



JOYCE APARECIDA PEREIRA

**SEMENTES BOTÂNICAS DE BATATA-DOCE SUBMETIDAS
A QUEBRA DE DORMÊNCIA: AVALIAÇÃO ENZIMÁTICA,
ANATÔMICA E FISIOLÓGICA**

**LAVRAS-MG
2021**

JOYCE APARECIDA PEREIRA

**SEMENTES BOTÂNICAS DE BATATA-DOCE SUBMETIDAS A QUEBRA DE
DORMÊNCIA: AVALIAÇÃO ENZIMÁTICA, ANATÔMICA E FISIOLÓGICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

Profa. Dra. Raquel Maria de Oliveira Pires
Orientadora
Dra. Dayliane Bernardes de Andrade
Coorientadora

**LAVRAS-MG
2021**

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

Pereira, Joyce Aparecida.

Sementes botânicas de batata-doce submetidas a quebra de dormência: Avaliação enzimática, anatômica e fisiológica / Joyce Aparecida Pereira. - 2021.

72 p.

Orientador(a): Raquel Maria de Oliveira Pires.

Coorientador(a): Dayliane Bernardes de Andrade.

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

Bibliografia.

1. Dormência. 2. Qualidade de sementes. 3. Ipomoea batatas (L.)
Lam. I. Pires, Raquel Maria de Oliveira. II. Andrade, Dayliane
Bernardes de. III. Título.

JOYCE APARECIDA PEREIRA

**SEMENTES BOTÂNICAS DE BATATA-DOCE SUBMETIDAS A QUEBRA DE
DORMÊNCIA: AVALIAÇÃO ENZIMÁTICA, ANATÔMICA E FISIOLÓGICA**

**SWEET POTATO BOTANICAL SEEDS SUBMITTED TO BREAK DORMANCY:
ENZYMATIC, ANATOMICAL AND PHYSIOLOGICAL EVALUATION**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 22 de dezembro de 2021.

Dra. Raquel Maria de Oliveira Pires UFLA

Dr. Valter Carvalho de Andrade Júnior UFLA

Dra. Marcela Carlota Nery UFVJM



Profa. Dra. Raquel Maria de Oliveira Pires
Orientadora

**LAVRAS-MG
2021**

*À Deus por ser sempre a minha inspiração e
Nossa Senhora de Guadalupe por ser minha
intercessora em todos os momentos.*

OFEREÇO

*Aos meus pais Edil e Luiza, à minha irmã
Jéssica e ao meu noivo Diego, pelo apoio e
carinho em todas as etapas e por serem o meu
maior exemplo de vida.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser minha luz em meio a escuridão e a Nossa Senhora de Guadalupe pela imensa intercessão.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior Brasil (CAPES), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), ao programa de pós-graduação em Agronomia/ Fitotecnia e ao departamento de Agricultura (DAG-UFLA).

A minha orientadora Professora Dra. Raquel Pires, por toda orientação, oportunidades, apoio, carinho e amizade. Muito obrigada pelo amadurecimento e por ter me tornado uma profissional e uma pessoa melhor.

A minha coorientadora Dra. Dayliane por todo carinho, amizade, apoio e parceria nesses anos. Ms. Debora Rocha por toda paciência, amizade e dedicação a me ajudar e ensinar. Obrigada por serem luzes na minha vida.

A todos os professores e funcionários do Laboratório de Central de Sementes, do Departamento de Agronomia da UFLA e em especial ao professor Valter Andrade e a todo o setor de Olericultura.

Agradeço a Dra. Genaina Souza, pelo auxílio e apoio na condução dos experimentos com anatomia. Ao setor de fisiologia vegetal da Universidade Federal de Viçosa e a Renata e Jailson pela amizade e carinho.

A todos os amigos do NESem, pela amizade e por todos os conhecimentos adquiridos.

A todos os amigos do Laboratório Central de Sementes, a Jaqueline, a Viviana, Amanda, Ana Esther, Ana Flávia, Ana Maria, Ana Reale, Cristhiane, Elias, Elizabeth, Giovani, Juara, Julia, Karen, Leandro, Leonardo, Livia, Marina, Monique, Pedro Cavasin, Rafaella, Ranuelli, Raquel, Stephanie, Venicius. E a todos os amigos da Fitotecnia/ UFLA, em especial a Aline, Alessandro, Julia e Mannon.

Aos meus pais e a minha irmã pelo amor, confiança e incentivo em todos os momentos de minha vida. Aos meus familiares e amigos Iagor, Ana Paula, Cleyton, Tania, Delva, Crésio, Carol, Denis, Felipe, Naly, Karine, Marcelo, Duda, Matheus, Francisca e aos meus Sogros José Roberto (*In memoriam*) e Regina.

Ao meu noivo Diego, por todo apoio, carinho e suporte em todos os momentos que estamos juntos. E a Cláudia Roquini por ser minha amiga em todos os momentos desde a infância. Muito obrigada!

RESUMO GERAL

A semente de batata-doce apresenta dormência tegumentar e o método recomendado para superá-la é através da exposição em ácido sulfúrico. No entanto, a exposição prolongada em ácido pode ocasionar danos ao embrião e consequências no desenvolvimento das plântulas. Dessa forma, o objetivo no presente trabalho foi avaliar por meio de análises fisiológicas, anatômicas e enzimáticas o período de imersão ideal das sementes de batata-doce em ácido sulfúrico para superar a dormência. As sementes foram escarificadas utilizando ácido sulfúrico concentrado em nove períodos de imersão: 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, e 40 minutos. Para análises fisiológicas foi realizado teste de germinação, índice de velocidade de germinação, primeira contagem de germinação, emergência e índice de velocidade de emergência. Utilizando o sistema GroundEye® foi quantificado o tamanho da raiz primária, a razão do tamanho da raiz primária pelo hipocótilo e o tamanho total da plântula. Além disso, foi feita análise da expressão enzimática das seguintes enzimas: catalase, superóxido dismutase e ascorbato peroxidase. Para avaliação da anatomia foi avaliada a espessura, desgaste e intensidade da coloração do tegumento. Não houve diferença significativa na germinação quando as sementes foram imersas por 30, 35 e 40 minutos em ácido sulfúrico, apresentando maior porcentagem de plântulas normais. Os períodos de 30 e 40 minutos de imersão apresentaram porcentagem de germinação superior de plântulas normais na primeira contagem. O índice de velocidade de germinação é maior quando as sementes de batata-doce são imersas por 40 minutos. A porcentagem de plântulas emergidas é superior quando as sementes são escarificadas por 35 e 30 minutos. O índice de velocidade de emergência é maior quando as sementes são imersas por 25, 30, 35 e 40 minutos. Na avaliação física, o tamanho do hipocótilo teve melhor desempenho em plântulas cuja sementes receberam escarificação química por mais de 5 minutos. A enzima superóxido dismutase apresentou aumento da atividade a partir de 5 minutos de imersão. A atividade da ascorbato peroxidase foi superior em sementes imersas por 15, 20, 25, 30, 35 e 40 minutos. Na avaliação anatômica, sementes sem escarificação química e as escarificadas por 5, 10, 15, 20 e 25 minutos apresentaram ausência ou poucas rupturas do tegumento. Já as sementes imersas por 30, 35 e 40 minutos apresentaram menor espessamento e ruptura no tegumento. Na análise térmica observou-se que 6h após o início da embebição, as sementes imersas em ácido sulfúrico por 35 e 40 minutos apresentaram maior atividade metabólica e algumas sementes já apresentavam protusão radicular. Após 24h de embebição, as sementes escarificadas por 15, 20 e 25 minutos apresentavam coloração amarelo mais intenso e algumas sementes apresentavam protusão radicular. Enquanto, as sementes escarificadas por 30, 35 e 40 minutos apresentavam coloração avermelhadas e praticamente todas as sementes já apresentavam protusão radicular. Portanto, a utilização de ácido sulfúrico é eficiente na quebra de dormência de sementes de batata-doce sendo o período recomendado para sementes de batata-doce de 30, 35 e 40 minutos.

Palavras-chave: *Ipomoea batatas* (L.) Lam. Ácido sulfúrico. Qualidade de sementes.

GENERAL ABSTRACT

The sweet potato seed shows hard coat dormancy and the recommended method to break this dormancy is exposing the seed for long periods in sulfuric acid. However, prolonged exposure to this acid can cause damage to the seed embryo and consequences for the seedlings development. Thus, the purpose of this investigation was to evaluate the best immersion period of sweet potato seeds in sulfuric acid in order to break the dormancy through physiological, anatomical and enzymatic analyses. The seeds were scarified using concentrated sulfuric acid in nine immersion periods: 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, and 40 minutes. For physiological analysis, germination test, germination speed index, first germination count test, emergence and emergence speed index were performed and by image analysis using the GroundEye® system were quantified the primary root size, ratio of primary root size by the hypocotyl and the seedling total size. Furthermore, the enzymatic expression analysis was made for the following enzymes: catalase, superoxide dismutase and ascorbate peroxidase. For the anatomic evaluation was evaluated the thickness, stress and hard coat color intensity. There was no significant difference in germination when the seeds were immersed for 30, 35 and 40 minutes in sulfuric acid, and it shows a higher percentage of normal seedlings. The 30 and 40 minutes periods of immersion showed a higher percentage of normal seedlings in the first count. The germination speed index is higher when the sweet potato seeds are immersed for 40 minutes. The percentage of emerged seedlings is higher when the seeds are scarified for 35 and 30 minutes. The emergence speed index is higher when the seeds are immersed for 25, 30, 35 and 30 minutes in sulfuric acid. The hypocotyl size had better performance in seedlings which received chemical scarification for over than 5 minutes. The superoxide dismutase enzyme showed increased activity from 5 minutes of immersion. The ascorbate peroxidase activity was higher in seeds which were immersed for 15, 20, 25, 30, 35 and 40 minutes. In anatomic evaluation, seeds without chemical scarification and seeds which were scarified for 5, 10, 15, 20 and 25 minutes showed absence or a few breaks on the hard coat. In the other hand, the seeds which were immersed for 30, 35 and 40 minutes showed less thickening and hard coat breaking. In thermal analysis was observed that after 6h from the soaking, the seeds which were immersed in sulfuric acid for 35 and 40 minutes showed higher metabolic activity and some of them already showed root protrusion. After 24h of soaking, the seeds which were scarified chemically for 15, 20 and 25 minutes showed an intense yellow color and some seeds showed root protrusion and the seeds which were scarified for 30, 35 and 40 minutes showed a reddish color and practically all the seeds were already with root protrusion stage. Therefore, the use of sulfuric acid is efficient in breaking the dormancy of sweet potato seeds, with the recommended period for sweet potato seeds being 30, 35 and 40 minutes.

Keywords: *Ipomoea batatas* (L.) Lam. Sulfuric acid. Seed quality.

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 1

- Figura 1 - Porcentagem de germinação de sementes de batata-doce submetidas a diferentes períodos de imersão em ácido sulfúrico.43
- Figura 2 - Semente de batata-doce e o início do processo de germinação após a embebição.44
- Figura 3 - Comprimento do hipocótilo (linha verde), tamanho da raiz primária (linha vermelha), tamanho total da plântula de batata-doce resultado da soma do tamanho do hipocótilo e o tamanho da raiz primária obtidos pelo sistema GroundEye®, Lavras, 2021.45
- Figura 4 - Atividade da superóxido dismutases (SOD) em função do período de imersão de sementes de batata-doce em ácido sulfúrico.48
- Figura 5 - Atividade da Catalase (CAT) em função do período de imersão de sementes de batata-doce em ácido sulfúrico.48
- Figura 6 - Atividade da ascorbato peroxidase (APX) em função do período de imersão de sementes de batata-doce em ácido sulfúrico.49

ARTIGO 2

- Figura 1 - Anatomia de luz de sementes de batata-doce coradas com azul de toluidina submetidas a imersão em ácido sulfúrico por 0, 5, 10, 15, 20 e 25 minutos. A = semente inteira, B = Tegumento (tg); corado em azul claro macroesclereídes, coloração arrouxeada osteoesclereídes (os), C = imagem aumentada do cotilédone (ct) e dos tegumentos, D = imagem aumentada da região do eixo embrionário (ee), destacando as células do eixo, osteoesclereídes e macroesclereídes. Setas pretas indicam ruptura do tegumento, cabeças de seta destaca o tegumento com a parte externa lignificada. Seta branca indica células do eixo embrionário com problemas de infiltração. Marcadores vermelhos evidenciam o alto espessamento imposto pelo tegumento e seus componentes. Endosperma (ed), Esclereídes (es). Barras = 500 μ m.61
- Figura 2 - Porcentagem de germinação de sementes de batata-doce submetidas a diferentes períodos de imersão em ácido sulfúrico.62
- Figura 3 - Anatomia de luz de sementes de batata-doce coradas com azul de toluidina submetidas a imersão em ácido sulfúrico por 30, 35 e 40 minutos. A = semente

inteira, B = Tegumento (tg); corado em azul claro macroesclereídes, coloração arrouxeada osteoesclereídes (os), C = imagem aumentada do cotilédone (ct) e dos tegumentos, D = imagem aumentada da região do eixo embrionário (ee), destacando as células do eixo, osteoesclereídes e macroesclereídes. Setas pretas indicam ruptura do tegumento, cabeças de seta destaca o tegumento com a parte externa lignificada. Seta branca indica células do eixo embrionário com problemas de infiltração. Marcadores vermelhos evidenciam o alto espessamento imposto pelo tegumento e seus componentes. Endosperma (ed), Esclereídes (es). Barras = 500 μ m. 63

Figura 4 - Imagens capturadas por câmera acoplada a lupa de sementes de batata-doce A = semente sem escarificação; B = Semente imersa por 15 minutos em ácido sulfúrico; C = Semente imersa por 30 minutos em ácido sulfúrico; D = Semente imersa por 40 minutos em ácido sulfúrico. 64

Figura 5 - Análise térmica de sementes de batata-doce no início da embebição (0h). A = sementes sem imersão em ácido sulfúrico, B = sementes imersas por 5 minutos em ácido sulfúrico, C = sementes imersas por 10 minutos em ácido sulfúrico, D = sementes imersas por 15 minutos em ácido sulfúrico, E = sementes imersas por 20 minutos em ácido sulfúrico, F = sementes imersas por 25 minutos em ácido sulfúrico, G = sementes imersas por 30 minutos em ácido sulfúrico, H = sementes imersas por 35 minutos em ácido sulfúrico e I = sementes imersas por 40 minutos em ácido sulfúrico. 65

Figura 6 - Análise térmica de sementes de batata-doce após 6h do início da embebição. A = sementes sem imersão em ácido sulfúrico, B = sementes imersas por 5 minutos em ácido sulfúrico, C = sementes imersas por 10 minutos em ácido sulfúrico, D = sementes imersas por 15 minutos em ácido sulfúrico, E = sementes imersas por 20 minutos em ácido sulfúrico, F = sementes imersas por 25 minutos em ácido sulfúrico, G = sementes imersas por 30 minutos em ácido sulfúrico, H = sementes imersas por 35 minutos em ácido sulfúrico e I = sementes imersas por 40 minutos em ácido sulfúrico. 67

Figura 7 - Análise térmica de sementes de batata-doce após 24h de embebição. A = sementes sem imersão em ácido sulfúrico, B = sementes imersas por 5 minutos em ácido sulfúrico, C = sementes imersas por 10 minutos em ácido sulfúrico, D = sementes imersas por 15 minutos em ácido sulfúrico, E = sementes imersas por 20 minutos em ácido sulfúrico, F = sementes imersas por 25 minutos em

ácido sulfúrico, G = sementes imersas por 30 minutos em ácido sulfúrico, H =
sementes imersas por 35 minutos em ácido sulfúrico e J = sementes imersas
por 40 minutos em ácido sulfúrico.68

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1

- Tabela 1 - Porcentagem de germinação, Porcentagem de plântulas normais na primeira contagem de germinação, Índice de velocidade de germinação (IVG), Índice de velocidade de emergência (IVE) e Porcentagem de plântulas emergidas de batata-doce de acordo com o período de imersão em ácido sulfúrico. UFLA, Lavras, 2021.42
- Tabela 2 - Tamanho do hipocótilo (cm), tamanho da raiz primária (cm), razão do tamanho da raiz primária pelo hipocótilo (cm) e tamanho total de plântulas de batata-doce submetidas a diferentes períodos de imersão em ácido sulfúrico analisadas por meio do sistema GroundEye®. UFLA, Lavras, 2021.....46

LISTA DE ABREVIATURAS

APX	Ascorbato peroxidase
CAT	Catalase
CIP	<i>International Potato Center</i>
H ₂ SO ₄	Ácido sulfúrico
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IVE	Índice de velocidade de emergência
IVG	Índice de velocidade de germinação
SOD	Superóxido dismutase

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE.....	14
1	INTRODUÇÃO	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	Batata-doce.....	17
2.2	Dormência	18
2.3	Método químico para superar dormência de sementes	19
2.4	Anatomia de sementes.....	21
2.5	Análise termográfica	22
2.6	Análise de imagem.....	23
2.7	Perfis enzimáticos	25
	REFERÊNCIAS	27
	SEGUNDA PARTE - ARTIGOS	34
	ARTIGO 1 – A QUEBRA DE DORMÊNCIA QUÍMICA EM SEMENTES DE BATATA-DOCE CAUSA PREJUÍZO A QUALIDADE FISIOLÓGICA E A ATIVIDADE ENZIMÁTICA?	35
	ARTIGO 2 – ALTERAÇÕES MORFOANATÔMICAS E BIOQUÍMICAS EM SEMENTES BOTÂNICAS DE BATATA-DOCE APÓS QUEBRA DE DORMÊNCIA COM ÁCIDO SULFÚRICO.....	55

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

A batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) é classificada como sendo uma cultura estratégica para alimentação mundial, pois é extremamente nutritiva e de fácil cultivo, inclusive em áreas pouco agricultáveis. Além disso, a planta apresenta ampla adaptação e baixo custo de produção, sendo cultivada principalmente por meio da agricultura familiar. Diversas partes da planta são comestíveis, incluindo folhas e raízes, podendo ser utilizada para alimentação humana e animal (ANDRADE JÚNIOR *et al.*, 2020; CIP, 2021; TORQUATO-TAVARES *et al.*, 2017; VALADARES *et al.*, 2019).

A batata-doce apresenta grande variabilidade genotípica mantida por produtores que utilizam variedades regionais não-melhoradas, que em média, atingem baixos rendimentos. Nesse sentido, o desenvolvimento e avaliação de materiais melhorados, que atendam à demanda dos produtores e consumidores, são etapas essenciais aos programas de melhoramento, uma vez que contribuem com a introdução de diferentes genótipos com características de interesse ao agricultor e que sejam adaptadas as diversas regiões do país (VARGAS *et al.*, 2017).

A principal forma de propagação da batata-doce é a propagação vegetativa. Entretanto, a planta de batata-doce produz semente via polinização cruzada uma vez que apresenta autoincompatibilidade. Apesar da cultura ser propagada de forma assexuada, as sementes botânicas são de fundamental importância para o desenvolvimento dos programas de melhoramento, principalmente devido à baixa produção de sementes de muitos dos genótipos, ou seja, para garantir a continuidade de um programa de melhoramento com a cultura da batata-doce a alta porcentagem de germinação e a qualidade das plântulas obtidas são fundamentais.

As sementes botânicas de batata-doce apresentam dormência o que dificulta a obtenção de estandes uniformes de plantas. Compreender os mecanismos envolvidos à dormência e a metodologia para sua superação, auxiliam na escolha dos tratamentos específicos para que o metabolismo da semente seja reativado e o embrião desenvolva de forma adequada. Um tipo de dormência, comum em famílias como Fabaceae, Malvaceae e Convolvulaceae, da qual pertence a batata-doce, é aquela relacionada aos envoltórios da semente. Tegumentos considerados duros são responsáveis pelo impedimento da absorção de água e conseqüentemente, à baixa ocorrência da germinação. Quando ocorre a ruptura do tegumento, imediatamente ocorre a embebição e início do processo de germinação (AZANIA *et al.*, 2003; CARMONA *et al.*, 2015; LOPES; NASCIMENTO, 2012; MARCOS-FILHO, 2015).

O tegumento é constituído por camadas celulares originárias dos integumentos ovulares: primina e secundina. A porosidade (forma, tamanho e distribuição dos poros), composição

química (teores de lignina, suberina e cutina) e a presença ou não de endocarpo na formação do tegumento, afetam diretamente a permeabilidade tegumentar e variam de acordo com as espécies (MARCOS-FILHO, 2015).

Estudos relacionados à anatomia e histoquímicas são utilizadas comumente para determinar e localizar barreiras mecânicas e/ou químicas no tegumento de sementes e, assim, orientar métodos de superação de dormência em sementes (FERREIRA; FRANKE; MOÇO, 2011). Muller *et al.* (2020), utilizando análises anatômicas e histoquímica, encontraram modificações na espessura tegumento de sementes *Peltophorum dubium* ao longo do armazenamento, o que promoveu a quebra da dormência. Para a espécie de batata-doce não foram encontradas na literatura pesquisas que estudem a anatomia de suas sementes.

