

**UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI –
UFVJM**

Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal

Soryana Gonçalves Ferreira de Melo

**Dormência e avaliação da qualidade fisiológica de sementes de batata-doce com o
uso da análise de imagens**

Diamantina

2020

Soryana Gonçalves Ferreira de Melo

Dormência e avaliação da qualidade fisiológica de sementes de batata-doce com o uso da análise de imagens

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri-UFVJM, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Marcela Carlota Nery
Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Márcia Regina da Costa

**Diamantina
2020**

Elaborado com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

M528d Melo, Soryana Gonçalves Ferreira de.

Dormência e avaliação da qualidade fisiológica de
sementes de batata-doce com o uso da análise de imagens /
SoryanaGonçalves Ferreira de Melo, 2020.
51 p. : il.

Orientadora: Marcela Carlota Nery

Dissertação (Mestrado – Pós-Graduação em Produção
Vegetal - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha
e Mucuri, Diamantina, 2020.

1. Ipomoea batatas. 2. GroundEye®. 3. Raio-x. I. Nery,
Marcela Carlota. II. Título. III. Universidade Federal dos
Vales do Jequitinhonha e Mucuri.

CDD 635.22

Ficha Catalográfica – Sistema de Bibliotecas/UFVJM
Bibliotecária: Jullyele Hubner Costa – CRB6/2972

SORYANA GONÇALVES FERREIRA DE MELO

**Dormência e avaliação da qualidade fisiológica de sementes de
batata-doce com o uso da análise de imagens**

Dissertação apresentada ao
MESTRADO EM PRODUÇÃO
VEGETAL, nível de MESTRADO como
parte dos requisitos para obtenção do
título de MESTRA EM PRODUÇÃO
VEGETAL

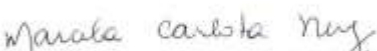
Orientador (a): Prof.^a Dr.^a Marcela
Carlota Nery

Co-orientadora: Prof. Dr. Márcia
Regina da Costa

Data da aprovação : 05/03/2020


Prof. Dr.^a MARCELA CARLOTA NERY - UFVJM


Prof. Dr.^a MÁRCIA REGINA DA COSTA - UFVJM


Prof. Dr. VALTER CARVALHO DE ANDRADE JÚNIOR - UFLA


Prof. Dr.^a RAQUEL MARIA DE OLIVEIRA PIRES - UFLA

DIAMANTINA

*A Deus e à Nossa Senhora de Fátima,
pelas inúmeras bênçãos*

OFEREÇO

*À minha família, em especial aos meus pais,
os maiores incentivadores
dos meus sonhos.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por atender minhas súplicas, meus pedidos de orações e, principalmente, por sempre abençoar e guiar os meus caminhos.

À Nossa Senhora, mãe de Jesus, que a cada minuto me cobre com Seu manto sagrado de amor e nunca me deixou só.

Aos meus pais, Célio e Soraya, por serem minha inspiração e meu alicerce e por estarem sempre ao meu lado, me aconselhando e sendo os melhores exemplos de luta, honestidade e humildade que eu poderia ter.

Às minhas irmãs, Samyra e Sylmara, pelo apoio incondicional, pela amizade e por estarem sempre comigo.

À minha sobrinha, Manuela, que mesmo sem palavras me acalma e me faz querer lutar.

Aos meus avós, Florita, João, Zaida e Demosténes, pelos ensinamentos, pelas orações e por sempre acreditarem em mim.

Ao Rafael, pelo apoio, pela paciência, pela motivação e pelo carinho.

À Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), pela oportunidade de realizar a graduação, e ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal (PPGPV), pela oportunidade de realizar o mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa de estudos; Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico); e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

À minha orientadora, Marcela Carlota Nery, pelo valioso conhecimento transmitido ao longo desses anos, pela amizade, paciência e confiança.

Aos meus amigos do Núcleo de Estudo em Sementes, pela parceria, pelo apoio, pela ajuda e pela amizade.

Ao técnico do laboratório Fabiano Ramos, pelo suporte nas atividades laboratoriais.

Às professoras Raquel e Dayliane, pela ajuda e paciência.

A todos os meus amigos e familiares, pela compreensão e por sempre estarem na torcida por mim.

A todos vocês, minha eterna gratidão!

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito.
Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.

(Marthin Luther King)

RESUMO

Melo, S.G.F. **DORMÊNCIA E AVALIAÇÃO DA QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE BATATA-DOCE COM O USO DA ANÁLISE DE IMAGENS.** 52 p. (Dissertação - Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, MG, 2020.

Para que a germinação de sementes de batata-doce ocorra, é necessária a superação da dormência por impermeabilidade do tegumento. Dentre as técnicas utilizadas para avaliar a qualidade fisiológica das sementes, destaca-se a análise de imagem, por ser considerada mais precisa, rápida e de alta confiabilidade e por requerer pouca interferência humana. O objetivo deste estudo foi avaliar diferentes formas de superação da dormência em sementes de batata-doce e o uso da análise de imagens para determinar a qualidade fisiológica das sementes, empregando os sistemas de raio-x e GroundEye®. Foram utilizados quatro genótipos de batata-doce, UFVJM-5, UFVJM-22, UFVJM-38 e UFVJM-65, identificados como genótipos 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Foram usados três tratamentos para superação da dormência: escarificação química com H₂SO₄ a 98% por 10 e 20 minutos, água quente a 95°C por 10 e 20 minutos e escarificação mecânica com esmeril elétrico. O delineamento foi o inteiramente casualizado, e para cada tratamento foram utilizadas quatro repetições de 25 sementes. Para a análise de imagens, as sementes foram analisadas com raio-x, para avaliar a sua qualidade física, sendo classificadas em sementes cheias, vazias e malformadas. Por meio do sistema GroundEye®, foram quantificadas as características de dominâncias de cores (preta, azul, celestial, cinza-escura, púrpura e vermelha), além das porcentagens das características de cor (brilho, intensidade, luma, luminosidade e saturação) e as características de geometria (área, afinamento, circularidade, diâmetro máximo, diâmetro mínimo e perímetro) e de plântulas (comprimento da raiz primária pelo hipocótilo, comprimento da raiz primária, comprimento do hipocótilo e tamanho total da plântula). Os tratamentos com escarificação mecânica com esmeril e ácido sulfúrico a 98%, pelo o período de imersão de 20 minutos, foram os mais eficientes para a superação de dormência em sementes de batata-doce. A técnica de raio-x e o sistema GroundEye® permitiram diferenciar os genótipos.

Palavras-chaves: *Ipomoea batatas*; GroundEye®; raio-x.

ABSTRACT

For the germination of sweet potato seeds to occur, it is necessary to overcome dormancy due to the impermeability of the skin. Among the techniques used to assess the physiological quality of the seeds, image analysis stands out, as it is considered more precise, fast and of high reliability and requires little human interference. The aim of this study was to evaluate different ways of overcoming dormancy in sweet potato seeds and to use image analysis to determine the physiological quality of the seeds, using the x-ray and GroundEye® systems. Four sweet potato genotypes, UFVJM-5, UFVJM-22, UFVJM-38 and UFVJM-65, were used as genotypes 1, 2, 3 and 4, respectively. Three treatments were used to overcome dormancy: chemical scarification with 98% H₂SO₄ for 10 and 20 minutes, hot water at 95 ° C for 10 and 20 minutes and mechanical scarification with an electric emery. The design was randomized and for each treatment four replicates of 25 seeds were used. For image analysis, the seeds were analyzed with x-ray to assess their physical quality, being classified as full, empty and malformed seeds. By means of the GroundEye® system, core dominance characteristics (black, blue, celestial, dark gray, purple and red) were quantified, in addition to the percentages of color characteristics (brightness, intensity, luminosity, luminosity and saturation) and geometry characteristics (area, thinning, circularity, maximum diameter, minimum diameter and perimeter) and seedlings (length of the primary ray by the hypocotyl, length of the initial ray, length of the hypocotyl and total size of the seedling). Procedures with mechanical scarification with emery and 98% sulfuric acid for a 20-minute immersion period were the most effective for overcoming dormancy in sweet potato seeds. An x-ray technique and the Groundeye® system allowed to differentiate the genotypes.

Keywords: Ipomoea potatoes; GroundEye®; X-ray.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Dados climáticos correspondentes ao ano de 2017. Lavras, MG
2017.....27

Figura 2 – Raio-x em sementes de batata-doce. a – semente cheia e identificação do eixo embrionário; b – semente vazia e identificação das partes vazias; c – semente malformada e identificação das partes vazias.....29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Porcentagem do grau de umidade – U (%); primeira contagem da germinação – PC (%); teste de germinação – G (%); índice de velocidade de germinação – IVG; emergência – E (%); estande inicial – EI (%); e índice de velocidade de emergência – IVE de quatro genótipos de batata-doce, para a caracterização do perfil das sementes.....31

Tabela 2 – Valores médios, em porcentagem (%), da primeira contagem (PC), da germinação (G) e do índice de velocidade de germinação (IVG) para quatro genótipos de sementes de batata-doce submetidas a diferentes tratamentos de superação de dormência..... 33

Tabela 3 – Valores médios, em porcentagem (%), de sementes cheias (SC), sementes vazias (SV) e sementes malformadas (SMF) obtidos por meio da técnica de raio-x da morfologia interna da sementes de quatro genótipos de batata-doce.....35

Tabela 4 – Valores médios, em porcentagem (%), da dominância de cores: preta, azul, celestial, cinza-escura, púrpura e vermelha de quatro genótipos de batata-doce obtidos pelo GroundEye® antes e depois do tratamento com ácido sulfúrico (H₂SO₄) por 20 minutos.....37

Tabela 5 – Valores médios, em porcentagem (%), de características de cor: brilho, intensidade, luma, luminosidade e saturação de quatro genótipos de batata-doce obtidos pelo GroundEye®, antes e depois do tratamento com ácido sulfúrico (H₂SO₄) por 20 minutos.....38

Tabela 6 – Valores médios da área – Área (mm²), circularidade, perímetro (cm), afinamento, diâmetro máximo - DM_{áx} (cm) e diâmetro mínimo – DM_{ín} (cm) de quatro genótipos de batata-doce obtidos pelo GroundEye®, antes e depois do tratamento com ácido sulfúrico (H₂SO₄) por 20 minutos.....39

Tabela 7 – Valores médios da razão do comprimento da raiz primária pelo hipocótilo (RPH), comprimento da raiz primária (CRP), comprimento do hipocótilo (CH) e comprimento total da plântula (T) de quatro genótipos de batata-doce obtidos pela análise de imagens.....40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CIP - *International Potato Center*

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento

E - Porcentagem de emergência

EI - Estande inicial

FAO - *Food and Agriculture Organization*

G - Porcentagem de germinação

H₂SO₄ - Ácido sulfúrico

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ISTA - *International Seed Testing Association*

IVE - Índice de velocidade de emergência

IVG - Índice de velocidade de germinação

MAPA- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

PC - Primeira contagem de germinação

RAS - Regra de análise para sementes

U - Umidade

UFLA - Universidade Federal de Lavras

UFVJM - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	14
2. REFERÊNCIAL TEÓRICO	17
2.1 A cultura da batata-doce.....	17
2.2 Dormência em espécies do gênero <i>Ipomoea</i>	18
2.3 Avaliação da qualidade fisiológica das sementes	20
2.4 Análise de imagens em sementes e plântulas	21
3. MATERIAIS E MÉTODOS	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
5. CONCLUSÕES.....	39
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41

1. INTRODUÇÃO

A batata-doce [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.], pertencente à família Convolvulaceae, é uma hortaliça tuberosa de grande importância econômica e social, produzida em todo o mundo, principalmente em regiões tropicais e temperadas da África, Ásia e América (OLIVEIRA *et al.*, 2005; VILLAVICENCIO *et al.*, 2007). Ela ocupa a 18ª posição na produção das olerícolas mundiais e é a quarta hortaliça mais consumida pela população brasileira (ANUÁRIO BRASILEIRO DE HORTALIÇAS, 2017). Por ser fonte de energia, minerais e vitaminas, é considerada muito importante na dieta alimentar (SILVA *et al.*, 2010).

