



ALANA CHOCOROSQUI FERNANDES

**PERDA DA TOLERÂNCIA À DESSECAÇÃO EM
SEMENTES DE ESPÉCIES FLORESTAIS**

**LAVRAS – MG
2020**

ALANA CHOCOROSQUI FERNANDES

**PERDA DA TOLERÂNCIA À DESSECAÇÃO EM SEMENTES DE
ESPÉCIES FLORESTAIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Ciências Florestais, para a obtenção do título de Doutora.

Prof. Dr. José Marcio Rocha Faria
Orientador
Prof. Dr. Anderson Cleiton José
Prof. Dra. Isolde Dorothea Kossmann Ferraz
Coorientadores

**LAVRAS – MG
2020**

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

Fernandes, Alana Chocorosqui.

Perda da tolerância à dessecação em sementes de espécies florestais / Alana Chocorosqui Fernandes. - 2020.

103 p. : il.

Orientador(a): José Marcio Rocha Faria.

Coorientador(a): Anderson Cleiton José, Isolde Dorothea Kossmann Ferraz.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2020.

Bibliografia.

1. Sementes florestais. 2. Secagem. 3. Germinação. I. Faria, José Marcio Rocha. II. José, Anderson Cleiton. III. Ferraz, Isolde Dorothea Kossmann. IV. Título.

ALANA CHOCOROSQUI FERNANDES

**PERDA DA TOLERÂNCIA À DESSECAÇÃO EM SEMENTES DE
ESPÉCIES FLORESTAIS
LOSS OF DESICCATION TOLERANCE IN SEEDS OF FOREST
SPECIES**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Ciências Florestais, para a obtenção do título de Doutora.

APROVADA em 12 de novembro de 2020.

Dr. Anderson Cleiton José

UFLA

Dr. Ezequiel Gasparin

UFSM

Dra. Raquel Maria de Oliveira Pires

UFLA

Dra. Olivia Alvina Oliveira Tonetti

UFLA

Prof. Dr. José Márcio Rocha Faria
Orientador

**LAVRAS – MG
2020**

*A minha família, por todo amor e cuidado.
Dedico.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida e por cada oportunidade proporcionada;

Ao Instituto Federal do Acre pela confiança e investimento;

Ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal de Lavras pela oportunidade e acolhimento;

Ao meu orientador Dr. José Marcio Rocha Faria, a quem eu cultivo uma enorme admiração, agradeço por cada conversa (mesmo a distância), pelas correções, pela compreensão e apoio;

Ao Dr. Wilson Vicente Souza Pereira, Dra. Olivia Alvina Oliveira Tonetti e Dr. Anderson Cleiton José, pela convivência, disponibilidade, apoio e orientação sempre que solicitado;

Às professoras do programa de pós-graduação em Agronomia/Fitotecnia, Dra. Heloisa Oliveira dos Santos e Dra. Raquel Maria de Oliveira Pires, por sempre me receberem tão bem no Setor de Sementes da UFLA. Agradeço a disponibilidade, as conversas e apoio de vocês.

À Dra. Isolde Dorothea Kossmann Ferraz do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, ao professor Dr. Ezequiel Gasparin da Universidade Federal de Santa Maria, aos técnicos da Universidade Federal de Lavras José Carlos e José Pedro que me auxiliaram na obtenção de sementes;

Aos meus pais, Fernando e Marta, pelo incentivo, amor e compreensão. Obrigada por todo apoio e por sempre buscarem me manter tranquila e bem enquanto estive longe;

Ao meu marido, Elvis Pereira de Oliveira, por mais esse desafio aceito. Sou grata pela sua presença, companheirismo e amor. Obrigada pelo apoio e por acreditar no meu potencial (até mais que eu mesma);

A todos (as) amigos(as) do Laboratório de Sementes Florestais da UFLA, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Coral Canto das Nascentes e do Centro de Cultura da Ufla, do Núcleo de Estudos em Silvicultura, do Núcleo de Estudos em Sementes, das Paróquias Nossa Senhora Auxiliadora e São Judas Tadeu. Muito obrigada pela amizade, pelos momentos de alegrias e experiências que vocês me proporcionaram e por serem minha família durante esse tempo em Lavras. Levo daqui pessoas especiais e amigos verdadeiros para toda minha vida;

Aos meus colegas de trabalho e alunos do Instituto Federal do Acre, a todos os amigos que tenho a felicidade de dividir minha vida, agradeço a torcida, carinho e apoio;

A todos os docentes envolvidos na minha formação, agradeço pelo conhecimento compartilhado, por cada palavra de incentivo e por cada correção. Vocês me inspiraram (e inspiram) a ser cada vez melhor.

Se hoje estou aqui, foi porque tive cada um de vocês na minha história. Obrigada.

“O saber a gente aprende com os mestres e os livros. A sabedoria, se aprende é com a vida e com os humildes.” (Cora Coralina)

RESUMO

Ameaças à biodiversidade como desmatamento, queimadas e mudanças climáticas têm sido observadas com mais frequência e intensidade nos últimos anos. A capacidade de tolerar essas pressões ambientais e antrópicas representará o sucesso ou o fracasso das espécies no futuro. A tolerância à dessecação é uma habilidade presente em sementes ortodoxas que as tornam capazes de sobreviver a níveis mínimos de água sem acumulação de danos letais, retomando seu metabolismo após hidratação. A perda da tolerância à dessecação torna as sementes ortodoxas susceptíveis a condições ambientais adversas e tem sido associada a protrusão da radícula. Trabalhos recentes, contudo, têm mostrado que a perda da tolerância à dessecação varia entre espécies e dentro da mesma espécie. Deste modo, o presente estudo objetivou caracterizar a perda da tolerância à dessecação durante a germinação de sementes ortodoxas de *Anadenanthera peregrina* (angico vermelho), *Psidium guajava* (goiaba) e *Bixa orellana* (urucum). Para isso, foram conduzidas curvas de embebição das sementes de cada espécie e, a partir destas, determinados os momentos para interrupção da germinação e posterior secagem e reidratação para caracterização da perda da tolerância à dessecação. Todas as espécies avaliadas apresentaram padrão trifásico de embebição de sementes. Sementes de *Anadenanthera peregrina* e *Psidium guajava* perderam a tolerância à dessecação gradualmente, sendo que, com a protrusão da radícula, a tolerância foi totalmente perdida. Sementes de *Bixa orellana* apresentaram baixa tolerância à dessecação, independentemente do tempo ou ocorrência da embebição. Essa baixa germinação pode estar relacionada a aquisição de dormência secundária pelas sementes.

Palavras-chave: Sementes florestais. Secagem. Germinação. Curva de embebição.

ABSTRACT

Threats to biodiversity such as deforestation, fires and climate change have been observed more frequently and intensely in recent years. The ability to tolerate these environmental and human pressures will represent the success or failure of species in the future. Desiccation tolerance is a skill present in orthodox seeds that makes them capable of surviving minimum water levels without accumulating lethal damage, resuming their metabolism after hydration. Loss of desiccation tolerance makes orthodox seeds susceptible to adverse environmental conditions and has been associated with root protrusion. Recent work, however, has shown that loss of desiccation tolerance varies between species and within the same species. Thus, the present study aimed to characterize the loss of desiccation tolerance during the germination of orthodox seeds of *Anadenanthera peregrina* (red angico), *Psidium guajava* (guava) and *Bixa orellana* (annatto). For that, curves of imbibition of the seeds of each species were built and, from these, the moments to interrupt the germination and subsequent drying and rehydration were determined to characterize the loss of desiccation tolerance. All species evaluated showed three-phase pattern of seed imbibition. Seeds of *Anadenanthera peregrina* and *Psidium guajava* gradually lost their desiccation tolerance, and with the protrusion of the radicle, the tolerance was totally lost. *Bixa orellana* seeds showed low desiccation tolerance, regardless of the time or occurrence of imbibition. This low germination may be related to the acquisition of secondary dormancy by the seeds.

Keywords: Forest seeds. Drying. Germination. Imbibition curve.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

ARTIGO 1

- Figura 1. Aspectos do formato, coloração, textura, locais de medição de comprimento (maior medida) e largura (menor medida) de semente de *Anadenanthera peregrina*. ... 44
- Figura 2. Crescimento de plântulas de *Anadenanthera peregrina* submetida a diferentes temperaturas. (A) Plântula formada após 30 dias do início do teste de germinação à temperatura de 10 °C; e (B) Plântula formada após 10 dias do início do teste de germinação à temperatura de 15 °C..... 46
- Figura 3. Porcentagem acumulada da germinação de sementes de *Anadenanthera peregrina* em diferentes temperaturas..... 47
- Figura 4. Curva de embebição de sementes de *Anadenanthera peregrina*. A seta indica o momento de início da protrusão radicular. 48
- Figura 5. Plântulas normais, germinação acumulada e peso fresco de sementes de *Anadenanthera peregrina* em resposta ao tratamento de embebição por diferentes tempos, dessecação e reidratação. 51
- Figura 6. Embrião de *Anadenanthera peregrina*. Círculo indica raiz necrosada após embebição, secagem e reidratação..... 53
- Figura 7. Plântula anormal de *Anadenanthera peregrina* produzida sem sistema radicular. Detalhe da necrose radicular..... 54
- Figura 8. Percentual de germinação de sementes de *Anadenanthera peregrina* embebidas por diferentes tempos, secas e armazenadas sob diferentes condições..... 55

ARTIGO 2

- Figura 1. Efeito de diferentes temperaturas na germinação e índice de velocidade de germinação de sementes de *Psidium guajava* coletadas em Manaus (AM) e em Itumirim (MG)..... 68
- Figura 2. Efeito de diferentes temperaturas na curva de germinação de sementes de *Psidium guajava* coletadas em Manaus (AM)..... 69
- Figura 3. Efeito de diferentes temperaturas na germinação de sementes de *Psidium guajava* coletadas no município de Itumirim, MG..... 70
- Figura 4. Curva de embebição de sementes de *Psidium guajava* coletadas em Manaus, AM e em Itumirim, MG, germinadas à temperatura de 20-30 °C. Setas indicam o início da

protrusão radicular em cada lote.....	70
Figura 5. Plântulas normais, germinação acumulada e peso fresco de sementes de <i>Psidium guajava</i> coletadas na região norte (AM) em resposta ao tratamento de dessecação após embebição em diferentes tempos.....	72
Figura 6. Plântulas normais, germinação acumulada e peso fresco de sementes de <i>Psidium guajava</i> coletadas na região sudeste (MG), em resposta ao tratamento de dessecação após embebição em diferentes tempos.....	73
Figura 7. Plântulas normais de <i>Psidium guajava</i> produzidas após 9 dias de embebição, seguidas de secagem e reidratação. Destaque para a formação do sistema radicular mesmo com necrose da raiz principal.....	74
Figura 8. Imagem obtida pelo teste de raios X com sementes do lote MG. Sementes destacadas foram classificadas como mortas no teste de germinação.....	74
Figura 9. Detalhe da morfologia interna de uma semente de <i>Psidium guajava</i> obtida através de imagem pelo teste de raios X com sementes do lote MG.....	75

ARTIGO 3

Figura 1. Plântula normal (formada após 30 dias de incubação) e semente embebida de <i>Bixa orellana</i>	91
Figura 2. Imagens obtidas com o software Groundeye® mostrando coloração, formato, textura, posição de medição do comprimento (maior medida) e largura (menor medida) das sementes de <i>Bixa orellana</i>	91
Figura 3. Imagem radiográfica de sementes de <i>Bixa orellana</i> . Sementes vazias (a); Sementes mortas (b); Sementes viáveis que produziram plântulas normais após 30 dias de incubação (c).....	93
Figura 4. Curva de embebição de sementes de <i>Bixa orellana</i> . A seta indica o momento de início da germinação visível (protrusão radicular).....	94
Figura 5. Corte transversal de semente embebida de <i>Bixa orellana</i> . Destaque para a morfologia interna da semente.....	95
Figura 6. Plântulas normais, germinação acumulada e peso fresco de sementes de <i>Bixa orellana</i> em resposta ao tratamento de embebição por diferentes tempos, dessecação e reidratação.....	97

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1

- Tabela 1. Características morfométricas de sementes de *Anadenanthera peregrina*.... 444
- Tabela 2. Percentual de germinação (G), plântulas normais (PN), plântulas anormais (PA), sementes mortas (SM) e índice de velocidade de germinação (IVG) de sementes de *Anadenanthera peregrina* em diferentes temperaturas. 45
- Tabela 3. Teor de água (%), germinação (%), plântulas normais (%) e índice de velocidade de germinação (IVG) de sementes de *Anadenanthera peregrina* submetida a diferentes tempos de embebição.....50

ARTIGO 2

- Tabela 1. Peso de mil sementes de *Psidium guajava* coletadas em Manaus (AM) e em Itumirim (MG). 67
- Tabela 2. Características germinativas de sementes de *Psidium guajava* coletadas em Manaus (AM) e em Itumirim (MG). 67
- Tabela 3. Germinação (%), plântulas normais (%) e índice de velocidade de germinação (IVG) de sementes de *Psidium guajava* coletadas em Manaus (AM) e em Itumirim (MG), submetidas a diferentes tempos de embebição. 71

ARTIGO 3

- Tabela 1. Germinação (%), plântulas normais (%), sementes duras (%) e índice de velocidade de germinação (IVG) de sementes de *Bixa orellana* submetidas a diferentes tempos de embebição e, em seguida, secagem e reidratação.....96

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	16
INTRODUÇÃO	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 TOLERÂNCIA À DESSECAÇÃO.....	17
2.2 AQUISIÇÃO E PERDA DA TOLERÂNCIA À DESSECAÇÃO	20
2.3 EMBEBIÇÃO E REATIVAÇÃO DO METABOLISMO	22
2.4 MECANISMOS DE TOLERÂNCIA À DESSECAÇÃO	23
2.5 INFLUÊNCIA AMBIENTAL NA TOLERÂNCIA À DESSECAÇÃO	24
2.6 GERMINAÇÃO E TEMPERATURA	26
REFERÊNCIAS.....	28
SEGUNDA PARTE – ARTIGOS.....	38
ARTIGO 1 GERMINAÇÃO E PERDA DA TOLERÂNCIA À DESSECAÇÃO EM SEMENTES DE <i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) SPEG.....	38
INTRODUÇÃO	39
MATERIAL E MÉTODOS	40
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
CONCLUSÕES.....	56
REFERÊNCIAS.....	56
ARTIGO 2 TOLERÂNCIA À DESSECAÇÃO E GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE <i>Psidium guajava</i> DE DIFERENTES REGIÕES BRASILEIRAS	61
INTRODUÇÃO	62
MATERIAL E MÉTODOS	64
RESULTADOS	66
DISCUSSÃO	75
CONCLUSÕES.....	79

AGRADECIMENTOS	80
REFERÊNCIAS.....	80
ARTIGO 3 FISILOGIA DA GERMINAÇÃO E TOLERÂNCIA À DESSECAÇÃO DE SEMENTES DE <i>Bixa orellana</i> L.	86
INTRODUÇÃO	87
MATERIAL E MÉTODOS	88
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	90
CONCLUSÕES.....	99
REFERÊNCIAS.....	99

PRIMEIRA PARTE

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem-se notado a ocorrência mais frequente de eventos climáticos extremos, associado a previsões futuras de aumento da temperatura média e redução do regime de chuvas em todo o mundo (IPCC, 2014; SHERWOOD; FU, 2014). Aliado a isso, a ocorrência de queimadas e desmatamentos tem representado grandes ameaças à biodiversidade dos ecossistemas brasileiros. Tolerar essas pressões ambientais representará o sucesso ou fracasso das espécies em sobreviver e se adaptar no futuro.

A tolerância à dessecação (TD) é uma habilidade que certos organismos e órgãos possuem para sobreviver em condições mínimas de água, sem acúmulo de danos letais, sendo capazes de restabelecer seu metabolismo normal após hidratação (HOEKSTRA et al., 2001; LEPRINCE; BUITINK, 2010; DEKKERS et al., 2015; WALTERS, 2015). Vários organismos possuem essa habilidade, incluindo bactérias, fungos, animais e plantas (HOEKSTRA et al., 2001; ALPERT, 2006; BERJAK; PAMMENTER, 2013). Em plantas, é comumente encontrada no pólen e em sementes (PAMMENTER; BERJAK, 1999; ALPERT, 2000; HOEKSTRA et al., 2001; GAFF; OLIVER, 2013; BERJAK; PAMMENTER, 2013; DEKKERS et al., 2015; WYSE; DICKIE, 2017a; GIAROLA et al., 2017). A TD é uma habilidade que pode auxiliar na passagem por períodos extremamente secos (MAYRINCK et al., 2019).

No caso de sementes, a TD é uma importante estratégia para a ecologia de regeneração das plantas (TWEDDLE et al., 2003) e na conservação das espécies (ROBERTS, 1973; FARRANT et al., 1993; BERJAK; PAMMENTER, 2008), pois permite o armazenamento de sementes de modo natural, no banco de sementes do solo, ou artificial, com controle de temperatura e umidade. A TD possibilita o manejo de espécies em projetos silviculturais, assim como na conservação de espécies e cultivares de interesse.

Acontece que nem todas as sementes são tolerantes à dessecação. Existem espécies que produzem sementes sensíveis à dessecação, conhecidas como recalcitrantes (ROBERTS, 1973; WYSE; DICKIE, 2017a). Estas não toleram ao armazenamento por longos períodos, pois permanecem ativas metabólicamente quando dispersas e não toleram secagem a baixos teores de água (ROBERTS, 1973; BERJAK; PAMMENTER, 2008), o que dificulta a conservação de recursos genéticos a médio e longo prazo.

Mesmo sementes ortodoxas apresentam sensibilidade à dessecação durante algumas fase de seu desenvolvimento, assemelhando-se a sementes recalcitrantes (SUN, 1999;

BERJAK; PAMMENTER, 2013). A TD é adquirida somente durante a fase de maturação das sementes ortodoxas e, à medida que se desencadeia o processo de germinação, através da embebição, é gradualmente perdida, atingindo a máxima sensibilidade, com a protrusão radicular (BEWLEY; BLACK, 1994; LEPRINCE et al., 2000; BUITINK et al., 2003; GUIMARÃES et al., 2011; BEWLEY et al., 2013; MAIA et al., 2016; CASTRO et al., 2017). No entanto, estudos recentes demonstram que o ritmo da perda da TD pode variar entre sementes de espécies florestais (PEREIRA et al., 2014, 2018).

Logo, estudos que envolvam a TD são importantes para compreender como essa habilidade funciona, a fim de planejar a condução de programas de conservação de espécies, contribuindo para tecnologia de sementes (PRITCHARD et al., 2004). Buscando essa melhor compreensão sobre a TD de espécies florestais, o objetivo deste trabalho foi caracterizar a perda da tolerância à dessecação durante a germinação de sementes ortodoxas de *Anadenanthera peregrina*, *Psidium guajava* e *Bixa orellana*.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Tolerância à dessecação

Tolerância à dessecação (TD) é definida como a habilidade que certos organismos e órgãos reprodutivos possuem para sobreviver a níveis mínimos de água sem acúmulo de danos letais, sendo capazes de restabelecer seu metabolismo normal após hidratação (HOEKSTRA et al., 2001; LEPRINCE; BUITINK, 2010; DEKKERS et al., 2015; WALTERS, 2015).

Esta característica foi fundamental na conquista de habitats secos e é encontrada em vários organismos, incluindo bactérias, fungos, animais e plantas (HOEKSTRA et al., 2001; ALPERT, 2006; BERJAK; PAMMENTER, 2013). Nos vegetais a TD é rara na planta como um todo, mas é comum em sementes e pólen (PAMMENTER; BERJAK, 1999; ALPERT, 2000; HOEKSTRA et al., 2001; GAFF; OLIVER, 2013; BERJAK; PAMMENTER, 2013; DEKKERS et al., 2015; WYSE; DICKIE, 2017a; GIAROLA et al., 2017).