Outra ferramenta que permite a avaliação da qualidade fisiológica das sementes é a análise da atividade enzimática. Essa análise detecta eventos deteriorativos iniciais nas sementes por meio da avaliação de enzimas associadas à degradação e oxidação de substâncias de reserva. A capacidade de avaliação e a correta interpretação das expressões enzimáticas, podem ser eficientes ferramentas na determinação de mudanças bioquímicas resultantes do processo de deterioração. Logo, avaliar a ocorrência de alterações nas atividades enzimáticas das sementes e plântulas, é primordial para estudar as alterações ocorridas no perfil enzimático após a escarificação (CARRARO, 1990; SPINOLA; CÍCERO; DE MELO, 2000).

Desta forma, objetivou-se com este estudo a caracterização fisiológica, enzimática e anatômica de sementes de batata-doce submetidas a quebra de dormência.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Batata-doce

A batata-doce é considerada uma das espécies cultivadas mais importantes do mundo em termos de consumo humano, principalmente na África Subsaariana, partes da Ásia e Ilhas do Pacífico. Domesticada há mais de 5.000 anos na América Latina, é cultivada principalmente em países em desenvolvimento (CIP, 2021). Além disso, é uma planta destinada também para a alimentação animal, especialmente para bovinos, sendo ainda, a produção de biocombustível (etanol) a partir dessa hortaliça, uma alternativa promissora para o setor industrial (ANDRADE JÚNIOR *et al.*, 2020; TORQUATO-TAVARES *et al.*, 2017; VALADARES *et al.*, 2019).

A batata-doce pertence à família botânica *Convolvulaceae*, que agrupa aproximadamente 50 gêneros e mais de 1000 espécies, sendo que dentre elas, somente a batata-doce tem cultivo de expressão econômica. Dentre os membros da família, a batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) é o único membro hexaplóide ($2n = 6x = 90$), além disso, apresenta grande variabilidade dentro da espécie, provavelmente devido ao alto nível de ploidia (DA SILVA; PONIJALEKI; SUINAGA, 2012; RITSCHER *et al.*, 2010).

As raízes possuem variedades de cores e tamanhos. São ricas em proteínas, carboidratos, polifenóis e carotenoides. Possui baixo teor de gordura, apresentando-se como uma boa fonte alimentar de antioxidante para prevenir os danos dos radicais livres. A origem exata da batata-doce não é de todo conhecida, sendo a hipótese de origem na faixa compreendida entre o México e o norte da América do Sul, a mais aceita (ALAM; RANA; ISLAM, 2016; DA SILVA; PONIJALEKI; SUINAGA, 2012; HASKELL *et al.*, 2004).

No mundo são produzidas aproximadamente 105 milhões de toneladas de batata-doce a cada ano. O continente asiático se destaca na produção mundial do vegetal, sendo que 65% da produção pertence aos países desse continente. A China, Malawi, Tanzânia, Nigéria e Etiópia, são respectivamente, os maiores países produtores de batata-doce (CIP, 2021; FAO, 2018).

No Brasil é a sexta hortaliça mais plantada, e sua importância econômica e social é resultante da sua rusticidade e ampla adaptação climática. Na América latina, o Brasil se destaca como o principal produtor, sendo que em 2020 a produção foi de 847.896 toneladas, aumento de 5,5% em comparação com a produção de 2019 e a área de cultivo de aproximadamente 60 mil hectares (FAO, 2018; IBGE, 2020).

A grande diversidade de genótipos e fenótipos que a batata-doce apresenta, é proveniente do seu elevado nível de ploidia. Analisar a variabilidade genética existente na

coleção do melhorista, é primordial em estudos de divergência genética de uma cultura. A escolha dos genitores geneticamente diferentes com características de interesse, ao serem cruzados, possibilita maior efeito heterótico, aumentando as chances de obtenção de máxima variabilidade genética e genótipos superiores em gerações segregantes (CARMONA *et al.*, 2015; OLIVEIRA *et al.*, 2008; PAIXÃO *et al.*, 2008).

Em diversas regiões brasileiras é encontrada uma vasta diversidade de parentes silvestres da batata-doce. Porém, a diversidade genética dessas espécies ainda não está bem representada em coleções de germoplasma do país e encontra-se em risco de desaparecimento em decorrência da intensa fragmentação de habitats e alterações de paisagens naturais, observadas nas últimas décadas em todos os grandes biomas, como a Amazônia, o Cerrado, o Pantanal, a Caatinga e a Mata Atlântica, o que torna primordial o melhoramento genético para essa cultura (SANTOS; SALOMÃO, 2019).

Assim, é iminente a necessidade de manutenção e melhoramento dessa espécie, de tal forma que programas de melhoramento têm sido criados por iniciativas do setor público, como o que acontece na Universidade Federal de Lavras (UFLA).

2.2 Dormência

A germinação de sementes representa um processo fisiológico complexo, que se inicia com a embebição, que consiste no movimento de água através dos tecidos tegumentares e consequente retomada do metabolismo, e culmina com a protrusão do embrião através dos tecidos adjacentes. Portanto, a germinação compreende uma sequência ordenada de eventos metabólicos que resulta no início do desenvolvimento do embrião, originando uma plântula com suas estruturas essenciais para sua sobrevivência (BEWLEY *et al.*, 2013).

A dormência é definida como um fenômeno em que as sementes, mesmo sob condições ambientais favoráveis à germinação, se mantêm incapazes de germinarem durante determinado período (BASKIN; BASKIN, 2004).

Algumas condições ambientais específicas induzem a formação de estruturas ou mecanismos de dormência em sementes de algumas espécies. Assim, mesmo quando o desenvolvimento morfológico dessas estruturas e a sua transição fisiológica para o estado de dormência estão sob controle endógeno, o mecanismo principal que dá origem a esses eventos depende da percepção e resposta a sinais do ambiente. Dentre os fatores ambientais que induzem a dormência nas sementes, destacam-se o fotoperíodo, a temperatura, a umidade

relativa do ar e a disponibilidade hídrica (LOPES; NASCIMENTO, 2012; MARCOS-FILHO, 2015).

Em sementes pertencentes aos grupos das plantas hortaliças, forrageiras, algumas frutíferas e em espécies arbóreas e ornamentais, a dormência é um fenômeno recorrente. Sua duração é bastante variável entre as espécies, entretanto, alguns estudos já mostraram, que as sementes de hortaliças e gramíneas forrageiras expressam um curto período de dormência. A impermeabilidade do tegumento à água é um dos mecanismos mais conhecidos e citados de dormência encontrado em várias famílias botânicas, tais como, *Fabaceae*, *Malvaceae*, *Convolvulaceae*, *Chenopodiaceae* e *Solanaceae* (BORGHETTI; FERREIRA, 2004; LOPES; NASCIMENTO, 2012).

Estudos sobre a propagação de plantas pertencentes ao gênero *Ipomoea* comprovam a ocorrência de dormência em suas sementes, sendo que o tipo predominante entre suas espécies, é a impermeabilidade dos tegumentos das sementes à água e aos gases (ABDO; FABRI, 2015; AZANIA *et al.*, 2003; PAZUCH *et al.*, 2015).

Essa impermeabilidade tegumentar pode ser induzida durante o processo de maturação das sementes. A porcentagem de sementes duras pode variar entre sementes da mesma planta e entre plantas diferentes, como resultado do genótipo, da desuniformidade de maturação e das alterações das condições climáticas durante esse período. A ocorrência de sementes duras tende a aumentar em condições de baixa umidade relativa tanto durante a fase de maturação, quanto na fase de armazenamento das sementes (LOPES; NASCIMENTO, 2012; MARCOS-FILHO, 2015).

A formação de sementes duras contribui para a distribuição temporal da germinação, uma vez que proporciona a sobrevivência das espécies em condições naturais. Porém, se torna prejudicial à agricultura por favorecer a persistência de bancos de sementes de plantas daninhas. A existência de sementes duras também é indesejável pois, provoca a germinação desuniforme comprometendo o estabelecimento do estande (MARCOS-FILHO, 2015).

2.3 Método químico para superar dormência de sementes

Para ocorrer a germinação das sementes com dormência física, é necessário o rompimento dessa barreira à passagem da água, que em laboratório é feito por escarificação química ou ácida. Esse tipo de tratamento torna-se mais prático do que a escarificação mecânica, e tem se destacado entre os métodos utilizados para a superação da dormência

tegumentar de sementes de espécies arbóreas brasileiras (ANDRADE JÚNIOR *et al.*, 2020; BORTOLINI *et al.*, 2011; BRITES; SILVA JÚNIOR; TORRES, 2011).

A dormência física pode ser superada utilizando-se diversas técnicas de escarificação desenvolvidas para causar ruptura ou desgaste dos tegumentos da semente e permitir a hidratação e o início do processo de germinação, sem afetar a viabilidade da semente e a emergência das plântulas. A escarificação ácida (por meio do uso do ácido sulfúrico ou ácido clorídrico, por exemplo), a escarificação por aquecimento (usando o calor seco, areia aquecida ou água quente), a escarificação por frio (por meio do congelamento-descongelamento) e a escarificação mecânica (com o uso da lixa, tesouras e alicate) são os métodos mais utilizados para a quebra de dormência de sementes (KIMURA; ISLAM, 2012; PAZUCH *et al.*, 2015).

Sementes de diferentes espécies de *Ipomoea* respondem de forma distinta a esses métodos de superação de dormência e a determinação do método mais eficaz para promover a quebra de dormência das sementes de cada espécie é essencial para permitir a germinação das sementes dessas espécies. As sementes da batata-doce sem um pré-tratamento capaz de romper o tegumento, apresentavam poder germinativo muito baixo, o que tornava necessário a escarificação para que elevados índices de germinação sejam obtidos (AZANIA *et al.*, 2003; KIMURA; ISLAM, 2012; PAZUCH *et al.*, 2015).

O tratamento com ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄) é indicado para superar a dormência das unidades de dispersão (sementes, núculas, aquênios, antécios férteis, cariopses etc.) de algumas espécies. As unidades de dispersão são imersas no ácido até a escarificação dos envoltórios, sendo o tempo de permanência no ácido, variável conforme espécie (BRASIL, 2009).

Em Convolvulaceae, família na qual pertence a batata-doce, o uso de ácido sulfúrico se destacou como método de superação de dormência, proporcionando 100% de germinação das sementes de *Ipomoea hederacea* (STOLLER; WAX, 1974). Para escarificar a espécie *Ipomoea obscura*, o uso de ácido sulfúrico durante 30 e 120 minutos proporcionou 53,6 e 97,2% de germinação, respectivamente (HARDCASTLE, 1978). Em *Ipomoea pandurata* a germinação foi superior a 80% quando as sementes foram imersas em ácido sulfúrico durante 20 a 80 minutos (HORAK; WAX, 1991). O ácido sulfúrico concentrado proporcionou 100% de germinação para *Ipomoea obscura*, *Ipomoea aquatica* e *Ipomoea hederifolia* (OGUNWENMO; UGBOROGHO, 1998). Em sementes botânicas de batata-doce apresentaram germinação superior a 90% quando escarificadas em ácido sulfúrico durante 40 minutos (BRITO *et al.*, 2021).

Sementes de duas espécies de corda-de-viola: *Ipomoea indivisa* e *Ipomoea purpurea* ficaram imersas no ácido sulfúrico (98%) por 10 minutos. Foi observado aumento nos percentuais de germinação das sementes de *I. indivisa* e *I. purpurea* em 780 e 512%, respectivamente, em relação à testemunha. Além disto, as sementes de *I. purpurea* alcançaram 92% de germinação no primeiro dia com a escarificação química e a testemunha apenas 8% (PAZUCH *et al.*, 2015).

Wilson *et al.* (1989), recomendam a escarificação de sementes de batata-doce em ácido sulfúrico (98%) por 40 minutos em um recipiente de vidro. Após a imersão em ácido, os autores recomendam o enxágue em dois recipientes com água, e por fim deve-se fixar as sementes em uma torneira com água corrente por 5 a 10 minutos. Utilizando essa metodologia, os autores obtiveram 95% de germinação. Porém, os mesmos autores observaram que o agente químico pode causar danos á sementes e comprometer o embrião, levando inclusive, a morte (NUNES *et al.*, 2006).

2.4 Anatomia de sementes

A estrutura da testa é variável conforme os caracteres específicos do óvulo, principalmente no que diz respeito ao número e espessura dos tegumentos e arranjo do tecido vascular. Além do mais, a testa sofre interferência das modificações que ocorrem durante o desenvolvimento e maturação da semente. O tegumento é constituído por camadas celulares originárias dos integumentos ovulares, sendo que a porosidade, a composição química e a estrutura, afetam diretamente a permeabilidade do tegumento (ESAU, 1974).

Em algumas espécies, a restrição à embebição de água é resultante de modificações causadas pela desidratação das paredes celulares do tegumento da semente. Em outras, é causada pela impregnação das membranas celulares, como lignina, lipídios, suberina ou taninos. O desenvolvimento de sementes com tegumentos impermeáveis é influenciado pelo fotoperíodo durante o desenvolvimento das plantas, taxa e grau de secagem na maturação ou pós-colheita e a presença de substâncias fenólicas oxidadas que conferem a coloração escura no tegumento da semente (BEWLEY *et al.*, 2013; MARCOS-FILHO, 2015).

Os tecidos extra-embriônários são atuantes nos casos da dormência tegumentar, influenciada principalmente pelas características anatômicas dos envoltórios. Assim, a semente é dormente devido aos tecidos que envolvem o embrião (pericarpo, testa, endosperma, órgãos florais) que exercem uma restrição a qual o embrião não pode obstruir. As sementes com tegumento impermeável à água são denominadas de sementes duras. A ruptura desse é

imediatamente seguida pela embebição e início do processo germinativo (LOPES; NASCIMENTO, 2012).

A anatomia vegetal é uma ferramenta essencial na resolução de problemas, envolvendo as prováveis relações entre família, gênero e espécies, através de incorporações de dados anatômicos aos estudos morfológicos. Considerando a anatomia como um importante instrumento de valor taxonômico, tornam-se necessárias investigações da estrutura dos órgãos vegetativos das espécies, cuja caracterização pode ser utilizada como parâmetro na identificação dos táxons (CUTLER; BOTHA; STEVENSON, 2009; SANTOS; SILVA, 2018).

A utilização da anatomia como subsídio à taxonomia, tem sido efetiva, pois caracteres anatômicos servem como dados adicionais às características morfológicas, além de serem usados para resolverem problemas taxonômicos, sendo úteis para a caracterização de famílias, gêneros ou estabelecer afinidades entre os táxons (CALQUIST, 1961; STACE, 1984).

Lima e Melo (2019), estudaram a taxonomia de várias espécies do gênero *Ipomoea* considerando a representatividade do gênero aliada à sua importância econômica e à necessidade de estudos para o Estado da Paraíba. Eles conseguiram neste estudo apresentar o levantamento taxonômico de *Ipomoea* na Mesorregião Agreste da Paraíba e, além disso, incluíram à chave dicotômica, descrições morfológicas, dados de distribuição geográfica e de floração e ou frutificação. Santos e Silva (2018), estudaram a anatomia e a histoquímica das folhas e caules de quatro espécies de *Ipomoea*: *I. bahiensis*, *I. nil*, *I. setosa*, e *I. triloba*. Os autores obtiveram caracteres distintos na anatomia foliar para as espécies estudadas, capazes de serem empregados como recurso adicional a estudos taxonômicos.

Islam, Izekor e Garner (2010), avaliaram o efeito da tolerância ao frio na anatomia foliar de quatro genótipos de batatas-doces. As pesquisas conduzidas com anatomia dentre os indivíduos do gênero *Ipomoea* se limitam aos órgãos vegetativos, em estudos de anatomia foliar. Estudos com anatomia das sementes de *Ipomoea* são ausentes na literatura.

2.5 Análise termográfica

A absorção de água na germinação é trifásica. A reidratação das macromoléculas celulares ativa os processos metabólicos basais, incluindo a respiração, a transcrição e a tradução. Na fase I, as sementes secas embebem ou absorvem água rapidamente. Já que a água flui do potencial hídrico mais alto para o mais baixo, a absorção de água cessa quando a diferença no potencial hídrico entre a semente e o ambiente se torna zero. Durante a fase II, as células expandem-se e a radícula emerge da semente. A atividade metabólica aumenta e ocorre

o afrouxamento da parede celular. Na fase III, a absorção de água reinicia à medida que a plântula se estabelece (NONOGAKI; BASSEL; BEWLEY, 2010; TAIZ *et al.*, 2017).

Durante o processo de embebição na germinação, há um aumento no volume da semente, ou seja, o volume de água absorvido é superior ao volume do peso da matéria seca da semente. Contudo, ocorre uma liberação de calor durante o início da absorção de água devido ao desenvolvimento. Knížková *et al.* (2007) citam que a câmera termográfica é capaz de detectar variações mínimas de temperatura com precisão. Com isso, a utilização da análise de termografia infravermelha torna possível identificar pontos de valores distintos de temperatura radiante e tem sido valiosa para o reconhecimento de eventos fisiológicos em animais e plantas quando submetidas a estresse. Thakur *et al.* (2020) avaliaram por meio de câmera com infravermelho, a temperatura de sementes de cebola durante a embebição (BOUZIDA; BENDADA; MALDAGUE, 2009).

As pequenas quantidades de sementes botânicas de batata-doce é uma limitação para ampliar os estudos dessas sementes. Por isso, torna-se necessário o uso de métodos não destrutivos para avaliar os comportamentos dessas espécies. Um dos métodos de características não destrutivas refere-se ao uso de imagens obtidas com câmera (BARBOSA *et al.*, 2019).

Na agricultura, Jones (1999) identificou estresse hídrico na cultura do feijoeiro com câmeras térmicas, a partir do aumento da temperatura foliar devido a diminuição na transpiração. Römer *et al.* (2012) também identificaram precocemente estresse hídrico por meio de câmera hiperspectral em cevada e milho. Porém, não foi encontrado estudos utilizando câmera térmica em sementes.

2.6 Análise de imagem

A uniformidade e a velocidade de emergência de plântulas são determinantes para o sucesso do estabelecimento da cultura. Para analisar o vigor dos lotes, testes são utilizados visando principalmente, a identificação do desempenho de diferentes lotes de sementes, em condições de armazenamento ou após a semeadura (MARCOS FILHO; KIKUTI; LIMA, 2009).

A análise de vigor por meio de imagens pode contribuir para avanços na padronização de avaliação. Segundo Andrade (2017), além de ser uma técnica rápida, não destrutiva e objetiva, as informações obtidas por esse método podem compor bancos de dados que serão posteriormente acessados.

Os estudos que correlacionam a imagem de sementes e plântulas e o vigor de sementes fazem parte do que há de mais moderno em análise de sementes. De acordo com Marcos Filho,

Kikuti e Lima (2009), por meio da análise computadorizada foi possível obter o índice de vigor, grau de uniformidade de desenvolvimento e avaliação do comprimento de plântulas ou de suas partes por meio de imagens de plântulas utilizando o *Seed Vigor Imaging System (SVIS®)*.

Para Ávila (2017), a avaliação de plântulas por meios computacionais, contribui para otimização do tempo utilizado e menor subjetividade nas análises, uma vez que o processo sofre menor influência do analista. Além disso, por meio da técnica de análise de imagem é possível extrair dados contidos na imagem e processar diferentes informações a partir desses dados (ANDRADE, 2014).

Uma imagem é composta por uma função bidimensional, $f(x, y)$ sendo que x e y são denominadas coordenadas espaciais, e a amplitude de f em algum par de coordenadas (x, y) é denominada de intensidade ou nível de cinza da imagem. A imagem digital é formada quando os valores de suas coordenadas e amplitude forem quantidades determinadas e discretas. A imagem digital é formada por uma combinação de elementos finitos, cada um com determinado valor e localização (GONZALEZ; WOODS, 2010). Esses elementos são denominados de “pixels” e constituem os menores elementos formadores de uma matriz digital (GONZALEZ; WOODS, 2000).

O processamento digital de imagens compreende basicamente 4 etapas: a aquisição da imagem, pré-processamento, segmentação e a análise. A aquisição da imagem pode ser realizada por meio de uma câmera fotográfica, scanner ou outro sensor que produza uma imagem digital. A próxima etapa consiste em realizar melhorias na imagem, como fazer realces de contraste e remoção de ruídos e assim garantir sucesso nas próximas etapas. Portanto, o método consiste na captação de imagens digitais múltiplas de plântulas, que são processadas em computador, gerando valores numéricos que representam o potencial fisiológico das sementes com base em parâmetros preestabelecidos. Os dados incluem índices de vigor, de crescimento e comprimento de plântulas (GONZALEZ; WOODS, 2000; SAKO *et al.*, 2001).

O *GroundEye®* é um sistema (*hardware + software*) produzido pela empresa *Tbit* e tem demonstrado grande potencial para análise de sementes e plântulas por meio de análise de imagens de alta resolução. Tem a capacidade de extrair dados de cor, textura e geometria de sementes, totalizando 328 características possíveis de serem analisadas, além de analisar individualmente cada plântula e fornecer índices de crescimento, uniformidade e vigor de plântulas (ABREU *et al.*, 2016; ÁVILA, 2017).

A análise de imagem tem cumprido as finalidades para teste de vigor propostas por Bennett (2002). São elas: fornecer resposta consistente com a classificação dos lotes segundo o seu desempenho, ser objetivo, rápido, simples e econômico, repetível e de fácil interpretação.

