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.
- DEVAUX, A. et al. A Batata do Futuro: Oportunidades e Desafios em Sistemas Agroalimentares Sustentáveis. **Batata Research** , p. 1-40, 2021.
- FAO. Comida segura. FAO, Roma: Resumo de Políticas; 2006.
- FAOSTAT – United Nations Statistics Division of the Food and Agriculture Organization. 2021. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>> Acesso em: Maio, 2023.
- FAOSTAT - Balanço alimentar. 2020. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/FBS>> Acesso em: Maio, 2023.
- FERNANDES FILHO, C. C. **Seleção de genitores e de clones de batata para a indústria de chips**. 2018 64 p. : il. Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2018.
- FERNANDES FILHO, C. C., et al. Selection of potato clones for heat tolerance and resistance to potato viruses X and Y for processing purposes. **Crop Science**, 61(1), 552-565. 2021.
- GOPAL, J. Challenges and Way-forward in Selection of Superior Parents, Crosses, and Clones in Potato Breeding. **Potato Research**, v. 58, n. 2, p. 165–188, 2015.
- GUEDES, Marcio Lisboa, et al. "**Escalas diagramáticas para avaliação do fenótipo de tubérculos de batata.**" Revista Cultura Agronômica 29.2 (2020): 274-288.
- HAVERKORT, A.J., e Verhagen, A. Climate change and its repercussions for the potato supply chain. **Potato Research**, 51(3), 223-237. 2008.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2023. Disponível em: <
<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistematico-da-producao-agricola.html?=&t=resultados>> >

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.

KOOMAN, P. L.; FAHEN, M.; TEGERA, P.; HAVEKORT, A. J. Effects of climate on different potato genotypes. 1. Radiation interception, total, and tuber dry matter production. **European Journal of Agronomy**, v. 5, p.193-205, 1996.

MENEZES, C.; PINTO, C.; LAMBERT, E. Combining ability of potato genotypes for cool and warm seasons in Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 1, n. 2, p. 145-157, 2001.

MÜLLER, D.R.; BISOGNIN, D.A.; ANDRIOLO, J.L.; MORIN JUNIOR, G.R.; GNOCATO, F.S. **Expressão dos caracteres e seleção de clones de batata nas condições de cultivo de primavera e outono**. Ciência Rural, v.39, p.1237-1334, 2009.

NEELE, A. E. E.; NAB, H. J.; LOUWES, K. M. Identification of superior parents in a potato breeding programme. **Theoretical and applied genetics**, v. 82, p. 264–272, 1991.

PAGET, M. F., et al. Replicate allocation to improve selection efficiency in the early stages of a potato breeding scheme. *Euphytica*, 213(9), 1-15. 2017.

PINTO, C. et al. Potencial de clones elite de batata como novas cultivares para Minas Gerais. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 28, p. 399-405, 2010.

PINTO, C.A.B.P. **Melhoramento genético da batata**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.20, n.197, p.120-128, mar./abr. 1999.

RÍOS, Domingo et al. **What is the origin of the European potato? Evidence from Canary Island landraces**. *Crop Science*, v. 47, n. 3, p. 1271-1280, 2007.

SILVA, Eliane. Indústria da batata. *Globo Rural*. 2017. Disponível em:
 <<https://revistagloborural.globo.com/Noticias/Agricultura/noticia/2017/09/industria-da-batata.html#:~:text=Atualmente%2C%20o%20Grupo%20Rocheto%20%C3%A9,investment%20de%20R%24%20200%20milh%C3%B5es.>> Acesso em: fev.2022.

SILVA, G.O.; PEREIRA, A.S.; NAZARENO, N.R.X.; PONIJALEKI, R. Desempenho de clones elite de batata para caracteres agrônômicos e de qualidade industrial. **Ceres**, Viçosa, v. 62, n. 1, p. 71-77, 2015

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.

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

SPOONER, David M. et al. **Systematics, diversity, genetics, and evolution of wild and cultivated potatoes**. The botanical review, v. 80, n. 4, p. 283-383, 2014.

ONU – Ano da batata. 2008. Disponível em: <<https://www.dw.com/pt-br/onu-lembram-importancia-da-batata-no-combate-fome/a-3109184>>. Acesso em: Fev., 2022.

CAPÍTULO 2
SELEÇÃO DE CLONES DE BATATA COM APTIDÃO PARA
O PROCESSAMENTO INDUSTRIAL NA FORMA DE *CHIPS*

RESUMO

A batata é a cultura não granífera mais importante para a segurança alimentar global, podendo ser consumida *in natura* ou processada industrialmente. O processamento da batata demanda matéria prima com alto rendimento industrial e boa qualidade de fritura. Assim, o objetivo desse trabalho foi identificar clones de batata que apresentem, simultaneamente, elevado rendimento industrial e excelente qualidade de fritura na forma de *chips*, por meio da caracterização agronômica e análise de imagens, visando à composição dos ensaios de valor de cultivo e uso para o estado de Minas Gerais. Foram avaliados 43 clones de batata juntamente com cultivar Atlantic, na safra de inverno de 2022 em dois locais no estado de Minas Gerais (Lavras e Bambuí). Para ambas as localidades, os experimentos foram delineados em blocos incompletos parcialmente repetidos. Nestes experimentos, foram avaliados os seguintes caracteres: produtividade total e de massa seca de tubérculos (PTT e PMST), e teor de massa seca de tubérculos (TMST). A fenotipagem por imagem da cor da polpa de tubérculo (CPT) foi realizada nas safras de inverno de 2021 e 2022 em Lavras, enquanto a do escurecimento dos *chips* (EC) foi realizada apenas em 2022. Em ambos os casos foi utilizando o sistema Lab para extrair as informações das imagens digitais. Todos os caracteres foram submetidos à análise de variância individual, dos quais apenas EC não foi submetido à análise conjunta. Para os caracteres agronômicos, realizou-se a comparação de todos os clones com a cultivar Atlantic por meio do teste de Dunnett a 5% de probabilidade do erro com base nas médias da análise conjunta. Quatro clones se destacaram em relação à cultivar Atlantic para o caráter PMST e, em média, foram 50% superiores. A cultivar Atlantic superou todos os clones quanto ao caráter EC, entretanto, esses clones apresentam nível aceitável de escurecimento dos *chips*. Além disso, a análise de imagens proporcionou elevada acurácia na avaliação dos caracteres CPT e EC.

Palavras-chave: *Solanum tuberosum* L.; melhoramento genético de batata, fenotipagem de alto rendimento.

ABSTRACT

Potatoes are the most important non-grain crop for global food security, and can be consumed fresh or industrially processed. Potato processing requires raw materials with high industrial yield and good frying quality. Thus the objective of this work was to identify potato clones that present, simultaneously, high industrial yield and excellent chip quality, through agronomic characterization and image analysis, aiming at the composition of trials of value for cultivation and use for the state of Minas Gerais. We evaluated 43 potato clones together with Atlantic cultivar in the winter 2022 crop season in two locations of the Minas Gerais state (Lavras and Bambuí). For both locations, incomplete block design partially repeated were used. In these experiments the following characters were evaluated: total and tuber dry mass yield (TTP and TDP) and tuber dry mass content (TDPT). Image phenotyping of flesh color (CPT) was performed in the winter crop season of 2021 and 2022 in Lavras, while that of chip darkening (CE) was performed only in 2022. In both cases the Lab system was used to extract the information from the digital images. All characters were submitted to individual analysis of variance, of which only CE was not submitted to joint analysis. For the agronomic characters, all clones were compared to the Atlantic cultivar using the Dunnett test at 5% probability, based on the means of the joint analysis. Four clones stood out in relation to the Atlantic cultivar for the PMST character and, on average, were 50% superior to this cultivar. The Atlantic cultivar outperformed all clones for the CE character; however, these clones presented an acceptable level of chip darkening. Moreover, the image analysis provided high accuracy in the evaluation of the CPT and CE characters.

Key words: *Solanum tuberosum* L.; potato breeding, high performance phenotyping.

1. INTRODUÇÃO

A batata (*Solanum tuberosum* L.) é a terceira cultura de maior relevância para a alimentação humana, desempenhando um papel central para a segurança alimentar global. Embora a produção mundial de batata tenha crescido 2% ao ano nas últimas duas décadas, a produtividade média de batata representa pouco mais de 10% da produtividade potencial (Kunkel e Campbell, 1987; Devaux et al., 2014; Devaux et al., 2021; FAOSTAT, 2021).

Em regiões tropicais, como o Brasil, a produtividade de batata é limitada por condições ambientais adversas como temperaturas elevadas, fotoperíodo curto e maior pressão de pragas e doenças (Lambert et al., 2006; Benites e Pinto, 2011; Katsaruware-Chapoto et al., 2017). No nosso país essa situação é agravada pelo uso predominante de cultivares estrangeiras, geralmente oriundas de regiões temperadas, que apresentam baixo nível de adaptação às condições tropicais (ABBA, 2020; Patiño-Torres et al., 2021). Neste contexto, o programa de melhoramento de batata da Universidade Federal de Lavras tem trabalhado ativamente no desenvolvimento de clones mais adaptados às condições tropicais, resistentes às doenças de maior importância para a cultura e com aptidão para uso *in natura* ou para o processamento industrial, tendo como alvo o estado de Minas Gerais, que é responsável por cerca de um terço da produção nacional de batata (Neder et al., 2010; Guedes et al., 2016; Carneiro et al., 2017; Patiño-Torres et al., 2021; IBGE, 2022).