A capacidade das sementes para tolerar a dessecação representa um papel importante tanto na ecologia da regeneração (TWEDDLE et al., 2003), quanto na conservação de germoplasma (ROBERTS, 1973; FARRANT et al., 1993; BERJAK; PAMMENTER, 2008), já que as espécies que produzem sementes sensíveis à dessecação não podem ser armazenadas de maneira convencional a médio e longo prazo. Além disso, as espécies que produzem sementes sensíveis à desidratação podem ser menos resistentes ao aumento de secas sob um cenário de

mudanças do clima (WYSE; DICKIE, 2017a), é ao desmatamentos, queimadas e fragmentação da paisagem, visto o aumento da temperatura e redução da umidade relativa do ar também nessas condições, prejudicando a germinação e acelerando os processos deteriorativos.

A maioria das angiospermas produz sementes tolerantes à dessecação e ao armazenamento a seco e a baixas temperaturas (negativas) por longos períodos (WYSE; DICKIE, 2017a, 2017b), estas sementes são chamadas de ortodoxas (ROBERTS, 1973). Tweddle et al. (2003) estudando 8.000 espécies espermatófitas, 92% possuíam sementes ortodoxas. Estas sementes passam por secagem ao final da maturação, são dispersas com metabolismo reduzido e baixo teor de água, além de tolerarem secagem a níveis inferiores a 7% de água, permanecendo viáveis por longos períodos (BERJAK; PAMMENTER, 2008).

Existem, no entanto, principalmente em áreas de florestas tropicais e subtropicais úmidas, espécies que produzem sementes sensíveis à dessecação, também conhecidas como recalcitrantes (ROBERTS, 1973; PRITCHARD et al., 2004; LIMA et al., 2014; PELISSARI et al., 2017; WYSE; DICKIE, 2017a). Cerca de metade das espécies em florestas úmidas tropicais produzem sementes sensíveis à dessecação (TWEDDLE et al., 2003), não resistindo ao armazenamento por longos períodos, pois permanecem ativas metabolicamente quando dispersas (ROBERTS, 1973; BERJAK; PAMMENTER, 2008). Existe ainda um terceiro grupo, as sementes intermediárias, que apresentam tolerância moderada à dessecação e ao armazenamento (ELLIS et al., 1990).

A classificação das sementes nestas três categorias, embora venha sendo utilizada há várias décadas, tem sua aplicação mais voltada para fins tecnológicos. Cientificamente, o mais correto é considerar níveis ou graus de TD, que variam desde altamente sensíveis a altamente tolerantes à dessecação (BERJAK; PAMMENTER, 2000; BARBEDO et al., 2013; WALTERS, 2015).

A TD não é um fenômeno simples, pois envolve a interação de mecanismos, o que compreende ajustes metabólicos e estruturais que garantem a sobrevivência das células mesmo com a perda de água a teores muito baixos, evitando os danos e/ou valendo-se de eficientes mecanismos de reparo (HOEKSTRA et al., 2001; ALPERT, 2005; MARCOS-FILHO, 2015).

Em sementes ortodoxas, a aquisição da TD se dá durante a fase de maturação (HOEKSTRA et al., 2001; BEWLEY et al., 2013), mas, durante o seu desenvolvimento, verifica-se a presença de fases de sensibilidade e de tolerância à dessecação. Após a dispersão, a semente mantém a tolerância e, à medida que embebe água e desencadeia o processo germinativo, torna-se gradualmente sensível à dessecação (BUITINK et al., 2003; BEWLEY et al., 2013).

Deste modo, é possível observar que mesmo sementes ortodoxas apresentam sensibilidade à dessecação no início do seu desenvolvimento, durante a fase de histodiferenciação (embriogênese), e ao longo (ou após) a germinação, sendo essa a semelhança com as recalcitrantes que possibilita o estudo comparativo entre sementes dessas duas categorias (SUN, 1999; BERJAK; PAMMENTER, 2013).

Trabalhos têm sido realizados para elucidar os mecanismos fisiológicos e moleculares envolvidos com a tolerância e sensibilidade à dessecação de sementes (PAMMENTER; BERJAK, 1999; FARIA et al., 2004; JOËT et al., 2013, 2016; LANG et al., 2014; WANG et al., 2015; DEKKERS et al., 2015; MASETTO et al., 2015; PELISSARI et al., 2017; PEREIRA et al., 2017). Na maioria das ortodoxas a perda da TD está associada à protrusão da radícula (BEWLEY; BLACK, 1994; LEPRINCE et al., 2000; BUITINK et al., 2003; GUIMARÃES et al., 2011; RODRIGUES-JUNIOR et al., 2015; MAIA et al., 2016; CASTRO et al., 2017; MARTINS et al., 2018; PEREIRA et al., 2018).

Em trabalhos com sementes de *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taubert a TD foi perdida gradualmente com o avanço da embebição, até perda total da tolerância com a protrusão da radícula (GUIMARÃES et al., 2011), o que também foi verificado em estudos com *Leucaena leucapephala* (MAIA et al., 2016), *Fagus sylvatica* (KALEMBA et al., 2019), *Senna multijuga* (RODRIGUES-JUNIOR et al., 2015) e *Anadenanthera colubrina* (CASTRO et al., 2017). Há casos ainda, em que a perda da TD ocorre antes da emissão da radícula, como em sementes de *Copaifera langsdorffii*, *Bowdichia virgilioides* e *Piptadenia gonoacantha* que começam a perder a tolerância a partir da fase I da curva de embebição (PEREIRA et al., 2014, 2018).

Algumas espécies, porém, possuem sementes que toleram à dessecação após protrusão radicular, como é o caso de *Sesbania virgata* e *Handroanthus impetiginosa* (VIEIRA et al., 2010; MARTINS et al., 2015; MASETTO et al., 2015). Estudos ainda demonstram que algumas espécies podem apresentar habilidade de reestabelecimento da TD em sementes já germinadas, como *Bauhinia forficata* (RODRIGUES et al., 2015), *Tabebuia impetiginosa* (VIEIRA et al., 2010) e *Medicago truncatula* (BUITINK et al., 2003; FARIA et al., 2005).

Compreender a TD é importante para manutenção de bancos de sementes que dependem dessa habilidade para conservar seus recursos genéticos no solo ou em bancos de germoplasma. Além disso, o conhecimento sobre a TD pode auxiliar na compreensão da evolução da vida na terra (OLIVER et al., 2000), ter aplicação potencial na medicina (GECHEV et al., 2014; CHAKRABORTY; ROY, 2017), no desenvolvimento de cultivares tolerantes à seca e déficit hídrico (NUCCIO et al., 2015; LEPRINCE; BUITINK, 2015) e na diminuição da sensibilidade à dessecação nas recalcitrantes, induzindo a TD, visando o armazenamento.

2.2 Aquisição e perda da tolerância à dessecação

O ciclo de vida das sementes consiste no seu desenvolvimento, germinação e estabelecimento da plântula. Estes eventos tem como elemento principal a água, reduzindo o estado metabólico das sementes ortodoxas após a maturação, por efeito da dessecação, e conduzindo a recuperação das funções biológicas da semente com o processo de embebição durante a germinação (BEWLEY; BLACK, 1994). A TD contribui com a dispersão e permite a sobrevivência da semente em períodos desfavoráveis, sendo uma importante habilidade para as plantas (TWEDDLE et al., 2003).

Entre os estágios de desenvolvimento das sementes ortodoxas, pode-se considerar três principais etapas, sendo elas: histodiferenciação ou embriogênese, maturação ou expansão celular e dessecação ou secagem de maturação (JIANG; KERMODE, 1994).

A primeira etapa do desenvolvimento da semente ocorre logo após fecundação e é conhecida como histodiferenciação ou embriogênese, caracterizando-se pela ocorrência de divisões celulares até formação do embrião. Simultaneamente é formado o tegumento, resultado da transformação dos integumentos do óvulo (MARCOS-FILHO, 2015). Na embriogênese, as sementes são sensíveis à dessecação (KERMODE; FINCH-SAVAGE, 2002; BERJAK; PAMMENTER, 2013).

Na segunda etapa, de maturação, há o aumento do tamanho do embrião, causado pela expansão celular e a deposição de reservas (proteínas, lipídios e carboidratos) (BARBEDO; MARCOS FILHO, 1998; MARCOS-FILHO, 2015). Sementes ortodoxas adquirem a TD ao longo desta fase (BEWLEY; BLACK, 1994).

A fase final do desenvolvimento das sementes ortodoxas é a de secagem de maturação ou fase de dessecação, que resulta na redução gradual do metabolismo celular (JIANG; KERMODE, 1994; BARBEDO; MARCOS FILHO, 1998; MARCOS-FILHO, 2015). Durante este estágio, a semente pode sobreviver a ausência de água, e a menos que esteja dormente, recuperar sua atividade metabólica quando fornecidas as condições ambientais adequadas. Nesta fase, à medida que o processo de germinação é desencadeado, ocorre a perda da TD.

A perda da TD faz com que a futura plântula fique altamente vulnerável à eventos de seca, já que a TD não é mantida nas mudas, resultando em mortalidade caso não haja condições ótimas de crescimento. A sobrevivência de sementes embebidas e desidratadas subsequentemente, sem completar a germinação, pode ser particularmente importante em ambientes sazonalmente secos ou onde o início da estação úmida é precedido de eventos de precipitações irregulares (TWEDDLE et al., 2003; DAWS et al., 2007).

Alguns autores têm estudado a descontinuidade durante o processo de embebição de sementes em ecossistemas áridos e semi-áridos reconhecendo esse fenômeno como ciclos de hidratação e desidratação (BERRIE; DRENNAN, 1970; HORA; MEIADO, 2016; LIMA; MEIADO, 2017; LIMA et al., 2018; LIMA; MEIADO, 2018). A descontinuidade durante a embebição produz uma memória hídrica nas sementes e mudas oriundas dessas sementes submetidas a ciclos de hidratação-desidratação, conferindo maior vigor em comparação às mudas que não passaram pelos ciclos (LIMA; MEIADO, 2018). Tal comportamento desempenha importante papel na persistência e dinâmica das plantas nesses ecossistemas (LIMA; MEIADO, 2018).

Esses ciclos de hidratação-desidratação podem influenciar o processo de germinação de sementes de diferentes espécies, aumentando percentuais de germinação, sua velocidade e uniformidade, gerando mudas mais vigorosas (BERRIE; DRENNAN, 1970; REN; TAO, 2003; PEDRERO-LÓPEZ et al., 2016; BERHANE; CHALA, 2017; LIMA; MEIADO, 2018). Em sementes de *Myracrodruon urundeuva* (HORA; MEIADO, 2016), *Phaseolus vulgaris* (ARAGÃO et al., 2002) e *Mimosa tenuiflora* (LIMA; MEIADO, 2018), a hidratação descontínua promoveu melhor desenvolvimento das plântulas.

Em trabalhos testando diferentes ciclos de hidratação-desidratação em sementes de quatro diferentes espécies de *Arabidopsis* foi observada alteração da germinação. Os ciclos diurnos de hidratação-desidratação tiveram efeito prejudicial no percentual de germinação de três variedades, sendo benéfico para uma das cultivares (BAI et al., 2011).

Também foi relatado que ciclos de hidratação-desidratação proporcionaram maior tolerância ao estresse hídrico, o que aconteceu durante a germinação de sementes de *Senna spectabilis* (LIMA et al., 2018) e *Pilosocereus catiniflorus* (LIMA; MEIADO, 2017). Acredita-se que isso se deve a uma melhoria dos eventos fisiológicos e bioquímicos que ocorrem durante o processo de germinação de sementes submetidas a esses ciclos. Essa maior tolerância pode estar relacionada ao acúmulo de proteínas LEA, que atuam na tolerância à dessecação, durante os ciclos de hidratação-desidratação (CHEN; ARORA, 2013).

As variações nas respostas das espécies provavelmente se devem ao grau de atividade metabólica iniciada durante o(s) período(s) de hidratação (REN; TAO, 2003). O processo de hidratação e secagem em sementes, antes da sementeira, pode ser semelhante ao processo de condicionamento osmótico (HEYDECKER et al., 1975).

A aquisição e perda da TD é influenciada por mecanismos de proteção controlados geneticamente, incluindo a estabilização de macromoléculas (MAIA et al., 2011; COSTA et al., 2015). Durante o processo de secagem, são esperados danos nas células das semente, e a

habilidade da semente em retomar seu funcionamento depende destes mecanismos (PAMMENTER; BERJAK, 1999; HOEKSTRA et al., 2001). Acredita-se que um mecanismo específico não confere tolerância de modo isolado, sendo necessária a interação de vários mecanismos para a aquisição da TD (HOEKSTRA et al., 2001).

2.3 Embebição e reativação do metabolismo

O processo germinativo envolve três fases principais, a fase I é caracterizada pela rápida entrada de água na semente. A absorção de água é um processo físico, em consequência das forças matriciais da semente e do substrato, além da disponibilidade hídrica (MARCOS-FILHO, 2015), deste modo, tanto sementes vivas como mortas absorvem água.

A fase II da curva de embebição se caracteriza por processos bioquímicos preparatórios necessários para conclusão do processo de germinação, entre os quais podemos citar síntese de enzimas, início da síntese DNA e transcrição de RNA. Durante essa fase estacionária, há pouco ou nenhum ganho de peso das sementes. A ocorrência ou duração dessa fase varia entre espécies, mas é comum em sementes não dormentes (ou com dormência superada) e ortodoxas, sendo a fase II da curva de embebição maior, em duração (até dez vezes), que a fase I (BEWLEY; BLACK, 1994; BEWLEY et al., 2013; MARCOS-FILHO, 2015; ACCHILE et al., 2017; PEREIRA et al., 2018).

A fase III, é uma fase de crescimento, na qual ocorre o alongamento, divisão celular e mobilização de reservas. O crescimento do embrião faz com que ocorra a protrusão radicular, sendo que o início dessa fase é considerado o fim do processo germinativo (BEWLEY; BLACK, 1994; CARVALHO; NAKAGAWA, 2012; BEWLEY et al., 2013; MARCOS-FILHO, 2015).

Diz-se, portanto, que a absorção de água pela semente apresenta um padrão trifásico de embebição (BEWLEY; BLACK, 1994; BEWLEY et al., 2013). O padrão trifásico de embebição proposto por Bewley et al., (2013) é comumente observado durante o processo de germinação de sementes ortodoxas, como é o caso de *Apuleia leiocarpa*, *Bowdichia virgilioides*, *Cedrela fissilis*, *Copaifera langsdorffii*, *Eremanthus erythropappus*, *Handroanthus impetiginosus*, *Jatropha curcas*, *Leucaena leucocephala*, *Libidibia ferrea*, *Pelthoporum dubium*, *Piptadenia gonoacantha* e *Senna multijuga* (GUIMARÃES et al., 2011; SMIDERLE et al., 2013; MASETTO et al., 2014; PEREIRA et al., 2014, 2018; RODRIGUES et al., 2015; MAIA et al., 2016; MARTINS et al., 2018).

A duração do processo germinativo ou de cada fase é influenciada por fatores endógenos e exógenos à semente, como composição química, níveis hormonais, permeabilidade do tegumento, disponibilidade hídrica, radiação, temperatura e substrato (BEWLEY; BLACK, 1994).

Danos por embebição podem ser causados pela alta taxa inicial de absorção de água e baixas temperaturas, afetando acentuadamente a germinação e o vigor das sementes. Sementes muito secas colocadas na água podem sofrer danos no sistema de membranas e lixiviação de seu conteúdo celular (CASTRO et al., 2004). Pode-se reduzir tal efeito com a retardação da taxa de absorção de água, possibilitando uma hidratação inicial com vapor de água (HOEKSTRA et al., 2001).

Em resumo, a sensibilidade ao estresse durante a embebição é controlada pelo teor de água inicial da semente, pela temperatura e pela velocidade de absorção de água. Essa interação interfere diretamente na qualidade da semente.

2.4 Mecanismos de tolerância à dessecação

Uma série de danos celulares são relatados em trabalhos sobre TD, entre os quais podemos citar danos mecânicos consequentes da redução do volume celular (BERJAK; PAMMENTER, 2013), a perda da conformação das proteínas (GOYAL et al., 2005; TAPIA; KOSHLAND, 2014), danos nas membranas celulares causando vazamento de conteúdo celular (HOEKSTRA et al., 2001), rearranjos estruturais, fragmentação de RNA e DNA (FARIA et al., 2005; POTTS et al., 2005; GUSEV et al., 2010; DINAKAR; BARTELS, 2012), e danos por radicais livres (HOEKSTRA et al., 2001; MILLER et al., 2010; COLVILLE; KRANNER, 2010; BERJAK; PAMMENTER, 2013).

Diante desses danos, são necessárias adaptações celulares que permitam a sobrevivência celular a níveis mínimos de água, evitando-os ou resistindo, a fim de que os danos celulares não sejam letais aos tecidos, permitindo assim o restabelecimento do metabolismo normal assim que as condições de hidratação forem adequadas. Esses mecanismos ou processos que contribuem para aquisição e manutenção da TD em sementes ortodoxas estão relacionados a características celulares físicas e constituintes intracelulares.

Entre estes mecanismos podemos citar acumulação de reservas insolúveis; sistemas antioxidantes eficientes; acúmulo de moléculas protetoras, como proteínas LEA e de choque térmico, sacarose e outros oligossacarídeos, bem como moléculas anfipáticas; mecanismos de reparo durante a reidratação e outros ainda não identificados (PAMMENTER; BERJAK, 1999;

HOEKSTRA et al., 2001; BERJAK, 2006; ALPERT, 2006; GAFF; OLIVER, 2013; BERJAK; PAMMENTER, 2013; FARRANT et al., 2015; MARCOS-FILHO, 2015; DEKKERS et al., 2015).

Modificações estruturais e o ciclo celular foram associados à dessecação em sementes (BERJAK; PAMMENTER, 2000). A progressão do ciclo celular também é considerada um bom marcador para TD (FARIA et al., 2005).

A compreensão dos mecanismos ligados a TD tem sido amplamente explorada, em estudos fisiológicos, através da caracterização estrutural das sementes (DAWS et al., 2007; GUIMARÃES et al., 2011; PEREIRA et al., 2014; MAIA et al., 2016), em análises moleculares e ecológicas (MAIA et al., 2016; COSTA et al., 2016) ou ainda, em estudos de restabelecimento da TD, na busca da reativação de mecanismos perdidos durante a germinação (BUITINK et al., 2003; FARIA, et al., 2005; VIEIRA et al., 2010; MAIA et al., 2011; MASETTO et al., 2014).

2.5 Influência ambiental na tolerância à dessecação

A água é o componente celular mais abundante dos seres vivos e é essencial para a vida, sendo considerada fator limitante na distribuição geográfica das espécies no planeta (BEWLEY; BLACK, 1994; OLIVER et al., 2005). Entretanto, a variação na disponibilidade hídrica na maioria das regiões exerceu pressão sobre as plantas, que desenvolveram estratégias para sobrevivência, mesmo em ambientes secos (OLIVER et al., 2000; LEPRINCE; BUITINK, 2010).

As espécies que possuem sementes tolerantes à dessecação ocorrem nos principais tipos de biomas do mundo, no entanto, esta característica parece estar fortemente ligada ao habitat (TWEDDLE et al., 2003; WYSE; DICKIE, 2017a), sendo possível afirmar que condições ambientais locais exercem influência no desenvolvimento das sementes (DAWS et al., 2004, 2006, 2007; JACOBS; LESMEISTER, 2012), sendo encontradas diferenças na massa de sementes, germinabilidade, vigor e dormência (FENNER, 1991; DAWS et al., 2006). Mecanismos gerais de TD são adquiridos geneticamente, mas mecanismos adicionais específicos também podem ter sido desenvolvidos devido a restrições ecológicas (GIAROLA et al., 2017).

Alguns estudos correlacionaram as características ecológicas, fisiológicas e morfológicas de frutos e sementes com a TD, mostrando que sementes sensíveis à dessecação são geralmente grandes, com tegumento fino, dispersas com alto teor de água, germinam rapidamente e originam-se de ambientes úmidos, enquanto sementes ortodoxas são geralmente

pequenas, dispersas com baixo metabolismo e teor de água (BERJAK; PAMMENTER, 2000; KERMODE; FINCH-SAVAGE, 2002; TWEDDLE et al., 2003; DAWS et al., 2006; YU et al., 2008; HAMILTON et al., 2013).