Ferreira *et al.* (2020) afirmam que a adoção do sistema GroundEye® com categorizador de sementes crioulas de milho foi eficiente para a seleção destas em relação aos seus caracteres quantitativos. Resultados semelhantes encontrados por Lima *et al.* (2018), no qual o sistema foi hábil na avaliação de plântulas e vigor de sementes de Paricarana. Melo (2020) trabalhando também com sementes de batata-doce utilizou o sistema GroundEye® para analisar 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 sendo muito eficiente para essas características. Para avaliação de plântula quantificou tamanho de hipocótilo, tamanho da raiz primária e a razão raiz primária pelo hipocótilo, nos quais apenas o tamanho do hipocótilo apresentou diferença significativa.

2.7 Perfis enzimáticos

A produção de radicais livres constitui um processo contínuo e fisiológico, cumprindo funções biológicas relevantes. Durante os processos metabólicos, esses radicais atuam como mediadores para a transferência de elétrons nas várias reações bioquímicas. Sua produção, em proporções adequadas, possibilita a geração de ATP (energia), por meio da cadeia transportadora de elétrons; fertilização do óvulo; ativação de genes; e participação de mecanismos de defesa durante o processo de infecção. Porém, a produção excessiva pode conduzir a danos oxidativos (FERREIRA; MATSUBARA, 1997; SHAMI; MOREIRA, 2004).

Sementes em condições estressantes e desfavoráveis à sua germinação, apresentam a formação de radicais livres, que consistem em um grupo de átomos com elétrons não pareados, bastante reativos e capazes de destruir grandes polímeros, como os lipídios de membrana. Os principais agentes oxidantes gerados são hidroxilas ($\text{OH}\cdot$) superóxidos ($\text{O}_2^{\cdot-}$) e os peróxidos de hidrogênio (H_2O_2). Uma vez presente na célula, estes podem iniciar reações oxidativas em cadeias, altamente prejudiciais, especialmente com ácidos graxos poli-insaturados, originando hidroperóxidos de lipídios (MARCOS-FILHO, 2015; MCDONALD, 1999).

Enzimas removedoras de radicais livres também desempenham papel importante na qualidade de sementes. A Ascobato peroxidase (APX) é uma enzima que contribui significativamente para a ação de mecanismos de defesa das sementes, reduzindo a exposição dos sistemas de membranas aos efeitos do oxigênio. A enzima remove radicais livres e utiliza peróxido de hidrogênio para oxidar substâncias doadoras de hidrogênio, como fenóis, diaminas, ácido ascórbico, aminoácidos e alguns íons inorgânicos (MARCOS-FILHO, 2015).

Outra enzima relacionada à remoção de radicais livres é a superoxidase (SOD) que é a primeira enzima que atua na linha de defesa contra formas reativas de oxigênio. Essa enzima anula a ação dos radicais superóxidos livres ($O_2^{\bullet-}$), catalisando reações de transferência de dois elétrons para a produção de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e oxigênio molecular. São encontradas em cloroplastos, peroxissomos, mitocôndrias, citosol e apoplasto (MCDONALD, 1999; TAIZ *et al.*, 2017).

A catalase é uma enzima intracelular com capacidade de transformar formas reativas de oxigênio em formas inofensivas, ou seja, a catalase atua na desintoxicação celular e na decomposição do peróxido de hidrogênio por reação de dismutação, convertendo o H_2O_2 produzido pela β -oxidação em H_2O e $O_2^{\bullet-}$. São encontradas altas concentrações de catalase nos glioxissomos e nos peroxissomos (NELSON; COX, 2014).

Na literatura não foram encontrados estudos que correlacionem uso de perfis enzimáticos na determinação de alterações bioquímicas com o possível estresse, que pode ocorrer em sementes que apresentam como método de escarificação para quebra de dormência, o uso do ácido sulfúrico.

REFERÊNCIAS

- ABDO, M. T. V. N.; FABRI, E. G. Transferência de tecnologia: guia prático para quebra de dormência de sementes de espécies florestais nativas. **Pesquisa & Tecnologia**, [São Paulo], v. 12, n. 2, p. 1-7, jul./dez. 2015. Disponível em: <http://www.aptaregional.sp.gov.br/acesse-os-artigos-pesquisa-e-tecnologia/edicao-2015/julho-dezembro-3/1670-tecnologia-guia-pratico-para-quebra-de-dormencia-de-sementes-de-especies-florestais-nativas/file.html>. Acesso em: 14 nov. 2020.
- ABREU, L. A. de S. *et al.* Computerized analysis in the physiological quality of coffee seeds. **International Journal of Current Research**, [New York], v. 8, n. 11, p. 40820-40823, Nov. 2016. Disponível em: <https://www.journalcra.com/article/computerized-analysis-physiological-quality-coffee-seeds>. Acesso em: 23 abr. 2020.
- ALAM, M. K.; RANA, Z. H.; ISLAM, S. N. Comparison of the proximate composition, total carotenoids and total polyphenol content of Nine Orange-Fleshed Sweet Potato varieties grown in Bangladesh. **Foods**, [Basel], v. 5, n. 3, p. 64, Sept. 2016. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28231159/>. Acesso em: 04 maio 2020.
- ANDRADE, D. B. de. **Evaluation of the physiological quality of tobacco seeds through image analysis**. 2017. 49 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017. Disponível em: http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/15407/1/TESE_Evaluation%20of%20the%20physiological%20quality%20of%20tobacco%20seeds%20through%20image%20analysis.pdf. Acesso em: 23 abr. 2020.
- ANDRADE, D. B. de. **Sistema de análise de sementes (SAS) na detecção de misturas varietais e de sementes esverdeadas em soja**. 2014. 78 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia - Sementes) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/2653>. Acesso em: 23 abr. 2020.
- ANDRADE JÚNIOR, V. C. de *et al.* Association between agronomic characters and hay quality of sweet potato branches. **Horticultura Brasileira**, [Recife], v. 38, n. 1, p. 27-32, Jan./Mar. 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/LzKxPRHYpgbdjDQ949HZ7rQ/?lang=en>. Acesso em: 12 jul. 2021.
- 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. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/12772>. Acesso em: 23 abr. 2020.
- AZANIA, A. A. P. M. *et al.* Métodos de superação de dormência em sementes de Ipomoea e Merremia. **Planta Daninha**, [Viçosa], v. 21, n. 2, p. 203–209, ago. 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pd/a/b7JLQMm3QpbH4xpTgCjVjyr/?lang=pt>. Acesso em: 23 abr. 2020.

BARBOSA, J. Z. *et al.* Uso de imagens digitais obtidas com câmeras para analisar plantas. **Revista de Ciências Agrárias**, [Lisboa], v. 39, n. 1, p. 15–24, jan. 2019. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/index.php/rca/article/view/16350>. Acesso em: 25 jun. 2020.

BASKIN, J. M.; BASKIN, C. C. A classification system for seed dormancy. **Seed Science Research**, [Wallingford], v. 14, n. 1, p. 1–16, Mar. 2004. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/seed-science-research/article/classification-system-for-seed-dormancy/024181C2EEE1FC55B9D7578660A5CB66>. Acesso em: 18 nov. 2019.

BENNETT, M. Saturated salt accelerated aging (SSAA) and other vigor tests for vegetable seeds. In: **Proceedings international seed seminar: Trade, production and technology**. Santiago-Chile: PUC de Chile, 2002. p. 188-193.

BEWLEY, J. D. *et al.* **Seeds: physiology of development, germination and dormancy**. 3rd ed. New York: Springer, 2013. 392 p.

BORGHETTI, F.; FERREIRA, A. G. **Germinação: Do básico ao aplicado**. Porto Alegre: Artmed Editora, 2004.

BORTOLINI, M. F. *et al.* Superação de dormência em sementes de *Gleditschia amorphoides* Taub. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 5, p. 823-827, maio 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/fygzQG3BKrcr8RJdvQYTGKn/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 18 nov. 2019.

BOUZIDA, N.; BENDADA, A.; MALDAGUE, X. P. Visualization of body thermoregulation by infrared imaging. **Journal of Thermal Biology**, [Kidlington], v. 34, n. 3, p. 120-126, Apr. 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306456508001228>. Acesso em: 24 set. 2021.

BRASIL. **Regras para análise de sementes**. 1. ed. Brasília, 2009.

BRITES, F. H. R.; SILVA JÚNIOR, C. A. da; TORRES, F. E. Germinação de semente comum, escarificada e revestida de diferentes espécies forrageiras tropicais. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 4, p. 629–634, jul./ago. 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/265643610_Germinacao_de_semente_comum_esca_rificada_e_revestida_de_diferentes_especies_forrageiras_tropicais. Acesso em: 18 nov. 2019.

BRITO, O. G. *et al.* Flowering capacity and botanical seed production of sweet potato genotypes. **Horticultura Brasileira**, [Recife], v. 39, n. 4, p. 369-375, Oct./Dec. 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/tpDTYYPcB3qLrNZq8H7RmwS/>. Acesso em: 18 jan. 2022.

CALQUIST, S. J. **Comparative plant anatomy: a guide to taxonomic and evolutionary application of anatomical data in angiosperms (Biology studies)**: Carlquist, Sherwin John: Amazon.com: Books. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1961.

CARMONA, P. A. O. *et al.* Divergência genética entre acessos de batata-doce utilizando descritores morfoagronômicos das raízes. **Horticultura Brasileira**, [Recife], v. 33, n. 2, p. 241–250, abr./jun. 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/WzJZGTtzrvjZjcNJd63xdgx/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 22 nov. 2019.

CARRARO, D. M. **Variação e herança dos padrões eletroforéticos em órgãos e estágios de desenvolvimento em milho (*Zea mays* L.)**. 1990. 139 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11137/tde-20190821-125119/publico/CarraroDirceMaria.pdf>. Acesso em: 16 set. 2021.

CIP - INTERNATIONAL POTATO CENTER. **Sweetpotato and Facts and figures about sweet potato**. 2021. Disponível em: <https://cipotato.org/sweetpotato/sweetpotato-cont/>. Acesso em: 15 ago. 2021.

CUTLER, D. F.; BOTHA, T.; STEVENSON, D. W. **Anatomia vegetal: Uma abordagem aplicada**. Porto Alegre: Artmed Editora, 2009.

DA SILVA, G. O.; PONIJALEKI, R.; SUINAGA, F. A. Divergência genética entre acessos de batata-doce utilizando caracteres fenotípicos de raiz. **Horticultura Brasileira**, [Recife], v. 30, n. 4, p. 595–599, dez. 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/MmGKbLzmhQcpFzXsdwbQF4D/?lang=pt>. Acesso em: 14 set. 2021.

ESAU, K. **Anatomia das plantas com sementes**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 1974.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **FAOSTAT**. 2018. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>. Acesso em: 23 jun. 2020.

FERREIRA, A. L. A.; MATSUBARA, L. S. Radicais livres: conceitos, doenças relacionadas, sistema de defesa e estresse oxidativo. **Revista da Associação Médica Brasileira**, [São Paulo], v. 43, n. 1, p. 61-68, mar. 1997. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ramb/a/FBtqwzvhJhcCgRbYZtp4yTQ/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 14 set. 2021.

FERREIRA, N. R.; FRANKE, L. B.; MOÇO, M. C. de C. Estudos morfo-anatômicos relacionados à dormência em sementes de *Adesmia tristis* Vogel (Fabaceae). **Revista Brasileira de Sementes**, [Londrina], v. 33, n. 3, p. 447–453, fev. 2011. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/81596/000816962.pdf?sequence=1>. Acesso em: 03 mar. 2020.

FERREIRA, O. J. M. *et al.* Tecnologia de análise de imagens para a seleção de sementes crioulas de milho. **Global Science and Technology**, [Rio Verde], v. 13, n. 2, p. 28-38, set. 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/344344467_TECNOLOGIA_DE_ANALISE_DE_IMAGENS_PARA_A_SELECAO_DE_SEMENTES_CRIOULAS_DE_MILHO. Acesso em: 18 jul. 2021.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Digital image processing**. 3rd ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2010.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Digital image processing**. 3rd ed. Reading: Addison-Wesley, 2000.

HARDCASTLE, W. S. The influence of temperature and acid scarification duration on *Ipomoea obscura* Hassk. seed germination. **Weed Research**, [Malden], v. 18, n. 2, p. 89–91, Apr. 1978. Disponível em: <https://ur.booksc.me/book/9340374/cf1838>. Acesso em: 02 fev. 2020.

HASKELL, M. J. *et al.* Daily consumption of Indian spinach (*Basella alba*) or sweet potatoes has a positive effect on total-body vitamin A stores in Bangladeshi men. **American Journal of Clinical Nutrition**, [Bethesda], v. 80, n. 3, p. 705–714, Sept. 2004. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15321812/>. Acesso em: 02 fev. 2020.

HORAK, M. J.; WAX, L. M. Germination and Seedling Development of Bigroot Morningglory (*Ipomoea pandurata*) on JSTOR. **Weed Science**, [Lawrence], v. 39, n. 3, p. 390–396, Sept. 1991. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/4044968>. Acesso em: 02 fev. 2020.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola - Lavoura Temporária**. 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/pesquisa/14/0>. Acesso em: 09 dez. 2021.

ISLAM, S.; IZEKOR, E.; GARNER, J. O. Anatomical studies of chilling tolerance in sweetpotato (*Ipomoea batatas* L.) leaves. **Journal of Food, Agriculture and Environment**, [Finlândia], v. 8, n. 3-4, p. 132-134, July 2010. Disponível em: https://www.academia.edu/37352365/Anatomical_studies_of_chilling_tolerance_in_sweetpotato_Ipomoea_batatas_L_leaves. Acesso em: 18 jul. 2021.

JONES, H. G. Use of thermography for quantitative studies of spatial and temporal variation of stomatal conductance over leaf surfaces. **Plant, Cell and Environment**, [Malden], v. 22, n. 9, p. 1043–1055, Sept. 1999. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1365-3040.1999.00468.x>. Acesso em: 15 set. 2021.

KIMURA, E.; ISLAM, M. A. Seed scarification methods and their use in forage legumes. **Research Journal of Seed Science**, [Dubai], v. 5, n. 2, p. 38–50, Feb. 2012. Disponível em: <https://scialert.net/fulltext/?doi=rjss.2012.38.50>. Acesso em: 10 nov. 2020.

KNÍŽKOVÁ, I. *et al.* Applications of infrared thermography in animal production. **Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi**, [Turkey], v. 22, n. 3, p. 329-336, Dec. 2007. Disponível em: <https://dergipark.org.tr/en/pub/omuanajas/issue/20228/214357>. Acesso em: 15 set. 2021.

LIMA, A. P. da S.; MELO, J. I. M. de. *Ipomoea* L. (Convolvulaceae) na mesorregião agreste do Estado da Paraíba, Nordeste brasileiro. **Hoehnea**, [São Paulo], v. 46, n. 1, p. 1-21, mar. 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hoehnea/a/9b5LY8TKVVHvCyVWnNZF8CR/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 14 nov. 2020.

- LIMA, J. M. E. *et al.* Técnicas de análise de imagem para caracterização da qualidade de sementes de paricarana (*Bowdichia virgilioides* Kunth). **Ciência Florestal**, [Santa Maria], v. 28, n. 3, p. 1202-1216, jul./set. 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/gFddwN5rMw7wCcQnJKw4qtS/?lang=pt>. Acesso em: 16 jul. 2021.
- LOPES, A. C. A.; NASCIMENTO, W. M. **Dormência em sementes de hortaliças**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2012. 24 p. (Embrapa Hortaliças. Documentos, 136).
- MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2. ed. Londrina: ABRATES, 2015.
- MARCOS FILHO, J.; KIKUTI, A. L. P.; LIMA, L. B. de. Métodos para avaliação do vigor de sementes de soja, incluindo a análise computadorizada de imagens. **Revista Brasileira de Sementes**, [Londrina], v. 31, n. 1, p. 102-112, jan. 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbs/a/fsy9H4kdVwqJyYwS67cVVtM/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 04 nov. 2019.
- MCDONALD, M. B. Seed deterioration: physiology repair and assessment. **Seed Science and Technology**, [Bassersdorf], v. 27, n. 1, p. 177–237, Sept. 1999. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Seed-deterioration%3A-Physiology%2C-repair-and-Mcdonald/c35d29b135f554a957ce6b2cb360af396137f615>. Acesso em: 08 ago. 2021.
- MELO, S. G. F. de. **Dormência e avaliação da qualidade fisiológica de sementes de batata-doce com o uso da análise de imagens**. 2020. 51 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2020. Disponível em: <http://acervo.ufvjm.edu.br/jspui/handle/1/2346>. Acesso em: 19 out. 2021.
- MÜLLER, E. M. *et al.* Anatomia e fisiologia de sementes de *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. submetidas ao armazenamento. **Ciência Florestal**, [Santa Maria], v. 30, n. 3, p. 644-657, jul./set. 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/GMPQDWy9JH97nrZfNVpxjQS/?lang=pt>. Acesso em: 12 set. 2021.
- NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de bioquímica de Lehninger**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2014. 1220 p.
- NONOGAKI, H.; BASSEL, G. W.; BEWLEY, J. D. Germination—Still a mystery. **Plant Science**, [Clare], v. 179, n. 6, p. 574–581, Dec. 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168945210000403>. Acesso em: 05 nov. 2019.
- NUNES, Y. R. F. *et al.* Germinação de sementes de *Guazuma ulmifolia* Lam. (Malvaceae) e *Heteropterys byrsonimifolia* A. Juss (Malpighiaceae) sob diferentes tratamentos de escarificação tegumentar. **Unimonte Científica**, Montes Claros, v. 8, n. 1, p. 43–52, jan./jun. 2006. Disponível em: <https://www.periodicos.unimontes.br/index.php/unicientifica/article/view/2356>. Acesso em: 13 maio 2020.

OGUNWENMO, K. O.; UGBOROGHO, R. E. Effects of chemical and mechanical scarification on seed germination of five species of *Ipomea* L. (Convolvulaceae). **Boletim da Sociedade Broteriana**, Portugal, v. 69, p. 147–156, 1998. Disponível em: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=PT2001000284>. Acesso em: 03 mar. 2020.

OLIVEIRA, A. C. B. de *et al.* Avaliação da divergência genética em batata-doce por procedimentos multivariados. **Acta Scientiarum Agronomy**, [Maringá], v. 22, n. 4, p. 895–900, ago. 2008. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/2843>. Acesso em: 04 nov. 2019.

PAIXÃO, S. L. *et al.* Vista do divergência genética e avaliação de populações de milho em diferentes ambientes no estado de Alagoas. **Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 4, p. 191–195, out./dez. 2008. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/2371/237117689028.pdf>. Acesso em: 05 ago. 2021.

PAZUCH, D. *et al.* Superação de dormência em sementes de três espécies de *Ipomoea*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 2, p. 192–199, fev. 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/rwfQvw4Tf9B33tBvRdMmr3f/?lang=pt>. Acesso em: 04 mar. 2020.

RITSCHER, P. S. *et al.* Organização do banco ativo de germoplasma de batata-doce: situação atual e perspectivas. In: QUEIROZ, M. A.; GOEDERT, C. O.; RAMOS, S. R. R. (eds.). **Recursos genéticos e melhoramento de plantas para o Nordeste brasileiro**: versão 1.0, 2010.

RÖMER, C. *et al.* Early drought stress detection in cereals: Simplex volume maximisation for hyperspectral image analysis. **Functional Plant Biology**, [Australia], v. 39, n. 11, p. 878–890, Nov. 2012. Disponível em: <https://www.publish.csiro.au/FP/FP12060>. Acesso em: 16 set. 2021.

SAKO, Y. *et al.* A system for automated seed vigour assessment. **Seed Science and Technology**, [Bassersdorf], v. 29, n. 3, p. 625–636, Jan. 2001. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/279571809_A_system_for_automated_seed_vigour_assessment. Acesso em: 23 abr. 2020.

SANTOS, E. A. V. dos; SILVA, K. N. Morfo-anatomia dos órgãos vegetativos de *Ipomoea Longieramosa* Choisy (Convolvulaceae). In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM CIÊNCIAS, 3., 2018, Campina Grande. **Anais eletrônicos [...]**. Campina Grande: Realize Editora, 2018. Disponível em: <https://www.editorarealize.com.br/artigo/visualizar/43232>. Acesso em: 22 maio 2021.

SANTOS, I. R. I.; SALOMÃO, A. N. **Germinação de sementes de *Ipomoea cynanchifolia* após armazenamento em diferentes temperaturas e escarificação**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2019. 21 p.

SHAMI, N. J. I. E.; MOREIRA, E. A. M. Licopeno como agente antioxidante. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 17, n. 2. p. 227-236, abr./jun. 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rn/a/sJ6qRLvhXvkQR6CjnKgZn7K/?lang=pt>. Acesso em: 12 set. 2021.

SPINOLA, M. C. M.; CÍCERO, S. M.; DE MELO, M. Alterações bioquímicas e fisiológicas em sementes de milho causadas pelo ao envelhecimento acelerado. **Scientia Agricola**, [piracicaba], v. 57, n. 2, p. 263–270, abr./jun. 2000. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sa/a/LfMyj6DVNcJSjdY9zGVDXPh/?lang=pt>. Acesso em: 29 jul. 2020.

STACE, C. A. The taxonomic importance of leaf surface. *In*: HEYWOOD, H.; MOORE, D. M. (eds.). **Current concepts in plant taxonomy**. London: Academic Press, 1984. p. 67–94.