Embora o mercado *in natura* seja o mais representativo no Brasil, atualmente há uma demanda crescente por derivados de batata processados industrialmente, tais como pré-fritas congeladas, *chips* e batata palha (ABBA, 2017; ABBA, 2020, ABBA, 2022). Segundo ABBA (2017), cerca de 21% da produção de batata tem como destino final o processamento industrial, totalizando 700 mil toneladas. Desse total, cerca de 400 mil toneladas são destinadas à indústria de *chips*.

Atualmente, Atlantic é a principal cultivar utilizada na indústria de *chips* no país. Essa cultivar foi desenvolvida na década de 70 nos Estados Unidos, apresenta tubérculos com periderme bronzeada, formato redondo, elevado teor de massa seca, cor de polpa branca, profundidade intermediária das gemas vegetativas e boa qualidade de fritura (Webb et al., 1978; Andrade et al., 2021b), entretanto ela não é bem adaptada às condições tropicais. Segundo Fernandes Filho et al. (2020), a produtividade e qualidade dessa cultivar são significativamente afetadas sob estresse por calor. Neste contexto, Fernandes Filho et al. (2020) iniciaram, em 2013, um programa de melhoramento focado na obtenção de clones com aptidão para o uso na indústria de *chips*, tendo como ideótipo formato redondo, gemas

vegetativas superficiais, tolerância ao calor e elevado rendimento industrial, que resulta da combinação entre elevados níveis de produtividade e teor de massa seca.

Além do desempenho agrônômico, também é importante avaliar a qualidade de fritura e a cor da polpa do tubérculo. Tradicionalmente, ambas as avaliações são realizadas por meio do julgamento visual com auxílio de escalas de notas (Guedes, et al., 2020; Snack Food Association). Neste sentido, essas avaliações estão associadas à elevada subjetividade, uma vez que dependem da experiência e da capacidade de percepção dos avaliadores, bem como da intensidade luminosa do ambiente onde está sendo realizada a avaliação (Caraza-Harter e Endelman, 2019; Miller et al., 2023). Alternativamente, pode-se recorrer a uma ferramenta mais acurada como a análise de imagens para a avaliação de caracteres relacionados à cor (Gökmen et al., 2007; Caraza-Harter e Endelman, 2020; Miller et al., 2023). Dentre os sistemas disponíveis, o Lab normatizado pela Comissão Internacional de Iluminação (Comission Internationale de l'Eclairage – CIE) tem sido frequentemente utilizado na cultura da batata (Gökmen et al., 2007; Miller et al., 2023).

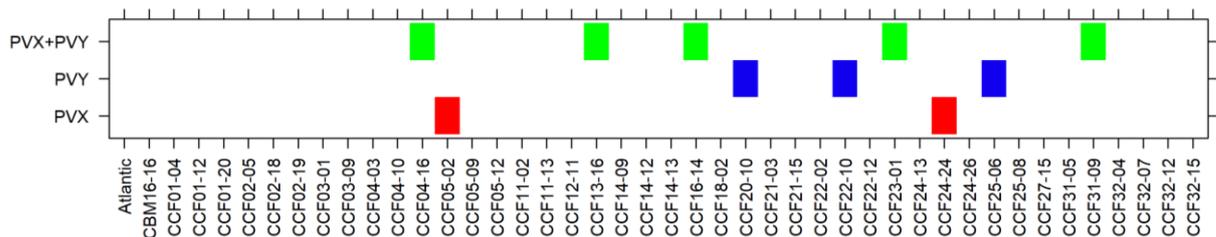
Embora Fernandes Filho et al. (2021) tenha tido êxito em identificar clones superiores à Atlantic sob condições tropicais na fase inicial do programa, estes ainda não foram avaliados agronomicamente em escala regional e não foram caracterizados quanto à qualidade de fritura do tubérculo na forma de *chips*. Assim, o objetivo desse trabalho foi identificar clones de batata que apresentem, simultaneamente, elevado rendimento industrial e excelente qualidade de fritura na forma de *chips*, por meio da caracterização agrônômica e análise de imagens, visando a composição dos ensaios de valor de cultivo e uso.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Clones avaliados

Foram avaliados 44 clones, destes 43 são oriundos do programa de melhoramento de batata da Universidade Federal de Lavras (PROBATATA/UFLA) e uma testemunha (cultivar Atlantic). Dentre os 43 clones elite do PROBATATA/UFLA, 42 foram originalmente selecionados por Fernandes Filho et al. (2020) e um (CBM16-16) foi selecionado por Menezes et al. (2001). Em geral, esses clones apresentam tolerância ao calor e potencial para processamento industrial (Menezes et al., 2001; Lambert et al., 2006; Fernandes Filho et al., 2020), especialmente na forma de *chips*. Adicionalmente, dentre os clones selecionados por Fernandes Filho et al. (2020), dois apresentam o alelo de resistência ao *Potato Virus X* (PVX), três apresentam o alelo de resistência ao *Potato Virus Y* (PVY) e cinco apresentam, simultaneamente, os alelos de resistência aos vírus PVX e PVY (Figura 1).

Figura 1. Distribuição dos alelos de resistência aos vírus *Potato Virus X* (PVX) e *Potato Virus Y* (PVY) nos clones avaliados.



Fonte: Do autor (2023).

2.2. Descrição dos experimentos de campo

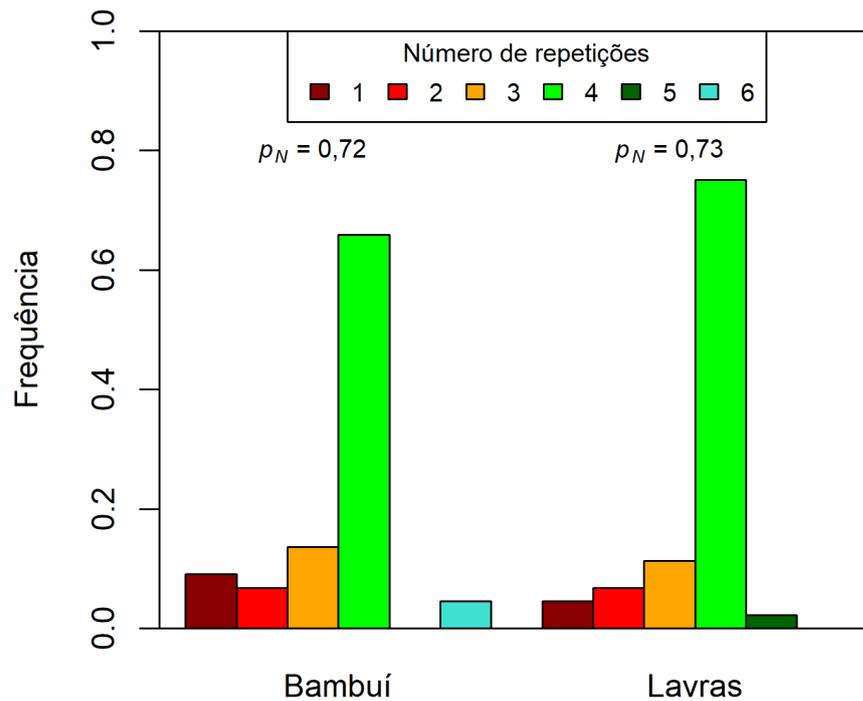
Os dados experimentais utilizados no presente trabalho foram obtidos a partir de experimentos de campo realizados em duas localidades do estado de Minas Gerais na safra de inverno de 2022. O primeiro foi conduzido no setor de olericultura do Instituto Federal de Educação, Ciência, e Tecnologia de Minas Gerais (20°00'23",64" S, 46°00'19,40" O e 706 metros de altitude) situado no município de Bambuí. O segundo foi conduzido no Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico da Universidade Federal de Lavras (21°14'43" S, 44°59'59" W e 919 metros de altitude) localizado no município de Lavras.

Em ambos os experimentos foram avaliados os 44 tratamentos descritos na seção anterior ("2.1."). As unidades experimentais foram compostas por cinco plantas espaçadas em 0,3 metros e 0,8 metros entre fileiras. Devido ao número insuficiente de sementes para alguns dos tratamentos, optou-se por planejar, para ambas as localidades, experimentos delineados

em blocos incompletos parcialmente repetidos (P-REP) (Cullis et al., 2006) por meio do pacote DiGGER (Coombes, 2020) do *software* R (R Core Team, 2022).