Sua variabilidade genética possibilita que se adapte a diferentes condições edafoclimáticas (VILAS BOAS *et al.*, 1999), o que lhe permite múltiplos potenciais de usos, podendo ser empregada na alimentação humana e animal, para produção de etanol (GONÇALVES NETO *et al.*, 2011) e como matéria-prima nas indústrias de alimento, tecido, papel, cosméticos, preparação de adesivos e álcool carburante (CARDOSO *et al.*, 2005).

Entretanto, no Brasil, ela ainda é explorada abaixo do seu potencial de produção e uso, sendo cultivada e disseminada principalmente por agricultores que empregam baixo nível de tecnologias (LOPES; PEDROSO, 2017). Apesar disso, ela é uma importante fonte de subsistência, especialmente para populações carentes (RITSCHER *et al.*, 2010).

Em plantios comerciais, a propagação assexuada, por meio de ramas, é o método mais recomendado, por ser mais econômico e de maior praticidade. Porém, sua produtividade é baixa, devido à utilização de variedades com elevado grau de degenerescência, cujas plantas são, em sua maioria, suscetíveis a pragas e a doenças, características genéticas que vão sendo perpetuadas a cada geração (LOPES; PEDROSO, 2017).

Consequentemente, a seleção de genótipos que atendam às necessidades dos produtores e dos consumidores é importante em programas de melhoramento, pois evita a perda de genótipos com características agronômicas de interesse, além de ser essencial para a manutenção de acessos de batata-doce em bancos de germoplasma para estudos da divergência genética entre os materiais (ANDRADE JÚNIOR *et al.*, 2009).

A batata-doce é uma espécie hexaploide ($2n=6x=90$), sendo esse nível de ploidia

o responsável pela alta variabilidade genética encontrada na espécie, que é intensificada pela autoincompatibilidade, o que resulta na polinização cruzada e, consequentemente favorece a grande variabilidade genotípica dessa cultura (AZEVEDO *et al.*, 2015). A produção de sementes é baixa, em relação ao número de flores, e só ocorre quando há polinização cruzada, quase sempre feita por insetos, entre plantas de genótipos diferentes (LOPES *et al.*, 2018). Esses fatores contribuem para que a batata-doce cultivada apresente grande variabilidade fenotípica e genotípica quando se utiliza a propagação por sementes (SILVA *et al.*, 2017).

Diante da variabilidade genética da espécie, a utilização de sementes é uma estratégia valiosa para seleção de genótipos superiores em programas de melhoramento, para obtenção de novas cultivares (FOLQUER, 1978). A avaliação da qualidade fisiológica da semente fornece informações importantes em programas de melhoramento (GONDIN *et al.*, 2006). A qualidade fisiológica das sementes tem sua base no genótipo, o que torna indispensável o acompanhamento nas possíveis etapas de seleção com testes que dizem sobre o vigor dessas sementes, para o melhoramento genético (MARCOS FILHO, 1999).

Porém, as sementes de batata-doce pertencem à classe de sementes duras, apresentando tegumento impermeável à penetração da água, o que dificulta a ocorrência da germinação (NUNES, 1968). Quando a dormência está relacionada aos envoltórios da semente, ela é denominada dormência imposta pelo tegumento e é a responsável pelo impedimento da absorção de água (FERREIRA; BORGHETTI, 2004). Pelo menos 15 famílias economicamente importantes produzem sementes com tegumento impermeável à água, entre elas a Convolvulaceae, cuja estrutura e/ou a composição química do tegumento impedem a entrada de água na semente, o que resulta em baixa ocorrência da germinação (MARCOS FILHO, 2015).

Bewley e Black (1985) consideram como causa da dormência, além da impermeabilidade do tegumento, o impedimento mecânico, pois ele interfere nas trocas gasosas, na prevenção à saída de inibidores químicos presentes no embrião e na presença de substâncias inibidoras. Dentre os parâmetros que atestam a qualidade das sementes, a ocorrência da dormência é um problema que deve ser superado.

A avaliação do potencial fisiológico, assim como os testes comumente utilizados em laboratórios de análises de sementes, pode ser realizada por meio da análise de imagens, técnica considerada promissora, uma vez que não é danosa às sementes e apresenta alta precisão, segurança e, principalmente, confiabilidade nas informações

coletadas (ANDRADE, 2017). É um método rápido, pois requer menos de 1 minuto para digitalização e medição, além de ser de fácil reprodução, confiável e não destrutivo (VENORA *et al.*, 2007).

Segundo Andrade *et al.* (2016), muitas são as aplicabilidades da análise de imagens em tecnologia de sementes. Ela pode ser usada para estimar a germinação; avaliar o vigor de sementes, o crescimento de plântulas e os ataques por patógenos e insetos; identificar as cultivares com mais facilidade; avaliar a pureza física das sementes; determinar as diferentes cores das sementes e os danos mecânicos; e classificar os tamanhos das sementes. Além disso, um dos requisitos básicos para a identificação de problemas associados ao potencial fisiológico das sementes é a identificação da sua morfologia interna (GOMES JUNIOR *et al.*, 2009).

Técnicas de análise de imagens estão sendo cada vez mais utilizadas para avaliar a morfologia interna das sementes. A análise radiográfica, por exemplo, é um método não destrutivo utilizado para esse fim, que permite identificar, em poucos segundos, as principais alterações causadas por diversos fatores (TRUJILLO *et al.*, 2019). Dentre os sistemas computacionais utilizados para a análise de imagens, o GroundEye® tem sido indicado pelo seu potencial, destacando-se por ser um equipamento nacional disponível no mercado, que extrai várias características das sementes e plântulas e processa dados em forma de gráficos, tabelas e histogramas.

Portanto, objetivou-se, com este estudo, avaliar diferentes formas de superação da dormência em sementes de batata-doce e o uso da análise de imagens para determinar a qualidade fisiológica utilizando os sistemas de raio-x e GroundEye®.

2. REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 A cultura da batata-doce

A batata-doce [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.] é a sexta cultura alimentar mais importante do mundo, atrás apenas do arroz, do trigo, da batata, do milho e da mandioca (CIP, 2018), sendo produzidas cerca de 184 milhões de toneladas/ano. O país com maior produção é a China, com uma média de 66% da produção mundial. Em segundo lugar vem Malawi, com 28,3%, seguida pelo Brasil, com 4,6% do total produzido (FAO, 2018). Ela é a quarta hortaliça mais consumida pelos brasileiros, vindo em seguida a abóbora, a alface e a batata (CONAB, 2019). Nos últimos dez anos, a área plantada com batata-doce no Brasil foi, em média, de 44.238 hectares. Em 2018, a área total aumentou para 53.024 hectares, com uma produção média de 741.203 toneladas, tendo a Região Nordeste a maior área de produção, com uma média de 21% do total (IBGE, 2018).

Dentre os fatores relacionados à sua importância estão a rusticidade, o baixo uso de insumos, a resistência a pragas e doenças, a baixa exigência em fertilidade do solo e a tolerância à seca, o que lhe confere baixo custo de produção e fácil manejo, além da capacidade de adaptação a diferentes locais de cultivo (MONTEIRO, 2007).

Apesar de pertencer à família das Convolvulaceae, gênero *Ipomoea*, apenas essa espécie é hexaploide e somente o seu cultivo é destinado para fins alimentícios com expressividade econômica (RIBEIRO; BIANCHINI, 1999; RITSCHER *et al.*, 2010). A América Central é o seu principal centro de diversidade e, provavelmente, de origem (SRISUWAN *et al.*, 2006).

É uma cultura perene, porém cultivada como anual (MIRANDA *et al.*, 1995). Sua propagação economicamente viável é realizada vegetativamente, com a utilização de ramas, sendo cada cultivar um clone (SILVA *et al.*, 1995). É uma espécie alógama, que possui autoincompatibilidade, o que reforça a alogamia e aumenta a heterozigosidade genética (THOMPSON *et al.*, 1997; DAROS *et al.*, 2002). A obtenção de sementes por meio da polinização cruzada não é interessante comercialmente, devido ao alto nível de segregação (MOULIN, 2010).

No entanto, a produção de sementes é de uso direcionado principalmente para o melhoramento genético da espécie (FABRI, 2009). A deficiência de floração, e às vezes a sua total falta, dificulta o desenvolvimento de pesquisas com essa finalidade

(MOREIRA, 2016). Em programas de melhoramento, o grande desafio é obter cultivares melhoradas, com características específicas, e, ao mesmo tempo, sementes de qualidade, uma vez que tanto o ambiente quanto o genótipo podem influenciar a sua qualidade (GONDIM *et al.*, 2006).

As sementes de batata-doce apresentam dormência, o que dificulta sua germinação, conseqüentemente é necessário usar determinados métodos para superar essa limitação. Elas possuem o tegumento impermeável à água e são conhecidas como sementes duras, característica presente em várias espécies da mesma família da batata-doce (Convolvulaceas), como na *Ipomoea purpurea*, conhecida como corda-de-viola. Ademais, a impermeabilidade do tegumento à água é de caráter herdável, controlada por poucos genes e significativamente influenciada pelo ambiente (MARCOS FILHO, 2015).

2.2 Dormência em espécies do gênero *Ipomoea*

O *Ipomoea* é o maior gênero da família Convolvulaceae. Engloba mais de 1.000 espécies nativas do Brasil, amplamente distribuídas em todo o território (LORENZO; SOUZA, 2001). No entanto, algumas espécies e/ou cultivares dessa família apresentam problemas na germinação, devido ao fenômeno da dormência de suas sementes (LOPES, 2012).

A dormência é um mecanismo de defesa das sementes contra as variações do ambiente que dificultam ou impedem sua atividade metabólica normal. Durante os períodos em que também não há transcrição da mensagem genética, essa atividade somente é reassumida depois da ação de um determinado estímulo ambiental. Quando essa condição acontece, substâncias promotoras da germinação atingem concentrações específicas e transmitem à semente a informação necessária para que seja ativado o processo de transcrição da mensagem genética, anteriormente bloqueado (MARCOS FILHO, 2015). Alguns hormônios são, portanto, agentes promotores do processo de germinação, de modo que a base genética para a germinação ou para a manutenção da dormência envolve o controle de condições e a expressão de genes que favorecem a síntese dessas substâncias (FERREIRA; BORGHETTI, 2004).

Altos níveis de dormência podem impedir o sucesso da implantação da cultura, o que pode resultar em atraso nos estudos de melhoramento genético, devido ao aumento do tempo necessário para os ciclos de seleção e estudos de avaliação (VOIGH; TISCHLER, 1997).

Dentre as principais causas da dormência na maioria das espécies de *Ipomoea*, destaca-se a impermeabilidade do tegumento à água (FELIPE; POLO, 1983). A entrada de água pode ser bloqueada por várias partes dos envoltórios, por exemplo, uma cutícula serosa, a suberina, o tecido paliádico e as camadas de macroesclereídes (FERREIRA; BORGHETTI, 2004). Como consequência do tegumento duro e impermeável à água, as sementes podem ficar em dormência por longos períodos (SOUZA, 2009). As sementes dormentes têm sua longevidade aumentada, permanecendo no solo, sem germinar, até que sejam umedecidas o suficiente para permitir a penetração de água, as trocas gasosas ou a neutralização de inibidores químicos (FERREIRA; BORGHETTI, 2004).

O tegumento da semente de batata-doce é muito espesso e duro, o que dificulta a germinação, caso não seja realizado algum tipo de tratamento de superação dessa dormência para aumentar seu poder germinativo, que até então se mostra baixo (RIBEIRO FILHO, 1967). Rossel *et al.* (2008) recomendam escarificar sementes de batata-doce sempre que a germinação for inferior a 85%.