STOLLER, E. W.; WAX, L. M. Dormancy Changes and Fate of Some Annual Weed Seeds in the Soil. **Weed Science**, [Lawrence], v. 22, n. 2, p. 151–155, Mar. 1974. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/weed-science/article/abs/dormancy-changes-and-fate-of-some-annual-weed-seeds-in-the-soil/334AB707DA24A4A2EE843336B7654F1E>. Acesso em: 03 mar. 2020.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

THAKUR, M. *et al.* Raffinose and hexose sugar content during germination are related to infrared thermal fingerprints of primed onion (*Allium cepa* L.) seeds. **Frontiers in Plant Science**, [Lausanne], v. 11, p. 1502, Oct. 2020. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2020.579037/full>. Acesso em: 15 set. 2021.

TORQUATO-TAVARES, A. *et al.* Potential for sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) single crosses to improve ethanol production. **Chapingo Serie Horticultura**, [Chapingo], v. 23, n. 1, p. 59-74, Jan./Apr. 2017. Disponível em: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1027-152X2017000100059. Acesso em: 18 jan. 2022.

VALADARES, N. R. *et al.* Effect of different additives on the silage quality of sweet potato branches. **Caatinga**, Mossoró, v. 32, n. 2, p. 506-513, Apr./June 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rcaat/a/jGB64GywtCYK5fLPqXDp88n/?lang=en>. Acesso em: 03 fev. 2020.

VARGAS, P. F. *et al.* Agronomic characterization of sweet potato accessions. **Comunicata Scientiae**, [Piauí], v. 8, n. 1, p. 116-125, Sept. 2017. Disponível em: <https://www.comunicatascientiae.com.br/comunicata/article/view/1864>. Acesso em: 18 jan. 2022.

WILSON, J. E. *et al.* **Sweet Potato (*Ipomoea batatas*) Breeding CROPS**. Apia: Western Samoa, 1989.

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

ARTIGO 1 – A QUEBRA DE DORMÊNCIA QUÍMICA EM SEMENTES DE BATATA-DOCE CAUSA PREJUÍZO A QUALIDADE FISIOLÓGICA E A ATIVIDADE ENZIMÁTICA?

(Artigo redigido conforme a norma para publicação periódica científica NBR 6022 (ABNT, 2018).

RESUMO

A semente de batata-doce apresenta dormência tegumentar e o método recomendado para superar essa dormência, é por meio da exposição da semente por longos períodos em ácido sulfúrico. No entanto, a exposição prolongada em ácido pode ocasionar danos ao embrião das sementes e consequências no desenvolvimento das plântulas. Dessa forma, o objetivo no presente trabalho foi avaliar por meio de análises fisiológicas e enzimáticas, o período ideal de imersão das sementes de batata-doce em ácido sulfúrico para superar a dormência. Os testes foram conduzidos no Laboratório Central de Pesquisa em Sementes do Departamento de Agronomia na Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras MG. As sementes foram escarificadas utilizando ácido sulfúrico concentrado em nove períodos de imersão: 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 e 40 minutos. Em um becker, foi adicionado ácido sulfúrico (98%) em quantidade suficiente para cobrir a massa de sementes. Após os períodos, as sementes foram lavadas em água por 2 vezes e em seguida, lavadas em água corrente por 10 minutos. Para o teste de germinação, as sementes foram distribuídas em caixas do tipo gerbox com papel mata borrão, umedecidos com água destilada equivalente a 2,5 vezes o peso do substrato seco. As caixas foram mantidas em câmara BOD, com temperatura de 25 °C e o fotoperíodo de 12h de luz. A avaliação ocorreu no 21º dia após a semeadura. O índice de velocidade de germinação foi contabilizado diariamente o número de plântulas normais até estabilização e o teste de primeira contagem de germinação aos sete dias após a semeadura. Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Foram estudados a expressão enzimática das enzimas: catalase (CAT), superóxido dismutase (SOD) e ascorbato peroxidase (APX). Para análise de imagem, a captura das imagens ocorreu aos 7 dias após a semeadura utilizando o sistema GroundEye. Não houve diferença significativa na germinação quando as sementes são imersas por 30, 35 e 40 minutos em ácido sulfúrico, apresentando maiores porcentagem de plântulas normais. Os períodos de 30 e 40 minutos de imersão apresentaram porcentagem superiores de plântulas normais na primeira contagem. O índice de velocidade de germinação é maior quando as sementes de batata-doce são imersas por 40 minutos em ácido sulfúrico. Não houve diferença significativa na atividade da enzima catalase nos diferentes períodos de imersão em ácido sulfúrico. Por outro lado, a enzima superóxido dismutase apresentou aumento da atividade a partir de 5 minutos de imersão. A atividade da ascorbato peroxidase foi superior em sementes imersas em ácido sulfúrico por 15, 20, 25, 30, 35 e 40 minutos. As menores atividade da APX foram encontradas nas sementes sem tratamento química e em sementes imersas por 10 minutos em ácido sulfúrico. Na avaliação física das plântulas de batata-doce utilizando o sistema GroundEye®, o tamanho da raiz primária, a razão do tamanho da raiz primária pelo hipocótilo e o tamanho total não apresentaram diferença estatística. O tamanho do hipocótilo teve melhor desempenho em plântulas cuja sementes receberam escarificação química com ácido sulfúrico nos períodos de 5, 15, 25, 30, 35 e 40 minutos diferenciando apenas em 2 grupos. Portanto, a utilização de ácido sulfúrico é eficiente na quebra de dormência de sementes de batata-doce. Uma vez que a exposição prolongada ao ácido, apresenta adversidades, a redução do tempo de exposição é essencial, sendo o tempo recomendado para sementes de batata-doce de 30 minutos.

Palavras-chave: *Ipomoea batatas* (L.) Lam. Catalase. Ácido sulfúrico. Qualidade de sementes.

1 INTRODUÇÃO

A batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) é considerada uma das culturas cultivadas mais importantes no mundo. É destinada principalmente para o consumo humano e animal, mas apresenta também potencial para produção de biocombustível (etanol). A curva da produtividade média brasileira tem apresentado um descenso nos últimos anos, com valores de 14,25 toneladas por hectare no ano de 2020. O aumento na produtividade do país, se dá pela adoção de tecnologias de produção e a adoção de cultivares com maior potencial de produção. (ANDRADE JÚNIOR *et al.*, 2020; CIP, 2021; IBGE, 2020; TORQUATO-TAVARES *et al.*, 2017; VALADARES *et al.*, 2019).

Apesar da cultura ser propagada de forma assexuada, as sementes botânicas são de fundamental importância para o desenvolvimento dos programas de melhoramento, principalmente devido à baixa produção de sementes de muitos dos genótipos, ou seja, para garantir a continuidade de um programa de melhoramento com a cultura da batata-doce a alta porcentagem de germinação e a qualidade das plântulas obtidas são fundamentais. Cada semente botânica de batata-doce é potencialmente uma nova cultivar, demonstrando a importância do maior aproveitamento das sementes produzidas nos programas de melhoramento.

Estudos sobre a propagação de plantas pertencentes ao gênero *Ipomoea* comprovaram a ocorrência de dormência em suas sementes. A dormência retarda ou impede a germinação de sementes, mesmo que as condições sejam apropriadas para a retomada do desenvolvimento do embrião. A dormência predominante entre as espécies no gênero *Ipomoea* é a impermeabilidade dos tegumentos das sementes à água e aos gases (ABDO; FABRI, 2015; PAZUCH *et al.*, 2015).

Para ocorrer a germinação das sementes com dormência física, é necessário o rompimento dessa barreira à passagem da água, que em nível de laboratório é feito por escarificação química, apesar do manuseio com ácido sulfúrico ser perigoso. Esse tipo de tratamento torna-se mais prático do que a escarificação mecânica. As sementes da batata-doce sem um pré-tratamento, apresentam poder germinativo muito baixo, o que tornava necessário a escarificação para que elevados índices de germinação sejam obtidos (ANDRADE JÚNIOR *et al.*, 2020; BORTOLINI *et al.*, 2011; BRITES; SILVA JÚNIOR; TORRES, 2011).

Em Convolvulaceae, família na qual pertence a batata-doce, o uso de ácido sulfúrico se destacou como método de superação de dormência, proporcionando 100% de germinação das sementes de *Ipomoea hederacea* (STOLLER; WAX, 1974). Para escarificar a espécie *Ipomoea obscura*, o uso de ácido sulfúrico durante 30 e 120 minutos proporcionou 53,6 e 97,2% de

germinação, respectivamente (HARDCASTLE, 1978). Em *Ipomoea pandurata* a germinação foi superior a 80% quando as sementes foram imersas em ácido sulfúrico durante 20 a 80 minutos (HORAK; WAX, 1991). O ácido sulfúrico concentrado proporcionou 100% de germinação para *Ipomoea obscura*, *Ipomoea aquatica* e *Ipomoea hederifolia* (OGUNWENMO; UGBOROGHO, 1998).

Sementes em condições estressantes e desfavoráveis à sua germinação, apresentam a formação de radicais livres. Os principais agentes oxidantes gerados são hidroxilas ($\text{OH}\bullet$) superóxidos ($\text{O}_2^{\bullet-}$) e os peróxidos de hidrogênio (H_2O_2). Uma vez presente na célula, estes podem iniciar reações oxidativas em cadeias altamente prejudiciais (MARCOS-FILHO, 2015).

Dentre os mecanismos enzimáticos envolvidos na detoxificação, destacam-se a superóxido dismutase (SODs), a catalase (CATs) e a Ascobato peroxidase (APX). As SODs dismutam o $\text{O}_2^{\bullet-}$ a H_2O_2 e se localizam principalmente nas mitocôndrias e nos cloroplastos (APEL; HIRT, 2004). A Catalase é uma enzima peroxissomal e glioxissomal que catalisa a redução direta do H_2O_2 a H_2O e O_2 (YANIK; DONALDSON, 2005). A Ascobato peroxidase (APX) é uma enzima que contribui significativamente para a ação de mecanismos de defesa das sementes, reduzindo a exposição dos sistemas de membranas aos efeitos do oxigênio. A enzima remove radicais livres e utiliza peróxido de hidrogênio para oxidar substâncias doadoras de hidrogênio, como fenóis, diaminas, ácido ascórbico, aminoácidos e alguns íons inorgânicos (MARCOS-FILHO, 2015).

Assim, o objetivo no presente trabalho foi avaliar por meio de análises fisiológicas e atividades enzimáticas, o melhor período de imersão das sementes de batata-doce em ácido sulfúrico para superar a dormência.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório Central de Pesquisa em Sementes do departamento de agricultura da escola de ciências agrárias (DAG/ESAL) na Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras MG. Foram utilizadas sementes botânicas de batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam), oriundas do policruzamento de progênies de meio-irmãos do banco germoplasma do programa de melhoramento genético da cultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, MG, Brasil, (21°14'43"S, 44°59'59"W, 919 m altitude). As sementes foram colhidas na safra 2017/2018 e mantidas em câmara fria.

Escarificação química: as sementes de batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam), foram escarificadas utilizando ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄) 98% em nove tempos de imersão que caracterizam os tratamentos: 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 e 40 minutos.

As sementes foram colocadas em um becker com uma quantidade de ácido sulfúrico concentrado, suficiente para cobrir a massa de sementes que foram movimentadas com o auxílio de um bastonete de vidro. Após os períodos determinados para cada tratamento, o conteúdo do becker foi despejado em um outro recipiente de vidro separando as sementes com uma peneira plástica de malha fina. Em outro becker contendo água, as sementes foram lavadas em água por 2 vezes, sendo em seguida, colocadas em um saco de poá fixo à torneira para lavagem em água corrente por 10 minutos. Após isso, as sementes foram destinadas aos testes a seguir:

Teste de Germinação: Para cada tratamento, o teste de germinação foi realizado com quatro repetições de 50 sementes distribuídas em caixas do tipo gerbox com papel mata borrão, umedecidos com água destilada equivalente a 2,5 vezes o peso do substrato seco. Essas caixas foram mantidas em câmaras de germinação do tipo BOD, com temperatura de 25°C (MELO, 2020) e fotoperíodo de 12h de luz, de acordo com as prescrições das Regras para Análise de Sementes para o gênero *Ipomoea* (BRASIL, 2009). A avaliação ocorreu no 21º dia após a semeadura, determinando-se a porcentagem de plântulas normais, plântulas anormais, sementes mortas e sementes duras.

Primeira contagem de Germinação: A primeira contagem de Germinação foi realizada utilizando-se a mesma metodologia descrita anteriormente para o teste de germinação, sendo, no entanto, contabilizada a porcentagem de plântulas normais aos sete dias após a semeadura (BRASIL, 2009).

Índice de velocidade de Germinação: Durante os 21 dias de execução do teste, diariamente foram contabilizadas as plântulas normais e o índice foi calculado conforme Maguire (1962):

$$IVG/IVE = \frac{G1}{N1} + \frac{G2}{N2} + \dots + \frac{Gn}{Nn}$$

onde:

G1, G2, Gn = número de plântulas na primeira, na segunda e na última contagem.

N1, N2, Nn = número de dias de semeadura à primeira, segunda e última contagem.

Teste de Emergência: O teste de emergência foi realizado com quatro repetições de 50 sementes para cada tratamento, distribuídas em bandejas plásticas com a mistura de solo e areia

na porção de 2:1. A quantidade de água foi o equivalente a 60% da capacidade de campo conforme prescrito nas RAS, Brasil (2009). As bandejas foram distribuídas em câmara de crescimento com temperatura de 25 °C e fotoperíodo de 12 horas de luz. A avaliação ocorreu no 21º dia após a semeadura, determinando-se a porcentagem de plântulas emergidas.

Índice de velocidade de emergência: Durante os 21 dias de execução do teste, diariamente foram contabilizadas as plântulas emergidas do solo. O índice foi calculado conforme fórmula proposta por Maguire (1962), a mesma descrita anteriormente.

Análise de imagem: As sementes escarificadas foram distribuídas em papel germitest, umedecidos com água destilada o equivalente a 2,5 vezes o peso do substrato seco e mantidas em câmara de germinação à temperatura de 25 °C (MELO, 2020). Pela limitação do número de sementes, para essa avaliação, foram utilizadas 4 repetições com 25 sementes, cada tratamento.

Para a captura das imagens foi utilizado o sistema GroundEye®, versão S800, composta por um módulo de captação que possui uma bandeja de acrílico e uma câmera de alta resolução e um software integrado para avaliação. Foram capturadas as imagens de 4 plântulas por repetição. As plântulas foram inseridas na bandeja do módulo de captação para a obtenção de imagens de alta resolução. Na configuração da análise para a calibração da cor de fundo foi escolhida a configuração que melhor se enquadrar. Depois da calibração da cor do fundo será realizada a análise das imagens.

As avaliações foram realizadas ao 7º dia após a semeadura e por meio da análise das imagens foram extraídos valores médios do tamanho da raiz primária, comprimento do hipocótilo ou coleóptilo, razão do tamanho da raiz primária pelo comprimento do hipocótilo ou coleóptilo e tamanho total da plântula.

Perfis enzimáticos: Para a extração das enzimas antioxidantes, 50 sementes foram maceradas em nitrogênio líquido. Em seguida o material foi homogeneizado com 1,5 mL do tampão de extração. Os homogeneizados foram centrifugados, por 30 minutos, a 4°C, coletando-se os sobrenadantes para as análises enzimáticas conforme apresentado por Biemelt, Keetman e Albrecht (1998). A atividade da Superóxido dismutase (SOD) (EC 1.15.1.1) foi determinada pela capacidade da enzima inibir a redução fotoquímica do nitro blue tetrazolium (NBT), proposta por Giannopolitis e Ries (1977). Os tubos contendo o tampão juntamente com a amostra e o controle (meio de incubação sem a amostra), foram iluminados com lâmpada fluorescente de 20 W por 7 minutos e as leituras realizadas a 560 nm. Uma unidade de SOD é definida pela quantidade de enzima que inibe 50% da taxa de redução do NBT. A leitura será feita a 560 nm em espectrofotômetro. A atividade da catalase (CAT) (EC 1.11.1.6) foi determinada pelo decréscimo na absorbância a 240nm, a cada 15 segundos, por 3 minutos,

monitorado pelo consumo de peróxido de hidrogênio (HAVIR; MICHALE, 1987). A reação será iniciada pela adição do H_2O_2 ($\epsilon = 36 \text{ mM}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$). Uma unidade de catalase é definida pela quantidade de enzima necessária para decompor $1 \mu\text{mol min}^{-1}$ de H_2O_2 .

A atividade ascorbato peroxidase (APX) (EC 1.11.1.11) foi determinada pela diminuição da absorbância do ascorbato ($\epsilon = 2,8 \text{ mM}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$) a 290 nm a cada 15 segundos durante 3 minutos, segundo Nakano e Asada (1981). Uma unidade de APX é definida pela quantidade de enzima necessária para oxidar $1 \mu\text{mol} \cdot \text{min}^{-1}$ de ácido ascórbico. Foi utilizado delineamento inteiramente casualizado com 3 repetições.

Análise estatística: O delineamento experimental utilizado, foi o delineamento inteiramente casualizado (DIC), com 9 tratamentos (0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, e 40 minutos) e 4 repetições. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas por teste de comparação de médias Scott-Knott e regressão. Todas as análises foram realizadas no software R.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi observado aumento na porcentagem de germinação das sementes botânicas de batata-doce com o aumento no período de imersão no ácido sulfúrico (TABELA 1). A porcentagem de germinação de sementes quando imersas por 30 minutos, 35 minutos e 40 minutos não apresentam diferenças estatísticas, com porcentagem de germinação de 73%, 69,5% e 73,5% respectivamente. Quando em comparação com as sementes sem escarificação, àquelas submetidas ao ácido por 40 minutos para quebra de dormência, apresentaram acréscimo de mais de 600% na porcentagem de germinação. Os crescentes valores também foram observados na porcentagem de germinação na primeira contagem, no índice de velocidade de germinação e no índice de velocidade de emergência.

Tabela 1 - Porcentagem de germinação, Porcentagem de plântulas normais na primeira contagem de germinação, Índice de velocidade de germinação (IVG), Índice de velocidade de emergência (IVE) e Porcentagem de plântulas emergidas de batata-doce de acordo com o período de imersão em ácido sulfúrico. UFLA, Lavras, 2021.

Período de imersão	% Germinação	1° Contagem de germinação	IVG	% Emergência	IVE
0 min	12 E	6,5 E	0,87 E	14,5 E	2,1 C
5 min	27 D	21,5 D	2,96 D	31D	7,1 C
10 min	32 D	24 D	3,36 D	51C	13,17 B
15 min	43 C	34 C	4,58 C	47C	11,1 B
20 min	61 B	49,5 B	6,01 B	63B	13,24 B
25 min	57 B	46,5 B	5,93 B	70B	21,48 A
30 min	73 A	61,5 A	6,98 B	78A	23,43A
35 min	69,5 A	55,5 B	6,81 B	82 A	22,87 A
40 min	73,5 A	67 A	8,65 A	68,5B	20,44 A
CV (%)	13,22	16,29	16,99	8,86	23,31

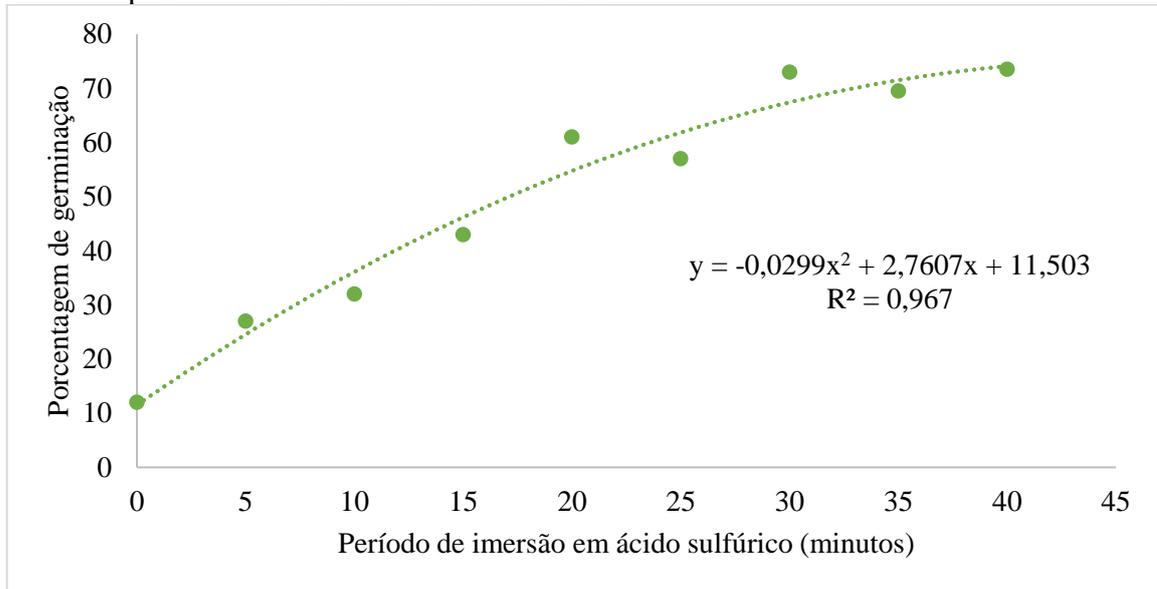
Médias seguida por letras maiúsculas dentro de cada coluna, não diferem entre si a 5 % de probabilidade pelo teste Scott-Knott.