Para gerar planos experimentais em P-REP por meio pacote DiGGER é preciso definir um *grid* regular onde ficam dispostas as parcelas. Neste contexto, foi utilizado maior número de repetições para as testemunhas visando completar o *grid* em cada uma das localidades (Figura 2). Ao final, os experimentos em Bambuí e Lavras foram constituídos de 156 e 160 parcelas, o que levou a uma frequência de parcelas ocupadas por tratamentos repetidos (p_N) de 0,72 e 0,73, respectivamente. Apesar do desbalanceamento, é oportuno destacar que, para ambas as localidades, os valores de p_N foram semelhantes aquele esperado para um delineamento de blocos completos casualizados com quatro repetições ($p_N = 0,75$).

Figura 2. Distribuição de frequências do número de repetições para os 44 tratamentos avaliados e a frequência de parcelas ocupadas por tratamentos repetidos [$p_N = (N - Nt)/N$], em que N é o número de parcelas e Nt é o número de tratamentos.



Fonte: Do autor

Os tratos culturais foram realizados de acordo com a recomendação para o estado de Minas Gerais (Nick e Borém, 2017). Em cada experimento foi realizada adubação de plantio com 120 kg ha⁻¹ de N (nitrogênio), 420 kg de P₂O₅ (fósforo) e 240 de K₂O (potássio) por meio da aplicação de 1500 kg ha⁻¹ do adubo formulado 08-28-16. Após 30 dias do plantio, foi realizada a adubação de cobertura com 60 kg ha⁻¹ de N e 60 kg ha⁻¹ de K₂O em cada experimento por meio da aplicação de 300 kg ha⁻¹ do adubo formulado 20-00-20. Para a

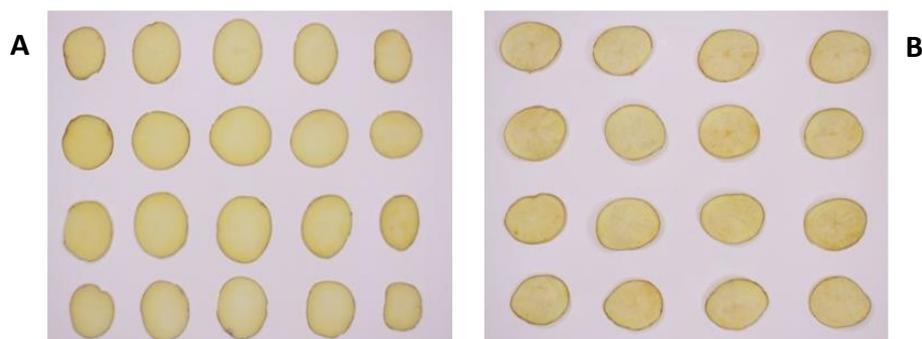
preparação do solo utilizou-se aração, gradagem e enxada rotativa. A irrigação por aspersão foi efetuada quando necessária para suprir a demanda hídrica da cultura.

Em ambos os experimentos os caracteres avaliados foram: Produtividade total de tubérculos (PTT, t ha⁻¹); teor de massa seca de tubérculos (TMST, %), produtividade de massa seca de tubérculos (PMST, t ha⁻¹). A PTT foi determinada a partir da massa total dos tubérculos colhidos em 1,2 m² e convertida para t ha⁻¹. O TMST foi determinado por meio da relação entre a massa seca e massa fresca de uma amostra dos tubérculos colhidos na parcela [TMST = (massa seca de tubérculo/massa fresca de tubérculo) × 100]. Cada amostra foi composta por aproximadamente 200 g de tubérculo cortado e submetido à secagem em estufa de circulação de ar forçado a 60 °C até atingir massa constante (Lenz et al., 2021).

2.3. Fenotipagem por imagem da cor da polpa de tubérculos e escurecimento dos *chips*

A fenotipagem da cor da polpa (CPT) foi realizada em tubérculos oriundos de experimentos conduzidos nas safras de inverno de 2021 e 2022, enquanto a fenotipagem da cor da fritura de tubérculos (CFT) e escurecimento dos *chips* (EC) foi realizada apenas na safra de inverno de 2022 em Lavras. Logo após a colheita, as parcelas de cada tratamento foram agrupadas e posteriormente foram selecionados oito tubérculos, de cada tratamento, com diâmetro transversal superior a 45 mm, sendo quatro para a avaliação da cor da polpa e quatro para avaliação da cor da fritura de tubérculos e escurecimento dos *chips*.

Figura 3. Disposição das fatias dos tubérculos de batata para avaliação de cor de polpa (A) e disposição dos *chips* (B). Na vertical: os quatro tubérculos de um mesmo tratamento. Na horizontal: fatias ou *chips* de um mesmo tubérculo.



Fonte: Do autor

Para a aquisição das imagens digitais, cinco fatias de 2 mm de espessura, obtidas com auxílio de um fatiador culinário manual, de cada tubérculo 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 tratamento (Figura 3). A aquisição das imagens para os *chips* foi similar, porém utilizou-se quatro *chips* por tubérculo (Figura 3).

Os tubérculos destinados à fritura foram fatiados como descrito anteriormente e, em seguida, as fatias foram lavadas em água corrente e secas com papel toalha. As amostras de cada tratamento foram fritas simultaneamente, porém individualizadas por tubérculo, em óleo vegetal de soja a temperatura inicial de 180°C até cessar borbulha (Vendruscolo e Zorzella, 2002; Müller et al., 2009), com auxílio de uma fritadeira elétrica da marca Croydon de duas cubas com capacidade de nove litros, controlada por termostato (Figura 4).

Figura 4. Fritadeira elétrica com os quatro tubérculos de um mesmo tratamento sendo fritos de maneira simultânea.



Fonte: Do autor

Para ambas as avaliações, a captura das imagens, em formato “.jpg”, foi realizada no Laboratório de Fenômica do Departamento de Biologia da UFLA. Para isso, foi utilizada uma câmera modelo: Canon EOS D60, lente Canon Zoom Lens EF-S 18-35mm, acoplada à um mini estúdio fotográfico de iluminação controlada, fabricado com MDF tipo “cru” de 15 mm de espessura, equipado com quatro lâmpadas de LED de 55 cm de comprimento, 9W, 900 lm, e luz cor branco frio.

Após a aquisição das imagens, foi realizado o processamento a fim de obter somente a informação contida na área das fatias dos tubérculos ou *chips*. Visando a remoção do fundo, converteu-se 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).

Posteriormente, as imagens que continham apenas as fatias ou *chips* foram convertidas para o sistema Lab, sendo o canal b, que informa sobre a variação de cor do amarelo ao azul, utilizado para caracterizar CPT e CFT. Já o canal L, que informa sobre a intensidade de luz presente na imagem, para caracterizar EC. Ao final do processamento, foi estimado o valor médio dos pixels dos canais b e L para cada fatia e *chips*, respectivamente. O processamento das imagens e as quantificações de pixels foram realizadas com auxílio do pacote OPENCV da linguagem *Python*.

2.4. Análises estatísticas

2.4.1. Caracteres agronômicos

Cada um dos caracteres agronômicos descritos na seção “2.2.” foi submetido à análise de variância individual por meio do modelo linear fixo descrito na equação (1).

$$\mathbf{y} = \mathbf{1}\mu + \mathbf{X}_c\boldsymbol{\tau}_c + \mathbf{X}_b\boldsymbol{\tau}_b + \mathbf{e} \quad (1)$$

em que \mathbf{y} é o vetor de observações fenotípicas; μ é o intercepto associado a um vetor de uns $\mathbf{1}^{(N \times 1)}$, em N representa o número de parcelas; $\boldsymbol{\tau}_c$ ($c \times 1$) é o vetor de efeitos fixos de clones associado à matriz de incidência \mathbf{X}_c ($N \times c$), em que c é o número de clones; $\boldsymbol{\tau}_b$ ($b \times 1$) é o vetor de efeitos fixos de blocos associado à matriz de incidência \mathbf{X}_b ($N \times b$), em que b é o número de blocos; \mathbf{e} é o vetor de erros aleatórios, com $\mathbf{e} \sim N(\mathbf{0}, s_e^2 \mathbf{I}_N)$.

Para cada análise individual estimou-se o coeficiente de variação experimental [CV (%) = $100 \times (\sqrt{s_e^2} / \bar{y}_{\bullet\bullet})$] e a acurácia ($Ac = \sqrt{1 - 1/F}$), em que $\bar{y}_{\bullet\bullet}$ é a média geral e F é a estatística F da análise de variância.

Em seguida, realizou-se a análise de variância conjunta para cada um dos caracteres agronômicos por meio de um modelo similar ao descrito na equação (1), porém com a inclusão do vetor de efeitos fixos da interação clones por ambientes ($\boldsymbol{\tau}_{cl}$ ($cl \times 1$)) associado à matriz de incidência \mathbf{X}_{cl} ($N \times cl$), em que l representa o número de locais. Além disso, o vetor $\boldsymbol{\tau}_b$ foi modificado para acomodar o efeito de blocos dentro de locais.