As propriedades fenotípicas e fisiológicas demonstram ser influenciadas por condições ambientais maternas expressas durante a formação e o desenvolvimento das sementes, como variação nos níveis de luz, disponibilidade de água, temperatura, características do solo (presença de nutrientes e microorganismos no solo), fotoperíodo, CO₂ e herbivoria (FENNER, 1991; MARTINS et al., 2015).

A longevidade das sementes também pode estar relacionada à TD. Populações da mesma espécie provenientes de ambientes temperados e úmidos geralmente apresentam curtos períodos de viabilidade durante o armazenamento, enquanto sementes de regiões quentes e áridas apresentam maior longevidade no armazenamento (WALTERS et al., 2005).

Devido as variações de umidade relativa do ar, fotoperíodo, temperatura e precipitação pluviométrica entre os biomas, as plantas podem desenvolver adaptações e estratégias de sobrevivência ao ambiente com menor umidade, seja evitando, resistindo ou tolerando à dessecação. A mesma espécie pode, portanto, ter estratégias distintas conforme o bioma que se encontra (LEVITT, 1980). É possível afirmar então, que estas diferentes condições ambientais, comum a espécies com ampla distribuição geográfica, podem influenciar na produção de sementes com diferentes tamanhos, formas e níveis de TD (TWEDDLE et al., 2003; MARTINS et al., 2015), como relatado para *Aesculus hippocastanum*, *Acer pseudoplatanus* e *Handroanthus impetiginosus*, destacando a importância em se considerar a influência ambiental sobre a resposta à dessecação pelas sementes (DAWS et al., 2004, 2006).

Sugere-se que a sensibilidade à dessecação de sementes é mais comum nas espécies arbóreas florestais das florestas tropicais e subtropicais, e sua ocorrência é predominante em habitats úmidos e não sujeitos a congelamento (TWEDDLE et al., 2003; WYSE; DICKIE, 2017a). Acredita-se que a TD tenha sido perdida nesses habitat, as sementes teriam se adaptado as condições de estabilidade do regime hídrico, estando prontas para germinar assim que dispersas. Isso faz com que sementes recalcitrantes sejam altamente dependentes das condições ambientais (MARQUES et al, 2018).

Do ponto de vista evolutivo, a TD marca a conquista do ambiente terrestre pelas plantas (COSTA et al., 2016). Quando a TD não é expressa, é possível perceber uma adaptação a condições ambientais específicas (FRANCHI et al., 2011), como disponibilidade hídrica constante. Essa condição é interessante em ambientes tropicais, pois permite o rápido estabelecimento das plântulas, reduzindo o risco de predação ou contaminação por patógenos

(TWEDDLE et al., 2003), sendo a formação de um banco de plântulas a principal estratégia de regeneração para as espécies sensíveis à dessecação.

Em trabalho conduzido com *Copaifera langsdorffii*, observou-se que sementes provenientes de região com temperaturas mais altas e menor pluviosidade, são mais tolerantes à dessecação que aquelas provenientes de ambiente com menor temperatura e maior pluviosidade (PEREIRA et al., 2017), destacando a influência do ambiente materno.

Em estudos com sementes recalcitrantes de *Eugenia pyriformis* observou-se que o grau de TD diferiu entre regiões e épocas de colheita, mesmo em frutos de uma mesma matriz quando avaliados em anos distintos, confirmando a influência das condições hídricas e térmicas durante o desenvolvimento das sementes. A TD foi influenciada ainda pela maturidade fisiológica (LAMARCA et al., 2016).

Algumas espécies possuem ampla distribuição geográfica, ocorrendo em diferentes biomas e países (*Anadenanthera peregrina*, *Apuleia leiocarpa*, *Bixa orellana*, *Cecropia pachystachya*, *Cedrela fissilis*, *Guazuma ulmifolia*, *Handroanthus impetiginosus*, *Handroanthus serratifolius*, *Hymenaea courbaril*, *Miconia albicans*, *Miconia argyrophylla*, *Psidium guajava*, *Qualea grandiflora*, *Vismia guianensis* e outras) (LORENZI, 1992, 1998; “Flora do Brasil 2020 em construção”, 2018). Estas podem expressar maior ou menor TD, dependendo de sua necessidade de adaptação para garantir a germinação, além das condições climáticas predominantes durante o processo de maturação. Analisar o comportamento de espécies de diferentes regiões pode contribuir com informações sobre o grau de influência ambiental nas características das sementes, como tolerância à dessecação e germinação.

2.6 Germinação e temperatura

A qualidade das sementes influencia o sucesso reprodutivo das espécies vegetais. Características como tamanho, formato, forma de dispersão e adaptação às condições ambientais locais são qualidades necessárias para o estabelecimento da população, da colonização de novos espaços ou da sobrevivência a situações adversas (FENNER, 1991).

A germinação é uma das fases mais críticas e o estabelecimento da plântula vai depender das condições ambientais toleradas pela semente. Fisiologicamente, a germinação é caracterizada por processos metabólicos complexos que levam a retomada do crescimento embrionário, culminando com a protrusão da radícula (BEWLEY; BLACK, 1994; LEPRINCE et al., 2000; BUITINK et al., 2003). Caso haja condições ambientais favoráveis, a germinação pode ocorrer logo após a dispersão, caso contrário, as sementes permanecem em estado

metabólico reduzido, denominado quiescência. Quando há condições favoráveis, e mesmo assim a semente não germina, ela pode estar dormente (BEWLEY; BLACK, 1994).

A germinação pode ser afetada por fatores externos relativos ao ambiente, como disponibilidade hídrica, concentração de gases e temperatura, e internos, como estágio de maturação, dormência, longevidade e idade das sementes (BEWLEY; BLACK, 1994; CARVALHO; NAKAGAWA, 2012; MARCOS-FILHO, 2015), além da taxa de predação quando houver.

O principal fator que afeta os processos metabólicos responsáveis pela germinação de sementes é a temperatura, e está altamente relacionada com as características ecológicas das espécies (FIGLIOLIA et al., 1993), sendo fundamental para a ecologia de populações.

Sabe-se que a temperatura desempenha importante papel na germinação e estabelecimento de plantas (LIU et al., 2017), podendo afetar a permeabilidade celular nas sementes, dificultando a entrada de água ou troca de gases, com reflexos na intensidade e velocidade de germinação, na velocidade das reações bioquímicas e nos processos fisiológicos da germinação, sendo um dos principais fatores que afetam o processo germinativo (MARAGHNI et al., 2010; KUMAR et al., 2011; BASKIN; BASKIN, 2014; FLORES et al., 2014; EBERLE et al., 2014; GUALTIERI; FANTI, 2015; MARCOS-FILHO, 2015).

A germinação ocorre em uma faixa de temperatura que pode variar entre indivíduos e populações (BEWLEY et al., 2013). Considera-se um intervalo térmico adequado para a germinação de um grande número de espécies tropicais e subtropicais as temperaturas entre 20 e 30 °C (WHITMORE, 1982). Há recomendações de uso das temperaturas constantes de 25 °C para a germinação de espécies dos biomas Cerrado e Mata Atlântica, e 30 °C para as do bioma Amazônia (BRANCALION et al., 2010).

Em trabalho avaliando diferentes temperaturas para germinação da espécie *Tabebuia roseoalba*, a condição mais favorável foi de 30 °C (STOCKMAN et al., 2007), temperatura recomendada também para *Cecropia pachystachya* (PILATI et al., 1999). Sementes de *Caesalpinia echinata* germinaram entre temperaturas de 15 a 40 °C, com melhores resultados a 25 °C (MELLO; BARBEDO, 2007). Já para *Jatropha curcas*, o maior percentual de germinação ocorreu na temperatura de 35 °C (SILVA et al., 2017), enquanto para *Melanoxylon brauna* a melhor temperatura de germinação variou entre 25 e 30 °C, sendo que a 30 °C foi obtido maior IVG (FLORES et al., 2014).

É interessante observar que as condições ambientais durante a formação das sementes, quando presa a planta mãe, influenciam a resposta das sementes ao meio ambiente (BEWLEY et al., 2013). Estudando *Myracrodruon urundeuva* observa-se que a máxima germinação ocorre

na temperatura de 25 °C, não sendo observada germinação na temperatura de 40 °C (VIRGENS et al., 2012). Avaliando diferentes lotes colhidos da mesma população em diferentes anos, a temperatura ótima recomendada para germinação foi de 26,6 a 34,7 °C e foi relatada germinação a 40 °C (OLIVEIRA et al., 2019). Nas Regras para Análise de Sementes (RAS) recomenda-se para a mesma espécie a temperatura constante de 25 °C e a temperatura alternada de 20-30 °C (BRASIL, 2009).

Espécies que apresentam ampla distribuição geográfica também podem apresentar variação quanto a sua resposta à germinação. A capacidade de germinação das sementes em uma ampla variedade de condições auxilia na sobrevivência, dispersão e regeneração das espécies.

Existem previsões de aumento da temperatura global em decorrência de alterações no clima até o ano de 2100. Cenários otimistas acreditam em um aumento de 0,3 a 1,7 °C na temperatura global, enquanto cenários pessimistas acreditam que esse acréscimo pode ser de 2,6 a 4,8 °C (IPCC, 2014). Espera-se ainda um aumento de 10% nas áreas com déficit hídrico no planeta, devido a diminuição das chuvas (SHERWOOD; FU, 2014). Sobre os impactos da mudança climática na América do Sul, encontramos relatos ainda mais pessimistas, com a redução de até 40% da precipitação nas regiões tropicais do continente, incluindo a Amazônia e o Nordeste do Brasil. Há previsão ainda de forte aquecimento na região, variando de 4 a 6 °C (MARENGO et al., 2012).

Isso indica que mudanças no clima poderão limitar o estabelecimento e regeneração de muitas espécies ou forçá-las a adaptações diante da seleção natural, afetando sua ecologia, visto que as variações na temperatura e umidade influenciam diretamente a germinação (WALCK et al., 2011; OOI, 2012), perspectiva que pode afetar de forma mais drástica as espécies ameaçadas de extinção. Desmatamentos, queimadas e a fragmentação florestal também podem atuar na alteração dessas condições ambientais. Conhecer a influência da temperatura sobre germinação é fundamental para um melhor entendimento da ecologia dessas populações.

REFERÊNCIAS

- ACCHILE, S.; R. N., C.; SILVA, L. K. S.; et al. Biometria de frutos e sementes e determinação da curva de absorção de água de sementes de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. **Scientific Electronic Archives**, v. 10, n. 5, p. 26–34, 2017.
- ALPERT, P. The discovery, scope, and puzzle of desiccation tolerance in plants. **Plant Ecology**, v. 151, n. 1, p. 5–17, 2000.
- ALPERT, P. The limits and frontiers of desiccation-tolerant life. **Integrative and**

Comparative Biology, v. 45, n. 5, p. 685–695, 2005.

ALPERT, P. Constraints of tolerance: why are desiccation-tolerant organisms so small or rare? **The Journal of experimental biology**, v. 209, p. 1575–1584, 2006.

ARAGÃO, C. A.; DANTAS, B. F.; ALVES, E.; CORRÊA, M. R. Sementes de feijão submetidas a ciclos e períodos de hidratação-secagem. **Scientia Agricola**, v. 59, n. 1, p. 87–92, 2002.

BAI, B.; SIKRON, N.; GENDLER, T.; et al. Ecotypic variability in the metabolic response of seeds to diurnal hydration-dehydration cycles and its relationship to seed vigor. **Plant and Cell Physiology**, v. 53, n. 1, p. 38–52, 2011.

BALLESTEROS, D.; WALTERS, C. Detailed characterization of mechanical properties and molecular mobility within dry seed glasses: relevance to the physiology of dry biological systems. **The Plant Journal**, v. 68, p. 607–619, 2011.

BARBEDO, C. J.; CENTENO, D. DA C.; FIGUEIREDO-RIBEIRO, R. D. C. L. Do recalcitrant seeds really exist? **Hoehnea**, v. 40, n. 4, p. 583–595, 2013.

BARBEDO, C. J.; MARCOS FILHO, J. Tolerância à dessecação em sementes. **Acta Botânica Brasileira**, v. 12, n. 2, p. 145–164, 1998.

BASKIN, C. C.; BASKIN, J. M. **Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination**. San Diego, USA: Elsevier, 2014.

BERHANE, G. G.; CHALA, A. Q. Plant physiological stimulation by seeds salt priming in maize (*Zea mays*): Prospect for salt tolerance. **African Journal of Biotechnology**, v. 16, n. 5, p. 209–223, 2017.

BERJAK, P. Unifying perspectives of some mechanisms basic to desiccation tolerance across life forms. **Seed Science Research**, v. 16, n. 1, p. 1–15, 2006.

BERJAK, P.; PAMMENTER, N. W. What ultrastructure has told us about recalcitrant seeds. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 12, n. Ed. Especial, p. 22–55, 2000.

BERJAK, P.; PAMMENTER, N. W. From *Avicennia* to *Zizania*: Seed Recalcitrance in Perspective. **Annals of Botany**, v. 101, n. 2, p. 213–228, 2008.

BERJAK, P.; PAMMENTER, N. W. Implications of the lack of desiccation tolerance in recalcitrant seeds. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, n. 478, p. 9, 2013.

BERRIE, A. M. M.; DRENNAN, D. S. H. The effect of hydration-dehydration on seed germination. **New Phytologist**, p. 135–142, 1970.

BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. 2^o ed. New York: Plenum, 1994.

BEWLEY, J. D.; BRADFORD, K. J.; HILHORST, H. W. M.; NONOGAKI, H. **Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy**. USA: Springer, 2013.

BRANCALION, P. H. S.; NOVENBRE, A. D. DA L. C.; RODRIGUES, R. R. Temperatura

ótima de germinação de sementes de espécies arbóreas brasileiras. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 4, p. 15–21, 2010.

BRUGGINK, T.; TOORN, P. VAN DER. Induction of desiccation tolerance in germinated seeds. **Seed Science Research**, v. 5, n. 1, p. 1–4, 1995.

BUITINK, J.; LEPRINCE, O. Intracellular glasses and seed survival in the dry state. **Comptes Rendus Biologies**, v. 331, n. 10, p. 788–795, 2008.

BUITINK, J.; VU, B. L.; SATOUR, P.; LEPRINCE, O. The re-establishment of desiccation tolerance in germinated radicles of *Medicago truncatula* Gaertn. seeds. **Seed Science Research**, v. 13, n. 4, p. 273–286, 2003.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. Jaboticabal: Funep, 2012.

CASTRO; GUIMARÃES, C. C.; FARIA, J. M. R. Physiological, cellular and molecular aspects of the desiccation tolerance in *Anadenanthera colubrina* seeds during germination. **Brazilian Journal of Biology**, v. 1, n. 4, p. 1, 2017.

CASTRO, R. D.; BRADFORD, K. J.; HILHORST, H. W. M. Embebição e reativação do metabolismo. In: A. G. Ferreira; F. Borghetti (Eds.); **Germinação: do básico ao aplicado**, 2004.

CHAKRABORTY, O.; ROY, P. The Resolved Mystery of Tardigrades. **Journal of Investigative Genomics**, v. 4, n. 2, p. 30–33, 2017.

CHEN, K.; ARORA, R. Priming memory invokes seed stress-tolerance. **Environmental and Experimental Botany**, v. 94, p. 33–45, 2013.

CLEGG, J. S. Cryptobiosis — a peculiar state of biological organization. **Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology**, v. 128, n. 4, p. 613–624, 2001.

COLVILLE, L.; KRANNER, I. Desiccation tolerant plants as model systems to study redox regulation of protein thiols. **Plant Growth Regulation**, v. 62, n. 3, p. 241–255, 2010.

COSTA, M. C. D.; FARRANT, J. M.; OLIVER, M. J.; et al. Key genes involved in desiccation tolerance and dormancy across life forms. **Plant Science**, v. 251, p. 162–168, 2016.

COSTA, M. C. D.; RIGHETTI, K.; NIJVEEN, H.; et al. A gene co-expression network predicts functional genes controlling the re-establishment of desiccation tolerance in germinated *Arabidopsis thaliana* seeds. **Planta**, v. 242, n. 2, p. 435–449, 2015.

DAWS, M. I.; BOLTON, S.; BURSLEM, D. F. R. P.; GARWOOD, N. C.; MULLINS, C. E. Loss of desiccation tolerance during germination in neo-tropical pioneer seeds: Implications for seed mortality and germination characteristics. **Seed Science Research**, v. 17, n. 4, p. 273–281, 2007.

DAWS, M. I.; CLELAND, H.; CHMIELARZ, P.; et al. Variable desiccation tolerance in *Acer pseudoplatanus* seeds in relation to developmental conditions: A case of phenotypic recalcitrance? **Functional Plant Biology**, v. 33, n. 1, p. 59–66, 2006.

- DAWS, M. I.; LYDALL, E.; CHMIELARZ, P.; et al. Developmental heat sum influences recalcitrant seed traits in *Aesculus hippocastanum* across Europe. **New Phytologist**, v. 162, n. 1, p. 157–166, 2004.
- DEKKERS, B. J. W.; COSTA, M. C. D.; MAIA, J.; et al. Acquisition and loss of desiccation tolerance in seeds: from experimental model to biological relevance. **Planta**, v. 241, n. 3, p. 563–577, 2015.
- DINAKAR, C.; BARTELS, D. Light response, oxidative stress management and nucleic acid stability in closely related Linderniaceae species differing in desiccation tolerance. **Planta**, v. 236, n. 2, p. 541–555, 2012.
- EBERLE, C. A.; FORCELLA, F.; GESCH, R.; PETERSON, D.; EKLUND, J. Seed germination of calendula in response to temperature. **Industrial Crops and Products**, v. 52, p. 199–204, 2014.
- ELLIS, R. H.; HONG, T. D.; ROBERTS, E. H. An intermediate category of seed storage behaviour?: I. Coffee. **Journal of Experimental Botany**, v. 41, n. 9, p. 1167–1174, 1990.
- ERKUT, C.; KURZCHALIA, T. V. The *C. elegans* dauer larva as a paradigm to study metabolic suppression and desiccation tolerance. **Planta**, v. 242, n. 2, p. 389–396, 2015.
- FARIA, J. M. R.; BUITINK, J.; LAMMEREN, A. A. M. A. M. VAN; HILHORST, H. W. M. Changes in DNA and microtubules during loss and re-establishment of desiccation tolerance in germinating *Medicago truncatula* seeds. **Journal of Experimental Botany**, v. 56, n. 418, p. 2119–2130, 2005.
- FARIA, J. M. R.; LAMMEREN, A. A. M. VAN; HILHORST, H. W. M. Desiccation sensitivity and cell cycle aspects in seeds of *Inga vera* subsp. *affinis*. **Seed Science Research**, v. 14, p. 165–178, 2004.
- FARRANT, J. M.; COOPER, K.; HILGART, A.; et al. A molecular physiological review of vegetative desiccation tolerance in the resurrection plant *Xerophyta viscosa* (Baker). **Planta**, v. 242, n. 2, p. 407–426, 2015.
- FARRANT, J. M.; PAMMENTER, N. W.; BERJAK, P. Seed development in relation to desiccation tolerance: A comparison between desiccation-sensitive (recalcitrant) seeds of *Avicennia marina* and desiccation-tolerant types. **Seed Science Research**, v. 3, n. 01, 1993.
- FENNER, M. The effects of the parent environment on seed germinability. **Seed Science Research**, v. 1, n. 2, p. 75–84, 1991.
- FIGLIOLIA, M. B.; OLIVEIRA, E. C.; PINÃ-RODRIGUES, F. C. M. Análise de sementes. In: I. B. Aguiar; F. C. M. Pinã-Rodrigues; M. B. Figliolia (Eds.); **Sementes florestais tropicais**. p.477, 1993.
- Flora do Brasil 2020 em construção. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S217578602015000401085&lng=en&nrm=iso&tlng=en>. Acesso em: 11/8/2017.
- FLORES, A. V.; BORGES, E. E. DE L.; GUIMARÃES, V. M.; et al. Atividade enzimática durante a germinação de sementes de *Melanoxylon brauna* Schott sob diferentes temperaturas.