Fonte: Da autora (2021).

Melo (2020) observou que a escarificação química por 20 minutos apresentou diferença significativa na porcentagem de germinação, quando comparado com sementes de batata-doce imersas por 10 minutos em ácido sulfúrico concentrado. Esses resultados e os apresentados no presente trabalho, diferem daqueles encontrados por Jorge *et al.* (2020), em que não encontraram diferenças estatística na porcentagem de germinação, quando as sementes de batata-doce foram imersas em ácido sulfúrico por 0, 30, 60 e 90 minutos.

Na presente pesquisa, assim como observado nos trabalhos com sementes de batata-doce (MELO, 2020), com sementes de *Chloroleucon acacioides*, *Senna macranthera* (CIPRIANI; GARLET; LIMA, 2019) e Crotalária (CARDOSO *et al.*, 2020) não houve decréscimo da germinação com o maior tempo de exposição ao ácido sulfúrico. O ácido sulfúrico pode penetrar no tegumento durante a escarificação, e entrando em contato com o embrião, prejudica a viabilidade das sementes, mesmo que tenha sido feitas sucessivas lavagens para a remoção do ácido da superfície das sementes. Além disso, o aumento do período de imersão pode causar ruptura das células essenciais, favorecendo as injúrias mecânicas e a invasão de fungos, prejudicando também a emergência de plântulas (MENEGATTI *et al.*, 2017).

Figura 1 - Porcentagem de germinação de sementes de batata-doce submetidas a diferentes períodos de imersão em ácido sulfúrico.



Fonte: Da autora (2021).

Foi observado aumento na porcentagem de germinação das sementes de batata-doce com o aumento no período de imersão no ácido sulfúrico. O modelo de regressão quadrática (FIGURA 1) permite inferir relação no aumento do período de imersão em ácido sulfúrico e no aumento na porcentagem de germinação das sementes de batata-doce. Sementes de *Ipomoea indivisa* e *Ipomoea purpúrea*, escarificadas com ácido sulfúrico, apresentaram aumento de 780% e 512% na porcentagem de germinação, respectivamente, em relação à testemunha (PAZUCH *et al.*, 2015).

Em relação a porcentagem de plântulas normais na primeira contagem de germinação, as sementes de batata-doce imersas por 40 e 30 minutos apresentaram maiores porcentagem de plântulas normais. Houve um incremento de 1000% na porcentagem de plântulas normais quando comparados as sementes imersas por 40 minutos e as sementes que não foram escarificadas em ácido sulfúrico.

O índice de velocidade de germinação foi superior no período de 40 minutos. Incremento de 994% no índice de velocidade de germinação em comparação com sementes que não tiveram tratamento para quebra de dormência. O ácido sulfúrico possivelmente foi eficiente para tornar o endocarpo menos resistente, devido ao desgaste da parede, tornando-o mais permeável à entrada de água e facilitando a protusão da radícula, e mesmo o maior tempo de exposição, não comprometeu as estruturas internas da semente. Quanto mais rápido é o rompimento do tegumento mais rápida será a velocidade de germinação, o que explica a ação

do ácido em maior concentração e seu efeito na velocidade de germinação das sementes (NAIR *et al.*, 2017).

Figura 2 - Semente de batata-doce e o início do processo de germinação após a embebição.



Fonte: Da autora (2021).

Verifica-se na Tabela 1 que as sementes sem pré-tratamento apresentaram baixa percentagem de emergência, comprovando dormência já relatada por Pazuch *et al.* (2015) comum ao gênero *Ipomoea*. Além disso, a análise dos resultados em sementes da testemunha (0 min) mostrou menor índice de velocidade de emergência, ou seja, comum em sementes de tegumento duro. Uma boa emergência permite que a espécie se estabeleça em um determinado habitat ou superfície o quanto antes, o que confere à mesma, maiores chances de sobrevivência (ARAÚJO; SILVA; FERRAZ, 2017).

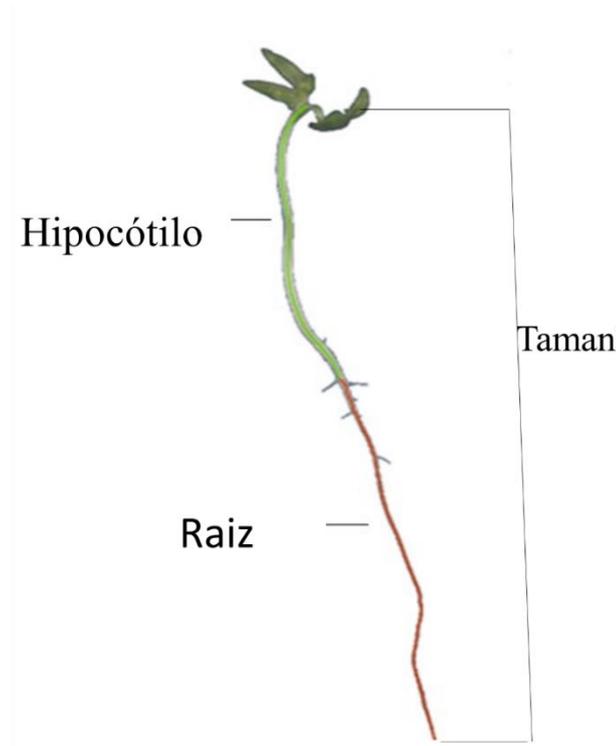
A porcentagem de plântulas na emergência é superior quando as sementes são escarificadas por 35 e 30 minutos. Sementes imersas por 40, 35, 30 e 25 minutos não apresentam diferença estatísticas no índice de velocidade de emergência. Resultados diferentes dos encontrados por Jorge *et al.* (2020), onde sementes botânicas de batata-doce imersas em ácido sulfúrico não apresentaram diferença estatística nos diferentes períodos de imersão.

A impermeabilidade do tegumento permite o prolongamento do tempo de vida das sementes, podendo formar um banco de sementes persistente no solo pelo fato de distribuir a

germinação no tempo e no espaço, o que pode aumentar as chances dessas sementes encontrarem condições para o estabelecimento das plântulas em condições naturais. No entanto, torna-se desvantajoso quando se deseja uma emergência rápida e uniforme, em processos de utilização de sementes em grande escala, como quando da utilização em programa de melhoramento genético (ARAÚJO; SILVA; FERRAZ, 2017).

Observa-se que no presente trabalho e nos trabalhos apresentados (JORGE *et al.*, 2020; MELO, 2020), alguns com os mesmos tempos de imersão em ácido, os resultados foram contrastantes. Uma hipótese é a possível diferença de resposta germinativa relacionada a diferentes genótipos. A utilização do ácido sulfúrico apresenta uma série de inconveniência, como alto grau de corrosividade, riscos de acidentes que podem resultar em queimaduras de quem o manuseia e a geração de resíduos poluentes, no entanto, mostrou-se bastante eficiente para superação da dormência de sementes de batata-doce, onde se obteve um percentual de emergência de aproximadamente 70%. Levando em consideração que a espécie em estudo apresenta uma grande quantidade de sementes duras, esse resultado era previsível, no entanto, por ser um método pouco prático, a redução do tempo de exposição ao ácido se faz necessária.

Figura 3 - Comprimento do hipocótilo (linha verde), tamanho da raiz primária (linha vermelha), tamanho total da plântula de batata-doce resultado da soma do tamanho do hipocótilo e o tamanho da raiz primária obtidos pelo sistema GroundEye®, Lavras, 2021.



Fonte: Da autora (2021).

Na avaliação do vigor das plântulas de batata-doce (FIGURA 3) utilizando o sistema computacional GroundEye® (TABELA 2), observa-se que o tamanho da raiz primária, a razão do tamanho da raiz primária pelo hipocótilo e o tamanho total não apresentaram diferença estatística, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, evidenciando que os diferentes tempos de imersão para superar a dormência, não interferem no comprimento de plântulas, o que impossibilita separar as sementes em diferentes grupos de qualidade, a partir dessas características.

O tamanho do hipocótilo apresentou inconsistência nos resultados, uma vez que teve melhor desempenho em plântulas cuja sementes receberam escarificação química com ácido sulfúrico nos períodos de 5, 15, 25, 30, 35 e 40 minutos diferenciando apenas em 2 grupos. Resultados semelhantes foram verificados por Melo (2020), que ao avaliar plântulas de diferentes genótipos de batata-doce no sistema GroundEye®, apenas o tamanho do hipocótilo demonstrou interação significativa.

Tabela 2 - Tamanho do hipocótilo (cm), tamanho da raiz primária (cm), razão do tamanho da raiz primária pelo hipocótilo (cm) e tamanho total de plântulas de batata-doce submetidas a diferentes períodos de imersão em ácido sulfúrico analisadas por meio do sistema GroundEye®. UFLA, Lavras, 2021.

Período de imersão	Tamanho do hipocótilo (cm)	Tamanho da raiz primária (cm)	Razão do tamanho da raiz primária pelo hipocótilo (cm)	Tamanho total (cm)
0 min	6,32 B	8,73 A	1,45 A	15,05 A
5 min	7,82 A	10,05 A	1,39 A	17,87 A
10 min	6,68 B	9,89 A	1,50 A	16,57 A
15 min	7,59 A	11,15 A	1,54 A	18,75 A
20 min	6,98 B	10,76 A	1,63 A	17,74 A
25 min	7,49 A	10,63 A	1,44 A	18,12 A
30 min	7,88 A	9,58 A	1,28 A	17,46 A
35 min	7,74 A	10,19 A	1,38 A	17,93 A
40 min	7,41 A	10,66 A	1,48 A	18,06 A
CV (%)	10,35	15,29	17,83	9,89

Médias seguidas por letras maiúsculas iguais dentro de cada coluna, não diferem entre si a 5 % de probabilidade pelo teste Scott-Knott.

Fonte: Da autora (2021).

As avaliações no sistema GroundEye® ocorrem aos 7 dias após a semeadura devido a limitação de captura de imagem das plântulas no aparelho. Aos 21 dias após a semeadura as plântulas de batata-doce superaram o limite da captação máxima do comprimento das plântulas.

As avaliações de vigor automatizadas apresentaram divergência dos resultados dos testes fisiológicos (TABELA 1). Medeiros *et al.* (2019), também observaram variação de

desempenho de alguns lotes de milho na análise de imagem, quando em comparação aos resultados obtidos nos testes fisiológicos. Testes de vigor com base no desempenho ou nas características de plântulas, incluindo nesses o comprimento de plântulas ou de suas partes constituintes (raiz primária, hipocótilo), de forma automatizada, têm sido utilizados em pesquisas sobre a avaliação do vigor de sementes das mais variadas espécies (MARCOS-FILHO, 2015). No entanto, como observado no presente trabalho, na diferenciação em diferentes níveis de qualidade para sementes de batata-doce após imersão em ácido, essa forma de avaliação não foi eficiente.

A atividade de certas enzimas tem sido avaliada no intuito de detectar as diversas reações metabólicas que envolvem a síntese e a degradação de moléculas durante o processo de germinação. Além disso, o sistema antioxidante enzimático é fundamental para aumentar a tolerância da planta a possíveis distúrbios ocasionados por fatores bióticos ou abióticos, como por exemplo, a submissão das sementes a quebra de dormência com ácido (SINGH; SRIVASTAVA; PRASAD, 2013).

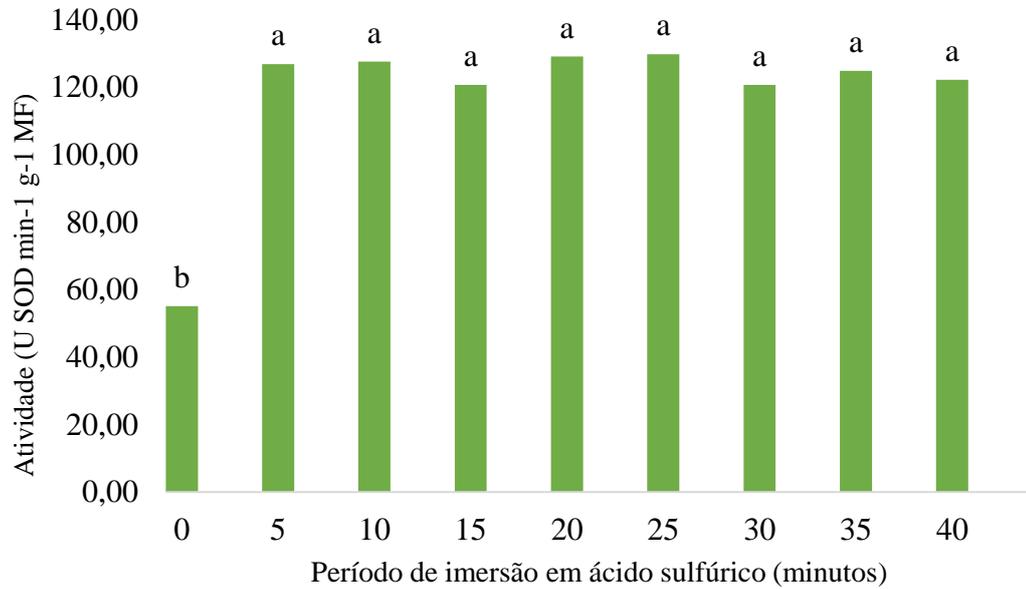
Os sistemas isoenzimáticos das sementes de batata-doce submetidas aos períodos de 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 e 40 min de imersão em ácido, revelados para superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), e ascorbato peroxidase (APX), estão apresentados nas Figuras 4, 5 e 6.

As enzimas superóxido dismutase e catalase constituem eficientes mecanismos de desintoxicação, atuando na remoção de radicais livres (SINGH; SRIVASTAVA; PRASAD, 2013). A SOD (FIGURA 4) é considerada como primeira linha de defesa antioxidante contra as EROs, o que explica ser a única enzima que apresentou aumento da sua atividade em relação à testemunha quando em contato com o ácido sulfúrico.

Este resultado indica uma aparente organização do sistema antioxidante nas sementes de batata-doce quando em contato com o ácido. No entanto, não houve alteração do perfil enzimático da superóxido dismutase com o aumento do tempo de imersão em ácido (FIGURA 4).

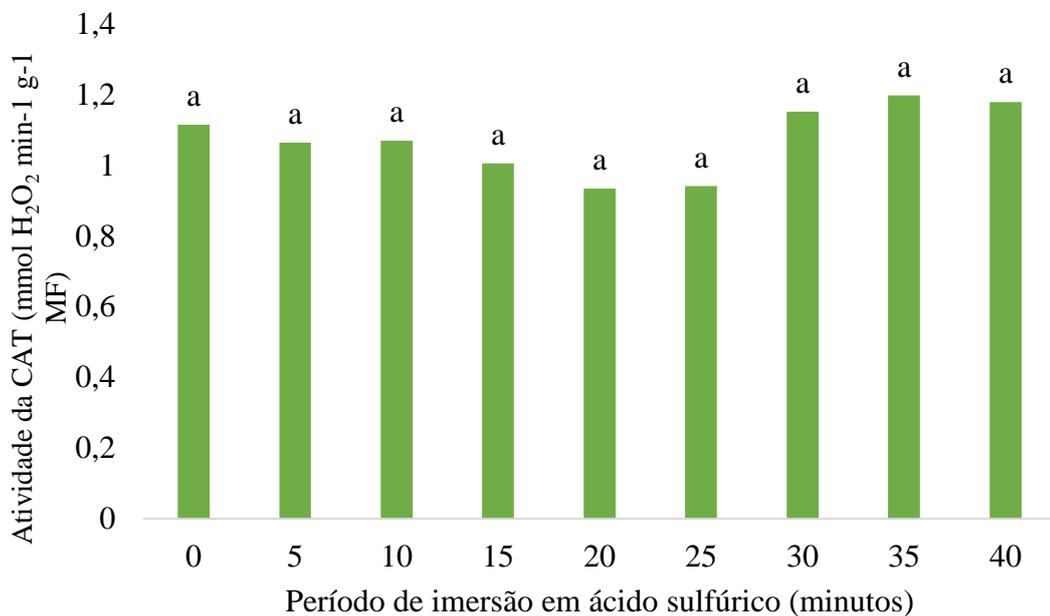
A degradação de $O_2^{\bullet-}$ - é catalisada pela SOD, entretanto H_2O_2 é degradado pela CAT e peroxidases (POXs). A CAT é responsável por remover peróxido de hidrogênio presente em altas concentrações nos peroxissomos, protegendo as células de danos oxidativos decompondo H_2O_2 em oxigênio molecular e água (SINGH; SRIVASTAVA; PRASAD, 2013). Pela Figura 5, observa-se atividade da enzima catalase (CAT) nas sementes de batata-doce em todos os intervalos de imersão em ácido, porém os diferentes períodos de imersão não apresentaram diferença estatística pelo teste de Scott-Knott.

Figura 4 - Atividade da superóxido dismutases (SOD) em função do período de imersão de sementes de batata-doce em ácido sulfúrico.



Fonte: Da autora (2021).

Figura 5 - Atividade da Catalase (CAT) em função do período de imersão de sementes de batata-doce em ácido sulfúrico.



Fonte: Da autora (2021).

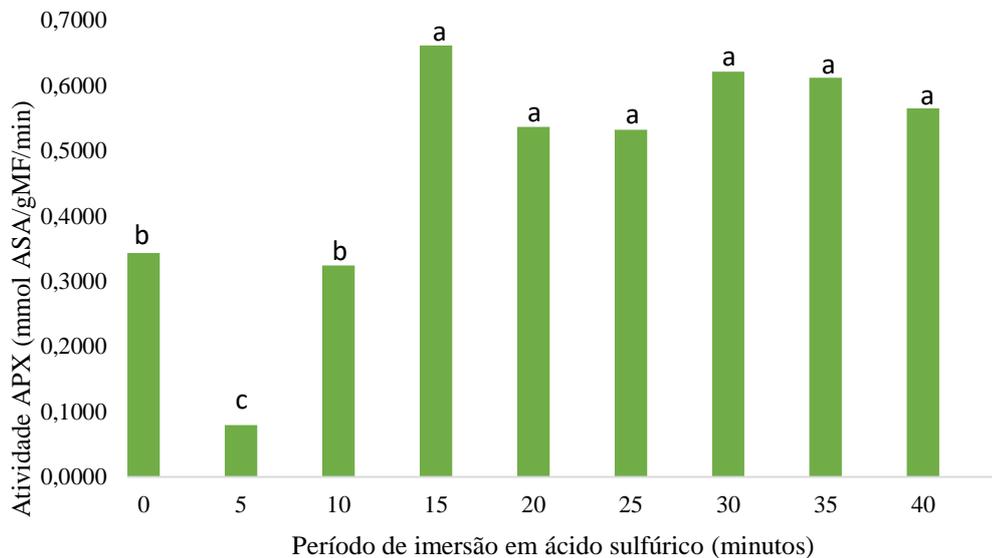
Vários fatores podem afetar a atividade da catalase, como o agente tóxico estressante, sua concentração utilizada, o tempo de exposição e a espécie vegetal, o que, de certa forma, pode fazer com que a atividade dessa enzima seja submetida a grandes variações (PEREIRA,

2010). Essa diminuição da atividade da CAT também pode estar associada à inibição da síntese da enzima em presença do cádmio.

A APX age contra os intermediários reativos de oxigênio, degradando o H_2O_2 , mas, diferentemente de outras enzimas, a APX depende de um sistema de regeneração de glutatona reduzida, o ciclo ascorbato-glutaciona e requer ascorbato como doador específico de elétrons para reduzir o H_2O_2 à água. Dada a importância dessa enzima na defesa antioxidante das plantas, o aumento de sua atividade tem sido apresentado por várias espécies quando expostas a diferentes agentes tóxicos (MOLLER; JENSEN; HANSSON, 2007). Na Figura 6, verifica-se a atividade da APX.

A atividade da ascorbato peroxidase foi superior em sementes imersas em ácido sulfúrico por 15, 20, 25, 30, 35 e 40 minutos (FIGURA 6), sendo que no período de 5 min, apresentou menor atividade. Se comparado com a catalase (FIGURA 5), essa baixa atividade aos 5 minutos, pode ser explicada pela maior atividade da catalase para suprir a baixa presença de APX, já que as duas agem dismutando o peróxido de hidrogênio (BEWLEY *et al.*, 2013). A manutenção de sua atividade nos demais períodos, demonstra a ação conjunta dessa enzima, com a catalase, na eliminação do H_2O_2 .

Figura 6 - Atividade da ascorbato peroxidase (APX) em função do período de imersão de sementes de batata-doce em ácido sulfúrico.



Fonte: Da autora (2021).

Segundo Bicalho (2016), o H_2O_2 é uma molécula sinalizadora da superação da dormência de sementes de macaúba, estando em maiores níveis em lotes ou tratamentos que resultaram em maior germinabilidade. Essa observação, está de acordo com os resultados

encontrados para as sementes botânicas de batata-doce, pois nos tratamentos com maiores atividades das enzimas superóxido dismutase e ascorbato peroxidase são os mesmos tratamentos que apresentaram maiores porcentagens de germinação.

No presente trabalho, observa-se que quebra dormência de sementes de batata-doce, utilizando o ácido sulfúrico, não prejudica a qualidade fisiológica e o sistema antioxidante é eficiente na eliminação dos EROs provenientes do estresse causado pelo contato com o agente químico.