Vários são os métodos para superar a dormência das sementes de *Ipomoea*. Ogunwenmo e Ugborogho (1999) realizaram estudos para testar métodos de superação de dormência nas espécies de *Ipomoea* e concluíram que o tratamento com escarificação mecânica favoreceu a germinação de algumas espécies, como *Ipomoea obscura*, *Ipomoea aquatica*, *Ipomoea hederifolia*, *Ipomoea asarifolia* e *Ipomoea involucrata*. O uso do ácido sulfúrico concentrado proporcionou maiores ocorrências de germinação em sementes das espécies de *Ipomoea nil* e *Ipomoea hederifolia*, por 10 e 20 minutos, respectivamente (AZANIA *et al.*, 2003). Esse método também foi indicado para superação da dormência em sementes de *Ipomoea indivisa* e *Ipomoea purpurea*, por 10 minutos. No entanto, o tratamento com água quente a 98°C foi mais eficiente em promover a germinação de *Ipomoea grandifolia* por 1 hora (PAZUCH *et al.*, 2015). Horak e Wax (1991) também constataram que a germinação de *Ipomoea pandurata* foi superior a 80% quando as sementes foram imersas por 20 a 80 minutos em ácido sulfúrico. Azania *et al.* (2009) obtiveram resultados satisfatórios para sementes de *Ipomoea hederifolia* submetidas ao tratamento com água quente, em temperatura constante, por 30 minutos.

2.3 Avaliação da qualidade fisiológica das sementes

A qualidade fisiológica das sementes é influenciada pelo genótipo, sendo máxima na sua maturidade (DELOUCHE; BASKIN, 1973).

Em programas de melhoramento, as informações obtidas na avaliação da qualidade fisiológica de sementes são de extrema importância, levando em consideração que o envolvimento de tecnólogos de sementes tem sido imprescindível para o sucesso desses programas (VASCONCELOS *et al.*, 2009).

O teste de germinação é considerado um dos mais tradicionais para avaliação da qualidade fisiológica das sementes, no entanto não é sempre que os resultados obtidos reproduzem o potencial das sementes em condições de campo (OHLSON *et al.*, 2010). Segundo a Regra de Análise de Sementes (BRASIL, 2009), para espécies de *Ipomoea* o teste de germinação tem durabilidade de 21 dias, o que dificulta a rápida obtenção de informações sobre o potencial de germinação dos lotes dessas sementes. Como parte de um controle interno de qualidade, utilizam-se ferramentas adicionais capazes de detectar com mais sensibilidade o nível de deterioração das sementes quando em condições adversas de ambientes. São os chamados testes de vigor, que além de economicamente viáveis, simples e objetivos auxiliam na obtenção de respostas mais rápidas e complementares às fornecidas pelo teste de germinação (OHLSON *et al.*, 2010).

Os testes de vigor avaliam, direta ou indiretamente, as bases bioquímicas e fisiológicas do potencial de desempenho de um lote de sementes e promovem a diferenciação mais sensível que o teste de germinação. Embora os testes de vigor propiciem informações muito úteis para vários segmentos, muitos consomem um período relativamente amplo e produzem resultados mais variáveis que os desejados (MARCOS FILHO, 2015). Apesar de terem sido observados resultados confiáveis em alguns testes, há sempre espaço para o aprimoramento de metodologias ou para a inserção de alternativas inovadoras. O uso da análise automatizada de imagens de sementes e de plântulas é uma iniciativa associada à modernidade (MARCOS FILHO *et al.*, 2009).

Dessa forma, a análise digital de imagens em sementes e plântulas pode ser considerada uma boa alternativa, pois favorece tanto a redução do tempo necessário para a realização do teste, como a consistência das informações obtidas (ALVARENGA *et al.*, 2012).

2.4 Análise de imagens em sementes e plântulas

Para auxiliar as empresas produtoras de sementes na tomada de decisões, principalmente em relação à semeadura das sementes, os testes de vigor são utilizados como grandes alicerces no controle interno de qualidade, sendo desenvolvidos com o objetivo de identificar possíveis variações no grau de deterioração das sementes quando expostas às condições adversas do ambiente.

O bom controle da qualidade é aquele que visa conter e reduzir os danos desse processo em sementes, uma vez que ele é inevitável e irreversível. Mais que isso, um bom e confiável controle vai ser munido de ferramentas adicionais de análises, que vão monitorar a qualidade dessas sementes em todas as fases de produção.

Dessa forma, a automatização dessas análises pelo uso de processamento computarizado pode ser considerada uma alternativa de sucesso, pois além de atender a esses preceitos que caracterizam um bom teste de vigor, tem alta consistência das informações obtidas e pouca interferência humana e é um método não destrutivo que viabiliza o material para avaliações posteriores. Assim, a atuação significativa da pesquisa em tecnologia de sementes tem apresentado resultados favoráveis ao uso da análise computadorizada de imagens de sementes e de plântulas, permitindo, inclusive, otimizar a estimativa do potencial fisiológico de sementes.

Analisar uma imagem consiste na identificação da cena para produção de características dimensionais, como áreas ou comprimentos de objetos, ou de atributos, como padrões de cores e texturas. Sua mensuração se dá por meio de métodos de contagem ou frequência dos elementos formadores da imagem, denominados pixels. Para o processamento de imagens digitais foram desenvolvidos algoritmos de computação, que devidamente sistematizados são a base para a análise de imagens digitais, podendo esta ser caracterizada pelo arquivamento de dados e/ou pela comparação de padrões (TEIXEIRA *et al.*, 2006).

Vários sistemas de análise de imagens para avaliação da qualidade fisiológica de sementes têm sido retratados na literatura. Os primeiros relatos foram na década de 1950. Simack e Gustafson (1953) demonstraram a possibilidade do uso da técnica de raio-x para avaliação da qualidade de sementes florestais, sendo esse teste atualmente recomendado pela *International Seed Testing Association* (ISTA) e descrito nas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

O teste de raio-x permite identificar a qualidade física das sementes. É um método rápido e não destrutivo, que tem a finalidade básica de detectar sementes cheias, vazias, com danos mecânicos ou com ataques de insetos (ISTA, 1999), como também os aspectos morfológicos das sementes. Por avaliação morfológica entende-se identificar anormalidades no embrião e no endosperma, sementes cheias, vazias e/ou malformadas, devendo ser ressaltado que o uso da técnica de raio-x agregado ao conhecimento de morfologia de espécies tem otimizado a correlação entre a identificação do local e a extensão do dano e o potencial dessas sementes originar plântulas normais.

Esse teste tem como princípio o fato de, quando os raios X passam através de uma semente, a radiação ser absorvida em vários graus, dependendo da espessura, densidade e composição da semente e do comprimento de onda da radiação, criando assim uma imagem permanente (BINO *et al.*, 1993). Ele não requer o tratamento prévio das sementes, o que lhe confere vantagens por ser um método rápido e de simples execução. Consequentemente, seu uso tem sido crescente, o que vem trazendo benefícios em diferentes etapas da produção e utilização das sementes, incluindo os trabalhos de melhoramento.

O uso da técnica de raio-x foi eficiente para avaliação morfológica em diferentes espécies de sementes, entre elas acerola (NASSIF; CICERO, 2006), espécies da família Lauraceae (CARVALHO *et al.*, 2009), lentilha (DELL'AQUILLA, 2007), milho-doce (GOMES JUNIOR; CICERO, 2012), mamona (KOBORI *et al.*, 2012), abóbora (SILVA *et al.*, 2014), sorgo (JAVORSKI; CICERO, 2017), fisális (FERNANDES *et al.*, 2016), tomate (BORGES *et al.*, 2019) e café (TRUJILLO *et al.*, 2019), assim como para avaliação de danos mecânicos em sementes de soja (PINTO *et al.*, 2012). Destaca-se também sua eficiência em avaliar danos e em detectar a presença de infestação de pragas em sementes de milho (CARVALHO *et al.*, 2019).

Outros sistemas que envolvem análise computadorizada, mais modernos que o raio-x e com uma gama ainda de possibilidades de análise, podem ser citados, mas de forma alguma eles esgotam todos os softwares que hoje existem no mercado para análise de imagens de sementes. Um exemplo é o equipamento GroundEye®, criado pela empresa Tbit-Tecnologia e Sistemas, em 2011, nas dependências da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

A partir dele foram desenvolvidas outras séries, cada uma com suas especificações de análise, que hoje somam mais de 300 características que podem ser

avaliadas em sementes, com acertos que chegam a 99%, comprovados em inúmeros trabalhos científicos.

Composto de uma câmara fotográfica de alta resolução e de um software de análise, o equipamento é constituído de uma esteira de coloração azul, na qual é disposto o objeto de análise. O equipamento possibilita capturar e fazer a análise das imagens simultaneamente, ou posteriormente (ÁVILA, 2017).

A configuração por meio desse sistema é a etapa mais importante para a análise de sementes ou de plântulas. Nessa etapa a configuração da cor de fundo é o momento em que os parâmetros dos espaços de cor são utilizados para separar os objetos do fundo e, assim, ficarem o mais próximo possível do real (MANUAL GROUNDEYE®, 2016). O software possui três opções de modelos de cor: HSV, YCbCr e Cielab (PINTO *et al.*, 2015). O HSV (*Hue Saturation Value*) é um sistema de cores formado por um matiz (Hue) que define a cor dominante (vermelha, verde, roxa e amarela) de uma área; pela saturação (*saturation*), que mede a quantidade de tom de cinza que a imagem apresenta; e pelo valor (*value*), que está relacionado com a luminância e a intensidade de brilho da cor (RODRIGUEZ-PULIDO *et al.*, 2012). O YCrCb é o modelo comumente usado em estúdios de televisão europeus e em trabalhos de compressão de imagem (MARQUES FILHO; VIEIRA NETO, 1999). O CIELab (L^* , a^* , b^*) ordena e descreve todas as cores de acordo com um sistema triangular: a coordenada de luminosidade (L^*) e duas coordenadas de cor, a^* para vermelho/verde e b^* para amarelo/azul (HOFFMANN, 2017).

Na etapa de análise são avaliadas as imagens de sementes e de plântulas, extraindo informações de cor, textura e geometria de cada indivíduo (ABREU *et al.*, 2016). O software analisa individualmente cada plântula e fornece informações de vigor por meio de índices cujos valores variam de 0 a 100 (PINTO *et al.*, 2015).

A avaliação do vigor é realizada por meio de inferências, de modo que o sistema compara automaticamente os valores de vigor calculados nos testes feitos em laboratório com os valores fornecidos pelo software. Algumas informações são utilizadas para o cálculo do vigor por inferência, como: média da razão entre a raiz primária e a parte aérea; média do tamanho total (parte aérea + raiz primária); quantidade de sementes mortas ou não germinadas; média do tamanho da parte aérea; média do tamanho da raiz primária; desvio-padrão do tamanho da parte aérea; desvio-padrão da raiz primária; desvio-padrão da razão entre a raiz primária e a parte aérea; desvio-padrão do tamanho total (raiz primária + parte aérea); e tamanho médio do

esqueleto (todas as ramificações encontradas) (MANUAL GROUNDEYE®, 2016).

Na literatura, encontram-se algumas pesquisas em que o GroundEye® foi utilizado como sistema de análise de imagens. Pinto *et al.* (2015) analisaram a possibilidade de utilizar esse equipamento na avaliação do potencial fisiológico de sementes de milho. Utilizando o mesmo software, Andrade *et al.* (2016) buscaram a adequação da metodologia e a avaliação da eficiência do sistema na detecção de sementes esverdeadas em lotes de soja. Abreu *et al.* (2016) avaliaram a qualidade fisiológica das sementes de café submetidas a diferentes níveis de secagem e estimaram o vigor das plântulas pelo sistema. Já Ávila (2017) verificou o potencial de utilização da técnica de análise de imagens pelo equipamento GroundEye® na separação de lotes de sementes de soja com diferentes níveis de qualidade fisiológica e relacionou os resultados da avaliação computadorizada com os dos testes de vigor indicados para a cultura. Marques *et al.* (2019) constataram que o sistema de análise de imagens tem potencial para diferenciar espécies e estádios de desenvolvimento de inflorescências de sempre-viva.