Cerne, v. 20, n. 3, p. 401–408, 2014.

FRANCHI, G. G.; PIOTTO, B.; NEPI, M.; et al. Pollen and seed desiccation tolerance in relation to degree of developmental arrest, dispersal, and survival. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, n. 15, p. 5267–5281, 2011.

GAFF, D. F.; OLIVER, M. The evolution of desiccation tolerance in angiosperm plants: a rare yet common phenomenon. **Functional Plant Biology**, v. 40, n. 4, p. 315–328, 2013.

GECHEV, T. S.; HILLE, J.; WOERDENBAG, H. J.; et al. Natural products from resurrection plants: Potential for medical applications. **Biotechnology Advances**, v. 32, n. 6, p. 1091–1101, 2014.

GIAROLA, V.; HOU, Q.; BARTELS, D. Angiosperm plant desiccation tolerance: Hints from transcriptomics and genome sequencing. **Trends in Plant Science**, v. 22, n. 8, p. 705–717, 2017.

GOYAL, K.; WALTON, L. J.; TUNNACLIFFE, A. LEA proteins prevent protein aggregation due to water stress. **Biochemical Journal**, v. 388, n. 1, p. 151–157, 2005.

GUALTIERI, S. C. J.; FANTI, S. C. Ecofisiologia da germinação de sementes. **Sementes florestais tropicais: da ecologia a produção**. 1st ed., p.477, 2015.

GUIMARÃES, C. C.; FARIA, J. M. R.; OLIVEIRA, J. M.; SILVA, E. A. A. DA. Avaliação da perda da tolerância à dessecação e da quantidade de DNA nuclear em sementes de *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taubert durante e após a germinação. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 2, p. 207–215, 2011.

GUSEV, O.; NAKAHARA, Y.; VANYAGINA, V.; et al. Anhydrobiosis-associated nuclear DNA damage and repair in the sleeping chironomid: Linkage with radioresistance. (Z. Zhou, Ed.) **PLoS ONE**, v. 5, n. 11, p. 1–9, 2010.

HAMILTON, K. N.; OFFORD, C. A.; CUNEO, P.; DESEO, M. A. A comparative study of seed morphology in relation to desiccation tolerance and other physiological responses in 71 Eastern Australian rainforest species. **Plant Species Biology**, v. 28, n. 1, p. 51–62, 2013.

HAND, S. C.; MENZE, M. A. Molecular approaches for improving desiccation tolerance: insights from the brine shrimp *Artemia franciscana*. **Planta**, 26. Aug. 2015.

HEYDECKER, W. .; HIGGING, J. .; TURNER, Y. J. Invigoration of seeds. **Seed Science and Technology**, v. 3, p. 881–888, 1975.

HOEKSTRA, F. A.; GOLOVINA, E. A.; BUITINK, J. Mechanism of plant desiccation tolerance. **Trends in Plant Science**, v. 6, n. 9, p. 431–438, 2001.

HORA, I. S. DA; MEIADO, M. V. A hidratação descontínua em sementes favorece a produção de mudas de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae)? **Agroforestalis News**, v. 1, n. 1, p. 20–24, 2016.

IPCC. **Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Geneva, Switzerland, 2014.

- JACOBS, B. S.; LESMEISTER, S. A. Maternal environmental effects on fitness, fruit morphology and ballistic seed dispersal distance in an annual forb. **Functional Ecology**, v. 26, n. 3, p. 588–597, 2012.
- JIANG, L.; KERMODE, A. R. Role of desiccation in the termination of expression of genes for storage proteins. **Seed Science Research**, v. 4, n. 2, p. 149–173, 1994.
- JOËT, T.; OURCIVAL, J.-M.; DUSSERT, S. Ecological significance of seed desiccation sensitivity in *Quercus ilex*. **Annals of Botany**, v. 111, n. 4, p. 693–701, 2013.
- JOËT, T.; OURCIVAL, J. M.; CAPELLI, M.; DUSSERT, S.; MORIN, X. Explanatory ecological factors for the persistence of desiccation-sensitive seeds in transient soil seed banks: *Quercus ilex* as a case study. **Annals of Botany**, v. 117, n. 1, p. 165–176, 2016.
- KALEMBA, E. M.; BAGNIEWSKA-ZADWORNA, A.; SUSZKA, J.; PUKACKA, S. Dehydration sensitivity at the early seedling establishment stages of the European beech (*Fagus sylvatica* L.). **Forests**, v. 10, n. 10, p. 1–18, 2019.
- KERMODE, A. R.; FINCH-SAVAGE, B. E. Desiccation sensitivity in orthodox and recalcitrant seeds in relation to development. In: M. Black; H. W. Pritchard (Eds.); **Desiccation sensitivity in orthodox and recalcitrant seeds in relation to development**. 1st ed., p.412, 2002.
- KUMAR, B.; VERMA, S. K.; SINGH, H. P. Effect of temperature on seed germination parameters in Kalmegh (*Andrographis paniculata* Wall. ex Nees.). **Industrial Crops and Products**, v. 34, n. 1, p. 1241–1244, 2011.
- LAMARCA, E. V.; CAMARGO, M. B. P. DE; TEIXEIRA, S. DE P.; et al. Variations in desiccation tolerance in seeds of *Eugenia pyriformis*: Dispersal at different stages of maturation. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 1, p. 118–126, 2016.
- LANG, S.; LIU, X.; MA, G.; LAN, Q. Y.; WANG, X. Identification of desiccation tolerance transcripts potentially involved in rape (*Brassica napus* L.) seeds development and germination. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 83, p. 316–326, 2014.
- LEPRINCE, O.; BUITINK, J. Desiccation tolerance: From genomics to the field. **Plant Science**, v. 179, n. 6, p. 554–564, 2010.
- LEPRINCE, O.; BUITINK, J. Introduction to desiccation biology: from old borders to new frontiers. **Planta**, v. 242, n. 2, p. 369–378, 2015.
- LEPRINCE, O.; HARREN, F. J. M.; BUITINK, J.; ALBERDA, M.; HOEKSTRA, F. A. Metabolic dysfunction and unabated respiration precede the loss of membrane integrity during dehydration of germinating radicles. **Plant physiology**, v. 122, n. 2, p. 597–608, 2000.
- LEVITT, J. **Responses of plants to environmental stresses**. 2nd ed. New York: Academic, 1980.
- LIMA, A. T.; CUNHA, P. H. DE J.; DANTAS, B. F.; MEIADO, M. V. Does discontinuous hydration of *Senna spectabilis* (DC.) H.S. Irwin & Barneby var. *excelsa* (Schrad.) H.S. Irwin & Barneby (Fabaceae) seeds confer tolerance to water stress during seed germination? **Journal of Seed Science**, v. 40, n. 1, p. 36–43, 2018.

- LIMA, A. T.; MEIADO, M. V. Discontinuous hydration alters seed germination under stress of two populations of cactus that occur in different ecosystems in Northeast Brazil. **Seed Science Research**, v. 27, n. 4, p. 292–302, 2017.
- LIMA, A. T.; MEIADO, M. V. Effect of hydration and dehydration cycles on *Mimosa tenuiflora* seeds during germination and initial development. **South African Journal of Botany**, v. 116, p. 164–167, 2018.
- LIMA, M. DE J. R.; HONG, T. D.; ARRUDA, Y. M. B. C.; MENDES, A. M. S.; ELLIS, R. H. Classification of seed storage behaviour of 67 Amazonian tree species. **Seed Science and Technology**, v. 42, p. 363–392, 2014.
- LIU, X.; XU, D.; YANG, Z.; ZHANG, N. Geographic variations in seed germination of *Dalbergia odorifera* T. Chen in response to temperature. **Industrial Crops and Products**, v. 102, p. 45–50, 2017.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras**. Nova Odessa: Plantarum, 1992.
- LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 2^o ed. Nova Odessa: Plantarum, 1998.
- MAIA, J.; DEKKERS, B. J. W.; PROVART, N. J.; LIGTERINK, W.; HILHORST, H. W. M. The re-establishment of desiccation tolerance in germinated *Arabidopsis thaliana* seeds and its associated transcriptome. **PLoS ONE**, v. 6, n. 12, p. e29123, 2011.
- MAIA, J.; GUIMARÃES, C. C.; SILVA, E. A. A.; FARIA, J. M. R. What can cell cycle and ultrastructure tell us about desiccation tolerance in *Leucaena leucocephala* germinating seeds? **Biologia Plantarum**, v. 60, n. 2, p. 320–328, 2016.
- MARAGHNI, M.; GORAI, M.; NEFFATI, M. Seed germination at different temperatures and water stress levels, and seedling emergence from different depths of *Ziziphus lotus*. **South African Journal of Botany**, v. 76, n. 3, p. 453–459, 2010.
- MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Londrina: ABRATES, 2015.
- MARENGO, J. A.; CHOU, S. C.; KAY, G.; et al. Development of regional future climate change scenarios in South America using the Eta CPTEC/HadCM3 climate change projections: Climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco and the Paraná River basins. **Climate Dynamics**, v. 38, n. 9, p. 1829–1848, 2012.
- MARQUES, A.; BUIJS, G.; LIGTERINK, W.; HILHORST, H. Evolutionary ecophysiology of seed desiccation sensitivity. **Functional Plant Biology**, v. 45, n. 11, p. 1083–1095, 2018.
- MARTINS, J. R.; EDVALDO, A. A. S.; ALVARENGA, A. A.; et al. Seedling survival of *Handroanthus impetiginosus* (Mart ex DC) Mattos in a semi-arid environment through modified germination speed and post-germination desiccation tolerance. **Brazilian journal of biology**, v. 75, n. 4, p. 812–820, 2015.
- MARTINS, R. S.; JOSÉ, A. C.; FARIA, J. M. R.; PEREIRA, W. V. S. Ultrastructural analysis of the loss of desiccation tolerance in germinating *Eremanthus erythropappus* seeds. **Journal of Forestry Research**, v. 30, p. 1331–1336, 2018.

- MASETTO, T. E.; FARIA, J. M.; FRAIZ, A. C. R. Re-Induction of desiccation tolerance after germination of *Cedrela fissilis* Vell. Seeds. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 86, n. 3, p. 1273–1285, 2014.
- MASETTO, T. E.; FARIA, J. M. R.; FRAIZ, A. C. R. R.; et al. Loss and re-establishment of desiccation tolerance in the germinated seeds of *Sesbania virgata* (Cav.) (Pers.). **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 37, n. 3, p. 313, 2015.
- MAYRINCK, R. C.; VILELA, L. C.; PEREIRA, T. M.; et al. Seed desiccation tolerance/sensitivity of tree species from Brazilian biodiversity hotspots: considerations for conservation. **Trees - Structure and Function**, v. 33, n. 3, p. 777–785, 2019.
- MELLO, J. I. DE O.; BARBEDO, C. J. Temperatura, luz e substrato para germinação de sementes de Pau-Brasil (*Caesalpinia echinata* Lam., Leguminosae - Caesalpinioideae). **Revista Árvore**, v. 31, n. 4, p. 645–655, 2007.
- MILLER, G.; SUZUKI, N.; CIFTCI-YILMAZ, S.; MITTLER, R. Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses. **Plant, Cell and Environment**, v. 33, n. 4, p. 453–467, 2010.
- NUCCIO, M. L.; WU, J.; MOWERS, R.; et al. Expression of trehalose-6-phosphate phosphatase in maize ears improves yield in well-watered and drought conditions. **Nature Biotechnology**, v. 33, n. 8, p. 862–869, 2015.
- OLIVEIRA, G. M.; SILVA, F. F. S.; ARAUJO, M. DO N.; et al. Environmental stress, future climate, and germination of *Myracrodruon urundeuva* seeds. **Journal of Seed Science**, v. 41, n. 1, p. 32–43, 2019.
- OLIVER, M. J.; TUBA, Z.; MISHLER, B. D. The evolution of vegetative desiccation tolerance in land plants. **Plant Ecology**, v. 151, p. 85–100, 2000.
- OLIVER, M. J.; VELTEN, J.; MISHLER, B. D. Desiccation tolerance in bryophytes: A reflection of the primitive strategy for plant survival in dehydrating habitats? **Integrative and Comparative Biology**, v. 45, n. 5, p. 788–799, 2005.
- OOI, M. K. J. Seed bank persistence and climate change. **Seed Science Research**, v. 22, n. SUPPL. 1, 2012.
- PAMMENTER, N. W.; BERJAK, P. A review of recalcitrant seed physiology in relation to desiccation-tolerance mechanisms. **Seed Science Research**, v. 9, n. 1, p. 13–37, 1999.
- PEDRERO-LÓPEZ, L. V.; ROSETE-RODRÍGUEZ, A.; SÁNCHEZ-CORONADO, M. E.; MENDOZA-HERNÁNDEZ, P. E.; OROZCO-SEGOVIA, A. Effects of hydropriming treatments on the invigoration of aged *Dodonaea viscosa* seeds and water-holding polymer on the improvement of seedling growth in a lava field. **Restoration Ecology**, v. 24, n. 1, p. 61–70, 2016.
- PELISSARI, F.; JOSÉ, A. C.; FONTES, M. A. L.; et al. A probabilistic model for tropical tree seed desiccation tolerance and storage classification. **New Forests**, v. 49, n. 1, p. 143–158, 2017.
- PEREIRA, W. V. S.; FARIA, J. M. R.; JOSÉ, A. C.; et al. Is the loss of desiccation tolerance

in orthodox seeds affected by provenance? **South African Journal of Botany**, v. 112, p. 296–302, 2017.

PEREIRA, W. V. S.; FARIA, J. M. R.; TONETTI, O. A. O.; JOSÉ, A. C.; MELO, L. A. Loss of desiccation tolerance in seeds of tree species during germination: Theoretical and practical implications. **Revista Árvore**, v. 42, n. 5, p. 1–9, 2018.

PEREIRA, W. V. S.; FARIA, J. M. R.; TONETTI, O. A. O.; SILVA, E. A. A. Loss of desiccation tolerance in *Copaifera langsdorffii* Desf. seeds during germination. **Brazilian Journal of Biology**, v. 74, n. 2, p. 501–508, 2014.

PILATI, R.; ANDRIAN, I. DE F.; CARNEIRO, J. W. P. Effects of different temperatures on the performance of seeds germination of *Cecropia pachystachya* Trec. (Cecropiaceae). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 42, n. 2, p. 195–204, 1999.

POTTS, M.; SLAUGHTER, S. M.; HUNNEKE, F. U.; GARST, J. F.; HELM, R. F. Desiccation tolerance of prokaryotes: Application of principles to human cells. **Integrative and Comparative Biology**, v. 45, n. 5, p. 800–809, 2005.

PRITCHARD, H. W.; DAWS, M. I.; FLETCHER, B. J.; et al. Ecological correlates of seed desiccation tolerance in tropical African dryland trees. **American Journal of Botany**, v. 91, n. 6, p. 863–870, 2004.

REN, J.; TAO, L. Effect of temperature on seed germination of seven *Calligonum* species. **Journal of Arid Environments**, v. 55, p. 111–122, 2003.

ROBERTS, E. H. Predicting the storage life of seeds. **Seed Science and Technology**, v. 1, n. 1, p. 499–514, 1973.

RODRIGUES-JUNIOR, A. G.; FARIA, J. M. R.; VAZ, T. A. A.; JOSÉ, A. C. Loss of desiccation tolerance and storage behavior in germinating seeds of *Senna multijuga*: implications for seed germination and conservation. **New Forests**, v. 46, n. 2, p. 283–291, 2015.

RODRIGUES, A. C.; ALVES DE ALVARENGA, A.; RIBEIRO, DIEGO EGÍDIO; MENDES GUIMARÃES, RENATO; ALVES, E.; MARQUES DA SILVA JUNIOR, J. Reindução da tolerância à dessecação em sementes de *Bauhinia forficata* Link (Fabaceae). **Cerne**, v. 21, n. 4, p. 579–585, 2015.

SHERWOOD, S.; FU, Q. A drier future? **Science**, v. 343, n. 6172, p. 737–739, 2014.

SILVA, L. M. DA; FELICIO, R.; SILVA, F. DA C. M.; et al. Temperature and maturation stage: its effects on the germination of *Jatropha* seeds. **Journal of Seed Science**, v. 39, n. 1, p. 27–31, 2017.

SMIDERLE, O. J.; LIMA, J. M. E.; PAULINO, P. P. S. Curva de absorção de água em sementes de *Jatropha curcas* L. com dois tamanhos. **Revista Agroambiente**, v. 7, n. 2, p. 203–208, 2013.

STOCKMAN, A. L.; BRANCALION, P. H. S.; NOVEMBRE, A. D. D. L. C.; CHAMMA, H. M. C. P. Sementes de ipê-branco (*Tabebuia roseo-alba* (Ridl.) Sand. – Bignoniaceae): Temperatura e substrato para o teste de germinação. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, n. 3, p. 139–143, 2007.

- SUN, W. Desiccation sensitivity of recalcitrant seeds and germinated orthodox seeds: can germinated orthodox seeds serve as a model system for studies of recalcitrance? In: Marzalina M; K. KC; J. N; T. FY; K. B (Eds.); **Recalcitrant seeds, Proceedings of IUFRO seed symposium**. p.29–42, 1999.
- TAPIA, H.; KOSHLAND, D. E. Trehalose is a versatile and long-lived chaperone for desiccation tolerance. **Current Biology**, v. 24, n. 23, p. 2758–2766, 2014.
- TWEDDLE, J. C.; DICKIE, J. B.; BASKIN, C. C.; BASKIN, J. M. Ecological aspects of seed desiccation sensitivity. **Journal of Ecology**, v. 91, n. 2, p. 294–304, 2003.
- VIEIRA, C. V.; SILVA, E. A. A.; ALVARENGA, A. A.; CASTRO, E. M.; TOOROP, P. E. Stress-associated factors increase after desiccation of germinated seeds of *Tabebuia impetiginosa* Mart. **Plant Growth Regulation**, v. 62, n. 3, p. 257–263, 2010.
- VIRGENS, I. O.; CASTRO, R. D. DE; FERNANDEZ, L. G.; PELACANI, C. R. Comportamento fisiológico de sementes de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. (Anacardiaceae) submetidas a fatores abióticos. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 4, p. 681–692, 2012.
- WALCK, J. L.; HIDAYATI, S. N.; DIXON, K. W.; THOMPSON, K.; POSCHLOD, P. Climate change and plant regeneration from seed. **Global Change Biology**, v. 17, n. 6, p. 2145–2161, 2011.
- WALTERS, C. Orthodoxy, recalcitrance and in-between: describing variation in seed storage characteristics using threshold responses to water loss. **Planta**, v. 242, n. 2, p. 397–406, 2015.
- WALTERS, C.; WHEELER, L. M.; GROTEHUIS, J. M. Longevity of seeds stored in a genebank: species characteristics. **Seed Science Research**, v. 15, n. 1, p. 1–20, 2005.
- WANG, W.-Q.; LIU, S.-J.; SONG, S.-Q.; MØLLER, I. M. Proteomics of seed development, desiccation tolerance, germination and vigor. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 86, p. 1–15, 2015.
- WHITMORE, T. C. On patterns and process in forest. In: Newman (Ed.); **The Plant Community as a Working Mechanism**. p.128, 1982.
- WYSE, S. V.; DICKIE, J. B. Predicting the global incidence of seed desiccation sensitivity. **Journal of Ecology**, v. 105, n. 4, p. 1082–1093, 2017a.
- WYSE, S. V.; DICKIE, J. B. Taxonomic affinity, habitat and seed mass strongly predict seed desiccation response: a boosted regression trees analysis based on 17539 species. **Annals of Botany**, v. 0, n. 0, p. 1–13, 2017b.
- YU, Y.; BASKIN, J. M.; BASKIN, C. C.; TANG, Y.; CAO, M. Ecology of seed germination of eight non-pioneer tree species from a tropical seasonal rain forest in southwest China. **Plant Ecology**, v. 197, n. 1, p. 1–16, 2008.

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

ARTIGO 1 Germinação e perda da tolerância à dessecação em sementes de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg.