Após a realização das análises individuais e conjunta, foram obtidos os vetores de médias ajustadas de clones (\mathbf{y}_c) por meio da combinação linear apresentada na equação (2), sendo $\boldsymbol{\tau}^T = (\mu, \boldsymbol{\tau}_c, \boldsymbol{\tau}_b)^T$ nas análises individuais ou $\boldsymbol{\tau}^T = (\mu, \boldsymbol{\tau}_c, \boldsymbol{\tau}_{cl}, \boldsymbol{\tau}_b)^T$ na análise conjunta.

$$\mathbf{y}_c = \mathbf{L}_c \boldsymbol{\tau} \quad (2)$$

em que: \mathbf{y}_c ($c \times 1$) é o vetor de médias ajustadas de clones; \mathbf{L}_c ($c \times N\tau$) é uma matriz de coeficientes de combinações lineares para estimar as médias ajustadas de clones, sendo $N\tau$ o número de efeitos no vetor $\boldsymbol{\tau}$.

Visando comparar os clones testados com a cultivar Atlantic, determinou-se o desvio padrão associado ao contraste apresentado na equação (3).

$$C_{ii'} = \bar{y}_{i\bullet} - \bar{y}_{i'\bullet} \quad (3)$$

$$\text{var}(C_{ii'})^{1/2} = \text{var}(\bar{y}_{i\bullet} - \bar{y}_{i'\bullet})^{1/2} \quad (4)$$

$$\text{var}(\bar{y}_{i\bullet} - \bar{y}_{i'\bullet}) = \text{var}(\bar{y}_{i\bullet}) + \text{var}(\bar{y}_{i'\bullet}) - 2 \times \text{cov}(\bar{y}_{i\bullet}, \bar{y}_{i'\bullet}) \quad (5)$$

em que: $C_{ii'}$ é o contraste entre a média do clone i ($\bar{y}_{i\bullet}$) e da cultivar Atlantic ($\bar{y}_{i'\bullet}$), $\text{var}()$ representa a operação de variância e $\text{cov}()$ representa a operação de covariância.

A estimação do desvio padrão do contraste $C_{ii'}$ requer a variância do contraste $C_{ii'}$ (3), cujos componentes podem ser facilmente obtidos por meio da expressão (6).

$$\text{var}(\mathbf{L}_c \boldsymbol{\tau}) = \mathbf{L}_c (\mathbf{X}^T \mathbf{V}^{-1} \mathbf{X})^{-1} \mathbf{L}_c^T \quad (6)$$

$$\mathbf{V} = \mathbf{R} \quad (7)$$

em que: $\mathbf{X}^{(N \times Nr)}$ é a matriz de incidência associada aos efeitos fixos, em que $\mathbf{X}^T = (\mathbf{1}, \mathbf{X}_c, \mathbf{X}_b)^T$ para as análises individuais ou $\mathbf{X}^T = (\mathbf{1}, \mathbf{X}_c, \mathbf{X}_{cl}, \mathbf{X}_b)^T$ para a análise conjunta; $\mathbf{V}^{(N \times N)}$ é a matriz de (co)variâncias associada ao vetor de informações fenotípicas (\mathbf{y}); $\mathbf{R}^{(N \times N)}$ é a matriz de (co)variâncias residuais.

Por fim, realizou-se a comparação dos clones elite com a cultivar Atlantic por meio do teste de Dunnett a 5% de probabilidade do erro, baseando-se nas médias ajustadas da análise conjunta (Broch e Ferreira, 2013). Todas as análises foram realizadas por meio do programa R (R Core Team, 2022) com auxílio dos pacotes *car* (Fox e Weisberg, 2019), *graphics* e *nCDunnett* (Broch e Ferreira, 2015), além do programa *Echidna Mixed Models* (Gilmour, 2021).

2.4.2. Caracteres oriundos das análises por imagem

Para cada unidade experimental (clones \times tubérculos) foi obtido o valor médio das cinco fatias para o canal b ou quatro *chips* para o canal L e, em seguida, as observações foram submetidas à análise individual admitindo-se um delineamento inteiramente ao acaso. Neste contexto, adotou-se um modelo similar ao descrito na equação (1), porém ignorou-se o efeito de blocos. Além disso, também foram estimados o CV e a A_c para cada análise individual como descrito na seção “2.4.1”.

A análise conjunta foi realizada apenas para o canal b, pois apenas a avaliação da coloração de polpa foi realizada em duas safras. O modelo de análise foi similar ao descrito na seção “2.4.1.”, porém com a exclusão do efeito de blocos. As estimativas de média dos

tratamentos e a variância média do contraste da testemunha (cultivar Atlantic) em relação aos demais tratamentos foram obtidas por meio das equações (2) e (5) sempre ignorando o efeito de blocos. Todas as análises foram realizadas com auxílio dos programas citados na seção anterior (“2.4.1.”).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Experimentos de campo

O efeito de clone foi significativo para todos os caracteres ($P < 0,01$) em ambos os locais, evidenciando a existência de pelo menos um contraste entre médias de clone (Tabela 1). Conjuntamente, os efeitos de clone e resíduo explicaram mais de 97% da soma de quadrados total nos dois locais para todos os caracteres.

Considerando os caracteres PTT e PMST, a contribuição relativa do efeito de clone foi superior a 70% em Bambuí e inferior a 50% em Lavras (Tabela 1). Estes resultados corroboram com as elevadas estimativas de acurácia ($>0,90$) e os menores coeficientes de variação experimental registrados em Bambuí para PTT e PMST. Apesar da menor precisão experimental registrada em Lavras, a acurácia associada aos caracteres citados anteriormente foi superior a 0,75. Segundo Resende e Duarte (2007), a acurácia pode ser considerada alta, quando assume um valor $\geq 0,70$ e $< 0,90$, ou muito alta, quando assume valor $\geq 0,90$. Vale destacar que, segundo a classificação apresentada anteriormente, o caráter TMST apresentou acurácia alta nos dois locais [Bambuí (0,84) e Lavras (0,89)].

Tabela 1. Contribuição relativa (%) dos efeitos de bloco, clone e resíduo nas análises individuais (Lavras e Bambuí) de variância, bem como a média, o coeficiente de variação (CV, %) e acurácia para produtividade total de tubérculos (PTT, t ha⁻¹), produtividade de massa seca de tubérculos (PMST, t ha⁻¹) e teor de massa seca de tubérculos (TMST, %) na safra de inverno de 2022.

Locais	Caracteres	Bloco	Clone	Resíduo	Média	CV (%)	Acurácia
Lavras	PTT	2,68 ^{ns}	47,97 ^{**}	49,35	33,98	28,57	0,78
	PMST	2,00 ^{ns}	47,13 ^{**}	50,87	7,41	31,23	0,76
	TMST	0,33 ^{ns}	65,45 ^{**}	34,21	21,75	6,05	0,89
Bambuí	PTT	0,46 ^{ns}	75,17 ^{**}	24,36	45,25	23,27	0,93
	PMST	0,30 ^{ns}	74,59 ^{**}	25,11	10,66	24,97	0,93
	TMST	0,72 ^{ns}	58,25 ^{**}	41,03	23,38	6,68	0,84

** : p-valor $\leq 0,01$; ^{ns}: p-valor $> 0,01$.

Fonte: Do autor (2023).

O efeito da interação clones por locais foi significativo apenas para os caracteres PTT e PMST, entretanto a contribuição relativa desses efeitos foi inferior a 15,20%. Não obstante, o efeito de clone foi significativo para todos os caracteres e sua contribuição relativa foi superior a 50% para PTT e PMST e igual a 40,67% para TMST, indicando contribuição predominante do efeito de clones para a variação total (Tabela 2). Alguns trabalhos também têm reportado contribuição de menor magnitude da interação genótipos por ambientes (G×A) para a variação total associada à produtividade de tubérculos na cultura da batata, porém, com maior relevância do componente genótipos por locais (G×L) (Wang et al., 2016; Flis et al., 2014). Já para o caráter TMST, estreitamente relacionado com a gravidade específica, a interação G×L tem sido menos relevante (Flis et al., 2014; Wang et al., 2016; Wang et al., 2017; Scavo et al., 2022). Vale destacar que, para ambos os caracteres, a contribuição da interação G×A tem sido mais expressiva quando se contabiliza interação genótipos por safras em virtude da avaliação dos genótipos em diferentes safras (Fernandes Filho et al., 2021; Andrade et al., 2021a; Patiño-Torres et al., 2021; Scavo et al., 2022). Isto porque, sob condições tropicais, como no Brasil, o cultivo da batata pode ser realizado em diferentes safras ao longo do ano e está sujeito ao estresse por calor, fotoperíodo curto e maior pressão de pragas e doenças (Lambert et al., 2006; Katsaruware-Chapoto et al., 2017; Patiño-Torres et al., 2021).

Tabela 2. Contribuição relativa (%) dos efeitos de bloco dentro de local, clone, local, interação clones por locais e resíduo na análise conjunta de variância, bem como a média para produtividade total de tubérculos (PTT, t ha⁻¹), produtividade de massa seca de tubérculos (PMST, t ha⁻¹) e teor de massa seca de tubérculos (TMST, %) na safra de inverno de 2022.