O tempo e as pesquisas incessantes contribuíram para o desenvolvimento e o aperfeiçoamento da técnica de análise de imagem em todos os setores. Em análise de sementes e de plântulas, no entanto, ela ainda não é utilizada de maneira independente das demais técnicas experimentais, mas as complementa, tornando os resultados obtidos mais confiáveis e precisos, o que resulta na manutenção da qualidade das sementes hoje produzidas.

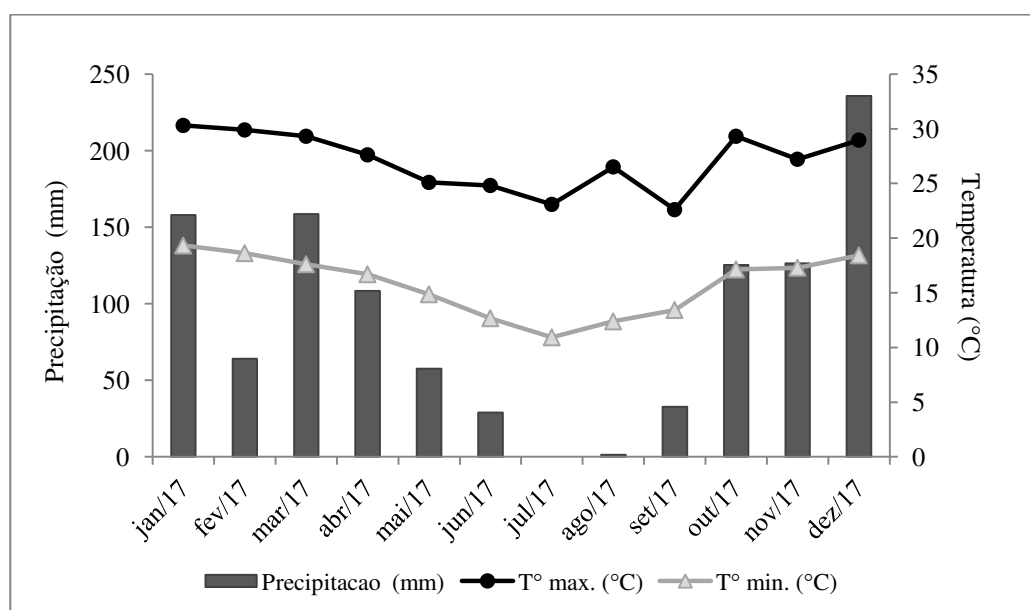
3. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida no Laboratório de Sementes do Departamento de Agronomia da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), em Diamantina, Minas Gerais, *campus* JK, e no Laboratório Central de Análise de Sementes do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras, Minas Gerais.

Foram utilizadas sementes de *Ipomoea batatas* de quatro genótipos: UFVJM-5, UFVJM-22, UFVJM-38 e UFVJM-65, definidos como genótipos 1, 2, 3 e 4, respectivamente, todos da safra 2017. Elas foram colhidas no Setor de Olericultura da

UFLA, localizado a 21° 14' 43" de latitude sul, 44° 59' 59" de longitude oeste e altitude de 919 metros. O clima da região é classificado como temperado úmido, com verão quente e inverno seco, com temperatura média anual de 20,4°C e precipitação média anual de 1.460 mm. Os dados de temperatura média e precipitação pluviométrica, referentes ao ano de 2017, na cidade de Lavras encontram-se na Figura 1.

Figura 1 - Dados climáticos correspondentes ao ano de 2017. Lavras, MG, 2017.



Fonte: Dados da Rede do INMET.

Essas sementes são oriundas de policruzamentos de todos os genótipos presentes no Banco de Germoplasma da UFLA. As coletas ocorreram entre agosto e novembro de 2017, quando a quantidade encontrada era reduzida e a qualidade inferior, principalmente devido ao excesso de umidade pelo aumento das chuvas no período. Foram realizadas duas coletas semanais. As sementes com cápsulas marrons foram colocadas em embalagens de papel, identificadas e secas em estufa de circulação forçada de ar com temperatura de 30°C, por 24 horas, para reduzir a umidade. Posteriormente, foi efetuada a limpeza por meio de debulha manual, para remoção do pericarpo e de quaisquer resíduos (LOPES, 2018). Em seguida, as sementes foram colocadas em sacos de papel, devidamente identificados e armazenados em câmara fria (10°C e UR 50%), para evitar perda de qualidade durante o período experimental.

Para caracterização dos genótipos de sementes de batata-doce, foram realizadas as seguintes determinações e testes :

O **grau de umidade** foi obtido pelo método da estufa, a 105°C, por 24 horas (BRASIL, 2009). Foram utilizadas quatro repetições de dez sementes de cada genótipo e os resultados foram expressos em porcentagem média com base no peso úmido.

Para o **teste de germinação**, realizado de acordo com as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), foram utilizadas quatro repetições de 25 sementes, dispostas sobre três folhas de papel germitest umedecidas com água destilada, na quantidade de 2,5 vezes o peso do substrato, colocadas em caixas acrílicas tipo gerbox e acondicionadas em câmara tipo BOD, em temperatura constante de 25°C. Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais ao sétimo dia (**primeira contagem**) e ao 21º dia.

O **índice de velocidade de germinação (IVG)** foi determinado pela contagem diária de plântulas normais (MAGUIRE, 1962).

O **teste de emergência** foi realizado com quatro repetições de 25 sementes de cada genótipo. As sementes foram semeadas a 1 centímetro de profundidade, em bandejas plásticas contendo areia e terra, na proporção 2:1, previamente esterilizadas a 120°C por 120 minutos, com a umidade ajustada a 60% da capacidade de retenção. As caixas foram mantidas em sala de crescimento à temperatura de 25°C, com luz constante.

Após o início da emergência, foram feitas avaliações diárias, computando-se o **estande inicial (EI)** ao sétimo dia, sendo o teste encerrado após a porcentagem de emergência estabilizar-se por três dias, avaliando-se, então, o número de plântulas normais emergidas. Também foi determinado o **índice de velocidade de emergência (IVE)**, pela contagem diária de plântulas emergidas (MAGUIRE, 1962).

Para superação da dormência das sementes, foram realizados os procedimentos a seguir:

Uso de **água quente a 95°**. As sementes foram colocadas em béqueres de 100 mL, contendo água destilada, e acondicionadas em um equipamento de banho-maria a 95°C, por 0, 10 e 20 minutos, em esquema fatorial 4x3 (quatro genótipos e três períodos de exposição), com quatro repetições de 25 sementes.

Para **escarificação química com ácido sulfúrico (H₂SO₄)**, as sementes foram acondicionadas em béqueres de 100 mL, contendo a solução de H₂SO₄ a 98%, durante o

período de 0, 10 e 20 minutos, em esquema fatorial 4x3 (quatro genótipos e três períodos de exposição), com quatro repetições de 25 sementes. Após os períodos determinados, as sementes foram lavadas por 1 minuto em água corrente, com o auxílio de uma peneira.

A **escarificação mecânica** foi feita manualmente em esmeril elétrico, por cerca de 30 segundos, em apenas um lado da semente, até o desgaste do tegumento, evitando danos ao embrião.

Após o término dos tratamentos citados, os testes de germinação foram realizados conforme descrito anteriormente, avaliando o número de plântulas normais ao 21º dia, primeira contagem ao sétimo dia e IVG.

Para **avaliação física em raio-x**, as sementes foram fixadas em folhas de acetato transparente, com fita dupla face, localizadas na prateleira inferior do equipamento, sendo expostas aos raios X com kV de 24, pelo tempo de 10,1 segundos. Essa análise foi conduzida com quatro repetições de 25 sementes de cada genótipo. As imagens obtidas foram analisadas quanto à porcentagem de sementes cheias, vazias e malformadas, para cada amostra (RAS). Foram classificadas como sementes cheias aquelas cujo embrião estava intacto e com todas as estruturas completas. Como sementes vazias, as que apresentaram menos de 50% de suas estruturas. As sementes malformadas foram aquelas que apresentaram danos estruturais acima de 50% (Figura 2a, 2b, 2c, respectivamente).

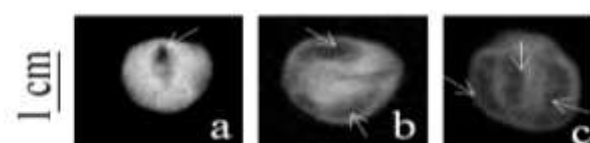


Figura 2 – Raio-x em sementes de batata-doce. a – semente cheia e identificação do eixo embrionário; b – semente vazia e identificação das partes vazias; c – semente malformada e identificação das partes vazias.

Adicional à análise de raio-x, utilizou-se o sistema GroundEye®, para **avaliação das características de sementes e de plântulas** dos quatro genótipos de sementes de batata-doce. O equipamento GroundEye®, versão S120, é composto de um módulo de captação que possui uma bandeja de acrílico, de uma câmera de alta resolução e de um software integrado, para avaliação. Foi realizada a captura de quatro

repetições de 25 sementes de cada um dos genótipos e feita a análise das imagens obtidas antes e depois da superação da dormência das sementes com um dos melhores tratamentos definidos, ou seja, imersão em ácido sulfúrico por 20 minutos.

Na configuração da análise para calibração da cor de fundo para as sementes, foi utilizado o modelo YCbCr com cor de luma de 0 a 1, cor azul de 0,09 a 0,20 e cor vermelha de -0,50 a 0,50. E para a calibração da cor de fundo para as plântulas, foi utilizado o modelo CIELab, com índice de luminosidade de 0 a 100, dimensão “a” de -18,1 a 41,9 e dimensão “b” de -60,2 a -16,5.

Após a calibração, foi realizada a análise das imagens. Foram quantificadas as características das sementes quanto à dominância de **cor (preta, azul, celestial, cinza-escura, púrpura e vermelha)**, e quanto às porcentagens das **características de cor (brilho, intensidade, luma, luminosidade e saturação)** e à **geometria (área, afinamento, circularidade, diâmetro máximo, diâmetro mínimo e perímetro)**. Para análise das plântulas, foi realizado o teste de superação de dormência nas sementes que apresentaram um dos melhores resultados de superação de dormência, ou seja, escarificação com ácido sulfúrico por 20 minutos. Posteriormente, as sementes foram colocadas para germinar, utilizando a mesma metodologia do teste de germinação (BRASIL, 2009), e mantidas em BOD por 21 dias. Após esse período, foi realizada a captura das imagens das plântulas, com posterior avaliação. Para padronização, foram avaliadas nove plântulas de cada genótipo, pois esse foi o número máximo de plântulas normais que cada genótipo apresentou. No sistema GroundEye®, foram extraídos os valores médios das características das plântulas, como o **comprimento da raiz (CR)**, o **comprimento do hipocótilo (CH)**, a **razão do comprimento da raiz pelo comprimento do hipocótilo (CR/CH)** e o **tamanho total (T)**.

Para análise estatística dos dados, o delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado. Os dados de superação de dormência foram analisados em esquema fatorial 4x6 (quatro genótipos e seis tratamentos). As características das sementes quanto a dominância e características de cor e a geometria das sementes foram analisadas em esquema fatorial 4x2 (quatro genótipos e dois tratamentos). Todos os dados foram submetidos à análise de variância e, quando significativos, as médias foram comparadas entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Para execução das análises estatísticas, foi utilizado o software estatístico “R” (R CORE TEAM, 2019).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, estão os dados obtidos na caracterização do perfil das sementes dos quatro genótipos de batata-doce. Constatou-se que houve variação no grau de umidade inicial das sementes de aproximadamente 4% (Tabela 1). A literatura recomenda que o grau de umidade em sementes de batata-doce seja em torno de 7-10%, para evitar perdas de sementes por fungos, podridões ou insetos (ROSSEL *et al.*, 2008). Valores similares foram obtidos no presente trabalho, sendo o menor valor encontrado (6,49%) para o genótipo 1 e o maior valor (10,38%) para o genótipo 2 (Tabela 1). Também para sementes de *Ipomoea grandifolia*, Araujo *et al.* (2016) observaram grau de umidade de 7%. Em sementes de diferentes espécies de *Ipomoea*, Pinheiro (2010) constatou 6,51% de umidade para *Ipomoea indivisa*, 7,18% para *Ipomoea purpurea* e 7,11% para a *Ipomoea triloba*.