Autores: Alana Chocorosqui Fernandes; Wilson Vicente Souza Pereira; José Marcio Rocha Faria.

RESUMO: A rápida germinação de sementes faz com que as futuras plântulas fiquem altamente vulneráveis em caso de precipitações irregulares, limitando o recrutamento de novos indivíduos caso as condições ambientais sejam desfavoráveis. O conhecimento quanto aos efeitos da temperatura, tolerância à dessecação e comportamento durante o armazenamento são importantes para o sucesso do processo germinativo e pode ser particularmente útil para a conservação *ex situ* de espécies, sobretudo, considerando um cenário de mudanças climáticas. Sabendo disso, os objetivos deste estudo foram descrever (1) os limites térmicos de germinação, (2) a perda de tolerância à dessecação e (3) o comportamento do armazenamento em sementes de *Anadenanthera peregrina* após a embebição, secagem e reidratação. Para avaliar o efeito da temperatura sobre a germinação, sementes foram submetidas a testes de germinação nas temperaturas de 10, 15, 20, 25, 30, 35 e 40 °C, sob luz constante, além da temperatura alternada de 20-30 °C com fotoperíodo de 12 horas. Definida a melhor temperatura, foi caracterizada a curva de embebição. Para avaliar a perda da tolerância à dessecação, sementes foram colocadas para germinar após os intervalos de tempo: (1) sementes não submetidas a embebição prévia (controle); (2) sementes com 4 horas de embebição; (3) sementes com 7 horas de embebição; (4) sementes com 12 horas de embebição; e (5) sementes logo após a protrusão radicular, e foi realizada a interrupção da embebição e secagem das sementes em sílica gel. A perda de água foi acompanhada através da pesagem regular das sementes até que fosse atingida a estabilização, e mantidas nessas condições por 72 horas. Após secagem, as sementes foram submetidas à pré-umidificação, e em seguida, foi retomado o teste de germinação. Para avaliar a viabilidade de sementes previamente embebidas, estas foram secas nos mesmos tempos de embebição anteriores, sendo submetidas a armazenagem em diferentes ambientes por até 180 dias. Após este período, as sementes foram pré-umidificadas e colocadas em condições de germinação, para verificação de sua viabilidade. Houve alta germinação em todas as faixas de temperatura, contudo, nas temperaturas 10 °C e 40 °C não houve formação de plântulas normais. Os maiores índices de velocidade de germinação foram verificados nas temperaturas constantes de 25, 30 e 35 °C e na temperatura alternada de 20-30 °C. A curva de embebição apresentou padrão trifásico, com rápido aumento na massa fresca das sementes durante as primeiras oito horas. A perda da tolerância à dessecação em sementes de *Anadenanthera peregrina* foi lenta e gradual, sendo totalmente perdida após a protrusão radicular. Sementes de *Anadenanthera peregrina* têm sua capacidade de germinação reduzida quando armazenadas após serem submetidas à embebição e secagem, independente das condições de armazenagem.

Palavras chave: Fabaceae; semente florestal; secagem; rápida germinação.

INTRODUÇÃO

A tolerância à dessecação (TD) é uma habilidade que certos organismos e estruturas reprodutivas possuem para sobreviver a níveis mínimos de água sem acumulação de dano letal, sendo capazes de restabelecer seu metabolismo normal após hidratação (LEPRINCE; BUITINK, 2010; DEKKERS et al., 2015; WALTERS, 2015). No caso das sementes, as ortodoxas são capazes de sobreviver a níveis inferiores a 7% de água e retomar o seu metabolismo normal após reidratação (BERJAK; PAMMENTER, 2008), o que permite seu armazenamento a seco por longos períodos (WYSE; DICKIE, 2017a, 2017b).

Durante o desenvolvimento das sementes ortodoxas, estas podem apresentar fase de tolerância e de sensibilidade à dessecação, dependendo do seu grau de desenvolvimento. Após a dispersão, quando madura, a semente apresenta tolerância e, à medida que são hidratadas, tornam-se gradualmente sensíveis a dessecação (BUITINK et al., 2003; GUIMARÃES et al., 2011; BEWLEY et al., 2013; PEREIRA et al., 2014; MARTINS et al., 2015; RODRIGUES-JUNIOR et al., 2015; MAIA et al., 2016; CASTRO et al., 2017).

Acontece que em condições naturais, onde o início da estação úmida pode ser precedido de eventos de precipitações irregulares em periodicidade e quantidade, sementes podem ser embebidas e desidratadas subsequentemente, sem completar a germinação, tornando-se sensíveis à dessecação (TWEDDLE et al., 2003; DAWS et al., 2007). Há relatos que essas sementes sujeitas a embebição e posterior secagem tem ainda menor capacidade de armazenamento e tendem a perder a viabilidade com o tempo (HONG; ELLIS, 1992; RODRIGUES-JUNIOR et al., 2015).

A espécie arbórea *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg. (Fabaceae) é nativa, não endêmica, pioneira (LORENZI, 1998), com ampla distribuição geográfica podendo ocorrer nos biomas Amazônia, Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica (MORIM, 2015). A espécie possui elevado potencial madeireiro e não-madeireiro, além de apresentar regeneração natural e formar povoamentos naturais monodominantes (SOUZA et al., 2012). Seu fruto seco é achatado, deiscente, do tipo legume, sem atrativo para fauna. A floração ocorre nos meses de setembro a outubro, e a maturação de frutos e sementes acontece no final da estação seca (COSTA et al., 2003; LORENZI, 2009).

As sementes são leves, achatadas, escuras, discoides, de formato orbicular, o que permite a dispersão por anemófila a curtas distâncias, porém é frequente observar estas se estabelecerem próximas a árvore matriz, caracterizando a dispersão barocórica (COSTA et al., 2003; PINHO et al., 2009). A espécie produz sementes ortodoxas (CARVALHO et al., 2006),

com germinação geralmente alta (em torno de 95%) e rápida (MIRANDA et al., 2012; BERLOFFA et al., 2015).

O processo de germinação depende das condições ambientais em que as sementes estão submetidas. Fatores como disponibilidade hídrica, concentração de gases e temperatura são fundamentais para o sucesso do processo (BEWLEY; BLACK, 1994; CARVALHO; NAKAGAWA, 2012; MARCOS-FILHO, 2015), além da luminosidade para as espécies fotoblásticas positivas. O principal fator que afeta os processos metabólicos responsáveis pela germinação de sementes contudo, é a temperatura, e está altamente relacionada com as características ecológicas das espécies (FIGLIOLIA et al., 1993), sendo fundamental para a ecologia de populações. Interfere na dinâmica da absorção de água, na velocidade das reações bioquímicas e nos processos fisiológicos da germinação (FLORES et al., 2014; MARCOS-FILHO, 2015).

Além disso, cenários climáticos futuros preveem redução dos níveis de precipitação e aumento da temperatura média global (IPCC, 2014), o que pode ter consequências sobre a germinação, crescimento e estabelecimento das espécies, considerando que essas condições ambientais são limitantes nesses processos. Aliado a isso, o desmatamento, a fragmentação de habitats e as queimadas também tem representado grande ameaça a biodiversidade na alteração das condições ambientais dos ecossistemas.

Conhecer os efeitos da temperatura, tolerância à dessecação e comportamento durante o armazenamento sob a germinação pode ser particularmente útil para a conservação *ex situ* da espécie. Sabendo disso, os objetivos deste estudo foram avaliar (1) os limites térmicos de germinação, (2) a perda de tolerância à dessecação e (3) a influência do armazenamento após a embebição, secagem e reidratação em sementes de *Anadenanthera peregrina*.

MATERIAL E MÉTODOS

Material vegetal

Frutos maduros de *Anadenanthera peregrina* foram coletados em outubro de 2018 em Lavras, Minas Gerais, Brasil (21°13'31.7"S 44°58'04.5"W). As sementes foram extraídas manualmente dos frutos e colocadas para secar naturalmente em temperatura ambiente para armazenamento em câmara fria e seca (± 10 °C e 40% UR) até início dos experimentos. Foram determinados o teor de água, características morfométricas e a qualidade fisiológica do lote (germinação e IVG) de sementes recém-colhidas.

Determinação do teor de água

Sementes amostradas aleatoriamente no lote foram secas em estufa a 105 ± 3 °C por 24 horas (BRASIL, 2009). Foram usadas quatro repetições de cinco sementes, pesadas antes e após a secagem. O teor de água foi expresso em percentagem média de umidade (base úmida).

Caracterização morfométrica

As características morfométricas foram obtidas de quatro repetições de 50 sementes, com o aparelho e software Groundeye®, versão L 800. Foram selecionadas para análise as seguintes características: comprimento, largura e área das sementes. A massa individual e o peso de mil sementes foram determinados segundo Brasil (2009) utilizando balança analítica com precisão de 10^{-4} g.

Germinação em diferentes temperaturas

Para o teste de germinação, as sementes foram previamente desinfetadas com hipoclorito de sódio (2,5%, v/v) por 10 minutos, dispostas em recipiente gerbox, sobre duas folhas de papel, umedecidas com água 2,5 vezes o peso do papel seco.

Para avaliar o efeito da temperatura na germinação, as sementes foram incubadas em câmara de crescimento reguladas nas temperaturas de 10, 15, 20, 25, 30, 35 e 40 °C, sob luz constante e na temperatura alternada de 20-30 °C com fotoperíodo de 12 horas.

Foram avaliados o percentual de germinação, o índice de velocidade de germinação (IVG) (MAGUIRE, 1962), a porcentagem de plântulas normais e anormais, e de sementes mortas. Para cada tratamento foram utilizadas quatro repetições de 25 sementes. As sementes foram consideradas germinadas quando ocorreu protrusão da radícula (2 mm) e consideradas plântulas normais aquelas com sistema radicular e parte aérea bem desenvolvidas. As contagens de germinação foram feitas diariamente.

Curva de embebição

Sementes foram colocadas para germinar em caixa gerbox, seguindo os mesmos critérios de germinação utilizados anteriormente. Os gerbox foram dispostos em câmaras de crescimento a 25 ± 2 °C e luz constante (condições de germinação). As sementes foram pesadas

antes da embebição, e depois, a cada hora, até estabilização. Antes de cada pesagem, a água superficial foi removida das sementes utilizando uma folha de papel toalha. Após as pesagens, as sementes foram dispostas às condições de germinação até a finalização do teste. Foram utilizadas 40 repetições com uma semente cada.

Tolerância à dessecação

As sementes foram colocadas para germinar em condições de substrato já descritas anteriormente, na temperatura de 25 °C sob luz constante. Após diferentes intervalos de tempo, houve a interrupção da embebição. Os intervalos foram determinados através da curva de embebição, sendo: (1) sementes não submetidas a embebição prévia (controle); (2) sementes com 4 horas de embebição (1/2 da fase I); (3) sementes com 7 horas de embebição (final da fase I); (4) sementes com 12 horas de embebição (final da fase II); e (5) sementes logo após a protrusão radicular. Em cada intervalo selecionado houve a determinação do teor de água conforme metodologia citada anteriormente.

As sementes foram pesadas e dispostas para secar em camada única, sobre tela suspensa em caixas tipo gerbox contendo sílica gel ao fundo, em câmaras de crescimento a 20±2 °C, no escuro.

A perda de água foi acompanhada através da pesagem regular das sementes até que fosse atingida a estabilização. Quando isso ocorria, as sementes eram mantidas nessas condições por 72 horas, conforme descrito por Buitink et al. (2003). A substituição da sílica gel foi feita a cada 24 horas.

Após secagem, as sementes foram submetidas à pré-umidificação, sobre tela em gerbox fechado e saturado com água (sem contato direto entre água e sementes) e mantido a 25 °C durante 24 horas a fim de evitar danos de embebição. Em seguida, foi retomado o teste de germinação seguindo as mesmas condições já descritas.

Foram avaliados o percentual de germinação, o índice de velocidade de germinação (IVG) (MAGUIRE, 1962), a porcentagem de plântulas normais e de sementes mortas. Para cada tratamento foram utilizadas quatro repetições de 25 sementes. Os critérios para definir semente germinada e plântulas normais foram os mesmos citados anteriormente. O percentual de plântulas normais formadas foi usado como critério de avaliação da TD.

Armazenamento após embebição e secagem

A viabilidade no armazenamento das sementes previamente embebidas e submetidas à secagem, foi avaliada nos mesmos intervalos de embebição usados no experimento de TD (0h, 4h, 7h, e 12h). O armazenamento foi feito em tubos Falcon de 50 ml, vedados com plástico filme a -15 ± 2 °C (freezer), 5 ± 2 °C (câmara fria) e 22 ± 2 °C (sala de germinação) por até 180 dias. Tubos contendo sílica gel foram colocados junto aos ambientes de armazenamento para verificação visual da efetividade da vedação dos recipientes.

Após o período de armazenamento, as sementes foram pré-umidificadas por 24 horas, e colocadas em condições de germinação, para verificação de sua viabilidade. Foram avaliados o percentual de germinação, o índice de velocidade de germinação (IVG) (MAGUIRE, 1962), a porcentagem de plântulas normais e de sementes mortas. Para cada tratamento foram utilizadas quatro repetições de 25 sementes. Foi realizado teste de umidade nas sementes recém-retiradas do armazenamento.

Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado em todos os testes foi o inteiramente casualizado (DIC). A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk. Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa estatístico R (R CORE TEAM, 2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização do lote de sementes

As sementes recém coletadas apresentaram teor de água de 11% e germinação média de 98,75% (sobre papel a 25 °C). A caracterização morfométrica das sementes teve pouca variação (Tabela 1), demonstrando uniformidade do lote. A massa individual de cada semente variou de 0,1034 a 0,1748 g, com média de 0,1373 g e desvio padrão de 0,0171 g.

Tabela 1. Características morfométricas de sementes de *Anadenanthera peregrina*.

	Comprimento (cm)	Largura (cm)	Área (cm ²)
Mínimo médio	1,40	1,19	1,39
Médio	1,71	1,40	1,98
Máximo médio	1,93	1,59	2,44
Desvio médio	0,10	0,08	0,21
Variância média	0,01	0,01	0,04

O peso de mil sementes foi de 131,16 g, com desvio padrão de 0,1470 g, logo, 1 kg de sementes de *A. peregrina* corresponderia a aproximadamente 7.625 sementes, valor inferior ao estimado pelas Instruções para análise de sementes florestais que estima entre 10.400 a 20.000 sementes por quilo (BRASIL, 2013). As sementes da espécie estudada tem formato arredondado e são achatadas (Figura 1), conforme já descrito por Pinho et al. (2009), o que permite maior contato da semente com o substrato. O tegumento da semente é fino, membranoso, que facilmente pode ser removido ou rompido quando hidratado. A semente não possui endosperma, apenas os cotilêdones com o eixo embrionário.

Figura 1. Aspectos do formato, coloração, textura, locais de medição de comprimento (maior medida) e largura (menor medida) de semente de *Anadenanthera peregrina*.

Fonte: Da autora (2020)

O tegumento da semente é a estrutura que proporciona as interações da parte interna da semente com o ambiente externo, logo sua constituição é fundamental no processo de embebição e, conseqüentemente, na germinação. É responsável por manter as partes da semente unidas, protegendo contra agentes externos e regula as troca de gases e água com o ambiente. Pode ainda controlar aspectos relacionados à dormência ou auxiliar na dispersão de sementes (MARCOS-FILHO, 2015).

Sementes de muitas espécies da família Fabaceae possuem tegumento impermeável, que lhes confere dormência física (PAULA et al., 2012), contudo, *A. peregrina* não apresenta

essa característica, absorvendo água facilmente do ambiente.

Germinação em diferentes temperaturas

Houve alta germinação em todas as faixas de temperatura (Tabela 2), contudo, nas temperaturas extremas, 10 °C e 40 °C, não houve formação de plântulas normais. Plântulas formadas a 10 °C apresentaram coloração amarelada e baixo desenvolvimento da parte aérea.

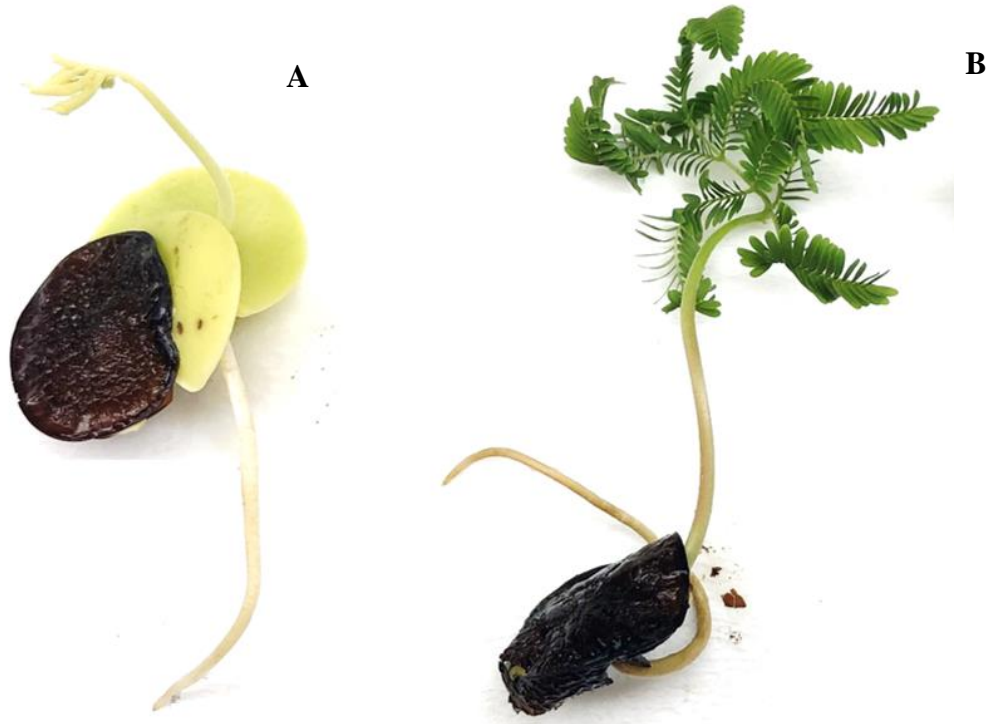
Tabela 2. Percentual de germinação (G), plântulas normais (PN), plântulas anormais (PA), sementes mortas (SM) e índice de velocidade de germinação (IVG) de sementes de *Anadenanthera peregrina* em diferentes temperaturas.

Temperatura	G (%)	PN (%)	PA (%)	SM (%)	IVG
10 °C	97,50a	0,00c	97,50c	2,50a	6,86d
15 °C	96,25a	85,00b	11,25b	3,75a	12,09c
20 °C	96,25a	95,00a	1,25a	3,75a	14,43b
25 °C	100,00a	100,00a	0,00a	0,00a	17,13a
30 °C	97,50a	95,00a	2,50a	2,50a	18,25a
35 °C	97,50a	88,75b	8,75b	2,50a	18,25a
40 °C	98,75a	0,00c	98,75c	1,25a	16,00b
20-30 °C	97,50a	93,75a	3,75a	2,50a	18,50a

*Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

A embebição sob baixas temperaturas pode ocasionar redução no crescimento de plântulas (Figura 2) e decréscimo acentuado na velocidade de germinação (Figura 3), como visto nas plântulas germinadas a 10 e 15 °C. As baixas temperaturas afetam a entrada de água, a mobilização de reservas, e a atividade enzimática, além de causar a perda de substâncias orgânicas nos eixos embrionários, pelos danos ao sistema de membranas (MARCOS-FILHO, 2015). Altas temperaturas atuam na degradação de enzimas e proteínas, influenciando assim a viabilidade das sementes (GUALTIERI; FANTI, 2015).

Figura 2. Crescimento de plântulas de *Anadenanthera peregrina* submetida a diferentes temperaturas. (A) Plântula formada após 30 dias do início do teste de germinação à temperatura de 10 °C; e (B) Plântula formada após 10 dias do início do teste de germinação à temperatura de 15 °C.