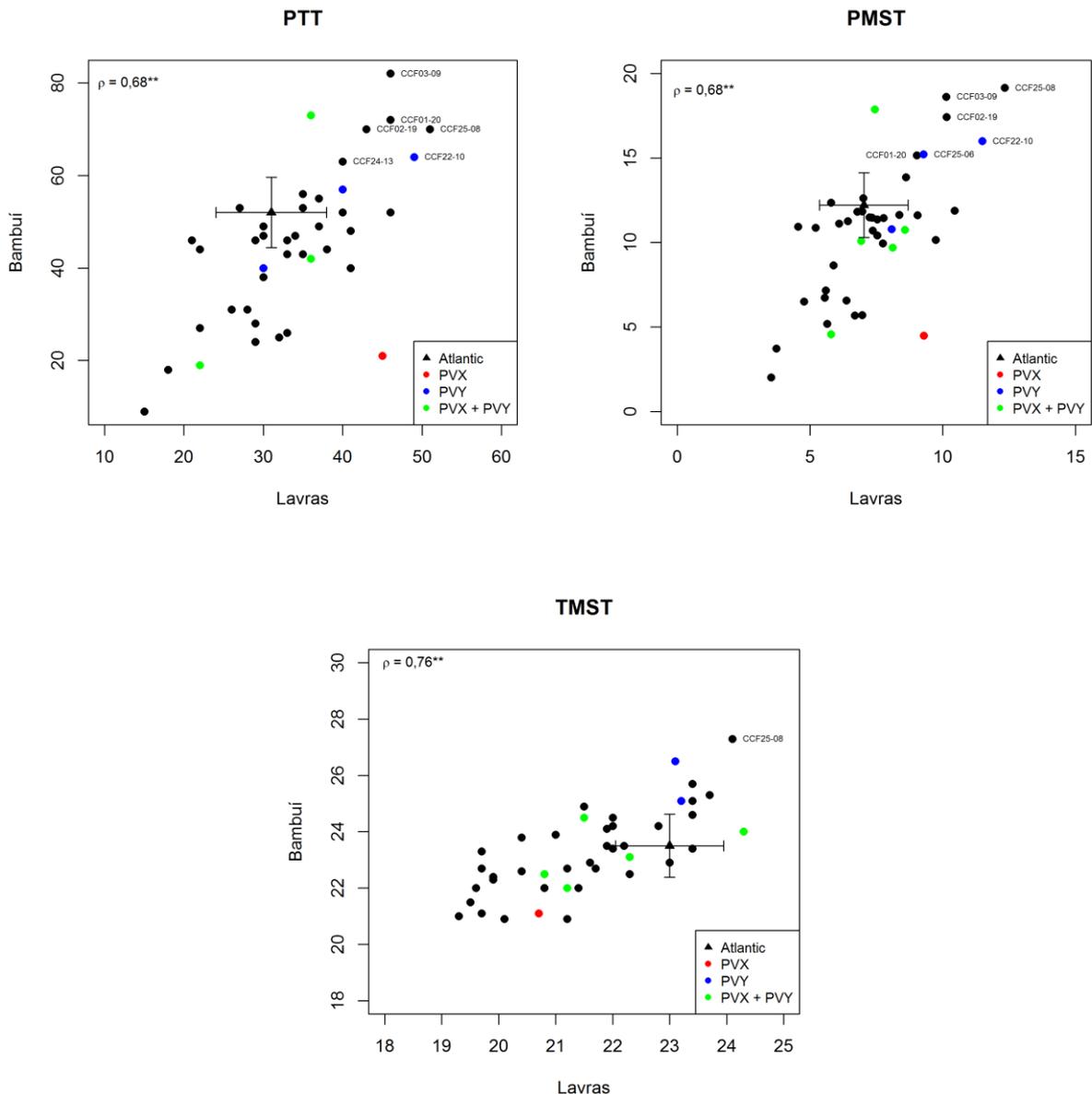
Caracteres	Blocos/Locais	Clone (C)	Local (L)	C x L	Resíduo	Média
PTT	1,11 ^{ns}	50,75 ^{**}	1,84 ^{**}	15,20 ^{**}	31,07	39,62
PMST	0,75 ^{ns}	51,67 ^{**}	1,73 ^{**}	14,82 ^{**}	31,03	9,03
TMST	0,71 ^{ns}	40,67 ^{**}	0,05 ^{ns}	8,74 ^{ns}	49,82	22,56

^{**}: p-valor ≤0,01; ^{ns}: p-valor >0,01. Fonte: Do autor (2023).

As médias registradas em Bambuí foram superiores as registradas em Lavras para todos os caracteres ($P < 0,01$), exceto para TMST (Tabela 1 e 2). Contudo, observou-se forte associação linear entre o desempenho dos clones nas duas localidades para todos os caracteres ($\rho \geq 0,68$), corroborando com a pequena contribuição relativa da interação clones por locais para todos os caracteres (Tabela 2 e Figura 5). Segundo Van Eeuwijk et al. (2016), a contribuição da interação de natureza complexa é inversamente proporcional a correlação

entre ambientes, ou seja, quanto maior a magnitude da correlação menor a proporção da interação complexa.

Figura 5. Dispersão das médias de clones registradas em Bambuí e Lavras para os caracteres produtividade total de tubérculos (PTT, t ha⁻¹), produtividade de massa seca de tubérculos (PMST, t ha⁻¹) e teor de massa seca de tubérculos (TMST, %). Para cada um dos caracteres é apresentada a correlação de Person entre os locais, barras representando o desvio padrão do erro médio de comparação da cultivar Atlantic com os demais clones para cada local e a distribuição dos alelos de resistência aos vírus PVX e PVY.



Fonte: Do autor (2023).

Considerando os caracteres PTT e PMST, seis clones se destacaram em relação à média da cultivar Atlantic em ambos os locais, superando a margem de erro (Figura 5). Vale destacar que, em média, esses clones superaram, de maneira expressiva, a média dos locais

para PTT (BambuÍ: 58% e Lavras: 39%) e PMST (BambuÍ: 62% e Lavras: 43%). Estes resultados evidenciam o elevado potencial produtivo e rendimento industrial dos clones mencionados, bem como alta adaptação aos locais testados. A habilidade de aproveitar vantajosamente as variações ambientais é indispensável para o sucesso de uma nova cultivar de batata, uma vez que a recomendação no Brasil pode ser realizada em nível estadual, regional ou nacional (MAPA, 2023).

Dentre os clones que se destacaram, cinco foram comuns para PTT e PMST (CCF01-20, CCF02-19, CCF03-09, CCF22-10, CCF25-08), dos quais apenas o clone CCF22-10 apresentou o alelo de resistência ao PVY. Além disso, é oportuno mencionar o clone CCF23-01, pois ele apresentou, simultaneamente, os alelos de resistência aos vírus PVX e PVY, embora tenha se destacado apenas em Bambuí para ambos os caracteres (Figura 5). Em escala global, o PVY é o vírus de maior importância para a cultura da batata e pode ocasionar perdas de até 80% (Crosslin, 2013; Tsedaley et al., 2015; Kreuze et al., 2020; Petrov et al., 2023). Já o PVX apresenta menor potencial de dano (10% a 40%), porém em associação com o PVY também pode promover perdas de até 80% (Kreuze et al., 2020). Dada a importância dessas viroses, o PROBATATA/UFLA tem se dedicado a seleção de clones resistentes às principais viroses da cultura batata (Guedes et al., 2016; Carneiro et al., 2017; Fernandes Filho et al., 2020; Andrade et al., 2021a).