Tabela 1 – Porcentagem do grau de umidade – U (%); primeira contagem da germinação – PC (%); teste de germinação – G (%); índice de velocidade de germinação – IVG; emergência – E (%); estande inicial – EI (%); e índice de velocidade de emergência – IVE de quatro genótipos de batata-doce, para a caracterização do perfil das sementes.

Genótipos	Testes						
	U (%)	PC (%)	G (%)	IVG	E (%)	EI (%)	IVE
1	6,49b	6a	3b	1,42b	10a	1a	0,46a
2	10,38a	4a	6ab	0,73c	2a	1a	0,21a
3	7,41ab	8a	10a	0,84bc	11a	1a	0,48a
4	8,65ab	12a	11a	1,75a	8a	5a	0,66a
CV (%)	22,36	10,84	19,79	5,71	9,24	15,87	15,07

As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Para a porcentagem de plântulas normais obtidas no teste de primeira contagem, observou-se que não houve diferença significativa entre os genótipos (Tabela 1).

Em relação à porcentagem de plântulas normais obtidas no teste de germinação, observou-se a superioridade dos genótipos 3 e 4, não diferindo do genótipo 2, sendo o genótipo 1 inferior (Tabela 1). A média da germinação apresentada pelos quatro genótipos foi de 7,5%, valor considerado baixo para produção de sementes de

qualidade. No entanto, esse valor está condizente com o de Voll *et al.* (2003), que trabalhando com sementes de *Ipomoea grandifolia* encontraram 5% de germinação, e com o de Van Rheenen (1963), que estudando sementes de batata-doce, sem tratamento prévio, observou germinação de 10%. Nunes (1968) também obteve porcentagem de germinação de 11,3% em batata-doce.

A baixa germinação apresentada pelos genótipos pode ser atribuída à presença da dormência imposta pelo tegumento nas sementes. Em espécies que apresentam dormência, os testes de germinação podem produzir resultados de germinação inferiores, o que torna necessária, para a semeadura, a realização de tratamentos para superação de dormência (FERREIRA; BORGHETTI, 2004).

Um dos tipos de dormência é a impermeabilidade do tegumento à água, que é o principal mecanismo de manutenção dos baixos teores de água no interior da semente, o que impede o metabolismo mais intenso, reduz a respiração e, conseqüentemente, diminui o consumo de reservas, fundamentais para a germinação e o crescimento inicial da plântula (FERREIRA; BORGHETTI, 2004). De acordo com Bewley e Black (1994), o grau de umidade é um dos fatores determinantes na dormência imposta pela impermeabilidade do tegumento, pois os tegumentos das sementes tornam-se progressivamente duros e impermeáveis à medida que o grau de umidade diminui. Conclui-se, portanto, que a baixa germinação pode estar associada ao grau de umidade inferior das sementes de batata-doce do genótipo 1.

Quanto ao índice de velocidade de germinação, observou-se a superioridade do genótipo 4, seguido dos genótipos 1 e 3, e a inferioridade do genótipo 2.

Os demais testes de vigor não apresentaram diferenças significativas entre os genótipos quanto aos resultados de plântulas normais no estande inicial, emergência e índice de velocidade de emergência (Tabela 1).

Os valores apresentados na Tabela 1 reforçaram a necessidade de realizar testes para superação da dormência em sementes de batata-doce.

De acordo com a análise de variância, houve significância para as interações, sendo necessário realizar o desdobramento para os resultados da primeira contagem, da germinação e do índice de velocidade de germinação para os quatro genótipos de sementes de batata-doce e dos seis diferentes tratamentos utilizados para superação da dormência (Tabela 2).

Tabela 2 –Valores médios, em porcentagem (%), da primeira contagem (PC), da germinação (G) e do índice de velocidade de germinação (IVG) para quatro genótipos de sementes de batata-doce submetidas a diferentes tratamentos de superação de dormência.

Tratamentos	PC (%)			
	Genótipos			
	1	2	3	4
Testemunha	4abB	5bAB	6cAB	13bA
Escarificação mecânica	10aC	17aBC	26aB	65aA
Escarificação química (H ₂ SO ₄) por 10 min	1bC	4bBC	9bcAB	13bA
Escarificação química (H ₂ SO ₄) por 20 min	5abB	14aA	20abA	15bA
Água quente por 10 min	1bA	1bA	1dA	1cA
Água quente por 20 min	1bA	1bA	1dA	1cA
CV (%)	20,68			
Tratamentos	G (%)			
	Genótipos			
	1	2	3	4
Testemunha	4bcA	4bA	7bcA	5cA
Escarificação mecânica	36aA	29aA	18abB	38abA
Escarificação química (H ₂ SO ₄) por 10 min	5bcB	9bB	14bcAB	24bA
Escarificação química (H ₂ SO ₄) por 20 min	13bB	30aA	32aA	47aA
Água quente por 10 min	2cA	1bA	3cA	4cA
Água quente por 20 min	2cA	2bA	6cA	6cA
CV (%)	18,14			
Tratamentos	IVG			
	Genótipos			
	1	2	3	4
Testemunha	0,68cA	0,34dA	0,75cA	1,08cA
Escarificação mecânica	7,70aB	7,85aB	7,90aB	13,72aA
Escarificação química (H ₂ SO ₄) por 10 min	0,58cC	1,35cBC	2,05bcAB	3,35bA
Escarificação química (H ₂ SO ₄) por 20 min	2,65bA	2,56bcA	3,33bA	3,69bA
Água quente por 10 min	0,50cB	4,32bA	0,93cB	0,68cB
Água quente por 20 min	0,70cA	0,34dA	0,74cA	1,09cA
CV (%)	11,30			

As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Em relação à porcentagem de plântulas normais obtidas na primeira contagem da germinação e ao índice de velocidade de germinação, constatou-se que o tratamento com escarificação mecânica foi superior para todos os genótipos, e para os genótipos 1, 2 e 3, foram estatisticamente iguais para o tratamento com escarificação química com o uso do H₂SO₄ por 20 minutos, tendo a testemunha do genótipo 1 obtido o mesmo comportamento.

Para a porcentagem de germinação, constatou-se que os tratamentos com escarificação mecânica e escarificação química com o uso do H₂SO₄ por 10 e

20 minutos apresentaram diferença significativa para os genótipos. Em sementes de *Ipomoea triloba*, a escarificação mecânica com escarificador elétrico mostrou ser um método eficaz e promissor para superação da dormência (PINHEIRO *et al.*, 2009). No entanto, Azania *et al.* (2003) verificaram que a escarificação mecânica com esmeril elétrico não proporcionou melhoria na germinação das sementes de *Ipomoea grandifolia*, *Ipomoea hederifolia*, *Ipomoea quamoclit* e *Ipomoea nil*. A eficiência no processo de escarificação mecânica é dependente do tempo de exposição, da intensidade da força aplicada sobre as sementes e da homogeneidade da amostra, pois o atrito, no caso de sementes pequenas ou do tegumento menos lignificado, pode provocar rachaduras prejudiciais ao embrião e à sua germinação (PAZUCH *et al.*, 2015).

O tratamento com escarificação química com ácido sulfúrico por 20 minutos foi superior para os genótipos 2, 3 e 4. Corroborando esse tratamento, Azania *et al.* (2003), trabalhando com sementes de *Ipomoea grandifolia* e *Ipomoea quamocli*, obtiveram 34% e 35%, respectivamente, o que se assemelha às médias das porcentagens de germinação dos genótipos 2 e 3. Pinheiro *et al.* (2009), avaliando sementes de *Ipomoea triloba*, obtiveram 45% de germinação após o uso do ácido sulfúrico para superação da dormência, média próxima à encontrada para o genótipo 4. Para a escarificação química com H₂SO₄, é recomendado que as sementes de *Ipomoea batatas* permaneçam imersas entre 10 e 40 minutos (ROSSEL *et al.*, 2008). Apesar da recomendação desse tempo de exposição, no presente trabalho foram obtidos valores de germinação superiores no tempo máximo de exposição de 20 minutos, visto que tempos maiores podem causar a desintegração das sementes.

Embora a eficiência da escarificação química com ácido sulfúrico tenha sido constatada para sementes de muitas espécies, cuja dormência tenha como causa a impermeabilidade do tegumento, o efeito corrosivo desse composto pode promover injúrias irreversíveis ao embrião, o que pode comprometer a qualidade dessas sementes e ocasionar baixa germinação e vigor (SANTOS *et al.*, 2014).

O uso da água quente a 95°C por 10 e 20 minutos resultou em valor inferior para as variáveis avaliadas, ou seja, a primeira contagem da germinação, a germinação e o índice de velocidade de germinação. Portanto, conclui-se que é possível que tenha ocorrido lesão no embrião, uma vez que durante a germinação as reservas presentes no interior das sementes devem ser degradadas e, posteriormente, mobilizadas para diferentes partes do embrião, auxiliando no crescimento da plântula (SOUZA, 2009).

Assim, o uso da água quente não foi eficiente para a superação de dormência das sementes de *Ipomoea batatas*.

A técnica de raio-x foi utilizada para fornecer informações sobre o conteúdo dessas sementes e para distingui-las quanto à sua morfologia interna ou à presença de danos eventualmente existentes que podem prejudicar a germinação.

Na Tabela 3, estão as porcentagens de sementes cheias, vazias e malformadas contidas nas sementes dos quatro genótipos de batata-doce.

Tabela 3 – Valores médios, em porcentagem (%), de sementes cheias (SC), sementes vazias (SV) e sementes malformadas (SMF) obtidos por meio da técnica de raio-x da morfologia interna da sementes de quatro genótipos de batata-doce.

Genótipos	SC (%)	SV (%)	SMF (%)
1	15,25ab	4,25a	4,25a
2	13,75ab	3,25a	8,00a
3	12,25b	5,00a	4,25a
4	17,75a	4,00a	5,75a
CV (%)	14,94	36,4	25,31

As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Os genótipos estudados apresentaram maior porcentagem de sementes cheias. Observou-se maior porcentagem de sementes cheias para o genótipo 4, não diferindo dos genótipos 1 e 2. Borges *et al.* (2019), trabalhando com sementes de tomate, concluíram que embriões classificados como normais tendem a produzir mais plântulas normais e apresentar maiores valores de germinação.

Além do estudo fisiológico do desenvolvimento do embrião, a análise de imagens das sementes utilizando o teste de raio-x permite avaliar as estruturas e o estágio de desenvolvimento do embrião (LIU *et al.*, 1993), uma vez que durante o processo de maturação as sementes passam por modificações físicas, bioquímicas e fisiológicas, influenciadas por fatores genéticos e ambientais, até atingir a maturidade fisiológica, cuja identificação é importante para definir o momento de colheita, principalmente em espécies em que essa seja de forma manual (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000). Da mesma forma ocorre em sementes de batata-doce que são colhidas manualmente, porém, pelos resultados do raio-x, constatou-se que a maturação

das sementes não foi afetada, uma vez que a porcentagem de sementes cheias foi superior à porcentagem de sementes vazias e malformadas.

Não foram observadas diferenças significativas para sementes vazias e malformadas. Embora os motivos do aparecimento de sementes malformadas não estejam totalmente esclarecidos, acredita-se que ele seja determinado pelo genótipo e intensificado pela interação com o meio ambiente (GOULART *et al.*, 2007).

Pelo fato de a grande maioria dos tratamentos para a superação da dormência ocasionar algum dano à semente, além de agregar informações obtidas pelo sistema de raio-x e acrescentar características tanto morfológicas das sementes quanto para as plântulas dos genótipos de *Ipomoea batatas*, utilizou-se o sistema GroundEye®.

Para essa análise, as sementes foram submetidas à imersão em ácido sulfúrico (H_2SO_4) por 20 minutos, sendo esse um dos tratamentos que apresentaram resultados mais satisfatórios na superação da dormência das sementes de batata-doce.