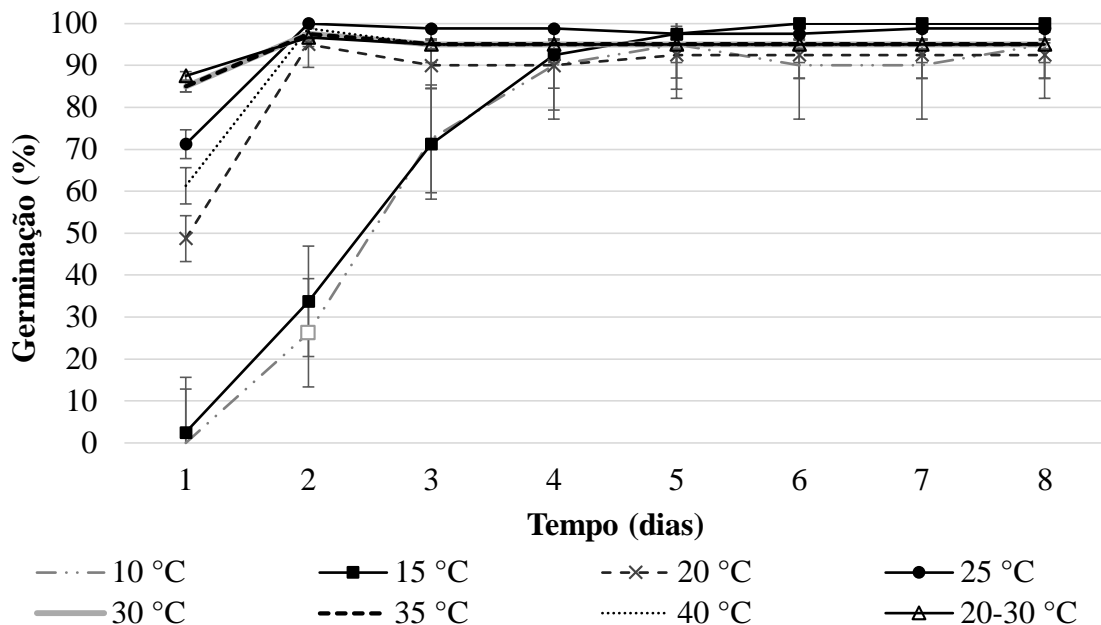


Fonte: Da autora (2020)

Os maiores índices de velocidade de germinação foram verificados nas temperaturas constantes de 25, 30 e 35 °C e na temperatura alternada de 20-30 °C. Observando-se os demais critérios, a faixa de temperatura constante entre 25 e 30±2 °C e a temperatura alternada de 20-30±2 °C mostraram-se as melhores para as sementes de *A. peregrina*, corroborando com o intervalo térmico entre 20 e 30 °C recomendado para a germinação de um grande número de espécies tropicais e subtropicais (WHITMORE, 1982).

A temperatura é um dos principais fatores que afetam a germinação, controlando sua intensidade e velocidade (KUMAR et al., 2011; BASKIN; BASKIN, 2014; FLORES et al., 2014; GUALTIERI; FANTI, 2015). Essa ocorre apenas dentro de um limite, variável de acordo com a espécie (MARAGHNI et al., 2010). É possível verificar a influência da temperatura sobre a porcentagem e velocidade de germinação observando a Figura 3. Nas primeiras 24 horas de embebição não foi observada germinação a 10 °C e, a 15 °C, a germinação foi de apenas 2,5%. Como consequência, ambas as temperaturas apresentaram os mais baixos índices de velocidade de germinação.

Figura 3. Porcentagem acumulada da germinação de sementes de *Anadenanthera peregrina* em diferentes temperaturas.



Fonte: Da autora (2020)

A temperatura de 25 °C é considerada ótima para a maioria das espécies arbóreas brasileiras, seguida pela temperatura de 30 °C (BRANCALION et al., 2010). Os mesmos autores recomendam as temperaturas constantes de 25 °C para a germinação de espécies dos biomas Cerrado e Mata Atlântica e 30 °C para as do bioma Amazônia. Para a espécie *A. peregrina*, recomenda-se na literatura a germinação a 25 °C, com contagens de germinação aos 5 e 10 dias (BRASIL, 2013).

A máxima germinação e estabelecimento de plântulas geralmente ocorrem em uma faixa ótima de temperatura, fora da qual a germinação diminui (AZAM et al., 2012). *A. peregrina* possui distribuição geográfica nos biomas Amazônia, Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica (MORIM, 2015). A ocorrência de uma espécie florestal em um local depende de sua adaptação às condições edafoclimáticas e dos mecanismos de dispersão. Espera-se que espécies com maior faixa de temperatura para a germinação possam explorar um maior espaço e tempo de oportunidades de estabelecimentos. A faixa de temperatura encontrada para a espécie corrobora com a faixa dos biomas de ocorrência, mostrando sua adaptação. Conhecer as condições ambientais que interferem na germinação e desenvolvimento das espécies é fundamental para sua produção (OLIVEIRA et al., 2019).

Mudanças no clima podem afetar a emergência da espécie em seu habitat, dependendo de sua intensidade, visto que se reduziu o número de plantas normais a medida que a temperatura se afastou da faixa de temperatura ótima, chegando a zero nas temperaturas mais

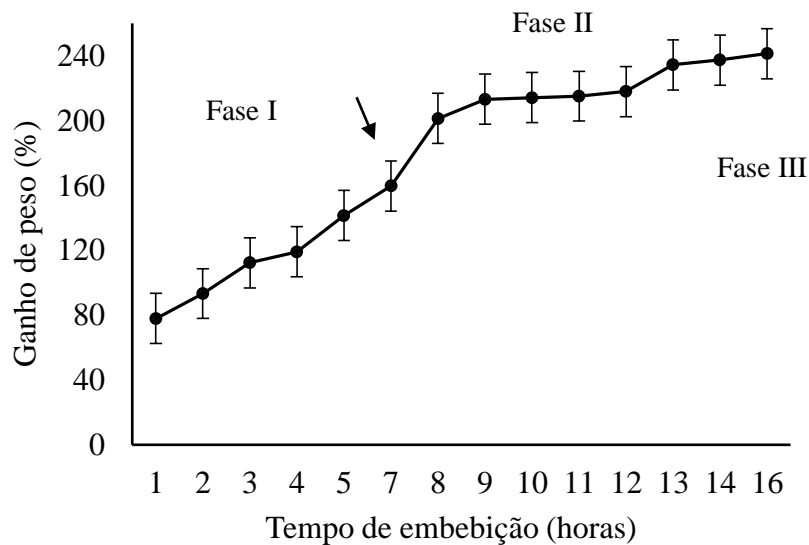
extremas. Previsões otimistas estimam o aumento de 1,5 °C na temperatura média global, enquanto previsões pessimistas, geradas a partir do aumento de emissões de gás carbônico, estimam o aumento de até 3,5 °C na temperatura média do planeta até o ano de 2100 (IPCC, 2014).

Os altos percentuais e velocidade de germinação de sementes desta espécie já foram relatados por outros autores (MIRANDA et al., 2012; BERLOFFA et al., 2015). Não foi observada a ocorrência de sementes duras ou dormentes ao final do teste de germinação. Houve baixa mortalidade de sementes em todas as temperaturas avaliadas.

Curva de embebição

O padrão de embebição foi trifásico, com rápido aumento na massa fresca das sementes durante as primeiras oito horas (fase I de embebição) (Figura 4). A velocidade de absorção e a quantidade de água absorvida variam de acordo com a composição química, permeabilidade do tegumento, disponibilidade hídrica, pressão osmótica da água, temperatura e substrato (BEWLEY; BLACK, 1994; CASTRO; HILHORST, 2004). Sementes de *A. peregrina* possuem tegumento fino e membranoso, com grande área de contato semente/substrato, o que permite a rápida absorção de água. A ausência de endosperma e o armazenamento de nutrientes no embrião é uma evolução para a rápida germinação em angiospermas (PARSON et al., 2014).

Figura 4. Curva de embebição de sementes de *Anadenanthera peregrina*. A seta indica o momento de início da protrusão radicular.



Fonte: Da autora (2020)

Sementes de *Anadenanthera colubrina* também apresentam rápida germinação, mas não apresentaram padrão trifásico, não sendo possível visualizar a fase II de embebição (CASTRO et al., 2017).

Em *A. peregrina* a fase II foi visualizada e prolongou-se por cerca de três horas, entre 9 e 12 horas, onde verifica-se a quase estabilização da massa fresca. O início da germinação visível se deu a partir de 7 horas de embebição. Após 8 horas de embebição, já eram observados 50% de germinação. Após 12 horas de embebição, foi percebida a retomada no ganho de peso, resultado do crescimento da plântula, caracterizando a fase III. A germinação de todas sementes (100%) foi obtida com 16 horas após o início da embebição.

A fase II da curva de embebição se caracteriza por processos bioquímicos preparatórios necessários para conclusão do processo de germinação, entre os quais se observa a síntese de enzimas, de DNA e de RNA. A ocorrência ou duração dessa fase varia entre espécies, mas é comum, em sementes não dormentes, que a fase II da curva de embebição seja maior, em duração (até dez vezes) que a fase I (BEWLEY et al., 2013; MARCOS-FILHO, 2015; ACCHILE et al., 2017; PEREIRA et al., 2018), o que não foi observado em *A. peregrina*.

Perda da tolerância à dessecação

A TD, medida com base na capacidade de formação de plântulas normais após embebição, secagem e reidratação, foi gradualmente reduzida, sendo superior a 70% após 12 horas (fase II) de embebição, até a perda total da tolerância com a protrusão radicular (Tabela 3). Observa-se que avaliando a germinação isoladamente não há diferença estatística entre os tempos de embebição, mas quando se avalia plântulas normais, é possível verificar diferença entre os tratamentos, corroborando com o uso dessa variável para avaliação da TD, já que nem todas sementes germinadas tiveram o potencial de formação de plântulas normais.

O IVG foi maior ($p > 0,05$) para as sementes que foram secas sem passar por embebição (0h), e foi reduzindo à medida que as sementes foram submetidas a um maior tempo de embebição antes da secagem (Tabela 3).

Tabela 3. Teor de água (%), germinação (%), plântulas normais (%) e índice de velocidade de germinação (IVG) de sementes de *Anadenanthera peregrina* submetida a diferentes tempos de embebição, seguidas de secagem.

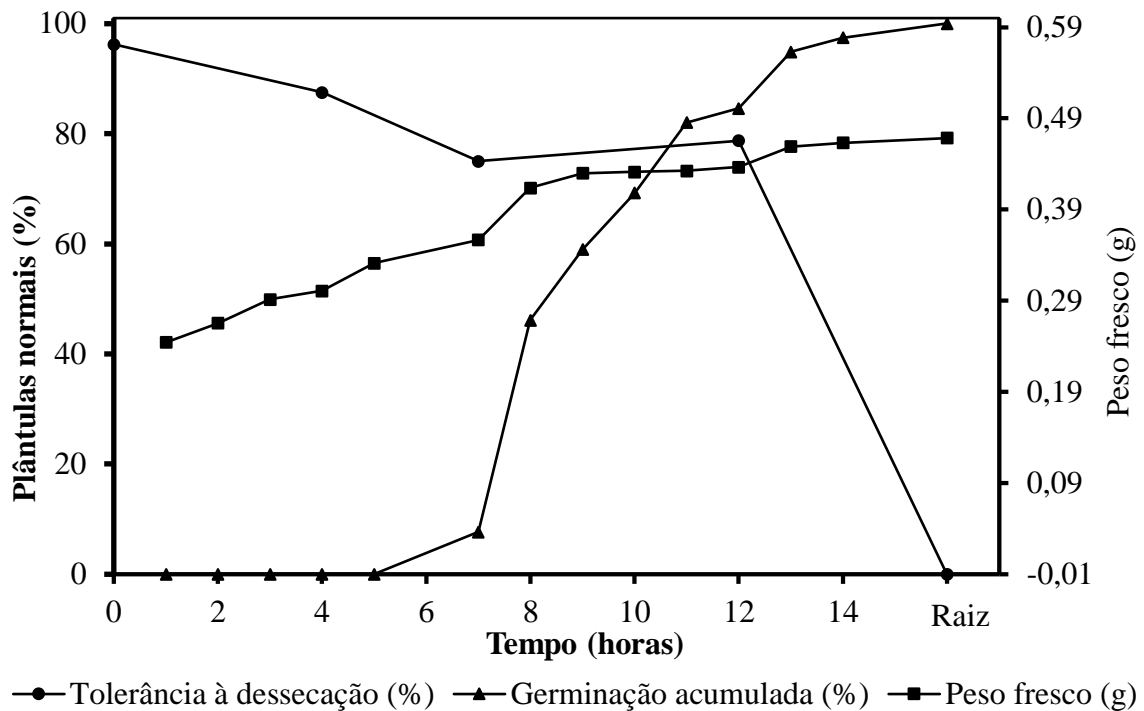
Tempo de embebição (horas)	Teor de água (%)	Germinação (%)	Plântulas Normais (%)	IVG
0	10,99	98,75 a	96,25 a	19,13 a
4	45,29	92,50 a	87,50 a	12,79 b
7	58,01	80,00 a	75,00 b	10,08 b
12	50,67	85,00 a	78,75 b	11,13 b
Raiz	67,56	100,00 a	0,00 c	0,00 c

*Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

A TD, característica de sementes ortodoxas, é adquirida durante a formação da semente, após a embriogênese, na fase de maturação. Após a dispersão, a semente mantém essa tolerância e, à medida que o processo germinativo avança, torna-se gradualmente sensível à dessecação (BEWLEY et al., 2013). Existem mecanismos genéticos que controlam a aquisição e perda da TD (COSTA et al., 2015), e o momento em que ocorre a perda desse comportamento é variável em função da espécie.

Na maioria das espécies que produzem sementes ortodoxas a perda da TD está associada à protrusão da radícula (BEWLEY; BLACK, 1994; BUITINK et al., 2003). Em sementes de *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taubert, *Leucaena leucacephala*, *Anadenanthera colubrina* e *Senna multijuga*, a TD foi perdida gradualmente com o avanço da embebição, até perda total da tolerância com a protrusão da radícula (GUIMARÃES et al., 2011; RODRIGUES-JUNIOR et al., 2015; MAIA et al., 2016; CASTRO et al., 2017), o que também foi observado no presente trabalho com sementes de *A. peregrina* (Figura 5).

Figura 5. Plântulas normais, germinação acumulada e peso fresco de sementes de *Anadenanthera peregrina* em resposta ao tratamento de embebição por diferentes tempos, dessecação e reidratação.



Fonte: Da autora (2020)

A perda da TD pode ocorrer antes da emissão radicular, como é em sementes de *Copaifera langsdorffii*, que começam a perder a tolerância a partir da fase I da curva de embebição, sendo totalmente perdida já na fase II (PEREIRA et al., 2014). Algumas espécies, porém, possuem sementes que toleram a dessecação após protrusão radicular, como é o caso de *Sesbania virgata* e *Handroanthus impetiginosa* (VIEIRA et al., 2010; MARTINS et al., 2015; MASETTO et al., 2015).

A habilidade de se manter tolerante à dessecação representa uma vantagem em ambientes com precipitações irregulares, comuns em florestas tropicais secas (VIEIRA et al., 2008) e em condições naturais, onde o início da estação chuvosa pode ser precedido de eventos de precipitação irregulares, onde sementes podem embeber e desidratar subsequentemente, sem completar a germinação, tornando-se sensíveis (TWEDDLE et al., 2003; DAWS et al., 2007).

No caso de *A. peregrina*, a maturação de frutos e sementes coincide com o final da estação seca (COSTA et al., 2003; LORENZI, 2009), logo, a ocorrência de chuvas irregulares pode prejudicar a embebição da semente ocasionando a mortalidade, caso a plântula não se estabeleça durante o momento favorável. Para *A. peregrina* o tempo para formação de plântula foi de 5 dias.

O crescimento e desenvolvimento de plantas tem como fator limitante a escassez de água, especialmente durante o processo de germinação e o período de estabelecimento da plântula. Chuvas esporádicas ou secas frequentes, combinadas com altas temperaturas, levam a maior probabilidade de prejuízo à germinação e mortalidade de plântulas (OOI, 2012), especialmente em biomas secos como Caatinga e Cerrado.

O momento de transição de semente para plântulas é um período de alto risco no ciclo de vida da maioria das plantas, e a capacidade das sementes de tolerar as condições ambientais de estresse é fundamental para que a espécie estabeleça um banco de sementes e, em condições favoráveis, germine (SALAZAR et al., 2011). Ao se tornar sensível à dessecação, após a protrusão radicular, as plântulas tornam-se particularmente sensíveis a seca ambiental, especialmente na região radicular, o que pode causar a sua morte (KALEMBA et al., 2019).

A germinação em um período muito curto (menos de 24 horas) após a embebição pode ser uma característica que evoluiu como adaptação a ambientes com condições desfavoráveis, como áridos, salinos ou de várzea. Essa característica de algumas angiospermas faz com que as sementes possam aproveitar rapidamente às condições ambientais temporariamente favoráveis à germinação (PARSONS, 2012; PARSONS et al., 2014).

Um comportamento de germinação muito rápido exige especializações de embriões e sementes, já que a germinação faz com que a futura plântula fique altamente vulnerável à eventos de seca, resultando em mortalidade caso não haja condições ótimas de crescimento (HARPER, 1977; KALEMBA et al., 2019). Entre essas especializações, podemos citar presença de tegumento fino e permeável, com pouco ou nenhum endosperma, tendência a ter sementes pequenas, ampla faixa de temperatura de germinação, comportamento de espécie pioneira e/ou invasivo, e relação entre a alta germinação e ambiente de estresse (PARSONS, 2012; PARSONS et al., 2014), além da ausência de dormência física.

Tolerar ou ser sensível à dessecação é uma característica funcional relacionada ao processo de sucessão ecológica das espécies. Sementes de *A. peregrina* tiveram rápida germinação, o que resultou em plântulas totalmente formadas em cinco dias, favorecendo a formação de um banco de plântulas.

As sementes de *A. peregrina* tornaram-se sensíveis após algumas horas de embebição, com a protrusão radicular. O comportamento sensível à dessecação é o mais esperado para organismos e órgãos, visto que a água é um elemento fundamental a vida, apesar de não se conhecer ao certo esses aspectos evolutivos (BARBEDO, 2018). *A. peregrina* pode ter desenvolvido uma estratégia para garantir a colonização em condições ambientais de estresse hídrico, já que apresenta boa regeneração natural e é capaz de formar povoamentos naturais

monodominantes. Em plantios florestais, observa-se sua forte dominância e efeitos alelopáticos que inibem a regeneração natural de algumas espécies (SOUZA et al., 2012).

Após a perda da TD com a protrusão radicular, plântulas de *A. peregrina* apresentaram necrose da radícula, o que impediu seu desenvolvimento (Figura 6). O mesmo é relatado em sementes de *Senna multijuga* (RODRIGUES-JUNIOR et al., 2015). Em sementes de *Handroanthus impetiginosa*, porém, a necrose das raízes não impediu o crescimento das plântulas, pois raízes adventícias foram produzidas permitindo a sobrevivência das plântulas (VIEIRA et al., 2010; MARTINS et al., 2015). Situação parecida foi verificada também em sementes de *Sesbania virgata*, com a formação de raízes secundárias – e não adventícias (COSTA et al., 2016).

Figura 6. Embrião de *Anadenanthera peregrina*. Círculo indica raiz necrosada após embebição, secagem e reidratação.



Fonte: Da autora (2020)

Com a necrose do tecido radicular, plântulas anormais foram produzidas através da expansão do embrião, formando somente parte aérea (Figura 7). A parte do eixo embrionário contendo o tecido radicular é a parte mais sensível da semente submetida ao processo de desidratação (KALEMBA et al., 2019). Em sementes de *A. peregrina* a secagem causou a morte desse tecido.

Figura 7. Plântula anormal de *Anadenanthera peregrina* produzida sem sistema radicular. Detalhe da necrose radicular.