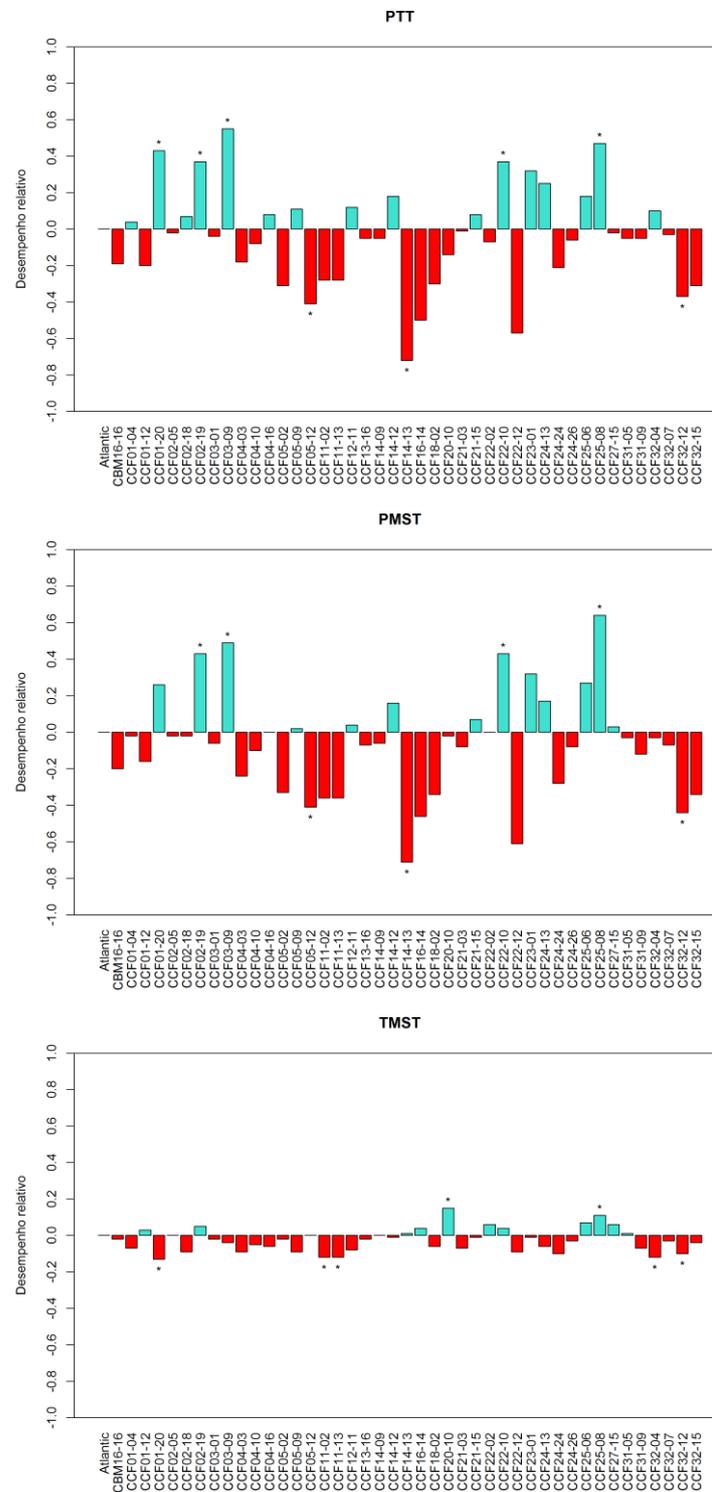
Para o caráter TMST diversos clones se assemelharam à cultivar Atlantic (desempenho dentro da margem de erro), e apenas o clone CCF25-06 superou à mesma (Figura 5), revelando seu potencial para uso em futuros cruzamentos visando o incremento de TMST, uma vez que esse caráter apresenta herança predominantemente aditiva (Slater et al., 2014; Amadeu et al., 2019; Arcaute et al., 2022). Contudo, esse resultado é positivo, pois a cultivar Atlantic é reconhecida pelo seu elevado TMST (Webb et al., 1978; Rens et al., 2015; Andrade et al., 2021b). Portanto, mesmo com TMST semelhante ao registrado para cultivar Atlantic, clones com maior potencial produtivo apresentam maior rendimento industrial, o que explica a coincidência superior a 80% entre os caracteres PTT e PMST.

Considerando a análise conjunta dos locais, cinco e quatro clones se destacaram em relação à cultivar Atlantic ($P < 0,05$) e, em média, superaram a referida cultivar em 44% e 50% para os caracteres PTT e PMST, respectivamente. Dentre os clones superiores, quatro foram comuns para ambos os caracteres (CCF02-19, CCF03-09, CCF22-10 e CCF25-08) (Figura 6). O elevado desempenho desses clones em relação à cultivar Atlantic se justifica pelo maior nível de adaptação às condições tropicais, uma vez que a tolerância ao calor foi um dos critérios de seleção dos mesmos (Fernandes Filho et al., 2020). Esses resultados estão

diretamente relacionados com esforço empregado nos últimos 30 anos pelo PROBATATA/UFLA para seleção de clones mais adaptados às condições tropicais, sobretudo em função da tolerância ao calor (Lambert et al., 2006; Benites et al., 2011; Fernandes Filho et al., 2020; Patiño-Torres et al., 2021).

Para TMST a maioria dos clones apresentou desempenho similar à cultivar Atlantic e apenas os clones CCF20-10 e CCF25-08 superaram a referida cultivar ($P < 0,05$). Em média, esses clones superaram em 7% a cultivar Atlantic e são importantes fontes de germoplasma para incrementar o TMST em futuros ciclos seletivos.

Figura 6. Desempenho relativo dos clones em relação à cultivar Atlantic com base nas médias da análise conjunta para os caracteres produtividade total de tubérculos (PTT, $t\ ha^{-1}$), produtividade de massa seca (PMST, $t\ ha^{-1}$) e teor de massa seca de tubérculos (TMST, %). O desempenho médio da cultivar Atlantic foi $41,30\ t\ ha^{-1}$, $9,62\ t\ ha^{-1}$ e $23,20\%$ para os caracteres PTT, PMST e TMST, respectivamente.



Fonte: Do autor (2023).

3.2. Fenotipagem por imagem da cor da polpa de tubérculos e escurecimento dos *chips*

O efeito de clone foi significativo para todos os caracteres nos dois anos avaliados e apresentou contribuição superior a 90% para CPT e igual a 84,21 e 77,89% para CFT e EC. Além disso, o CV foi inferior a 2% e a acurácia superior a 0,95 para todos os caracteres. Esses resultados demonstram a elevada precisão experimental e capacidade de discriminação dos clones proporcionada pela análise de imagens. Assim, a análise de imagens se torna uma alternativa atrativa à tradicional avaliação por escalas de notas, pois tem potencial para superar as principais limitações da avaliação visual (avaliação laboriosa, subjetiva e, em muitos casos, pouco precisa) (Caraza-Harter e Endelman, 2019; Miller et al., 2023).

Considerando a análise conjunta para CPT, o efeito da interação clones por locais foi não significativo, contudo, o efeito de clones foi significativo e apresentou contribuição majoritária para a soma de quadrados total (70,85%). Além disso, a correlação entre anos para a CPT foi igual a 0,93 (Tabela 3 e Figura 7). Esses resultados indicam a existência alta repetibilidade do caráter ao longo dos anos, o que pode estar associado à sua maior herdabilidade. Contudo, as informações sobre a herança e a contribuição da interação G×A para o caráter CPT são escassas. Por outro lado, Caraza-Harter e Endelman (2019) reportaram elevada herdabilidade e correlação genética entre anos para a cor da periderme, além de sugerirem uma base quantitativa para a herança desse caráter.

Tabela 3. Contribuição relativa (%) dos efeitos clone e resíduo nas análises individuais (2021 e 2022) de variância, bem como a média, o coeficiente de variação (CV, %) e acurácia para a cor da polpa de tubérculos (CPT), cor da fritura de tubérculos (CFT), escurecimento dos *chips* (EC). Contribuição relativa (%) dos efeitos clone, local, interação clones por locais e resíduo na análise conjunta de variância para o caráter CPT. Ambas as avaliações foram realizadas na safra de inverno em Lavras.

Anos	Carac.	Clone (C)	Local (L)	C×L	Resíduo	Média	CV (%)	Acurácia
2021	CPT	94,43**			5,56	146,58	1,27	0,99
	CFT	91,49**			8,51	151,00	1,75	0,98
2022	CFT	84,21**			15,78	156,03	1,48	0,97
	EC	77,89**			22,11	186,45	1,88	0,95
Conjunta	CPT	70,85**	0,00 ^{ns}	16,47**	12,66	148,79		

Carac.: Caracteres; **: p-valor ≤ 0.01; ^{ns}: p-valor > 0.01.

Fonte: Do autor (2023).

Dentre os clones que se destacaram para os caracteres PTT e PMST (CCF01-20, CCF02-19, CCF03-09, CCF22-10, CCF25-08), quatro foram representados na Figura 7 e um foi eliminado (CCF02-19) devido à detecção de mistura clonal. Para estes clones, a coloração da polpa variou de creme (CCF01-20) até amarelo (CCF22-10). Vale destacar que a maioria

dos clones avaliados apresentou coloração de polpa diferente da Atlantic (fora da margem de erro) (Figura 7 e Figura 9).

O caráter CFT apresentou moderada associação linear com CPT ($\rho = 0,51$, Figura 8A), indicando que alguns clones de polpa amarela podem originar *chips* de coloração mais amarela/dourada. Este padrão de fritura pode ser interessante, por exemplo, para a batata palha, pois pode-se obter um produto de coloração amarela/dourada sem a necessidade de utilização de aditivos para a intensificação da cor no processamento industrial da batata.

Para o caráter EC, a cultivar Atlantic apresentou os *chips* mais claros. Contudo, os clones CCF01-20, CCF03-09, CCF22-10 e CCF25-08 apresentam padrão de qualidade de fritura aceitável (Figuras 8B e 9). Adicionalmente, a coloração da polpa parece não impactar no escurecimento dos *chips*, uma vez que se observou baixa associação linear entre esses caracteres ($\rho = -0,03$) (Figura 8B). Esses resultados reforçam a excelência em qualidade de fritura da cultivar Atlantic, fato que fez com que esta cultivar se tornasse um padrão para o processamento industrial na forma de *chips* (Webb et al., 1978; Andrade et al., 2021b). Segundo Douches e Jastrzebski (1993), o caráter qualidade de fritura apresenta herança complexa e, portanto, a seleção de clones superiores é um grande desafio para os programas de melhoramento de batata. Isto porque, a qualidade de fritura não depende apenas do teor de matéria seca do tubérculo, mas também da concentração de açúcares redutores dos tubérculos no momento da fritura (Douches e Jastrzebski, 1993; Pereira et al., 2015).