Todos os dados analisados das características de cor dos genótipos das sementes de batata-doce, de acordo com a análise de variância, apresentaram significância para as interações com e sem tratamento (Tabelas 4, 5 e 6).

Na Tabela 4 encontram-se as informações referentes às dominâncias de cores identificadas pelo sistema GroundEye®, para os quatro genótipos das sementes de batata-doce, antes e após o tratamento com ácido sulfúrico por 20 minutos, para a superação da dormência das sementes.

Tabela 4 – Valores médios, em porcentagem (%), da dominância de cores: preta, azul, celestial, cinza-escuro, púrpura e vermelha de quatro genótipos de batata-doce obtidos pelo GroundEye® antes e depois do tratamento com ácido sulfúrico por 20 minutos.

Genótipos	Dominâncias (%)					
	Preta		Azul		Celestial	
	Sem H ₂ SO ₄	Com H ₂ SO ₄	Sem H ₂ SO ₄	Com H ₂ SO ₄	Sem H ₂ SO ₄	Com H ₂ SO ₄
1	65,72 aA	59,13 aA	24,49 bA	25,65 cA	3,21 abA	2,50 bA
2	31,67 bA	31,67 bA	60,19 aA	60,19 aA	3,02 abA	3,02 bA
3	66,34 aA	35,85 bB	23,94 bB	50,12 abA	4,17 aA	4,54 aA
4	57,39 aA	27,07 bB	19,31 bB	40,28 bA	2,30 bA	1,87 bA
CV (%)	15,01		15,8		19,71	
Genótipos	Cinza-escuro		Púrpura		Vermelha	
	Sem H ₂ SO ₄	Com H ₂ SO ₄	Sem H ₂ SO ₄	Com H ₂ SO ₄	Sem H ₂ SO ₄	Com H ₂ SO ₄
1	3,43 bA	5,90 bA	1,38 aB	2,88 aA	0,96 bA	1,89 abA
2	2,31 bA	2,31 bA	2,33 aA	2,33 aA	0,24 bA	0,24 bA
3	2,87 bA	5,72 bA	0,98 aA	2,25 aA	0,88 bA	0,61 bA
4	7,61 aB	17,35 aA	2,08 aB	3,98 aA	6,51 aA	4,58 aA
CV (%)	20,62		29,17		38,07	

As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

As dominâncias de cores preta e azul foram observadas com maior predominância e intensidade para as sementes de todos os genótipos avaliados, com e sem tratamento. Visualmente, as sementes de batata-doce são de coloração escura, coincidindo com a identificação do equipamento GroundEye®. Esse resultado é semelhante ao encontrado por Jones e Dukes (1976), que obtiveram sementes de *Ipomoea batatas* com coloração escura, e às vezes preta. Em sementes de *Amaranthus hybridus*, que visualmente apresentam tom avermelhado ou púrpura, Xavier *et al.* (2019), utilizando o GroundEye®, não identificaram essa coloração nas sementes.

Após as sementes serem submetidas ao tratamento com H₂SO₄, a dominância de coloração preta foi inferior para os genótipos 3 e 4, tendo o mesmo ocorrido para esses genótipos na dominância de cor azul sem o uso do H₂SO₄. No genótipo 4 foram constatadas as dominâncias das cores cinza-escuro e púrpura nas sementes submetidas ao mesmo tratamento.

De modo geral, é possível distinguir os genótipos quanto à coloração. As cores celestial, cinza-escuro, púrpura e vermelha também foram representativas e diferenciaram os genótipos, mas em menor quantidade.

Foi possível diferenciar os genótipos para as sementes com e sem tratamento com o uso do H_2SO_4 , com base em todas as características de cor: brilho, intensidade, luma, luminosidade e saturação (Tabela 5). Esses fatores de diferenciação de cores referem-se à vivacidade ou à palidez de uma cor, e estão associados à sua pureza, pois um material com baixa saturação ou saturação inexistente apresenta coloração mais escurecida, conforme observado para o genótipo 4 (Tabelas 4 e 5).

Tabela 5 – Valores médios, em porcentagem (%), de características de cor: brilho, intensidade, luma, luminosidade e saturação de quatro genótipos de batata-doce obtidos pelo GroundEye®, antes e depois do tratamento com ácido sulfúrico (H_2SO_4) por 20 minutos.

Genótipos	Brilho (%)		Intensidade (%)		Luma (%)	
	Sem H_2SO_4	Com H_2SO_4	Sem H_2SO_4	Com H_2SO_4	Sem H_2SO_4	Com H_2SO_4
1	0,23aA	0,24bA	0,19bB	0,20bA	0,17bB	0,18bA
2	0,24aB	0,28aA	0,19bB	0,21bA	0,17bB	0,19bA
3	0,23aB	0,26aA	0,18bB	0,21bA	0,16bB	0,19bA
4	0,24aB	0,28aA	0,20aB	0,23aA	0,19aB	0,21aA
CV (%)	15,01		15,8		19,71	
Genótipos	Luminosidade (%)		Saturação (%)			
	Sem H_2SO_4	Com H_2SO_4	Sem H_2SO_4	Com H_2SO_4		
1	0,19bB	0,20cA	0,31bA	0,28bB		
2	0,20bB	0,22bA	0,32bcB	0,36aA		
3	0,19bB	0,22bA	0,33aA	0,34aA		
4	0,21aB	0,24aA	0,26cA	0,26cA		
CV (%)	20,62				29,17	

As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Além dos atributos da cor, as porcentagens de brilho para os genótipos 2, 3 e 4 mostraram-se superiores nas sementes que foram submetidas ao tratamento de superação de dormência com o uso do H_2SO_4 . Foram observadas, para todos os genótipos, médias superiores para saturação e médias inferiores para luma e luminância. Assim como as características de brilho, intensidade e luminosidade, a luma, sinônimo de luminância, trata da medida da densidade da intensidade de uma luz refletida em uma dada direção, sendo inversamente proporcional à saturação.

Outra característica de extrema importância, principalmente para a seleção de materiais para melhoramento genético, é a geometria da semente. Ela tem sido muito utilizada como marcador para distinção de gêneros, espécies e cultivares (MARCOS FILHO, 2015). As características geométricas das sementes, identificadas pelo GroundEye® nos quatro genótipos das sementes de batata-doce, antes e depois da superação da dormência, encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6 – Valores médios da área – Área (mm²), circularidade, perímetro (cm), afinamento, diâmetro máximo - DMáx (cm) e diâmetro mínimo – DMín (cm) de quatro genótipos de batata-doce obtidos pelo GroundEye®, antes e depois do tratamento com ácido sulfúrico (H₂SO₄) por 20 minutos.

Genótipos	Área (mm ²)		Circularidade		Perímetro (cm)	
	Sem H ₂ SO ₄	Com H ₂ SO ₄	Sem H ₂ SO ₄	Com H ₂ SO ₄	Sem H ₂ SO ₄	Com H ₂ SO ₄
1	8,57aA	8,44aA	0,86aA	0,86aA	1,11bA	1,10bA
2	8,57aA	7,73abA	0,87aA	0,87aA	1,08bA	1,11bB
3	2,57bA	5bA	0,88aA	0,87aA	1,21aA	1,23aA
4	0,12bA	0,12bA	0,81bA	0,81bA	1,25aA	1,25aA
CV (%)	1,24		2,4		4,28	

Genótipos	Afinamento		Dmáx (cm)		Dmín (cm)	
	Sem H ₂ SO ₄	Com H ₂ SO ₄	Sem H ₂ SO ₄	Com H ₂ SO ₄	Sem H ₂ SO ₄	Com H ₂ SO ₄
1	0,86aA	0,86aA	0,35cA	0,35cA	0,20bA	0,30bA
2	0,85aA	0,77bB	0,33dA	0,33dA	0,29bA	0,28cA
3	0,86aA	0,83abA	0,38bA	0,38bA	0,33aA	0,33aA
4	0,86aA	0,85aA	0,41aA	0,41aA	0,33aA	0,33aA
CV (%)	1,46		1,46		1,86	

As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

A área (mm²) dos genótipos 1 e 2 foram superiores sem e com o uso do H₂SO₄, sendo o genótipo 2 estatisticamente igual aos demais genótipos com tratamento (Tabela 6).

A circularidade é inversamente proporcional ao afinamento, e ambos variam de 0 a 1. A circularidade refere-se ao fator de forma circular menos sensível ao alongamento com menor dependência à suavidade do contorno, porém, para essa característica, valores próximos a 1 significam maior circularidade (FERREIRA *et al.*, 2018). Para os genótipos analisados, apenas o 4 mostrou-se inferior, tanto no tratamento com quanto no sem o uso de H₂SO₄. Já o afinamento, à medida que o valor

se afasta de 1, é considerado mais fino (VIANA *et al.*, 2016), como apresentaram os genótipos 2 e 3, com o tratamento.

Para o perímetro, os genótipos 3 e 4 apresentaram-se superiores, com e sem tratamento.

O diâmetro máximo (Dmáx) e o diâmetro mínimo (Dmín) correspondem, respectivamente, ao comprimento e à largura. O Dmáx foi superior para o genótipo 4, que também apresentou superioridade para o Dmín, sendo estatisticamente igual para o genótipo 3, sem e com o uso do tratamento para a superação da dormência. Houve variação de 0,29 a 0,33 no diâmetro mínimo das sementes de todos os genótipos e de 0,33 a 0,41 no diâmetro máximo, o que caracteriza as sementes como pequenas, medindo de 0,2 a 0,4 cm de diâmetro (FABRI, 2009).

A análise de variância dos dados das plântulas (Tabela 1A-Anexo) revelou interação significativa entre os genótipos apenas para o comprimento do hipocótilo. Com base nos resultados apresentados na Tabela 7, verificou-se que houve variação entre os valores médios de tamanho do hipocótilo entre os genótipos.

Tabela 7 – Valores médios da razão do comprimento da raiz primária pelo hipocótilo (RPH), comprimento da raiz primária (CRP), comprimento do hipocótilo (CH) e comprimento total da plântula (T) de quatro genótipos de batata-doce obtidos pela análise de imagens.

Genótipos	Comprimento das plântulas			
	RPH	CRP	CH	T
1	1,39a	6,04a	4,20ab	10,16a
2	2,28a	6,85a	2,91b	9,76a
3	1,70a	8,68a	5,01a	13,68a
4	1,98a	7,16a	3,78ab	10,93a
CV (%)	12,86	19,96	9,98	16,01

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

A média encontrada para o genótipo 3 (Tabela 2) foi de 3,33 para o IVG e o tamanho do seu hipocótilo foi superior ao dos demais genótipos (Tabela 7). Com base nesses testes de vigor, pode-se considerar que o genótipo 3 seria de qualidade

fisiológica superior, seguido dos genótipos 1 e 4, como qualidade intermediária, e o genótipo 2, com qualidade inferior.

Os testes de vigor com base no desempenho ou nas características de plântulas, incluindo o comprimento de plântulas ou de suas partes constituintes (raiz primária, hipocótilo e/ou epicótilo), têm sido utilizados em pesquisas sobre a avaliação do vigor de sementes das mais variadas espécies (MARCOS FILHO, 2015).

5. CONCLUSÕES

O tratamento com escarificação mecânica e o tratamento com ácido sulfúrico a 98% pelo período de imersão de 20 minutos foram os mais eficientes para superação de dormência em sementes de batata-doce.

A técnica de raio-x e o sistema GroundEye® permitem diferenciar genótipos de sementes de batata-doce.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em virtude da importância da cultura da batata-doce e da grande diversidade genética existente entre os genótipos, suas sementes são essenciais em programas de melhoramento genético, até por constituírem, cada uma, um potencial genético diferente. No entanto, a baixa produção de sementes é um dos principais entraves dessa cultura, o que torna necessário estudar sua qualidade fisiológica.

A dormência imposta pelo tegumento das sementes de batata-doce pode acarretar problemas na avaliação da qualidade fisiológica, porém os tratamentos de escarificação mecânica e escarificação química com o uso do ácido sulfúrico por 20 minutos permitiram aumentar a germinação das sementes.