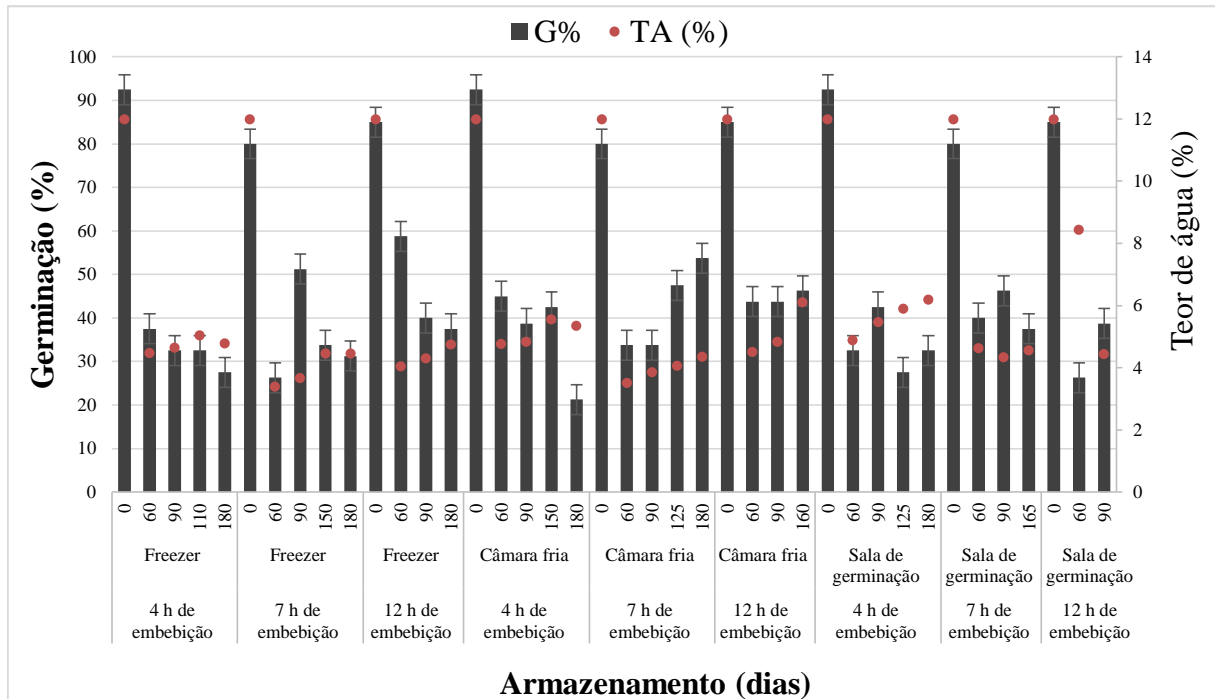
Fonte: Da autora (2020)

A primeira estrutura a emergir da semente durante a germinação é a radícula, que corresponde à parte terminal inferior do hipocótilo, pelo rompimento do tegumento. Isso faz com que essa estrutura, formada por tecido meristemático, fique sensível às condições ambientais, como a secagem (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012), conforme visto em *A. peregrina*.

Armazenamento após embebição e secagem

O armazenamento de sementes de *A. peregrina* embebidas e secas (teor de água < 10%) causou redução na germinação independente da duração e da temperatura de armazenamento, ou do tempo de embebição antes da secagem e armazenamento, quando comparadas às sementes armazenadas após secagem sem passar por embebição (Figura 8). Isso corrobora com estudos anteriores que demonstram a mudança do comportamento de armazenamento de sementes ortodoxas submetidas à embebição e secagem (HONG; ELLIS, 1992).

Figura 8. Percentual de germinação de sementes de *Anadenanthera peregrina* embebidas por diferentes tempos, secas e armazenadas sob diferentes condições.



Fonte: Da autora (2020)

Assim como visto no experimento de TD, houve formação de plântulas anormais (desenvolvimento somente da parte aérea), sem protrusão radicular. Essa formação não foi observada nos armazenamentos a 60 e 90 dias. Após esse período, foram registrados plântulas anormais com formação apenas de parte aérea em todos os tratamentos armazenados em câmara fria e nos tratamentos com embebição por quatro horas armazenados no freezer e sala de germinação. O tecido radicular encontrava-se necrosado, e não foi observado o desenvolvimento de raízes adventícias ou secundárias.

Durante a formação da plântula, o embrião tem capacidade de se desenvolver sem a absorção de nutrientes feita pela raiz, nutrindo-se através dos tecidos de reserva (MARCOS-FILHO, 2015). Sendo assim, a necrose radicular impediu o desenvolvimento de sistema radicular, mas o desenvolvimento do polo apical do eixo embrionário foi mantido, formando plântulas incompletas/anormais. Sem raiz, contudo, a planta não sobrevive. O empecilho para o completo desenvolvimento da plântula foi a morte do tecido radicular, ocasionado pela secagem.

O armazenamento de sementes permite o fornecimento de material vegetal para projetos de reflorestamento e restauração florestal, além da conservação de germoplasma *ex situ*. O sucesso do armazenamento depende do conhecimento fisiológico da semente e das condições ambientais de armazenamento e tipo de embalagem utilizada. Sementes de *A. peregrina* são

ortodoxas, podem ser armazenadas em condições de baixa umidade e temperatura para manutenção da longevidade (BRASIL, 2013). Contudo, o armazenamento de sementes que já passaram por algumas horas de embebição, ocorrida em uma chuva casual, por exemplo, pode inviabilizar o lote. Esse processo de embebição e secagem pode funcionar como um condicionamento hídrico, favorecendo a germinação, contudo tal condição não foi vista para *A. peregrina*.

CONCLUSÕES

Apesar da germinação em ampla faixa de temperatura, sementes de *Anadenanthera peregrina* não produzem plântulas normais nas temperaturas de 10 e 40 °C.

A perda da tolerância à dessecação em sementes de *Anadenanthera peregrina* é lenta e gradual, sendo totalmente perdida após a protrusão radicular.

Sementes de *Anadenanthera peregrina* têm sua viabilidade reduzida quando armazenadas após serem submetidas à embebição e secagem, independente das condições de armazenagem.

REFERÊNCIAS

- ACCHILE, S.; COSTA, R. .; SILVA, L. K. .; et al. Biometria de frutos e sementes e determinação da curva de absorção de água de sementes de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. **Scientific Electronic Archives**, v. 10, n. 5, p. 26–34, 2017.
- AZAM, G.; GRANT, C. D.; NUBERG, I. K.; MURRAY, R. S.; MISRA, R. K. Establishing woody perennials on hostile soils in arid and semi-arid regions - A review. **Plant and Soil**, v. 360, n. 1–2, p. 55–76, 2012.
- BARBEDO, C. J. A new approach towards the so-called recalcitrant seeds. **Journal of Seed Science**, v. 40, n. 3, p. 221–236, 2018.
- BASKIN, C. C.; BASKIN, J. M. **Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination**. San Diego, USA: Elsevier, 2014.
- BERJAK, P.; PAMMENTER, N. W. From *Avicennia* to *Zizania*: Seed Recalcitrance in Perspective. **Annals of Botany**, v. 101, n. 2, p. 213–228, 2008.
- BERLOFFA, J. M.; GRAICHEN, F. A. S.; FERNANDES, F. M.; SILVA, A. R. D. DA. Qualidade fisiológica e sanitária de sementes de angico-vermelho sobre o crescimento inicial de plântulas. **Revista de Ciências Agroambientais**, v. 13, n. 2, p. 78–86, 2015.
- BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. 2º ed. New York: Plenum, 1994.

BEWLEY, J. D.; BRADFORD, K. J.; HILHORST, H. W. M.; NONOGAKI, H. **Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy**. USA: Springer, 2013.

BRANCALION, P. H. S.; NOVENBRE, A. D. DA L. C.; RODRIGUES, R. R. Temperatura ótima de germinação de sementes de espécies arbóreas brasileiras. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 4, p. 15–21, 2010.

BRASIL. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária, 2009.

BRASIL. **Instruções para análise de sementes florestais**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária, 2013.

BUITINK, J.; VU, B. L.; SATOUR, P.; LEPRINCE, O. The re-establishment of desiccation tolerance in germinated radicles of *Medicago truncatula* Gaertn. seeds. **Seed Science Research**, v. 13, n. 4, p. 273–286, 2003.

CARVALHO, L. R. DE; SILVA, E. A. A. DA S.; DAVIDE, C. D. Classificação de sementes florestais quanto ao comportamento no armazenamento. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, n. 2, p. 15–25, 2006.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. Jaboticabal: Funep, 2012.

CASTRO, L. E.; GUIMARÃES, C. C.; FARIA, J. M. R. Physiological, cellular and molecular aspects of the desiccation tolerance in *Anadenanthera colubrina* seeds during germination. **Brazilian Journal of Biology**, v. 1, n. 4, p. 1, 2017.

CASTRO, R. D.; HILHORST, H. W. M. Embebição e reativação do metabolismo. In: A. G. Ferreira; F. Borghetti (Eds.); **Germinação: do básico ao aplicado**, 2004.

COSTA, M. C. D.; FARIAS, J. M. R.; JOSÉ, A. C.; LIGTERINK, W.; HILHORST, H. W. M. Desiccation tolerance and longevity of germinated *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. seeds. **Journal of Seed Science**, v. 38, n. 1, p. 50–56, 2016.

COSTA, M. C. D.; RIGHETTI, K.; NIJVEEN, H.; et al. A gene co-expression network predicts functional genes controlling the re-establishment of desiccation tolerance in germinated *Arabidopsis thaliana* seeds. **Planta**, v. 242, n. 2, p. 435–449, 2015.

COSTA, R. B. DA; CONTINI, A. Z.; MELO, E. S. DE P. M. Sistema reprodutivo de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg e *Vochysia haenkiana* (Spreng.) Mart. em fragmento de cerrado na Chapada dos Guimarães - MT. **Ciência Rural**, v. 33, n. 2, p. 305–310, 2003.

DAWS, M. I.; BOLTON, S.; BURSLEM, D. F. R. P.; GARWOOD, N. C.; MULLINS, C. E. Loss of desiccation tolerance during germination in neo-tropical pioneer seeds: Implications for seed mortality and germination characteristics. **Seed Science Research**, v. 17, n. 4, p. 273–281, 2007.

DEKKERS, B. J. W.; COSTA, M. C. D.; MAIA, J.; et al. Acquisition and loss of desiccation tolerance in seeds: from experimental model to biological relevance. **Planta**, v. 241, n. 3, p. 563–577, 2015.

- FIGLIOLIA, M. B.; OLIVEIRA, E. C.; PINÃ-RODRIGUES, F. C. M. Análise de sementes. In: I. B. Aguiar; F. C. M. Pinã-Rodrigues; M. B. Figliolia (Eds.); **Sementes florestais tropicais**. p.477, 1993.
- FLORES, A. V.; BORGES, E. E. DE L.; GUIMARÃES, V. M.; et al. Atividade enzimática durante a germinação de sementes de *Melanoxylon brauna* Schott sob diferentes temperaturas. **Cerne**, v. 20, n. 3, p. 401–408, 2014.
- GUALTIERI, S. C. J.; FANTI, S. C. Ecofisiologia da germinação de sementes. **Sementes florestais tropicais: da ecologia a produção**. 1st ed., p.477, 2015.
- GUIMARÃES, C. C.; FARIA, J. M. R.; OLIVEIRA, J. M.; SILVA, E. A. A. DA. Avaliação da perda da tolerância à dessecação e da quantidade de DNA nuclear em sementes de *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taubert durante e após a germinação. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 2, p. 207–215, 2011.
- HARPER, J. L. **Population biology of plants**. London: Academic Press, 1977.
- HONG, T. D.; ELLIS, R. H. The survival of germinating orthodox seeds after desiccation and hermetic storage. **Journal of Experimental Botany**, v. 43, n. 2, p. 239–247, 1992.
- IPCC. **Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Geneva, Switzerland, 2014.
- KALEMBA, E. M.; BAGNIEWSKA-ZADWORNA, A.; SUSZKA, J.; PUKACKA, S. Dehydration sensitivity at the early seedling establishment stages of the European beech (*Fagus sylvatica* L.). **Forests**, v. 10, n. 10, p. 1–18, 2019.
- KUMAR, B.; VERMA, S. K.; SINGH, H. P. Effect of temperature on seed germination parameters in Kalmegh (*Andrographis paniculata* Wall. ex Nees.). **Industrial Crops and Products**, v. 34, n. 1, p. 1241–1244, 2011.
- LEPRINCE, O.; BUITINK, J. Desiccation tolerance: From genomics to the field. **Plant Science**, v. 179, n. 6, p. 554–564, 2010.
- LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 2º ed. Nova Odessa: Plantarum, 1998.
- LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil**. 3rd ed. Nova Odessa, SP: Plantarum, 2009.
- MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 53, n. 2, p. 176–177, 1962.
- MAIA, J.; GUIMARÃES, C. C.; SILVA, E. A. A.; FARIA, J. M. R. What can cell cycle and ultrastructure tell us about desiccation tolerance in *Leucaena leucocephala* germinating seeds? **Biologia Plantarum**, v. 60, n. 2, p. 320–328, 2016.
- MARAGHNI, M.; GORAI, M.; NEFFATI, M. Seed germination at different temperatures and water stress levels, and seedling emergence from different depths of *Ziziphus lotus*. **South African Journal of Botany**, v. 76, n. 3, p. 453–459, 2010.

- MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Londrina: ABRATES, 2015.
- MARTINS, J. R.; EDVALDO, A. A. S.; ALVARENGA, A. A.; et al. Seedling survival of *Handroanthus impetiginosus* (Mart ex DC) Mattos in a semi-arid environment through modified germination speed and post-germination desiccation tolerance. **Brazilian journal of biology**, v. 75, n. 4, p. 812–820, 2015.
- MASETTO, T. E.; FARIA, J. M. R.; FRAIZ, A. C. R. R.; et al. Loss and re-establishment of desiccation tolerance in the germinated seeds of *Sesbania virgata* (Cav.) (Pers.). **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 37, n. 3, p. 313, 2015.
- MIRANDA, C. DO C.; SOUZA, D. M. DOS S.; MANHONE, P. R.; OLIVEIRA, P. C. DE; BREIER, T. B. Germinação de sementes de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg. com diferentes substratos em condições laboratoriais. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 1, p. 26–31, 2012.
- MORIM, M. P. *Anadenanthera* in Flora do Brasil 2020 em construção. Disponível em: <<http://reflora.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB22783>>. Acesso em: 21/2/2020.
- OLIVEIRA, G. M.; SILVA, F. F. S.; ARAUJO, M. DO N.; et al. Environmental stress, future climate, and germination of *Myracrodruon urundeuva* seeds. **Journal of Seed Science**, v. 41, n. 1, p. 32–43, 2019.
- OOI, M. K. J. Seed bank persistence and climate change. **Seed Science Research**, v. 22, n. SUPPL. 1, 2012.
- PARSONS, R. F. Incidence and ecology of very fast germination. **Seed Science Research**, v. 22, n. 3, p. 161–167, 2012.
- PARSONS, R. F.; VANDELOOK, F.; JANSSENS, S. B. Very fast germination: Additional records and relationship to embryo size and phylogeny. **Seed Science Research**, v. 24, n. 2, p. 159–163, 2014.
- PAULA, A. S. DE; DELGADO, C. M. L.; PAULILO, M. T. S.; SANTOS, M. Breaking physical dormancy of *Cassia leptophylla* and *Senna macranthera* (Fabaceae: Caesalpinioideae) seeds: Water absorption and alternating temperatures. **Seed Science Research**, v. 22, n. 4, p. 259–267, 2012.
- PEREIRA, W. V. S.; FARIA, J. M. R.; TONETTI, O. A. O.; JOSÉ, A. C.; MELO, L. A. Loss of desiccation tolerance in seeds of tree species during germination: Theoretical and practical implications. **Revista Árvore**, v. 42, n. 5, p. 1–9, 2018.
- PEREIRA, W. V. S.; FARIA, J. M. R.; TONETTI, O. A. O.; SILVA, E. A. A. Loss of desiccation tolerance in *Copaifera langsdorffii* Desf. seeds during germination. **Brazilian Journal of Biology**, v. 74, n. 2, p. 501–508, 2014.
- PINHO, D. S.; BORGES, E. E. DE L. E.; CORTE, V. B.; NASSER, L. C. B. Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de *Anadenanthera peregrina* (L.) SPEG. durante o armazenamento. **Revista Árvore**, v. 33, n. 1, p. 27–33, 2009.
- R CORE TEAM. A language and environment for statistical computing, reference index

version 3.6.1. , 2019.

RODRIGUES-JUNIOR, A. G.; FARIA, J. M. R.; VAZ, T. A. A.; JOSÉ, A. C. Loss of desiccation tolerance and storage behavior in germinating seeds of *Senna multijuga*: implications for seed germination and conservation. **New Forests**, v. 46, n. 2, p. 283–291, 2015.

SALAZAR, A.; GOLDSTEIN, G.; FRANCO, A. C.; MIRALLES-WILHELM, F. Timing of seed dispersal and dormancy, rather than persistent soil seed-banks, control seedling recruitment of woody plants in Neotropical savannas. **Seed Science Research**, v. 21, n. 2, p. 103–116, 2011.

SOUZA, P. B. DE; SOUZA, A. L. DE; COSTA, W. DA S.; PELOSO, R. V. DEL; LANA, J. M. DE. Florística e diversidade das espécies arbustivo-arbóreas regeneradas no sub-bosque de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg. **Cerne**, v. 18, n. 3, p. 413–421, 2012.

TWEDDLE, J. C.; DICKIE, J. B.; BASKIN, C. C.; BASKIN, J. M. Ecological aspects of seed desiccation sensitivity. **Journal of Ecology**, v. 91, n. 2, p. 294–304, 2003.

VIEIRA, C. V.; SILVA, E. A. A.; ALVARENGA, A. A.; CASTRO, E. M.; TOOROP, P. E. Stress-associated factors increase after desiccation of germinated seeds of *Tabebuia impetiginosa* Mart. **Plant Growth Regulation**, v. 62, n. 3, p. 257–263, 2010.

VIEIRA, D. L. M.; LIMA, V. V. DE; SEVILHA, A. C.; SCARIOT, A. Consequences of dry-season seed dispersal on seedling establishment of dry forest trees: Should we store seeds until the rains? **Forest Ecology and Management**, v. 256, n. 3, p. 471–481, 2008.

WALTERS, C. Orthodoxy, recalcitrance and in-between: describing variation in seed storage characteristics using threshold responses to water loss. **Planta**, v. 242, n. 2, p. 397–406, 2015.

WHITMORE, T. C. On patterns and process in forest. In: Newman (Ed.); **The Plant Community as a Working Mechanism**. p.128, 1982.

WYSE, S. V.; DICKIE, J. B. Predicting the global incidence of seed desiccation sensitivity. **Journal of Ecology**, v. 105, n. 4, p. 1082–1093, 2017a.

WYSE, S. V.; DICKIE, J. B. Taxonomic affinity, habitat and seed mass strongly predict seed desiccation response: a boosted regression trees analysis based on 17539 species. **Annals of Botany**, v. 0, n. 0, p. 1–13, 2017b.

(VERSÃO PRELIMINAR)

ARTIGO 2 Tolerância à dessecação e germinação de sementes de *Psidium guajava* de diferentes regiões brasileiras

Autores: Alana Chocorosqui Fernandes; José Marcio Rocha Faria.