4 CONCLUSÃO

A utilização de ácido sulfúrico é eficiente na quebra de dormência de sementes de batata-doce.

O tempo de exposição ao ácido sulfúrico recomendado para a quebra de dormência de sementes de batata-doce é de 30 minutos.

A análise automatizada do vigor de plântulas utilizando GroundEye® não é eficiente na diferenciação em diferentes níveis de vigor de plântulas de batata-doce.

A exposição ao ácido sulfúrico não afeta a atividade das enzimas do sistema antioxidantes de sementes botânicas de batata-doce. E o sistema antioxidante nessas sementes é eficiente na eliminação das espécies reativas de oxigênio.

AGRADECIMENTOS

Ao setor de Olericultura da Universidade Federal de Lavras, ao departamento de agricultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), ao laboratório central de Sementes do Departamento de agricultura da Universidade Federal de Lavras, a FAPEMIG, CAPES E CNPq.

REFERÊNCIAS

ABDO, M. T. V. N.; FABRI, E. G. Transferência de tecnologia: guia prático para quebra de dormência de sementes de espécies florestais nativas. **Pesquisa & Tecnologia**, [São Paulo], v. 12, n. 2, p. 1-7, jul./dez. 2015. Disponível em: <http://www.aptaregional.sp.gov.br/acesse-os-artigos-pesquisa-e-tecnologia/edicao-2015/julho-dezembro-3/1670-tecnologia-guia-pratico-para-quebra-de-dormencia-de-sementes-de-especies-florestais-nativas/file.html>. Acesso em: 14 nov. 2020.

ANDRADE JÚNIOR, V. C. de *et al.* Association between agronomic characters and hay quality of sweet potato branches. **Horticultura Brasileira**, [Recife], v. 38, n. 1, p. 27–32, Jan./Mar. 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/LzKxPRHYpbgbdjDQ949HZ7rQ/?lang=en>. Acesso em: 12 jul. 2021.

APEL, K.; HIRT, H. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. **Annual Review of Plant Biology**, [Palo Alto], v. 55, p. 373-399, June 2004. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15377225/>. Acesso em: 03 set. 2021.

ARAÚJO, A. V. de; SILVA, M. A. D. da; FERRAZ, A. P. F. Superação de dormência de sementes de *Libidibia ferrea* (Mart. ex Tul.) L. P. Queiroz var. *ferrea*. **Magistra**, [Cruz das Almas], v. 29, n. 3-4, p. 298-304, 2017. Disponível em: <https://magistraonline.ufrb.edu.br/index.php/magistra/article/view/605>. Acesso em: 21 out. 2021.

BEWLEY, J. D. *et al.* **Seeds: physiology of development, germination and dormancy**. 3rd ed. New York: Springer, 2013. 392 p.

BICALHO, E. M. **Fisiologia da superação de dormência em sementes de macaúba (*Acrocomia aculeata*), *Arecaceae***. 2016. 80 p. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/BUBD-AB8ERB>. Acesso em: 26 jul. 2021.

BIEMELT, S.; KEETMAN, U.; ALBRECHT, G. Re-aeration following Hypoxia or Anoxia leads to Activation of the Antioxidative Defense System in Roots of Wheat Seedlings. **Plant Physiology**, [Rockville], v. 116, n. 2, p. 651-658, Feb. 1998. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC35123/>. Acesso em: 12 set. 2021.

BORTOLINI, M. F. *et al.* Superação de dormência em sementes de *Gleditschia amorphoides* Taub. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 5, p. 823–827, maio 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/fygzQG3BKrcr8RJdvQYTGKn/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 set. 2021.

BRASIL. **Regras para análise de sementes**. 1. ed. Brasília, 2009.

BRITES, F. H. R.; SILVA JÚNIOR, C. A. da; TORRES, F. E. Germinação de semente comum, escarificada e revestida de diferentes espécies forrageiras tropicais. **Bioscience Journal**, [Uberlândia], v. 27, n. 4, p. 629–634, jul./ago. 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/265643610_Germinacao_de_semente_comum_escarificada_e_revestida_de_diferentes_especies_forrageiras_tropicais. Acesso em: 18 nov. 2019.

CARDOSO, C. R. G. *et al.* Tratamentos pré-germinativos para a superação de dormência de sementes de *Crotalaria grahamiana*. **Cadernos de Agroecologia**, [Rio Grande do Sul], v. 15, n. 4, p. 1-10, nov. 2020. Disponível em: <http://cadernos.aba-agroecologia.org.br/index.php/cadernos/article/view/6495>. Acesso em: 26 set. 2021.

CIP - INTERNATIONAL POTATO CENTER. **Sweetpotato and Facts and figures about sweet potato**. 2021. Disponível em: <https://cipotato.org/sweetpotato/sweetpotato-cont/>. Acesso em: 15 ago. 2021.

CIPRIANI, V. B.; GARLET, J.; DE LIMA, B. M. Quebra de dormência em sementes de *Chloroleucon acacioides* e *Senna macranthera*. **Revista de Ciências Agrárias**, [Lisboa], v. 42, n. 1, p. 49-54, out. 2019. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/index.php/rca/article/view/17018>. Acesso em: 26 set. 2021.

GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K. Superoxide dismutases. **Plant Physiology**, [Rockville], v. 59, n. 2, p. 315-318, Feb. 1977. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC542388/>. Acesso em: 21 set. 2021.

HARDCASTLE, W. S. The influence of temperature and acid scarification duration on *Ipomoea obscura* Hassk. seed germination. **Weed Research**, [Malden], v. 18, n. 2, p. 89–91, Apr. 1978. Disponível em: <https://ur.booksc.me/book/9340374/cf1838>. Acesso em: 02 fev. 2020.

HAVIR, E. A.; MCHALE, N. A. Biochemical and developmental characterization of multiple forms of catalase in tobacco leaves. **Plant Physiology**, [Rockville], v. 84, n. 2, p. 450-455, June 1987. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16665461/>. Acesso em: 21 set. 2021.

HORAK, M. J.; WAX, L. M. Germination and Seedling Development of Bigroot Morningglory (*Ipomoea pandurata*) on JSTOR. **Weed Science**, [Lawrence], v. 39, n. 3, p. 390–396, Sept. 1991. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/4044968>. Acesso em: 02 fev. 2020.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola - Lavoura Temporária**. 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/pesquisa/14/0>. Acesso em: 23 jun. 2020.

JORGE, M. H. A. *et al.* **Quebra de dormência em sementes botânicas de batata-doce utilizando diferentes compostos químicos**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Brasília: Embrapa Vegetables, 2020. Disponível em: <http://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=1125854&biblioteca=vazio&busca=1125854&qFacets=1125854&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1>. Acesso em: 22 maio 2021.

MAGUIRE, J. D. Speed of Germination—Aid In Selection And Evaluation for Seedling Emergence And Vigor¹. **Crop Science**, [Madison], v. 2, n. 2, p. 176–177, Mar./Apr. 1962. Disponível em: <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>. Acesso em: 20 nov. 2019.

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2. ed. Londrina: ABRATES, 2015.

MEDEIROS, A. D. de *et al.* Vigor of maize seeds determined by a free image analysis system¹. **Revista Ciência Agronômica**, [Fortaleza], v. 50, n. 4, p. 616-624, Oct./Dec. 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/6m4p5pbsBckc5qtG8bBCKdQ/?lang=en>. Acesso em: 11 ago. 2021.

- MELO, S. G. F. de. **Dormência e avaliação da qualidade fisiológica de sementes de batata-doce com o uso da análise de imagens**. 2020. 51 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2020. Disponível em: <http://acervo.ufvjm.edu.br/jspui/handle/1/2346>. Acesso em: 09 set. 2021.
- MENEGATTI, R. *et al.* Germinação de sementes de *Mimosa scabrella* Benth. submetidas a diferentes condições de temperatura, armazenamento e tratamentos pré-germinativos. **Revista de Ciências Agrárias**, [Lisboa], v. 40, n. 2, p. 305-310, jan. 2017. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/rca/article/view/16463>. Acesso em: 19 out. 2021.
- MOLLER, I. M.; JENSEN, P. E.; HANSSON, A. Oxidative modifications to cellular components in plants. **Annual Review of Plant Biology**, [Palo Alto], v. 58, n. 1, p. 459-481, Feb. 2007. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17288534/>. Acesso em: 03 set. 2021.
- NAIR, A. G. H. *et al.* Genetic diversity studies in cultivated sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) revealed by simple sequence repeat markers. **International Journal of Advanced Biotechnology Research**, [India], v. 7, n. 1, p. 33-48, Jan. 2017. Disponível em: https://www.ripublication.com/ijabr17/ijabr7n1_04.pdf. Acesso em: 09 mar. 2020.
- NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. **Plant & Cell Physiology**, [Oxford], v. 22, n. 5, p. 867-880, Aug. 1981. Disponível em: <https://academic.oup.com/pcp/article-abstract/22/5/867/1835201>. Acesso em: 12 set. 2021.
- OGUNWENMO, K. O.; UGBOROGHO, R. E. Effects of chemical and mechanical scarification on seed germination of five species of *Ipomea* L. (Convolvulaceae). **Boletim da Sociedade Broteriana**, Portugal, v. 69, p. 147–156, 1998. Disponível em: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=PT2001000284>. Acesso em: 03 mar. 2020.
- PAZUCH, D. *et al.* Superação de dormência em sementes de três espécies de *Ipomoea*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 2, p. 192–199, fev. 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/rwfQvw4Tf9B33tBvRdMmr3f/?lang=pt>. Acesso em: 04 mar. 2020.
- PEREIRA, A. **Avaliação das atividades cicatrizante e antitumoral de extratos provenientes da casca de banana cultivar Prata Anã (Musa spp.)**. 2010. 154 p. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/94456>. Acesso em: 24 nov. 2021.
- SINGH, V. P.; SRIVASTAVA, P. K.; PRASAD, S. M. Nitric oxide alleviates arsenic-induced toxic effects in ridged Luffa seedlings. **Plant Physiology and Biochemistry**, [Paris], v. 71, p. 155-163, Oct. 2013. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23917073/>. Acesso em: 15 set. 2021.

STOLLER, E. W.; WAX, L. M. Dormancy Changes and Fate of Some Annual Weed Seeds in the Soil. **Weed Science**, [Lawrence], v. 22, n. 2, p. 151–155, Mar. 1974. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/4042527>. Acesso em: 03 mar. 2020.

TORQUATO-TAVARES, A. *et al.* Potential for sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) single crosses to improve ethanol production. **Chapingo Serie Horticultura**, [Chapingo], v. 23, n. 1, p. 59-74, Jan./Apr. 2017. Disponível em: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1027-152X2017000100059. Acesso em: 18 jan. 2022.

VALADARES, N. R. *et al.* Effect of different additives on the silage quality of sweet potato branches. **Caatinga**, Mossoró, v. 32, n. 2, p. 506-513, Apr./June 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rcaat/a/jGB64GywtCYK5fLPqXDp88n/?lang=en>. Acesso em: 15 set. 2021

YANIK, T.; DONALDSON, R. P. A protective association between catalase and isocitrate lyase in peroxisomes. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, [New York], v. 435, n. 2, p. 243-252, Mar. 2005. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15708367/>. Acesso em: 21 out. 2021.

**ARTIGO 2 – ALTERAÇÕES MORFOANATÔMICAS E BIOQUÍMICAS EM
SEMENTES BOTÂNICAS DE BATATA-DOCE APÓS QUEBRA DE DORMÊNCIA
COM ÁCIDO SULFÚRICO**

(Artigo redigido conforme a norma para publicação periódica científica NBR 6022 (ABNT, 2018).

RESUMO

As sementes botânicas de batata-doce apresentam dormência tegumentar. O método para superar esse tipo de dormência é através da escarificação química. A imersão em ácido sulfúrico causa alterações no tegumento e podem causar danos a semente. Dessa forma, o objetivo com esse trabalho foi avaliar a influência do ácido sulfúrico para quebra de dormência, nas estruturas internas das sementes de batata-doce através de análises anatômicas e com câmeras térmicas. Os testes foram realizados no laboratório de anatomia vegetal do Departamento de Biologia na Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa MG. As sementes foram escarificadas utilizando ácido sulfúrico concentrado em nove períodos de imersão: 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, e 40 minutos. Em um becker, foi adicionado ácido sulfúrico em quantidade suficiente para cobrir a massa de sementes. Após os períodos, as sementes foram lavadas em água por 2 vezes e em seguida, foram colocadas em um saco de poá fixo à torneira para lavagem em água corrente por 10 minutos. Para as análises anatômicas, após as sementes serem escarificadas, as sementes foram fixadas, inclusas e seccionadas em micrótomo. A captura de imagens com câmera térmica foi feita nos períodos de 0h, 6h e 24h após serem colocadas para embeber. As sementes de batata-doce sem escarificação química e as escarificadas por 5, 10, 15, 20 e 25 minutos apresentaram ausência ou poucas rupturas do tegumento, que consequentemente reduz a porcentagem de germinação. Já as sementes imersas em ácido sulfúrico por 30, 35 e 40 minutos apresentaram menor espessamento e ruptura no tegumento. Assim que as sementes foram colocadas para embeber observou-se raros pontos de maiores temperaturas dentre os tratamentos. Em 6h após o início da embebição, as sementes que não foram escarificadas e as sementes que foram escarificadas por 5, 10, e 15 minutos apresentaram pouca alteração em comparação as imagens capturadas no início da embebição. Sementes que ficaram imersas por 20, 25, e 30 minutos, já indicava metabolismo ativo pela coloração mais intensa na escala de temperatura. As sementes imersas em ácido sulfúrico por 35 e 40 minutos apresentaram sementes com coloração amarela mais nítida. Algumas sementes escarificadas por 30, 35 e 40 minutos já apresentavam protusão radicular. Após 24h de embebição, as sementes dos tratamentos 0, 5 e 10 minutos de imersão em ácido sulfúrico apresentavam coloração amarelada. As sementes escarificadas quimicamente por 15, 20 e 25 minutos apresentavam coloração amarelo mais intenso e algumas sementes apresentavam protusão radicular. Enquanto, as sementes escarificadas por 30, 35 e 40 minutos apresentavam coloração avermelhadas e praticamente todas as sementes já estavam com estágio de protusão radicular. Portanto, sementes botânicas de batata-doce imersas por períodos superiores a 30 minutos sofrem rupturas mais significativas e reativam o metabolismo mais rapidamente.

Palavras-chave: *Ipomoea batatas* (L.) Lam. Anatomia de sementes. Tegumento. Câmera térmica. Metabolismo.

1 INTRODUÇÃO

A batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) é uma hortaliça cultivada em todo território brasileiro. É uma planta rústica, com ampla adaptabilidade a diferentes condições de cultivo e baixo custo de produção. Pertencente à família *Convolvulaceae*, a batata-doce é o único membro hexaplóide ($2n = 6x = 90$), além disso, apresenta grande variabilidade dentro da espécie, provavelmente devido ao alto nível de ploidia. A cultura possui raízes com diversidade de cores e tamanhos, sendo ricas em proteínas, carboidratos, polifenóis e carotenoides. Possui baixo teor de gordura, apresentando-se como uma boa fonte alimentar de antioxidante para prevenir os danos dos radicais livres (ALAM; RANA; ISLAM, 2016; DA SILVA; PONIJALEKI; SUINAGA, 2012; DONATO *et al.*, 2020; HASKELL *et al.*, 2004; RITSCHEL *et al.*, 1999).

Apesar da cultura ser propagada de forma assexuada, as sementes botânicas são de fundamental importância para o desenvolvimento dos programas de melhoramento, principalmente devido à baixa produção de sementes de muitos dos genótipos, ou seja, para garantir a continuidade de um programa de melhoramento com a cultura da batata-doce a alta porcentagem de germinação e a qualidade das plântulas obtidas são fundamentais. Cada semente botânica de batata-doce é potencialmente uma nova cultivar, demonstrando a importância do maior aproveitamento das sementes produzidas nos programas de melhoramento.

A germinação requer quantidades adequadas de água, temperatura, oxigênio e com frequência luz e nitrato. Desses, a água é o fator mais limitante, contudo, sementes de algumas espécies, mesmo em condições favoráveis do meio, acabam não germinando pelo fato de apresentarem algum tipo de dormência. As sementes botânicas de batata-doce apresentam impermeabilidade do tegumento, caracterizada como dormência exógena-física, em que os envoltórios conferem determinada resistência à entrada de água e/ou gases ao embrião, dificultando o início da hidratação e, conseqüentemente, do processo germinativo (BEWLEY *et al.*, 2013; SOLTANI *et al.*, 2021).

Para superar a dormência deve-se utilizar um método eficiente que aumente as taxas de germinação e possibilite maior disponibilidade de plântulas. Para superar a dormência física, diversos métodos são indicados. O uso de ácido, é indicado para diversas espécies (NAIK; DESHPANDE, 2021). Wilson *et al.* (1989), recomendam a escarificação de sementes de batata-doce em ácido sulfúrico (98%) por 40 minutos em um recipiente de vidro. Utilizando essa

metodologia, os autores obtiveram 95% de germinação. Porém, o agente químico pode causar danos às sementes e comprometer o embrião, levando inclusive, a morte (SILVA *et al.*, 2014).

Estudos que relacionam a dormência tegumentar com as características anatômicas fornecem subsídios para selecionar o melhor método de quebra da dormência. Estes estudos devem ser avaliados para cada espécie, pois a espessura do tegumento e a coloração se relacionam a dureza do tecido externo, variam de espécie para espécie e podem afetar a velocidade da entrada de água (MANDIZVO; ODINDO, 2019).

As características, físicas e químicas do tegumento, se relacionam com sua qualidade fisiológica e velocidade de germinação (MANDIZVO; ODINDO, 2019). Rotineiramente, são feitas análises anatômicas e histoquímicas com o objetivo de determinar e localizar barreiras mecânicas e/ou químicas no tegumento de sementes e, determinar o método mais eficiente para superar a dormência. Além disso, a utilização de técnicas em anatomia e com câmeras térmicas podem subsidiar o conhecimento das alterações que ácido sulfúrico pode causar nas sementes.

No entanto, não foi encontrado na literatura estudos sobre a anatomia e a utilização de câmeras térmicas de sementes de batata-doce. Portanto, o objetivo com esse trabalho foi avaliar a influência do ácido sulfúrico para quebra de dormência, nas estruturas internas das sementes de batata-doce por meio de análises anatômicas e com câmeras térmicas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório Central de Pesquisa em Sementes do departamento de agricultura da escola de ciências agrárias (DAG/ESAL) na Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras MG. Foram utilizadas sementes botânicas de batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam), oriundas do policruzamento de progênies de meio-irmãos do banco germoplasma do programa de melhoramento genético da cultura na Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, MG, Brasil, (21°14'43"S, 44°59'59"W, 919 m altitude). As sementes foram colhidas em 2017/2018 e mantidas em câmara fria.

Escarificação química: as sementes de batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam), foram escarificadas utilizando ácido sulfúrico concentrado P.A. (H₂SO₄) 98% em nove períodos de imersão que caracterizam os tratamentos: 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 e 40 minutos.

As sementes foram colocadas em um becker com uma quantidade de ácido sulfúrico concentrado, suficiente para cobrir a massa de sementes que foram movimentadas com o auxílio de um bastonete de vidro. Após os períodos determinados para cada tratamento, o conteúdo do becker foi despejado em um outro recipiente de vidro separando as sementes com uma peneira

plástica de malha fina. Em outro becker contendo água, as sementes foram lavadas em água por 2 vezes, sendo em seguida, colocadas em um saco de poá fixo à torneira para lavagem em água corrente por 10 minutos. Após isso, as sementes foram destinadas aos testes a seguir:

Estudo anatômico: Após as sementes serem escarificadas em ácido sulfúrico nos diferentes tempos de imersão, elas foram fixadas em FAA50, por 48 h sob vácuo. Posteriormente, as sementes foram estocadas em etanol 70% (JOHANSEN *et al.*, 1940). Em seguida foram desidratadas em uma série etílica crescente (85%, 95% e 95%+ resina 1:1), incluídas em metacrilato (Historesin-Leica), segundo as recomendações do fabricante. O material foi seccionado longitudinalmente em micrótomo rotativo de avanço automático (modelo RM2155, Leica microsystems Inc., Deerfield, USA), com 5 µm de espessura, corado com azul de toluidina (O'BRIEN; McCULLY, 1981) e montado em lâminas histológicas permanentes. As imagens foram obtidas em microscópio de luz (modelo AX-70 TRF, Olympus Optical, Tokyo, Japan), acoplado a câmera fotográfica digital (modelo Zeiss AxioCam HRc, Göttinger, Germany) e microcomputador com o programa de captura de imagens Axion Vision. As imagens foram avaliadas quanto as alterações estruturais, como intensidade da coloração, espessura do tegumento e desgastes decorrentes dos efeitos dos tratamentos no tegumento das sementes. Metodologia adaptada para cultura.