Figura 7. Dispersão das médias de cor de polpa de tubérculos (CPT) em Lavras nos anos de 2021 e 2022. Além disso, é apresentada a correlação de Person entre os anos, barras representando o desvio padrão do erro médio de comparação da cultivar Atlantic com os demais clones para cada ano e a distribuição dos alelos de resistência aos vírus PVX e PVY.

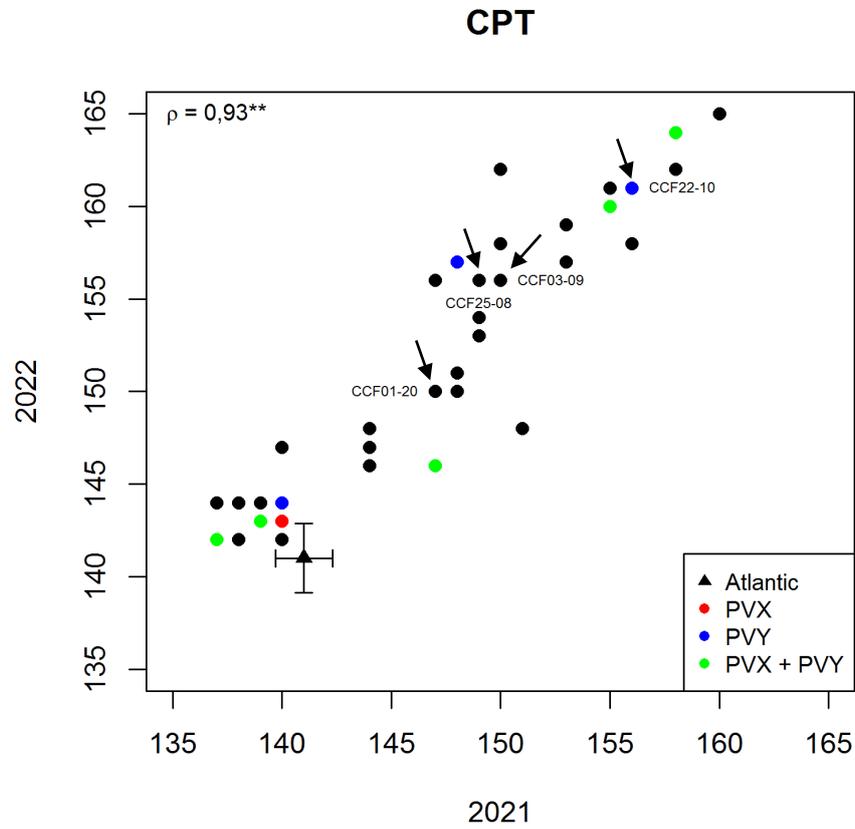


Figura 8. Dispersão das médias da cor de polpa de tubérculos (CPT) e cor de fritura de tubérculos (CFT) da análise individual (A) e dispersão das médias da análise conjunta da cor de polpa de tubérculos (CPT) e das médias de escurecimento dos *chips* (EC) da análise individual (B). Além disso, são apresentadas barras representando o desvio padrão do erro médio de comparação da cultivar Atlantic com os demais clones para cada caráter e a distribuição dos alelos de resistência aos vírus PVX e PVY.

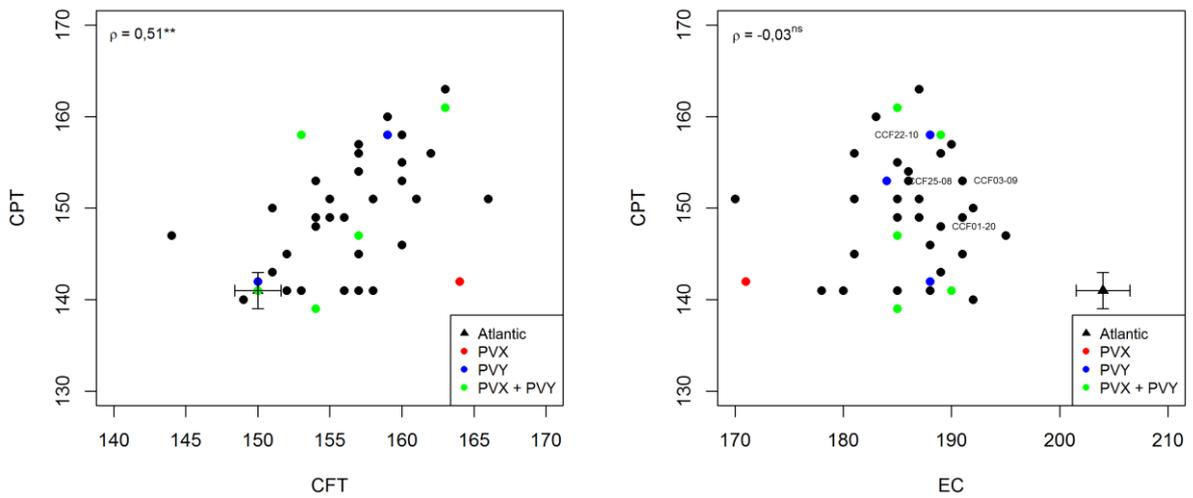
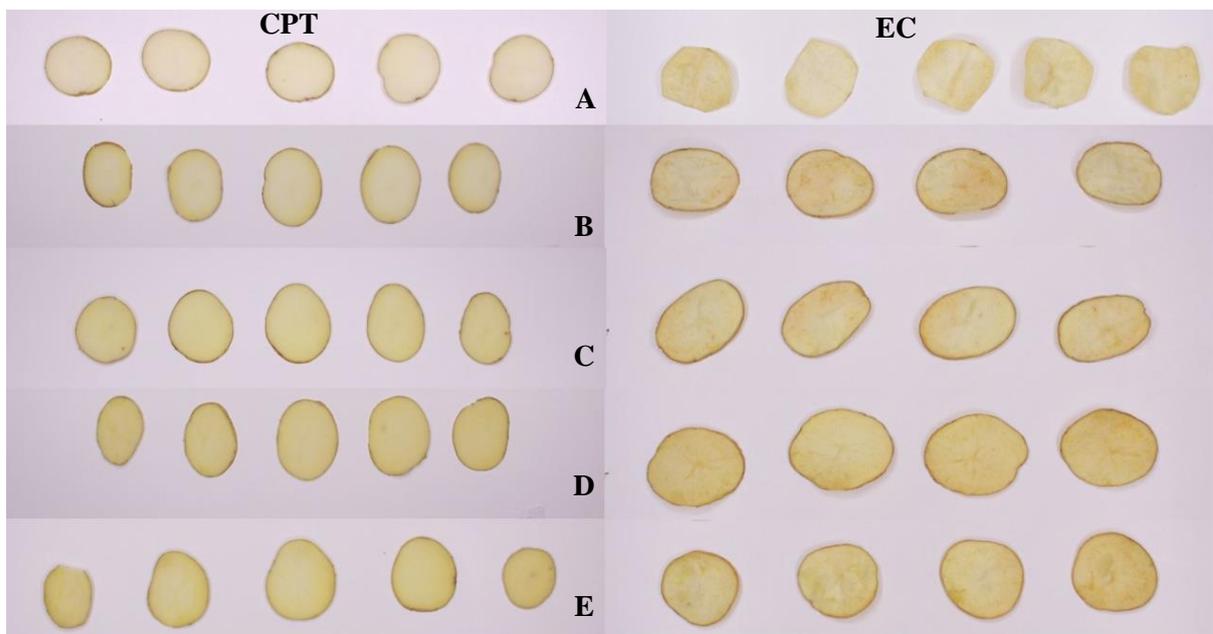


Figura 9. Imagens digitais da cor de polpa de tubérculos (CPT) e de escurecimento dos *chips* (EC), da testemunha Atlantic (A), CCF01-20 (B), CCF03-09 (C), CCF22-10 (D), CCF25-08 (E).



Fonte: Do autor (2023).

4. CONCLUSÃO

Quatro clones se destacam em relação à cultivar Atlantic (CCF02-19, CCF03-09, CCF22-10 e CCF25-08) para o caráter PMST e, em média, são 50% superiores. Nenhum dos clones é superior ou similar à cultivar Atlantic quanto ao caráter EC, entretanto, os clones CCF03-09, CCF22-10 e CCF25-08 apresentam nível aceitável de escurecimento dos *chips*. Assim, esses clones têm potencial para compor ensaios de valor de cultivo e uso, visando à identificação de uma nova cultivar de batata, com elevado rendimento industrial e aptidão para o processamento industrial na forma de *chips*, para o estado de Minas Gerais.

A análise de imagens proporciona elevada acurácia na avaliação dos caracteres CPT e EC ($Ac \geq 0,95$).

O escurecimento dos *chips* não é afetado pela cor da polpa.