O uso das análises de imagens permitiu selecionar os genótipos com base na qualidade fisiológica. A técnica de raio-x possibilitou classificar as sementes quanto à sua qualidade física, e com a utilização do sistema GroundEye® foi possível processar informações contidas nas sementes, o que seria difícil a olho nu, além da provável interferência da subjetividade do pesquisador. As informações extraídas nas avaliações são de alta precisão, segurança e confiabilidade, e como estão armazenadas em bancos de dados podem ser facilmente acessadas.

Existe uma grande carência de informações a respeito da qualidade de sementes da cultura da batata-doce, mesmo sendo essas informações fundamentais para trabalhos de melhoramento genético e haver demanda por novas cultivares mais produtivas e resistentes. Dessa forma, os resultados obtidos neste estudo são promissores para serem usados em programas de melhoramento da cultura da batata-doce.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, L. A. S.; ANDRADE, D. B.; MARQUES, E. R.; ASSIS, J. G.R.; LOPES, C. A.; CARVALHO, M. L. M. Computerized analysis in the physiological quality of coffee seeds. **International Journal of Current Research**, v. 8, n. 11, p. 40820-40823, 2016.

ALVARENGA, R. O.; MARCOS FILHO, L.; GOMES JUNIOR, F. G. Avaliação do vigor de sementes de milho super doce por meio da análise computadorizada de imagens de plântulas. **Revista Brasileira de Sementes**. Londrina, v.34, n.3, p. 488-494, set. 2012.

ANDRADE JÚNIOR, V. C.; VIANA, D. J. S.; FERNANDES, J. S. C.; FIGUEIREDO, J. A.; NUNES, U. R.; NEIVA, I.P. Selection of sweet potato clones for the region Alto Vale do Jequitinhonha. **Horticultura Brasileira**. Brasília, v. 27, p. 389-393, 2009.

ANDRADE, D. B. Evaluation of the physiological quality of tobacco seeds through image analysis. 2017. 48 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

ANDRADE, D. B.; OLIVEIRA, A. S.; PINTO, C. A. G.; PIRES, R. M. O.; OLIVEIRA, A. S.; SILVA, M. A. A.; CARVALHO, M. L. M. Detection of green seeds in soybean lots by the seed analysis system (SAS). **International Journal of Current Research**, v. 8, n. 2, p. 26462-26465, 2016.

ANUÁRIO BRASILEIRO DE HORTALIÇAS, 2017. **Batata-doce**. Disponível em: <<http://www.editoragazeta.com.br/flip/anuario-hortalicas2-2017/files/assets/basic-html/page35.html>>. Acesso em: 09 de dez. 2019.

ARAÚJO, R. B.; REIS, F.C; NOVENBRE, A. D. L. C. Preparo de sementes de corda-de-violão para o teste de tetrazólio utilizando micro-ondas. **Multi-Science Journal**, v. 1, n. 4, p.7-11. 2016.

ÁVILA, M. A. B. Análise de imagem na avaliação do potencial fisiológico de sementes de soja. 2017. 42 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

AZANIA, A. A. P. M.; AZANIA, C.A.M.; PAVANI, M.C.M.D.; CUNHA, M.C.S. Métodos de superação de dormência em sementes de *Ipomoea* e *Merremia*. **Planta daninha** Viçosa-MG, v.21, n. 2, p.203-209, 2003.

AZANIA, C. A. M.; MARQUES, R. P.; AZANIA, A. A. P. M.; ROLIM, J. C. Superação da dormência de sementes de corda-de-viola (*Ipomoea quamoclit* e *I. hederifolia*). **Planta Daninha**. Viçosa-MG, v. 27, n. 1, p. 23-27, 2009.

AZEVEDO, A. M.; ANDRADE JUNIOR, V. C.; FIGUEIREDO, J. A.; PEDROSA, C. E.; VIANA, D. J. S.; LEMOS, V.T; NEIVA, I.P. Divergência genética e importância de caracteres em genótipos de batata-doce visando a produção de silagem. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Recife, v.10, n.3, p.479-484, 2015

BEWLEY, J.D.; BLACK, J.M. Seeds: Physiology of Development and Germination. 2.ed. New York: Plenum Press. 1994. 445p.

BEWLEY, J.D.; BLACK, M. **Seeds: physioly of development and germination**. New York, Plenum Press, 1985. 367p.

BINO, R.J.; AARTSE, J.W.; BURG, W.J. van der. Non-destructive X-ray of Arabidopsis embryo mutants. **Seed Science Research**, Wallingford, v.3, p.167-170. 1993.

BORGES, S. R. .S.; SILVA, P. P.; ARAÚJO, F. S.; SOUZA, F. F. J.; NASCIMENTO, W. M. Análise de imagens na avaliação de sementes de tomate durante a maturação. **Journal of Seed Science**, v.41, n.1, p.22-31. 2019.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SNDA/DNDV/CLAV, 2009. 395p.

CARDOSO, A. D., VIANA, A. E. S., RAMOS, P. A. S., MATSUMOTO, S. N., AMARAL, C. L. F., SEDIYAMA, T.; MORAIS, O. M. Avaliação de Clones de Batata-Doce em Vitória da Conquista. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 4, p. 911 - 914, 2005.

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

CARVALHO, L. R.; CARVALHO, M. L. M.; DAVIDE, A. C. Utilização do teste de raios X na avaliação da qualidade de sementes de espécies florestais de Lauraceae. **Revista Brasileira de Sementes**, v.31, n.4, p57-66. 2009.

CIP. International Potato Center. Disponível em:

<<https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/103463>> . Acesso em: 18 de set. de 2019.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: < <https://www.conab.gov.br/info-agro/hortigranjeiros-prohort/>> . Acesso em: 11 de nov. de 2019.

DAROS, M., AMARAL JR., A.T., PEREIRA, T.N.S., LEAL, N.R., FREITAS, S.P., SEDIYAMA, T. Caracterização morfológica de acessos de batata-doce. **Horticultura Brasileira**, v.20, p.43-47. 2002.

DELL'AQUILA, A. Towards new computer imaging techniques applied to seed quality testing and sorting. **Seed Science and Technology**, v.35, n.3, p.519–538. 2007.

DELOUCHE, J.C.; BASKIN, C.C. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. **Seed Science and Technology**, v.1, p.427-452, 1973.

FABRI, E.G. **Diversidade genética em acessos de batata-doce (*Ipomoea batatas* L. Lam.) avaliada através de marcadores microssatélites e descritores morgoagronômicos**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 173 p. 2009.

FAO (Food and Agriculture Organization), 2018. FAOSTAT Estatística Banco de Dados da Food and Agriculture Organization das Nações Unidas, Roma, Itália. Disponível em: < <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> > Acesso em: 10/04/2020.

FELIPE, G. M.; POLO, M. Germinação de ervas invasoras: efeito da luz e escarificação. **Revista Brasileira Botânica**, v. 6, n.1, p 55-60, 1983.

FERREIRA, A. F. N., KRAUSE, W., FALEIRO, A. C., MIRANDA, A. F., ACHA, A. J, Seleção de descritores de sementes de maracujazeiro azedo utilizando fenotipagem digital. **Agrarian Academy**, v.5, n.10, p. 181-190, 2018.

FERNANDES, J.S.; SILVA, D.F.; SANTOS, H.O.; VON PINHO, E.V.R. Teste de raios- X na avaliação da qualidade de sementes de frutos de fisalis em diferentes estádios de desenvolvimento. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.15, n.2, 2016.

FERREIRA, A.G.; BORGHETTI, F. **Germinação: do básico ao aplicado**. 1.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

FOLQUER, F. La batata (camote). **Estudio de la planta y su producción comercial**. Buenos Aires: Editorial Hemisfério Sur AS, 145p, 1978.

GOMES JUNIOR, F. G.; CICERO, S. M. X-Ray analysis to assess mechanical damage in sweet corn seeds. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina , v. 34, n. 1, p. 78-85, 2012.

GOMES JUNIOR, F.G.; MONDO, V.H.V.; CICERO, S.M.; McDONALD, M.B.; BENNETT, M.A. Evaluation of priming effects on sweet corn seeds by SVIS. **Seed Technology**, v.31, n.1, p.95-100, 2009.

GONÇALVES NETO, A. C.; MALUF, W. R.; GOMES, L. A. A.; GONÇALVES, R. J. DE S.; SILVA, V. F.; LASMAR, A. **Aptidões de genótipos de batata-doce para consumo humano, produção de etanol e alimentação animal**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 46, n.11, p.1513-1520, nov. 2011.

GONDIM, T.C.O.; ROCHA, V.S.R.; SANTOS, M.M.; MIRANDA, G.V. Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de milho-crioulo sob estresse causado por baixo nível de nitrogênio. **Revista Ceres**, v.53 p.413-417, 2006.

GOULART, P.F.P; ALVES, J.D.; CASTRO, EM.; FRIES, D.D.; MAGALHÃES, M.M.; MELO, H.C. Aspectos histoquímicos e morfológicos de grãos de café de diferentes qualidades. **Ciência Rural** , v.37, n.3, p.662-666, 2007.

HOFFMANN, G. CIELab Color Space. Disponível em: <<http://docs-hoffmann.de/cielab03022003.pdf>> . Acesso em: 23 outubro 2019.

HORAK, M. J.; WAX, L. M. Germination and seedling development of bigroot Morningglory (*Ipomoea pandurata*). **Weed Science**, v. 39, p. 390-396, 1991.

KOBORI, N. N.; CICERO, S. M.; MEDINA, P. F. Teste de raios X na avaliação da qualidade de sementes de mamona. **Revista Brasileira de Sementes**, v.34, n.1, p. 125-133. 2012.

INTERNATIONAL RULES FOR SEED TESTING. ISTA. Seed science and technology. 1999. 333 p. Supplement.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. **Produção Agrícola Municipal**. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457> > Acesso em: 18 de setembro de 2019.

JAVORSKI, M; CICERO, S. M. Utilização de raios x na avaliação da morfologia interna de sementes de sorgo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.16, n.2, p. 310-318, 2017.

JONES, A; DUKES, P.D. Some seed, seedling, and maternal characters as estimates of commercial performance in sweet potato breeding. **Journal of the American Society for Horticulture Science**, Lancaster, v.101, n.4, p.385-388, 1976.

LIU, T.; BURG, W. J. VAN DER; AARTSE, J. W.; ZWOL, R. A.; VAN JALINK, H.; BINO, R. J. X-ray studied in embryo and endosperm morphology during priming and imbibition of tomato seeds. **Seed Science Research**, Wallingford, v.3, n.2, p. 177-178, June, 1993.

LOPES, A. C. A. **Dormência em sementes de hortaliças**. Embrapa Hortaliças. Brasília, DF. Documento 28 p. 2012.

LOPES, C. A. PEDROSO, M. T. M. **Sustentabilidade e horticultura no Brasil: da retórica à prática**. Brasília, DF: Embrapa, p. 433. 2017.

LOPES, T.K.; ANDRADE JUNIOR, V.C; TAULA, A.J.V.;SILVA, J.C.O. Caracterização de genótipos de batata-doce para florescimento e produção de sementes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 55., 2018. Bonito-MS. **Anais...** Bonito-MS: ABH, ago. 2018. p.162.

LOPES, Thabata Karoline. Avaliação de genótipos de batata-doce quanto ao florescimento e produção de semente na região de Lavras – MG. 2018. 44f. Trabalho de Conclusão de curso – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.

LORENZO, H.; SOUZA, V. C. **Plantas ornamentais no Brasil: arbustivas, herbáceas e trepadeiras**. 3ª ed. Nova Odessa: Plantarum, 448p. 2001.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination - aid in selection and evaluation for seed emergence and vigour. *Crop Science*, Madison, v. 2, n. 1, p. 176-177, 1962.

MANUAL GROUND EYE® . Tbit Tecnologia e Sistemas, Lavras. 2016.88p.

MARCOS FILHO J. Teste de envelhecimento acelerado. In: Krzyzanowski FC, Vieira RD & França Neto JB (Eds.) **Vigor de sementes: Conceitos e testes**. Londrina, ABRATES. Cap. 3. p. 124. 1999.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. (FEALQ. Biblioteca de Ciências Agrárias Luiz de Queiroz), Piracicaba, 2.ed. p. 495, 2015.