Análise térmica: Foram colocadas 25 sementes dos diferentes tratamentos para embeber em placa de petri com papel germitest, com água destilada a 25 °C com quantidade de 2,5 vezes o peso do papel. As imagens foram obtidas por meio de uma câmera de imagem térmica nos períodos de 0h, 6h e 24h após as sementes serem colocadas para embeber. Metodologia adaptada para cultura.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

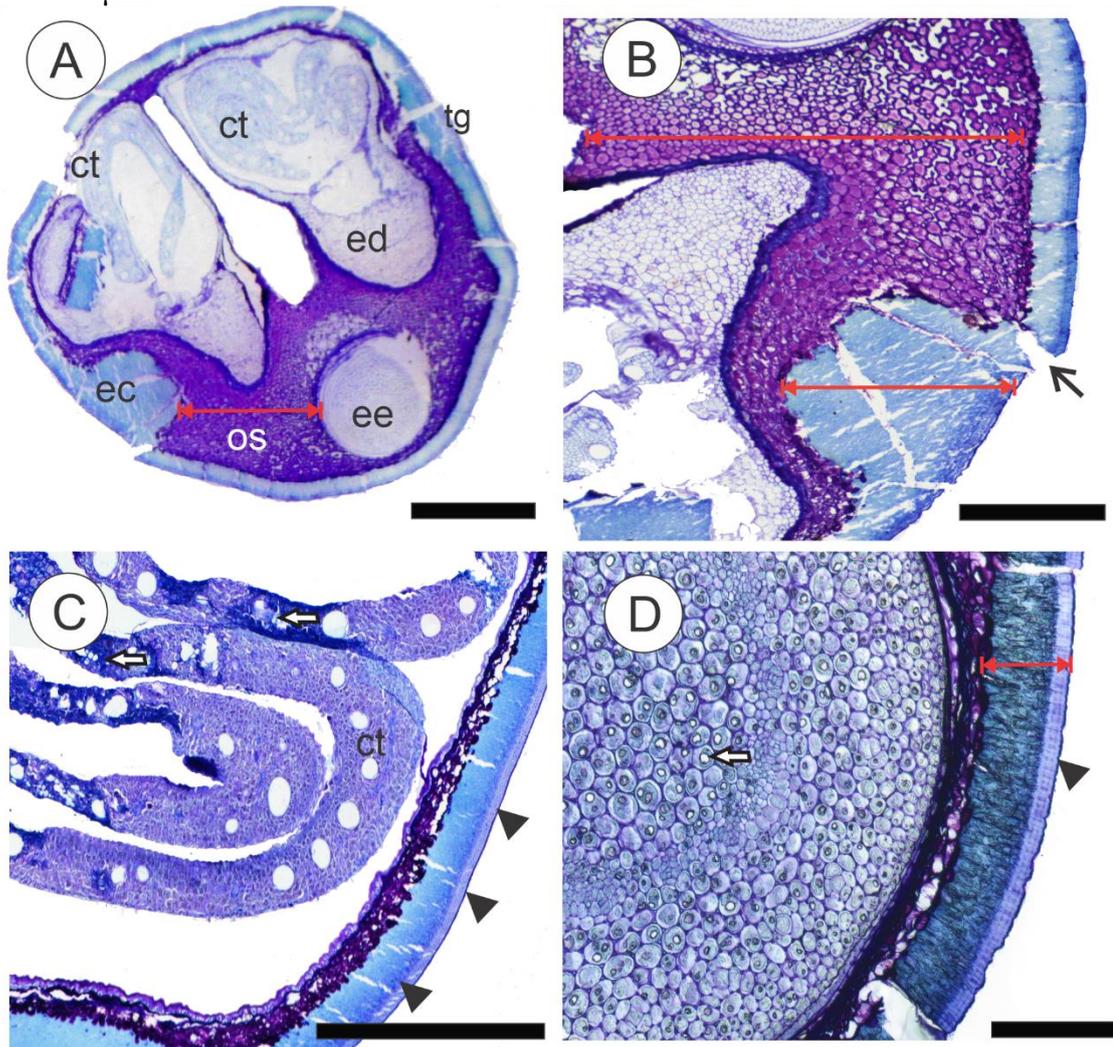
As sementes botânicas de batata-doce apresentaram dois tipos de comportamento em relação a infiltração e a facilidade de corte nas análises anatômicas. Sementes que foram expostas por menos tempo ao ácido sulfúrico: 0, 5, 10, 15, 20 e 25 minutos, apresentaram menor infiltração da resina, logo menor facilidade de obtenção de cortes intactos (FIGURA 1).

Nesses períodos de imersão em ácido sulfúrico, foi observado que o tegumento estava praticamente intacto, com poucas rupturas e desgastes (FIGURA 1A e 1B). Ficou evidente o alto espessamento em regiões próximas ao eixo embrionário (FIGURA 1A), com grande espessamento da região constituída de osteoesclereídes (FIGURA 1B). Os osteoesclereídes se

desenvolvem a partir da hipoderme do tegumento externo e, somadas à camada paliçádica, são estruturas comuns nas sementes de leguminosas (NAIK; DESHPANDE, 2021).

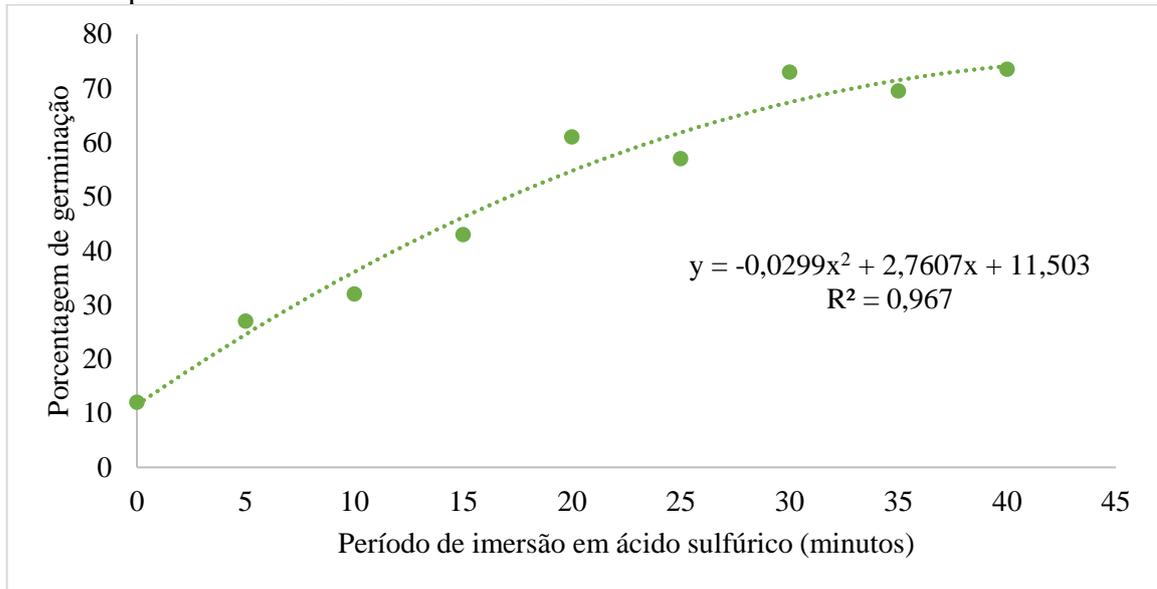
Foi possível perceber também que o cotilédone apresentava regiões com baixa infiltração da resina (FIGURA 1C). Mesmo resultado verificado nas células do eixo embrionário (FIGURA 1D). Além disso, células que compunham o tegumento estavam praticamente intactas na maior parte circundante das sementes (FIGURA 1D). A grande intensidade de coloração, indicou menor desgaste dos componentes de parede celular do tegumento das sementes, nas quais não houve escarificação. Nas sementes escarificadas com ácido sulfúrico por períodos maiores observamos comportamento oposto, com maior desgaste do tegumento e presença de trincas e rachaduras, que facilitam a entrada de água (FIGURA 3). A barreira mecânica imposta ao tegumento, evidenciada nas imagens, justifica a baixa taxa de germinação do grupo de sementes com menor tempo de exposição ao ácido (FIGURA 3).

Figura 1 - Anatomia de luz de sementes de batata-doce coradas com azul de toluidina submetidas a imersão em ácido sulfúrico por 0, 5, 10, 15, 20 e 25 minutos. A = semente inteira, B = Tegumento (tg); corado em azul claro macroesclereídes, coloração arroxeada osteoesclereídes (os), C = imagem aumentada do cotilédone (ct) e dos tegumentos, D = imagem aumentada da região do eixo embrionário (ee), destacando as células do eixo, osteoesclereídes e macroesclereídes. Setas pretas indicam ruptura do tegumento, cabeças de seta destaca o tegumento com a parte externa lignificada. Seta branca indica células do eixo embrionário com problemas de infiltração. Marcadores vermelhos evidenciam o alto espessamento imposto pelo tegumento e seus componentes. Endosperma (ed), Esclereídes (es). Barras = 500 μ m.



Fonte: Da autora (2021).

Figura 2 - Porcentagem de germinação de sementes de batata-doce submetidas a diferentes períodos de imersão em ácido sulfúrico.

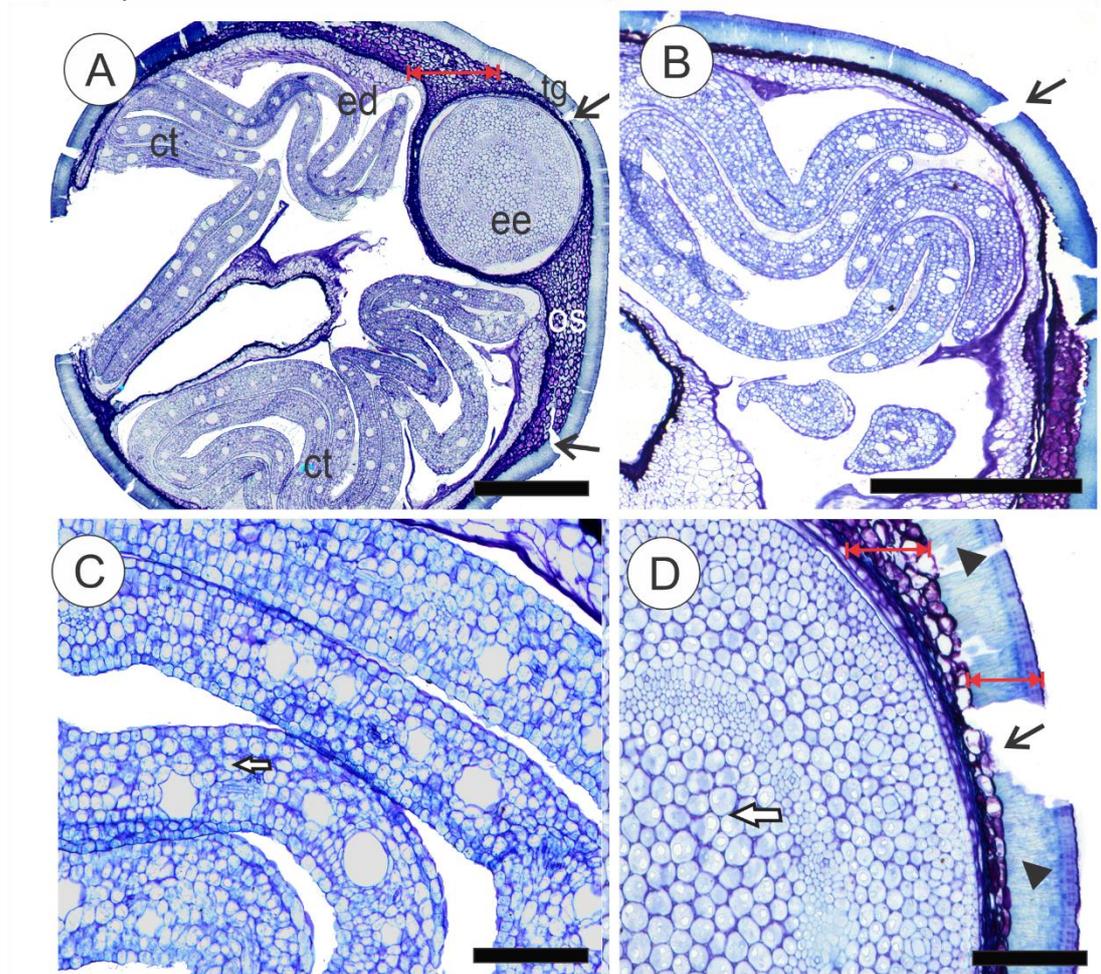


Fonte: Da autora (2021).

Foi observado aumento na porcentagem de germinação das sementes de batata-doce com o aumento no período de imersão no ácido sulfúrico. O modelo de regressão quadrática permite inferir relação no aumento do período de imersão em ácido sulfúrico e no aumento na porcentagem de germinação das sementes de batata-doce. Sementes de *Ipomoea indivisa* e *Ipomoea purpúrea*, escarificadas com ácido sulfúrico, apresentaram aumento de 780% e 512% na porcentagem de germinação, respectivamente, em relação à testemunha (PAZUCH *et al.*, 2015).

As sementes de batata-doce imersas em ácido sulfúrico por 30, 35 e 40 minutos, apresentaram boa infiltração da resina e facilidade de corte. Observou-se maior quantidade de rupturas no tegumento (FIGURA 3A, 3B e 3D). Além disso, apresentaram regiões do tegumento menos espessadas (FIGURA 3A, 3B e 3D).

Figura 3 - Anatomia de luz de sementes de batata-doce coradas com azul de toluidina submetidas a imersão em ácido sulfúrico por 30, 35 e 40 minutos. A = semente inteira, B = Tegumento (tg); corado em azul claro macroesclereídes, coloração arrouxeada osteoesclereídes (os), C = imagem aumentada do cotilédone (ct) e dos tegumentos, D = imagem aumentada da região do eixo embrionário (ee), destacando as células do eixo, osteoesclereídes e macroesclereídes. Setas pretas indicam ruptura do tegumento, cabeças de seta destaca o tegumento com a parte externa lignificada. Seta branca indica células do eixo embrionário com problemas de infiltração. Marcadores vermelhos evidenciam o alto espessamento imposto pelo tegumento e seus componentes. Endosperma (ed), Esclereides (es). Barras = 500 μ m.

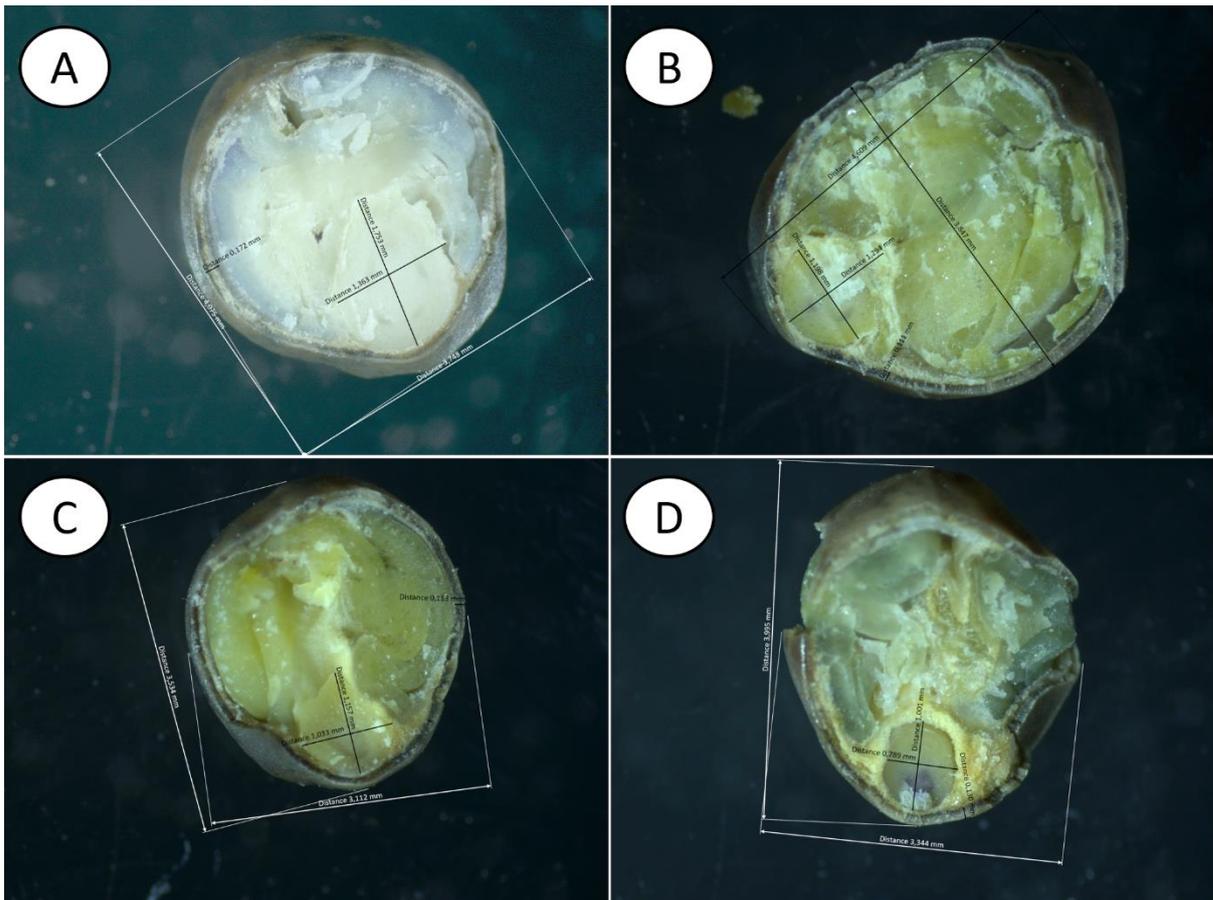


Fonte: Da autora (2021).

Observou-se também que a camada de osteoesclereídes era menos espessa (FIGURA 3A e 3D). Na Figura 3A, 3B e 3C observa-se que as células dos cotilédones e do eixo embrionário (FIGURA 3A e 3D), apresentavam boa infiltração e normalidade. Também, neste grupo, com maior tempo de imersão no ácido, observou-se rupturas mais intensas, rompendo todas as camadas do tegumento, oferecendo acesso direto ao interior das sementes (FIGURA 3D). Além disso, a tonalidade de coloração proporcionada pelo corante evidência maior

desgaste do tegumento quando escarifica sementes de batata-doce por períodos maiores em ácido sulfúrico. Nesse grupo a escarificação química, *proporcionou* aumento nos percentuais de germinação das sementes de 608%, em relação à testemunha. Através de uma câmera acoplada a lupa e com a utilização do programa Zen blue é possível observar que as sementes não escarificadas quimicamente apresenta maior espessura do tegumento de 0,172mm (FIGURA 4A). Já as sementes imersas por 15, 30 e 40 minutos apresentam espessura de 0,111mm, 0,113mm e 0,130 mm respectivamente (FIGURA 4B, 4C e 4D). Houve uma redução na espessura do tegumento nos períodos de imersão 15 e 30 minutos, porém mesmo o tegumento permanecendo relativamente espesso após 40 minutos de imersão em ácido sulfúrico, a absorção de água aconteceu pelas rupturas causadas pelo ácido (FIGURA 3).

Figura 4 - Imagens capturadas por câmera acoplada a lupa de sementes de batata-doce A = semente sem escarificação; B = Semente imersa por 15 minutos em ácido sulfúrico; C = Semente imersa por 30 minutos em ácido sulfúrico; D = Semente imersa por 40 minutos em ácido sulfúrico.

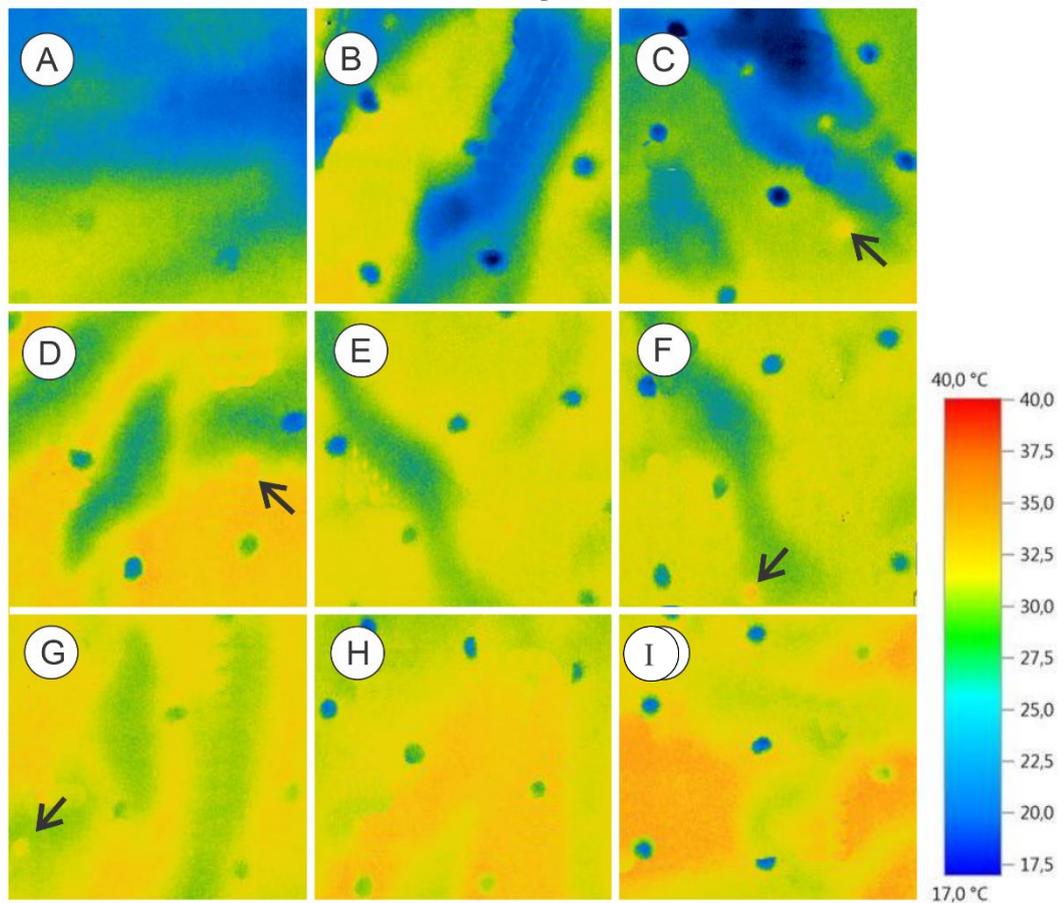


Fonte: Da autora (2021).