REFERÊNCIAS

- ABBA - BATATA SHOW: **A revista da Batata**. Associação Brasileira da Batata, n 58, Dez., 2020.
- AMADEU, Rodrigo R. et al. Impact of dominance effects on autotetraploid genomic prediction. **Crop Science**, v. 60, n. 2, p. 656-665, 2020.
- ANDRADE, M. H. M. L., et al. Stability of potato clones resistant to potato virus Y under subtropical conditions. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**. 2021a.
- ANDRADE, Mario HML et al. University of Florida Potato Variety Trials Spotlight: ‘Adirondack Blue’: HS1293, 2/2021. **EDIS**, v. 2021, n. 1, p. 4-4, 2021b.
- ARCAUTE, R., et al. "Evaluation of Genetic Resources in a Potato Breeding Program for Chip Quality." *Agronomy* 12.5 (2022): 1142.
- BENITES, Flávio Rodrigo Gandolfi; PINTO, César Augusto Brasil Pereira. Genetic gains for heat tolerance in potato in three cycles of recurrent selection. **Crop breeding and applied biotechnology**, v. 11, p. 133-140, 2011.
- BROCH; FERREIRA (2015). **nCDunnett: Noncentral Dunnett's Test Distribution**. R package version 1.1.0. Acesso em: 17 de maio de 2023. Disponível em: < <https://CRAN.R-project.org/package=nCDunnett>>
- CARNEIRO, Otávio Luiz Gomes et al. Introgression of the Rl adg allele of resistance to potato leafroll virus in *Solanum tuberosum* L. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, p. 242-249, 2017.
- CARAZA-HARTER, Maria V.; ENDELMAN, Jeffrey B. Image-based phenotyping and genetic analysis of potato skin set and color. **Crop Science**, v. 60, n. 1, p. 202-210, 2020.
- COOMBES, N, (2020). **DiGGer: DiGGer searches for A-efficient experimental designs under specified blocking and correlation**. R package version 1.0.5. Acesso em: 20 de maio de 2023 Disponível em:< <http://nswdpibiom.org/austatgen/software>>
- CROSSLIN, James M. "PVY: An old enemy and a continuing challenge." *American journal of potato research* 90 (2013): 2-6.
- CULLIS, Brian R.; SMITH, Alison B.; COOMBES, Neil E. On the design of early generation variety trials with correlated data. **Journal of agricultural, biological, and environmental statistics**, v. 11, n. 4, p. 381-393, 2006.
- DEVAUX, A. et al. A Batata do Futuro: Oportunidades e Desafios em Sistemas Agroalimentares Sustentáveis. **Batata Research** , p. 1-40, 2021.
- DEVAUX, André; KROMANN, Peter; ORTIZ, Oscar. Potatoes for sustainable global food security. **Potato Research**, v. 57, p. 185-199, 2014.

DOUCHES, DAVID S., and KAZIMIERZ JASTRZEBSKI. "Potato: *Solanum tuberosum* L." Genetic improvement of vegetable crops. Pergamon, 1993. 605-644.

FAOSTAT – United Nations Statistics Division of the Food and Agriculture Organization. 2021. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>> Acesso em: Maio, 2023.

FAOSTAT - Balanço alimentar. 2020. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/FBS>> Acesso em: Maio, 2023.

FERNANDES FILHO, C. C., et al. Selection of potato clones for heat tolerance and resistance to potato viruses X and Y for processing purposes. **Crop Science**, 61(1), 552-565. 2021.

FLIS, Bogdan et al. Stability analysis of agronomic traits in potato cultivars of different origin. **American Journal of Potato Research**, v. 91, p. 404-413, 2014.

FOX, J. "John Fox and Sanford Weisberg." An R companion to applied regression, 3rd ed: Sage, 2019.

GILMOUR, A.R. Echidna Mixed Model Software. www.EchidnaMMS.org. 2021.

GÖKMEN, V. et al. Computer vision-based image analysis for the estimation of acrylamide concentrations of potato *chips* and french fries. **Food Chemistry**, v. 101, n. 2, p. 791-798, 2007.

GUEDES, Marcio Lisboa, et al. "**Escalas diagramáticas para avaliação do fenótipo de tubérculos de batata.**" Revista Cultura Agrônômica 29.2 (2020): 274-288.

GUEDES, M. L. et al. Combining abilities for agronomic traits and marker-assisted selection for Potato virus X and Potato virus Y resistance. **Genetics and Molecular Research**, v. 15, n. 3, 2016.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2023. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistematico-da-producao-agricola.html?=&t=resultados>> >

KREUZE, Jan F., et al. "Viral diseases in potato." The potato crop: its agricultural, nutritional and social contribution to humankind (2020): 389-430.

KATSARUWARE-CHAPOTO, Rumbidzai D., Paramu L. Mafongoya, and Augustine Gubba. "Responses of insect pests and plant diseases to changing and variable climate: a review." **Journal of Agricultural Science (Toronto)** 9.12 (2017): 160-168.

KUNKEL, Robert; CAMPBELL, Gaylon S. Maximum potential potato yield in the Columbia Basin, USA: model and measured values. **American potato journal**, v. 64, p. 355-366, 1987.

LAMBERT, E.; PINTO, C.; MENEZES, C. Potato improvement for tropical conditions: I. Analysis of stability. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 6, p. 129-135, 2006.

LENZ, EA, et al. "Crescimento de plantas e produtividade de cultivares brasileiras de batata." (2021). Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2021. 15 p.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <<https://sistemasweb.agricultura.gov.br/pages/RENASEM.html>>. Acesso em: 10 de Maio de 2023.

MENEZES, C.; PINTO, C.; LAMBERT, E. Combining ability of potato genotypes for cool and warm seasons in Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 1, n. 2, p. 145-157, 2001

MILLER, Michael D. et al. TubAR: an R Package for Quantifying Tuber Shape and Skin Traits from Images. **American Journal of Potato Research**, v. 100, n. 1, p. 52-62, 2023.

MÜLLER, D.R.; BISOGNIN, D.A.; ANDRIOLO, J.L.; MORIN JUNIOR, G.R.; GNOCATO, F.S. **Expressão dos caracteres e seleção de clones de batata nas condições de cultivo de primavera e outono**. *Ciência Rural*, v.39, p.1237-1334, 2009.

MWATUWA, Rodrick Z. et al. University of Florida Potato Variety Trials Spotlight: Atlantic: HS1278, 3/2016. **EDIS**, v. 2016, n. 3, p. 3-3, 2020.

NICK, Carlos; BORÉM, Aluizio. **Batata do plantio à colheita**. 1.ed. Viçosa: Editora UFV, 2017.

NEDER, Diogo Gonçalves et al. Seleção de clones de batata com resistência múltipla à pinta preta e aos vírus X e Y. **Ciência Rural**, v. 40, p. 1702-1708, 2010.

OTSU, Nobuyuki. A threshold selection method from gray-level histograms. **IEEE transactions on systems, man, and cybernetics**, v. 9, n. 1, p. 62-66, 1979.

PATIÑO-TORRES, Albania José et al. Performance of superior potato clones under high and mild temperatures in tropical climate. **Agronomy Journal**, v. 113, n. 3, p. 2349-2360, 2021.

PEREIRA, Arione S. et al. BRSIPR Bel: Cultivar de batata para chips com tubérculos de boa aparência. **Horticultura Brasileira**, v. 33, p. 135-139, 2015.

PETROV, Nikolay Manchev, Mariya Ivanova Stoyanova, and Rajarshi Kumar Gaur. "Biodiversity and characterization of economically important viruses on potato cultivars." *Plant RNA Viruses*. Academic Press, 2023. 245-270.

R CORE TEAM (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <https://www.R-project.org/>

RENS, Libby R. et al. Biomass accumulation, marketable yield, and quality of Atlantic potato in response to nitrogen. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 3, p. 931-942, 2015.

RESENDE, Marcos Deon Vilela; DUARTE, João Batista. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. 2007.

SLATER, Anthony T. et al. Improving the analysis of low heritability complex traits for enhanced genetic gain in potato. **Theoretical and applied genetics**, v. 127, p. 809-820, 2014.

SCAVO, Aurelio, Giovanni Mauromicale, and Anita Ierna. "Dissecting the Genotype× Environment Interaction for Potato Tuber Yield and Components." **Agronomy** 13.1 (2022): 101.

TSEDALEY, Binyam. "A review paper on Potato virus Y (PVY) biology, economic importance and its managements." *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare* 5.9 (2015): 110-126.

VAN EEUWIJK, Fred A.; BUSTOS-KORTS, Daniela V.; MALOSETTI, Marcos. What should students in plant breeding know about the statistical aspects of genotype× environment interactions?. **Crop Science**, v. 56, n. 5, p. 2119-2140, 2016.

VENDRUSCOLO, J. L.S.; ZORZELLA, C. A. Processamento de batata (*Solanum tuberosum* L.): fritura. **Embrapa Clima Temperado-Documentos (INFOTECA-E)**, 2002.

WANG, Yi, et al. "Reliability of measurement and genotype× environment interaction for potato specific gravity." *Crop Science* 57.4 (2017): 1966-1972.

WANG, Yi, et al. "Acrylamide-forming potential and agronomic properties of elite US potato germplasm from the National Fry Processing Trial." *Crop Science* 56.1 (2016): 30-39.

WEBB, R. E. et al. Atlantic: a new potato variety with high solids, good processing quality, and resistance to pests. 1978.