MARQUES FILHO, O.; VIEIRA NETO, H. **Processamento digital de imagens**, Rio de Janeiro: Brasport, 1999.

MARQUES, E. R.; DE ASSIS, J. G.; BUSTAMANTE, F. O.; ANDRADE, D. B. D.; DE CARVALHO, M. L.; LOPES, C. A. Distinção de espécies e estádios de maturação de sementes de *Comanthera* spp. por análise de imagem e citometria de fluxo. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 1, p. 11-20, 2019.

MIRANDA, J. E. C.; FRANÇA, F. H.; CARRIJO, O. A.; SOUZA, A.F.; PEREIRA, W.; LOPES, C. A.; SILVA, J. B. C. Cultura da batata-doce. EMBRAPA-SPI, 1995. Disponível em: < <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/162018/1/A-cultura-da-batata-doce.pdf> > Acesso em: 18 de setembro de 2019.

MONTEIRO, A.B. Silagens de cultivares e clones de batata-doce para alimentação animal visando sustentabilidade da produção agrícola familiar. **Revista Brasileira de Agroecologia**. v. 2, n. 2, p. 978-981, 2007.

MOREIRA, G.B.R. **Viabilidade de aplicação da seleção precoce em batata-doce [*Ipomoea batatas* (L.) Lam] e avaliação de caracteres relacionados à produção**. 2016 . 86 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

MOULIN, M. M., Coleta, Caracterização e Conservação de variedades locais de batata-doce (*Ipomoea batatas* L. Lam) do norte do estado do Rio de Janeiro. 2010. 136p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes – RJ, 2010.

NASSIF, D. S. P.; CICERO, S. M. Avaliação de sementes de acerola por meio de raios-x. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 542-545, Dec. 2006.

NUNES, W.O. Melhoramento da batata-doce. II. Coleta dos frutos e germinação das sementes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 3:263-266. 1968.

OGUNWENMO, K.; UGBOROGHO, R. E. Effects of chemical and mechanical scarification on seed germination of Five species of *Ipomoea* (Convolvulaceae). *Boletim da Sociedade Broteriana*, v. 69, p.147-162, 1999.

OHLSON, O.C.; KRZYZANOWSKI, F. C.; CAIEIRO, J. T.; PANOBIANCO, M. Teste de envelhecimento acelerado de trigo. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v.32, n.4, p.118-124, 2010.

OLIVEIRA, A.P.D.; SILVA, J.E.L.D.; PEREIRA, W.E.; BARBOSA, L.J.D.N. Produção de batata-doce e teor de amido nas raízes em função de doses de P2O5. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 27, n. 4, p. 747-751, 2005.

PAZUCH, D.; TREZZI, M. M.; DIESEL, F.; BARANCELLI, M.V.J.; BATISTEL, S.C. PASINI, R. Superação de dormência em sementes de três espécies de *Ipomoea*. **Ciência Rural**, v.45, n.2, fev, 2015.

PINHEIRO, R. T. **Superação de dormência de sementes e controle químico de cordas-de-violão (*Ipomoea* spp.) em soja resistente ao glifosato**. 2010. 67f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. 2010.

PINHEIRO, R.T., MACHADO, S.L.O, MENEZES, N.L., BIANCHI, M.A., GUARESCHI, A. Superação da dormência de sementes da planta daninha coriolo (*Ipomoea triloba*). In: Reunião de Pesquisa de Soja da Região Sul, 37, Porto Alegre. Resumos. Porto Alegre, 2009. p.186-189.

PINTO, C. A. G.; CARVALHO, M. L.M.; ANDRADE, D.B.; LEITE, E.R.; Image analysis in the evaluation of the physiological potential of maize seeds. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, p. 319-328, 2015.

RIBEIRO FILHO, J. **Cultura da batata-doce (*Ipomoea batatas* Poir.)**. Viçosa: UFV, 1967. 99p.

RIBEIRO, J.E.L.S.; R. BIANCHINI. Convolvulaceae. In J. E. L. S. RIBEIRO, M.J. G. HOPKINS, A. VICENTINI, C. A. S. SOTHERS, M. A. S. COSTA, J. M. BRITO, M. A. D.SOUZA, L.H.P. MARTINS, L. G. LOHMAN, P. A.C. L. ASSUNÇÃO, E.C. PEREIRA, C. F. SILVA, M. R. MESQUITA & L. C. PROCÓPIO (eds.), **Flora da Reserva Duck: Guia de identificação das plantas vasculares de uma floresta de terra-firme na Amazônia Central**. Manaus, INPA, p. 588-591. 1999.

RITSCHER, P. S.; LOPES, C. A.; HUAMÁN, Z.; FERREIRA, M. E.; FRANCA, F. J.; MENEZES, J. E.; TEIXEIRA, D. M. C.; TORRES, A. C.; CHARCHAR, J. M.;

THOMAZELLI, L. Organização do banco ativo de germoplasma de batata-doce: situação atual e perspectivas. **Recursos genéticos e melhoramento de plantas para o Nordeste brasileiro: versão 1.0**. 2010.

RODRIGUEZ-PULIDO, F. J.; FERRER-GALLEGO, R.; GONZÁLEZ-MIRET, M.L.; RIVAS-GONZALO, J.C.; ESCRIBANO-BAILÓN, M.T.; HEREDIA, F.J. Preliminary study to determine the phenolic maturity stage of grape seeds by computer vision. **Analytica Chimica Acta**, Amsterdam, v. 732, p. 78-82, 2012.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2019. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>> acesso em 21 de maio de 2019.

ROSSEL, G.; ESPINOZA, C.; JAVIER, M.; TAY, D. **Directrizes de regeneração: batata-doce**. In: Dulloo M.E., Thormann I., Jorge M.A. and Hanson J., editors. Crop specific regeneration guidelines [CD-ROM]. CGIAR System-wide Genetic Resource Programme (SGRP), Rome, Italy. 9 p, 2008.

SANTOS, J.L.; LUZ, I.S.; MATSUMOTO, S.N.; D'ARÊDE, L.O.; VIANA, A.E.S. Superação da dormência tegumentar de sementes de *Piptadenia viridiflora* (Kunth) Benth pela escarificação química. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, n. 6, p. 1642-1651, 2014.

SILVA, J. B.C. da; LOPES, C.A., MIRANDA, J.E.C.de, FRANCA, F.H.; CARRIJO, O.A.; SOUZA, A.F.; PEREIRA, W. Cultivo da batata-doce (*Ipomoea batatas* (L) Lam). 3 ed. Brasília: EMBRAPA-CNPq. 1995.

SILVA, J. P.; FERREIRA, P. V.; SILVA, C. J.; CRUZ, S. J. S.; SANTOS JÚNIOR, R.B; SILVA JUNIOR, A.B. Evaluation of the production potential of sweet potato genotypes to feed. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v. 6, p. 209-214, 2010.

SILVA, P. P.; FREITAS, R. A.; CÍCERO, S. M; MARCOS-FILHO, J; NASCIMENTO, W. M. Análise de imagens no estudo morfológico e fisiológico de sementes de abóbora. **Hortic. Bras.**, Vitória da Conquista, v. 32, n. 2, p. 210-214, 2014.

SILVA, J.C; TAVARES, A.T.; QUITÉRIA, F., GUIMARÃES A.; VAZ, J.C.; MOMENTÉ, V. G.; NASCIMENTO, I. R. Similaridade genética entre progênies de meio-irmãos de batata-doce com base em caracteres agronômicos. **Revista Desafios**, Tocantis, v. 04, n. 4, 2017.

SIMAK, M.; GUSTAFSSON, A. X-ray photography and sensitivity in forest tree species. **Hereditas**, v. 39, n. 3/4, p. 458-468, 1953.

SOUZA, L.A. Sementes e plântulas: germinação, estrutura e adaptação: 1ed. Ponta Grossa, PR.Toda palavra, 2009.

SRISUWAN, S.; SIHACHAKR, D.; SILJAK-YAKOVLEV, S. The origin and evolution of sweet potato (*Ipomoea batata* Lam.) and its wild relatives through the cytogenetic approaches. **Plant Science**, Oxford, v.171, n.3, p. 424-233, 2006.

TEIXEIRA, E. F.; CICERO, S. M.; NETO, D. D. Análise de imagens digitais de plântulas para avaliação do vigor de sementes de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 28, n. 2, p. 159-167, 2006.

THOMPSON, P.G., HONG, L.L., UKOSKIT, K., ZHU, Z. Genetic linkage of random amplified polymorphic DNA (RAPD) markers in sweet potato. **J. Am. Soc. Hortic. Sci.** 122:79-82. 1997.

TRUJILLO, H. A.; GOMES-JUNIOR, G.; FRANCISCO, L.; IDEMAURO A. R.; CICERO, S.M. Análise radiográfica e desempenho de sementes de café. *Journal of Seed Science*, v. 41, n.4, p.431-440. 2019.

VAN RHEENEN, H. A. Breeding research in sweet potato, *Ipomoea batatas* Poir. **Euphytica**, v. 12, n. 3, p. 245-352, 1963.

VASCONCELOS, E. S.; REIS, M. S.; SEDYIAMA, T.; CRUZ, C. D. Qualidade fisiológica de sementes de cultivares e linhagens de soja no Estado de Minas Gerais. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.31, n.2, p. 307-312. 2009.

VENORA, G.; OGRILLO; SHAHIN, M. A.; SYMONS, S. J. Identification of Sicilian landraces and Canadian cultivars of lentil using an image analysis system. *Food Research International*, Barking, v.40, p. 161-166, 2007.

VIANA, J. H. M., CLEMENTE, E. P., OLIVEIRA, A. P. Procedimento operacional padronizado para quantificação e mensuração de areias via análise de imagens. **Comunicado Técnico 73**. Rio de Janeiro, 2016.

VILAS BOAS B. M.; OKUMURA HH; MALUF WR. **Cultura da batata-doce**. Boletim Técnico de Hortaliças. Lavras, n. 42, p. 1-3, nov. 1999.

VILLAVICENCIO L.E.; BLANKENSHIP S.M.; CRAIG YENCHO G.C.; JUDITH F.; THOMAS J.F.; RAPER C.D. Temperature effect on skin adhesion, cell wall enzyme activity,

lignin content, anthocyanins, growth parameters, and periderm histochemistry of sweetpotato. **Journal of the American Society for Horticultural Science**. 132:729-738. 2007.

VOIGHT, P. W.; TISCHLER, C. R. Effect of seed treatment on germination and emergence of 3 warm-season grasses. **Journal of Range Management**, Lakewood, v. 50, p. 170-174, 1997.

VOLL, E.; BRIGHENTI, A.M.; GAZZIERO, D.L.P.; ADEGAS, F.S.. Relações entre germinação de sementes de espécies de plantas daninhas e uso da condutividade elétrica. *Planta daninha* [online], v.21, n.2, p.181-189. 2003.

XAVIER, J.B.; ANDRADE, D.B.; SOUZA, D. C.; GUIMARÃES, G. C.; RESENDE, L. V.; GUIMARÃES, R. M. Morphological, chemical and physiological characterization of *Amaranthus spp.* Seeds. **Journal Seed Science**, Londrina , v. 41, n. 4, p. 478-487, 2019.

ANEXO

Tabela 1 B - Análise de variância dos dados para as variáveis da razão do tamanho da raiz primária pelo hipocótilo (RPH), tamanho da raiz primária (RP), tamanho do hipocótilo (H) e tamanho total da plântula (T) de quatro genótipos de batata-doce obtidos pela análise de imagens.

FV	Quadrados médios			
	RPH	RP	H	T
Genótipos	1,31 ^{ns}	10,93 ^{ns}	6,85*	28,12 ^{ns}
Erro	0,58	13,74	1,4	20,52
CV (%)	12,86	19,96	9,98	16,01

* Significativo a 5% de probabilidade; e ^{ns} não significativo.