Na análise térmica, nas imagens logo após a embebição observou-se que as sementes se encontravam frias, de acordo com a escala térmica da câmera. Apenas algumas sementes,

conforme Figura 5C, 5D, 5F e 5G, apresentavam leve aquecimento que pode ser interpretado como o início da embebição e do metabolismo celular.

Figura 5 - Análise térmica de sementes de batata-doce no início da embebição (0h). A = sementes sem imersão em ácido sulfúrico, B = sementes imersas por 5 minutos em ácido sulfúrico, C = sementes imersas por 10 minutos em ácido sulfúrico, D = sementes imersas por 15 minutos em ácido sulfúrico, E = sementes imersas por 20 minutos em ácido sulfúrico, F = sementes imersas por 25 minutos em ácido sulfúrico, G = sementes imersas por 30 minutos em ácido sulfúrico, H = sementes imersas por 35 minutos em ácido sulfúrico e I = sementes imersas por 40 minutos em ácido sulfúrico.



Fonte: Da autora (2021).

A dormência física quando superada utilizando técnicas de escarificação desenvolvidas para causar ruptura ou desgaste dos tegumentos da semente, permite a hidratação e o início do processo de germinação. A absorção de água na maioria das sementes, proporciona uma germinação com padrão trifásica. A reidratação das macromoléculas celulares ativa os processos metabólicos basais, incluindo a respiração, a transcrição e a tradução. Na fase I, as sementes secas embebem ou absorvem água rapidamente. Já que a água flui do potencial hídrico mais alto para o mais baixo, a absorção de água cessa quando a diferença no potencial hídrico entre a semente e o ambiente se torna zero. Nesta fase ocorre a retomada metabólica, a

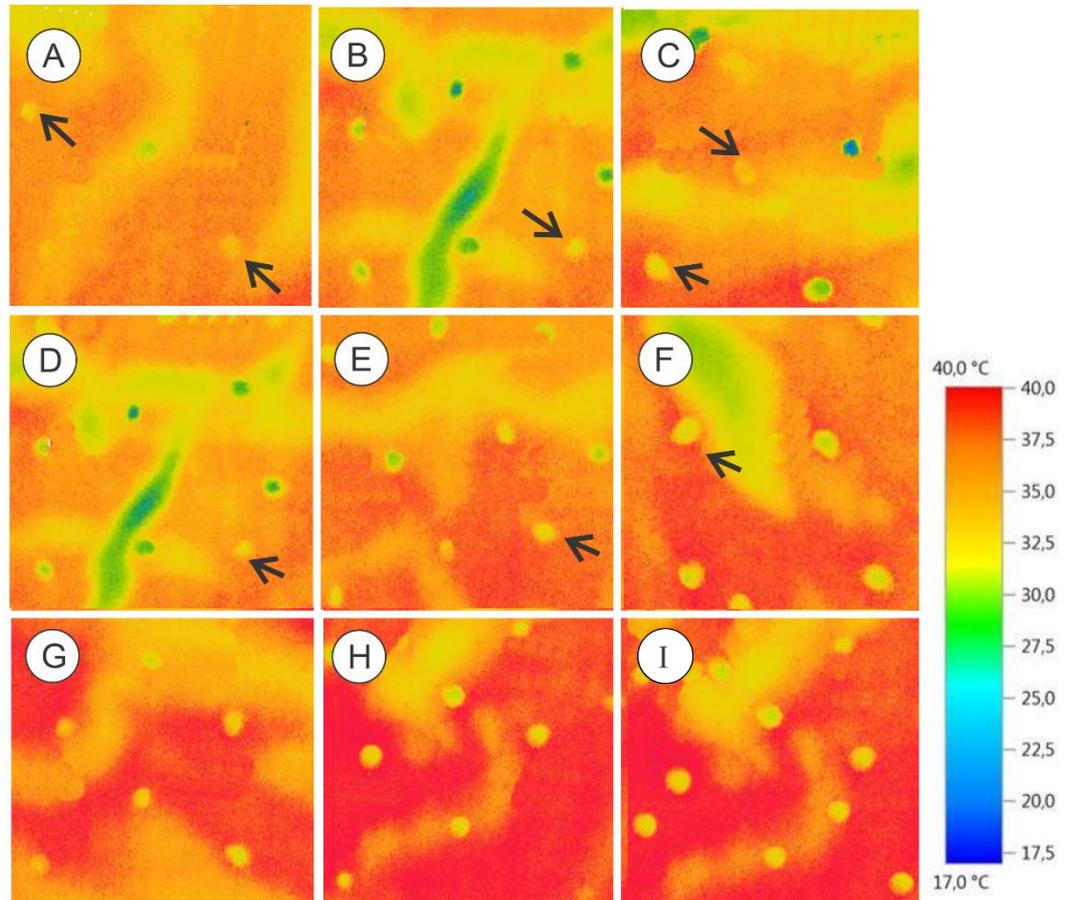
respiração aeróbica fornece o principal suprimento de energia necessário para a germinação. A reativação das mitocôndrias ocorre quase imediatamente após a reidratação (PASZKIEWICZ *et al.*, 2017; TAIZ *et al.*, 2017).

Durante a fase II, as células expandem-se e a raiz primária emerge da semente. A atividade metabólica aumenta, e ocorre o afrouxamento da parede celular. A germinação depende do equilíbrio de duas forças opostas: o potencial de crescimento do eixo embrionário, divisão e alongamento celular (zona de crescimento radícula-hipocótilo) e a redução da barreira que cobre sementes (endosperma, testa e pericarpo) (STEINBRECHER; LEUBNER-METZGER, 2016). A biomecânica do crescimento das células embrionárias durante a germinação das sementes depende do afrouxamento irreversível da parede celular seguido pela absorção de água devido à diminuição do turgor, e isso leva ao alongamento do embrião e, eventualmente, à emergência da raiz. O enfraquecimento do endosperma é pré-requisito para a emergência da radícula sendo um fenômeno amplamente difundido entre as angiospermas. Na fase III, a absorção de água reinicia à medida que a plântula se estabelece (BEWLEY, 2013).

Nas imagens capturadas após 6h do início da embebição (FIGURA 6), as sementes que não foram escarificadas e as sementes que foram escarificadas por 5, 10, e 15 minutos, apresentavam pouca alteração em comparação as imagens capturadas no início da embebição (FIGURA 4). Enquanto, as sementes que ficaram imersas por 20, 25, e 30 minutos em ácido sulfúrico, já era possível notar aumento da coloração amarela, indicando metabolismo ativo. As sementes imersas em ácido sulfúrico por 35 e 40 minutos apresentaram sementes com coloração amarela mais nítida. Algumas sementes escarificadas por 30, 35 e 40 minutos já apresentavam protusão da raiz primária.

Na Figura 7, após 24 h de embebição, as sementes dos tratamentos 0, 5 e 10 minutos de imersão em ácido sulfúrico apresentava coloração amarelado. As sementes escarificadas quimicamente por 15, 20 e 25 minutos apresentavam coloração amarelo mais intenso e algumas sementes apresentava protusão radicular. Enquanto, as sementes escarificadas por 30, 35 e 40 minutos apresentavam coloração avermelhada e praticamente todas as sementes já estavam com estágio de protusão radicular. Em *Ipomoea purpurea*, estudos comprovam que a escarificação química utilizando ácido sulfúrico promoveu incremento de 620% no índice de velocidade de germinação. Porém, Jorge *et al.* (2020) não observaram diferença significativa em sementes de batata-doce submetidas a quebra de dormência com ácido sulfúrico na porcentagem de germinação e no índice de velocidade de emergência nos diferentes períodos de imersão.

Figura 6 - Análise térmica de sementes de batata-doce após 6h do início da embebição. A = sementes sem imersão em ácido sulfúrico, B = sementes imersas por 5 minutos em ácido sulfúrico, C = sementes imersas por 10 minutos em ácido sulfúrico, D = sementes imersas por 15 minutos em ácido sulfúrico, E = sementes imersas por 20 minutos em ácido sulfúrico, F = sementes imersas por 25 minutos em ácido sulfúrico, G = sementes imersas por 30 minutos em ácido sulfúrico, H = sementes imersas por 35 minutos em ácido sulfúrico e I = sementes imersas por 40 minutos em ácido sulfúrico.

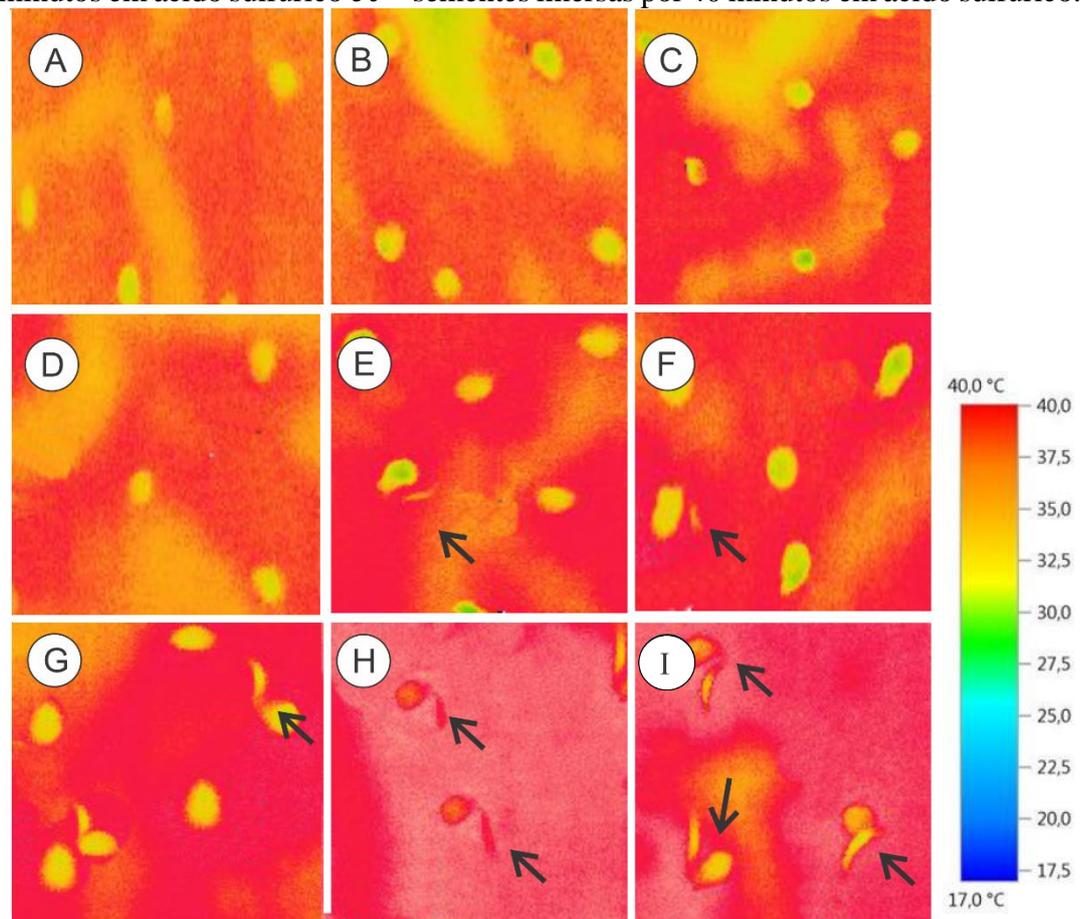


Fonte: Da autora (2021)

As mudanças na coloração, causadas pela retomada metabólica, retomada da respiração aumenta o fluxo de calor emitido pelas sementes durante o processo de germinação. O metabolismo é afetado pela embebição, respiração, decomposição de nutrientes e outras reações físicas, bioquímicas e químicas correlacionadas com a semente viabilidade (KIM *et al.*, 2013, 2014; THAKUR *et al.*, 2020). Mudanças na coloração medidas por sensores de termografia infravermelha, se caracteriza como técnica com grande potencial na avaliação da viabilidade de sementes e vigor (THAKUR *et al.*, 2020). A medida de uma pequena variação na temperatura das sementes (fluxo de calor) pode ajudar na avaliação das mudanças metabólicas em tempo real durante a germinação antes da protrusão radicular (KRANNER *et al.*, 2010; MEN *et al.*, 2017). Cores mais avermelhadas indicam retomada metabólica, ou seja, entrada de

água, aumento da respiração, atividade mitocondrial, produção de ATP, translocação de reserva culminando na germinação.

Figura 7 - Análise térmica de sementes de batata-doce após 24h de embebição. A = sementes sem imersão em ácido sulfúrico, B = sementes imersas por 5 minutos em ácido sulfúrico, C = sementes imersas por 10 minutos em ácido sulfúrico, D = sementes imersas por 15 minutos em ácido sulfúrico, E = sementes imersas por 20 minutos em ácido sulfúrico, F = sementes imersas por 25 minutos em ácido sulfúrico, G = sementes imersas por 30 minutos em ácido sulfúrico, H = sementes imersas por 35 minutos em ácido sulfúrico e J = sementes imersas por 40 minutos em ácido sulfúrico.



Fonte: Da autora (2021).

4 CONCLUSÃO

A imersão de sementes de botânicas de batata-doce em ácido sulfúrico por período superior a 30 minutos causa desgastes no tegumento o que permite a reidratação e ativação do metabolismo.

As câmaras térmicas podem ser utilizadas para identificar que a absorção de água e ativação do metabolismo ocorrem mais rápida em sementes de batata-doce escarificadas quimicamente.

A anatomia vegetal como ferramenta científica propicia o entendimento do efeito do ácido sulfúrico na quebra da dormência das sementes de batata-doce por meio do desgaste das estruturas que agem como barreira física.

Por meio das análises de imagem, é possível ajustar melhor o tempo de exposição ao ácido sulfúrico e assim, colaborar no desenvolvimento de metodologias mais eficientes para a quebra de dormência de sementes de batata-doce.

AGRADECIMENTOS

Ao setor de Olericultura da Universidade Federal de Lavras, ao departamento de agricultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), ao laboratório central de Pesquisa em Sementes do Departamento de agricultura da Universidade Federal de Lavras, ao laboratório de anatomia vegetal do Departamento de Biologia na Universidade Federal de Viçosa (UFV), a CAPES, FAPEMIG, E CNPq.

REFERÊNCIAS

ALAM, M. K.; RANA, Z. H.; ISLAM, S. N. Comparison of the proximate composition, total carotenoids and total polyphenol content of Nine Orange-Fleshed Sweet Potato Varieties Grown in Bangladesh. **Foods**, [Basel], v. 5, n. 3, p. 64, Sept. 2016. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28231159/>. Acesso em: 03 mar. 2021.

BEWLEY, J. D. *et al.* **Sementes - Fisiologia do desenvolvimento, germinação e dormência**. 3. ed. New York: Springer, 2013.

DA SILVA, G. O.; PONIJALEKI, R.; SUINAGA, F. A. Divergência genética entre acessos de batata-doce utilizando caracteres fenotípicos de raiz. **Horticultura Brasileira**, [Recife], v. 30, n. 4, p. 595–599, dez. 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/MmGKbLzmqFzXsdwbQF4D/?lang=pt>. Acesso em: 22 out. 2020.

DONATO, L. M. S. *et al.* The use of the sweet potato branches in the hay production. **Ciência Animal Brasileira**, [Goiânia], v. 21, p. 1-12, Apr. 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cab/a/n63Hnq5xVjXzj5kbL5gpDLF/abstract/?lang=en&format=html>. Acesso em: 24 set. 2021.

HASKELL, M. J. *et al.* Daily consumption of Indian spinach (*Basella alba*) or sweet potatoes has a positive effect on total-body vitamin A stores in Bangladeshi men. **American Journal of Clinical Nutrition**, [Bethesda], v. 80, n. 3, p. 705–714, Sept. 2004. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15321812/>. Acesso em: 21 out. 2020.

JOHANSEN, D. A. **Plant microtechnique**. New York: Mcgraw-Hill Book, 1940. 523 p.

JORGE, M. H. A. *et al.* **Quebra de dormência em sementes botânicas de batata-doce utilizando diferentes compostos químicos**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento.

Brasília: Embrapa Vegetables, 2020. Disponível em:

<http://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=1125854&biblioteca=vazio&busca=1125854&qFacets=1125854&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1>. Acesso em: 22 maio 2021.

KIM, G. *et al.* Mid-infrared lifetime imaging for viability evaluation of lettuce seeds based on time-dependent thermal decay characterization. **Sensors**, Basel, v. 13, n. 3, p. 2986–2996, Mar. 2013. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23529120/>. Acesso em: 21 out. 2020.

KIM, G. *et al.* Viability estimation of pepper seeds using time-resolved photothermal signal characterization. **Infrared Physics and Technology**, [Amsterdam], v. 67, p. 214–221, Nov. 2014. Disponível em: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2014InPhT..67..214K/abstract>. Acesso em: 21 out. 2020.

KRANNER, I. *et al.* Noninvasive diagnosis of seed viability using infrared thermography.

Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,

[Washington], v. 107, n. 8, p. 3912–3917, Feb. 2010. Disponível em:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20133712/>. Acesso em: 22 maio 2021.

MANDIZYO, T.; ODINDO, A. O. Seed coat structural and imbibitional characteristics of dark and light coloured Bambara groundnut (*Vigna subterranea* L.) landraces. **Heliyon**,

[United Kingdom], v. 5, n. 2, Feb. 2019. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S240584401835312X>. Acesso em: 02 mar. 2021.

MEN, S. *et al.* A classification method for seed viability assessment with infrared thermography. **Sensors**, Basel, v. 17, n. 4, p. 845, Apr. 2017. Disponível em:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28417907/>. Acesso em: 03 mar. 2021.

NAIK, I. S.; DESHPANDE, V. K. Seed coat dormancy: An overview in legumes. **The**

Pharma Innovation Journal, São Paulo, v. 10, n. 11, p. 620-624, Oct. 2021. Disponível em:

<https://www.thepharmajournal.com/archives/2021/vol10issue11S/PartJ/S-10-9-188-368.pdf>.

Acesso em: 24 nov. 2021.

O'BRIEN, T. P.; McCULLY, M. E. **The study of plant structure: principles and selected methods**. Melbourne: Termarcarphi Pty, 1981. p. 316.

PASZKIEWICZ, G. *et al.* Arabidopsis seed mitochondria are bioenergetically active immediately upon imbibition and specialize via biogenesis in preparation for autotrophic growth. **The Plant Cell**, [Rockville], v. 29, n. 1, p. 109-128, Jan. 2017. Disponível em:

<https://academic.oup.com/plcell/article/29/1/109/6099011>. Acesso em: 03 mar. 2021.

PAZUCH, D. *et al.* Superação de dormência em sementes de três espécies de *Ipomoea*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 2, p. 192–199, fev. 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/rwfQvw4Tf9B33tBvRdMmr3f/?lang=pt>. Acesso em: 04 mar. 2020

RITSCHHEL, P. S. *et al.* **Organização do Banco Ativo de germoplasma de batata-doce: situação atual e perspectivas**. Recursos Genéticos e Melhoramento de Plantas para o Nordeste Brasileiro. Embrapa, 1999. p. 1-12. Disponível em: <http://www.cpatas.embrapa.br/catalogo/livrorg/batata doce.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2021.

SILVA, A. L. D. *et al.* Methods for overcoming seed dormancy in *Ormosia arborea* seeds, characterization and harvest time. **Journal of Seed Science**, [Londrina], v. 36, n. 3, p. 318–325, Sept. 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jss/a/hLw8XyLkvKg8ydVCV88cRSs/?lang=en>. Acesso em: 12 fev. 2020.

SOLTANI, A. *et al.* The genetics and physiology of seed dormancy, a crucial trait in common bean domestication. **BMC Plant Biology**, [London], v. 21, n. 58, p. 1-17, Jan. 2021. Disponível em: <https://bmcpantbiol.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12870-021-02837-6>. Acesso em: 10 set. 2021.

STEINBRECHER, T.; LEUBNER-METZGER, G. The biomechanics of seed germination. **Journal of Experimental Botany**, [Oxford], v. 68, n. 4, p. 765–783, Feb. 2017. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27927995/>. Acesso em: 15 set. 2021.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

THAKUR, M. *et al.* Raffinose and hexose sugar content during germination are related to infrared thermal fingerprints of primed onion (*Allium cepa* L.) seeds. **Frontiers in Plant Science**, [Lausanne], v. 11, p. 1-10, Oct. 2020. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33123184/>. Acesso em: 15 set. 2021.

WILSON, J. E. *et al.* **Sweet Potato (*Ipomoea batatas*) Breeding CROPS**. Apia: Western Samoa, 1989.