RESUMO: Conhecer as condições limitantes para a sobrevivência de espécies florestais pode contribuir para uma melhor compreensão da dinâmica da vegetação, além de ser fundamental para a conservação das espécies. *Psidium guajava* é uma espécie frutífera, amplamente distribuída no Brasil, usada em projetos de restauração e na medicina popular. Neste trabalho investigamos a ecologia da germinação de sementes *P. guajava* coletadas em duas regiões do Brasil para: (1) caracterizar os lotes; (2) determinar as melhores temperaturas para a germinação; e (3) investigar a variação da tolerância à dessecação das sementes. Os lotes foram caracterizados avaliando-se a massa individual e o peso de mil sementes. Foram determinados o teor de água e a germinação inicial de cada lote. Para avaliar o efeito da temperatura, sementes foram submetidas a testes de germinação nas temperaturas de 10, 15, 20, 25, 30, 35 e 40 °C, sob luz constante e na temperatura alternada de 20-30 °C com fotoperíodo de 12 horas. Definida a melhor temperatura, foi caracterizada a curva de embebição para ambos os lotes. Para avaliar a perda da tolerância à dessecação, sementes foram colocadas para germinar nos intervalos de tempo: (1) sementes não submetida a embebição prévia; (2) sementes com 6 dias de embebição; (3) sementes com 9 dias de embebição; (4) sementes com 12 dias de embebição; e (5) sementes logo após a protrusão radicular. Para as sementes oriundas da região norte, um sexto período foi utilizado: (6) sementes com 15 dias de embebição. A perda de água foi acompanhada através da pesagem regular das sementes até que fosse atingida a estabilização, e mantidas nessas condições por 72 horas. Após secagem, as sementes foram submetidas à pré-umidificação, e em seguida, foi retomado o teste de germinação. Imagens radiográficas do lote MG foram obtidas utilizando aparelho Foxitron x-ray. Após obtenção das imagens, as sementes irradiadas foram submetidas a teste de germinação mantendo-se a mesma posição, a fim de se relacionar os resultados do teste com as imagens. Houve variação das características fisiológicas entre os lotes coletados na região norte (lote AM) e sudeste (lote MG). As temperaturas mais extremas (10, 15, 35 e 40 °C) não promoveram a germinação nos dois lotes. Os maiores percentuais de germinação de sementes ocorreram nas temperaturas constantes 20 e 25 °C e na temperatura alternada 20-30 °C para os dois lotes e também a 30 °C no lote MG. Nas sementes do lote AM, a temperatura alternada de 20-30 °C proporcionou o maior IVG. No lote MG, os maiores valores de IVG foram observados na temperatura alternada de 20-30 °C e na temperatura constante de 25 °C. A curva de embebição apresentou padrão trifásico, com rápido aumento na massa fresca das sementes durante as primeiras 48 horas. Sementes do lote MG apresentaram protrusão radicular em menor intervalo de tempo (10 dias) em comparação com o lote AM (14 dias). A tolerância à dessecação foi perdida bruscamente em sementes do lote MG, até perda total após a protrusão radicular em ambos os lotes. Sementes do lote AM mantiveram germinação superior a 60% mesmo após 15 dias de embebição, seguidas de secagem. O IVG foi superior, em os ambos lotes, quando as sementes embeberam por 9 dias, indicando uma possível memória hídrica das sementes. O tecido radicular foi sensível a secagem mesmo antes da protrusão, mas, apesar disso, foi possível formar sistema radicular. A secagem de sementes com raiz visível causou necrose do tecido radicular e morte. As imagens radiográficas permitiram a visualização da morfologia interna das sementes, sendo possível associar a qualidade fisiológica obtida pelo teste de germinação com a qualidade física obtida pelas imagens. Sementes com maior densidade/preenchimento corresponderam a plântulas normais.

Palavras chave: Myrtaceae; semente florestal; secagem; frutífera.

INTRODUÇÃO

A tolerância à dessecação (TD) é comumente descrita como sendo uma habilidade de organismos e órgãos, como as sementes, de sobreviver a níveis mínimos de água sem acúmulo de danos letais, sendo capazes de restabelecer seu metabolismo normal após hidratação (HOEKSTRA et al., 2001; LEPRINCE; BUITINK, 2010; DEKKERS et al., 2015).

Contudo, durante seu desenvolvimento, sementes ortodoxas podem alterar seu comportamento fisiológico de tolerância com o avanço da germinação em diferentes condições de hidratação (GUIMARÃES et al., 2011; BEWLEY et al., 2013; PEREIRA et al., 2014; RODRIGUES-JUNIOR et al., 2015; MAIA et al., 2016; CASTRO et al., 2017). Na maioria das espécies que produzem sementes ortodoxas a perda da TD está associada à protrusão da radícula (LEPRINCE et al., 2000; BUITINK et al., 2003; BEWLEY et al., 2013).

Perder a TD significa ficar susceptível as variações das condições ambientais, isso porque o momento de transição da semente para plântula é um período de elevada sensibilidade no seu ciclo de vida. A capacidade das sementes de tolerar as condições ambientais de estresse é fundamental para que a espécie estabeleça um banco de sementes e/ou germine em condições favoráveis (SALAZAR et al., 2011). Ao se tornar sensível à dessecação, as plântulas tornam-se particularmente vulneráveis aos efeitos do déficit hídrico, especialmente a região radicular, o que pode causar a sua morte (KALEMBA et al., 2019). Há ainda estudos que descrevem protocolos com a possibilidade de reestabelecer a TD em sementes germinadas (LEPRINCE et al., 2000; FARIA et al., 2005; VIEIRA et al., 2010; MASETTO et al., 2014, 2015; RODRIGUES et al., 2015), o que proporcionaria a sobrevivência desses indivíduos sob efeitos de seleção natural.

Sugere-se que a sensibilidade à dessecação de sementes é mais comum nas espécies arbóreas florestais tropicais e subtropicais, com ocorrência e predominância em habitats úmidos e não sujeitos a congelamento (TWEDDLE et al., 2003; WYSE; DICKIE, 2017). Devido as variações de umidade relativa do ar, fotoperíodo, temperatura e precipitação pluviométrica entre os biomas, as plantas podem desenvolver adaptações e estratégias de sobrevivência ao ambiente com menor umidade, seja evitando, resistindo ou tolerando à dessecação.

É possível afirmar então, que estas diferentes condições ambientais, comum a espécies com ampla distribuição geográfica, podem influenciar no processo de maturação, produção de sementes com diferentes tamanhos, formas, temperatura ótima de germinação e graus de TD (TWEDDLE et al., 2003; PRITCHARD et al., 2004; ABE; MATSUNAGA, 2011; LIU et al.,

2017), destacando a importância em se considerar a influência ambiental sobre a resposta à dessecação pelas sementes (DAWS et al., 2004, 2006).

Chuvvas esporádicas ou secas frequentes, combinadas com altas temperaturas, levam a maior probabilidade de prejuízo à germinação e mortalidade de plântulas (OOI, 2012), especialmente em biomas secos como Caatinga e Cerrado. Associado a essas pressões já existentes, previsões de aumento da temperatura global em decorrência de alterações no clima preveem aumentos de até 4,8 °C na temperatura média global (IPCC, 2014). Espera-se ainda o aumento de 10% na área mundial com problemas de estiagem, devido a diminuição das chuvas (SHERWOOD; FU, 2014). A disponibilidade de água nas diferentes regiões brasileiras exerce pressão evolutiva sobre as plantas que, ao longo de anos, desenvolveram estratégias de sobrevivência, mesmo em condições ambientais desfavoráveis. Tolerar ou resistir a seca é uma dessas estratégias (LEPRINCE; BUITINK, 2010).

A ocorrência natural de uma espécie florestal em um local depende de sua adaptação as condições edafoclimáticas. Espera-se que o padrão de distribuição das espécies se relacione também com as características de dispersão das sementes, onde, espécies com germinação em diferentes condições tendem a ter padrão de distribuição mais amplo (RANIERI et al., 2012; MARQUES et al., 2014).

Psidium guajava L. (Mytaceae) é uma árvore amplamente distribuída no Brasil, ocorrendo nos biomas Amazônia, Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica. Possui ocorrência confirmada nas regiões norte (AC e AM), nordeste (AL, BA, CE, MA, PE, PI e SE), centro-oeste (MS e MT), sudeste (ES, MG, RJ e SP) e sul do país (PR, SC e RS) (FLORA DO BRASIL, 2020). Importante por seus frutos comestíveis e por aplicações medicinais, a espécie é amplamente utilizada em projetos de restauração por ser classificada como de início de sucessão (BRANCALION et al., 2010).

Conhecer as condições limitantes de sobrevivência de espécies florestais pode contribuir para uma melhor compreensão da dinâmica da vegetação com as mudanças climáticas e antropização, além de ser fundamental para a conservação das espécies (LIU et al., 2017). Neste trabalho investigamos a ecologia da germinação de sementes *P. guajava* coletadas em duas regiões do Brasil para: (1) caracterizar os lotes colhidos; (2) determinar as melhores condições de temperatura para a germinação; e (3) investigar a variação da tolerância à dessecação das sementes.

MATERIAL E MÉTODOS

Material vegetal

Frutos maduros de *Psidium guajava* L. foram coletados na região Norte, em Manaus, Amazonas (3°05'31"S; 59°59'36.5" W) e na região Sudeste, no distrito de Macuco de Minas, município de Itumirim, Minas Gerais (21°17'38,9"S; 44°45'29"W).

Os frutos foram macerados manualmente e lavados em água corrente, sobre peneiras para a separação das sementes, as quais foram em seguida colocadas para secar naturalmente em temperatura ambiente para armazenamento em câmara fria e seca (± 10 °C e 40% UR) até o início dos experimentos.

A massa individual e o peso de mil sementes foram determinados segundo Brasil (2009) utilizando balança analítica com precisão de 10^{-4} g.

Determinação do teor de água

Sementes amostradas aleatoriamente no lote (quatro repetições de cinco sementes intactas) foram colocadas em estufa a 105 ± 3 °C por 24 horas (BRASIL, 2009). O teor de água foi expresso em percentagem média de umidade (base úmida) para cada lote.

Germinação em diferentes temperaturas

Para o teste de germinação, sementes dos dois lotes foram previamente desinfetadas com hipoclorito de sódio (2,5% v/v) por 10 minutos e dispostas em recipiente gerbox, sobre duas folhas de papel de germinação, umedecidas com água 2,5 vezes o peso do papel seco.

Para avaliar o efeito das temperaturas na germinação, as sementes foram incubadas em câmara de crescimento reguladas nas temperaturas de 10, 15, 20, 25, 30, 35 e 40 °C, sob luz constante e na temperatura alternada de 20-30 °C com fotoperíodo de 12 horas.

Foram avaliados o percentual de germinação, o índice de velocidade de germinação (IVG) (MAGUIRE, 1962), a porcentagem de plântulas normais e sementes mortas e duras. Para cada tratamento foram utilizadas quatro repetições de 25 sementes. As sementes foram consideradas germinadas com a protrusão da radícula (2 mm) e consideradas plântulas normais aquelas que exibiram todas as estruturas bem desenvolvidas (raiz, caule e primeiro par de folhas). As contagens de germinação foram feitas diariamente.

Curva de embebição

Sementes dos dois lotes foram colocadas para germinar em caixas gerbox, seguindo os mesmos critérios do teste de germinação descritos anteriormente. Os gerbox foram dispostos em câmaras de crescimento com temperatura alternada de $20-30\pm 2$ °C e fotoperíodo de 12 horas. As sementes foram pesadas antes da embebição, e a cada dois dias após a embebição. Antes de cada pesagem, a água superficial foi removida das sementes utilizando uma folha de papel toalha. Após as pesagens, as sementes foram devolvidas às condições de germinação até a finalização do teste. Foram usadas 40 repetições de uma semente para cada lote.

Tolerância à dessecação

Sementes dos dois lotes foram colocadas para germinar em caixas gerbox, seguindo os mesmos critérios do teste de germinação descritos anteriormente. Foi utilizada a temperatura alternada de $20-30\pm 2$ °C e fotoperíodo de 12 horas.

A germinação foi interrompida para início da secagem em diferentes momentos, determinados através da curva de embebição, sendo: (1) sementes não submetidas a embebição prévia (controle); (2) sementes com 6 dias de embebição; (3) sementes com 9 dias de embebição; (4) sementes com 12 dias de embebição; e (5) sementes logo após a protrusão radicular. Para as sementes oriundas da região norte, um sexto período foi utilizado: (6) sementes submetidas a 15 dias de embebição, isso porque as sementes deste lote demoraram um pouco mais para apresentar protrusão radicular.

As sementes foram pesadas e dispostas para secar em camada única sobre telas suspensas em caixas tipo gerbox contendo sílica gel no fundo, em câmaras de crescimento a 20 ± 2 °C, no escuro. Foram feitas pesagens regulares das sementes até que fosse atingido a mesma umidade observada antes de ser iniciada a embebição (peso alvo). Após atingir o peso alvo, as sementes foram mantidas nesse estado por 72 horas, conforme descrito por Buitink et al. (2003). A substituição da sílica gel foi feita a cada 24 horas.

Após a secagem, as sementes foram submetidas à pré-umidificação, sobre tela em gerbox fechado e saturado com água (sem contato direto entre água e sementes) e mantido por 24 horas na mesma temperatura usada para a germinação, a fim de se evitar danos por embebição. Em seguida, foi retomado o teste de germinação seguindo os mesmos critérios já descritos.

Foram avaliados o percentual de germinação, o índice de velocidade de germinação (IVG) (MAGUIRE, 1962), a porcentagem de plântulas normais, sementes mortas e duras. Para cada tratamento foram utilizadas quatro repetições de 25 sementes. Os critérios para definir semente germinada e plântulas normais foram os mesmos citados anteriormente. O percentual de plântulas normais formadas foi usado como critério de avaliação da TD.

Teste de raios X

Imagens radiográficas foram obtidas de quatro repetições de 100 sementes, fixadas em folhas de acetato com auxílio de fita dupla face. Foi utilizado aparelho Foxitron X - Ray, com ajuste automático para intensidade de radiação (24 kV) e tempo de exposição à radiação (10 segundos), a uma distância focal de 14,3 cm da fonte de emissão de raios X. As imagens radiográficas foram salvas em formato de arquivo de imagem (TIFF).

Após a obtenção das imagens radiográficas, as sementes foram colocadas para germinar, mantendo a mesma disposição do teste de raios X e seguindo os mesmos critérios de germinação já descritos. Foram usadas apenas sementes do lote colhido na região sudeste.

Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC). A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk. Os resultados foram submetidos a análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa estatístico R (R CORE TEAM, 2019).

RESULTADOS

As sementes provenientes da região norte (lote AM) e sudeste (lote MG) apresentaram teor de água inicial de 8,6 e 10,6% e germinação média de 88 e 98% (sobre papel a 25 °C), respectivamente. A média da massa individual das sementes foi de 0,0052 g para o lote AM e 0,0097 g para o lote MG. O peso de mil sementes dos lotes, calculado conforme Brasil (2009), está apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Peso de mil sementes de *Psidium guajava* coletadas em Manaus (AM) e em Itumirim (MG).

Parâmetros	AM	MG
Média (g)	5,618	9,919
Variância	0,000462	0,000578
Desvio padrão	0,02149	0,024033
Coefficiente de variação	3,814157	2,422969

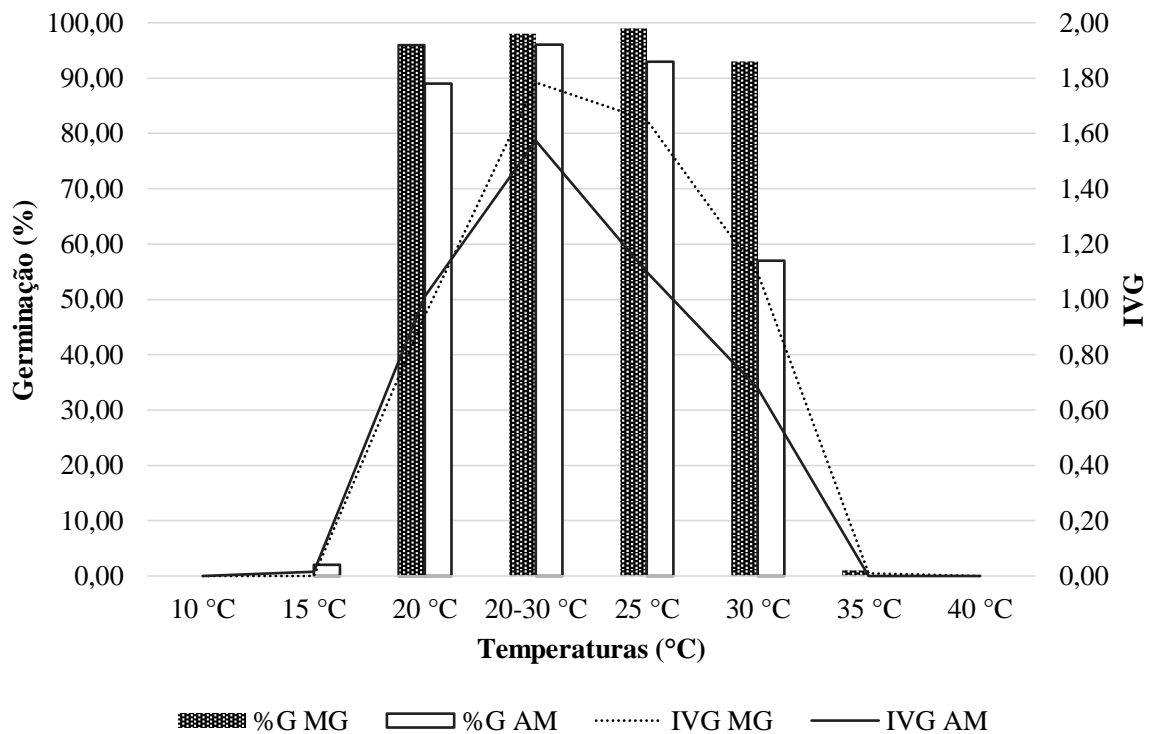
Houve variação da germinação entre as faixas de temperaturas testadas (Tabela 2 e Figura 1). As temperaturas mais extremas (10, 15, 35 e 40 °C) não promoveram a germinação ou promoveram germinação muito baixa ($\leq 2\%$), nos dois lotes. Ao final dos testes de germinação conduzidos nessas temperaturas, houve alto percentual de sementes duras e mortas. A temperatura de 40 °C contribuiu para a deterioração das sementes, o que elevou a mortalidade. Houve dificuldade na classificação de sementes como mortas ou duras, sendo a presença de fungo ou escurecimento da semente fatores que as classificavam como mortas. O tegumento da semente se manteve rígido mesmo após conclusão do teste de germinação.

Tabela 2. Características germinativas de sementes de *Psidium guajava* coletadas em Manaus (AM) e em Itumirim (MG).

Lote	Temperatura (°C)	Início da protrusão radicular (dias)	Germinação (%)	Plântula normal (%)	Plântula anormal (%)	Dura (%)	Morta (%)	IVG
AM	10 °C	-	0 Ac	0 Ac	0 Aa	100 Aa	0 Ab	0,00 Ad
	15 °C	31	2 Ac	2 Ac	0 Aa	96 Aa	2 Ab	0,02 Ad
	20 °C	19	89 Aa	89 Aa	0 Aa	10 Ad	1 Ab	1,01 Ab
	25 °C	14	93 Aa	93 Aa	0 Aa	5 Ad	2 Ab	1,10 Bb
	30 °C	14	57 Bb	57 Bb	0 Aa	42 Ac	1 Ab	0,68 Bc
	35 °C	-	0 Ac	0 Ac	0 Aa	100 Aa	0 Bb	0,00 Ad
	40 °C	-	0 Ac	0 Ac	0 Aa	78 Ab	22 Ba	0,00 Ad
	20-30 °C	12	96 Aa	95 Aa	1 Aa	3 Ad	1 Ab	1,57 Ba
MG	10 °C	-	0 Ab	0 Ab	0 Aa	100 Aa	0 Ab	0,00 Ac
	15 °C	-	0 Ab	0 Ab	0 Aa	96 Aa	4 Ab	0,00 Ac
	20 °C	16	96 Aa	96 Aa	0 Aa	3 Ab	1 Ab	0,94 Ab
	25 °C	11	99 Aa	99 Aa	0 Aa	0 Ab	1 Ab	1,65 Aa
	30 °C	14	93 Aa	93 Aa	0 Aa	6 Bb	1 Ab	1,10 Ab
	35 °C	24	1 Ab	0 Ab	0 Aa	89 Ba	10 Ab	0,01 Ac
	40 °C	-	0 Ab	0 Ab	0 Aa	9 Bb	91 Aa	0,00 Ac
	20-30 °C	11	98 Aa	98 Aa	0 Aa	0 Ab	2 Ab	1,78 Aa

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula comparam diferentes temperaturas dentro de uma mesma variável em cada um dos lotes e letras maiúsculas comparam mesma temperatura dentro de uma mesma variável entre os lotes pelo teste de Tukey a 5% de significância.

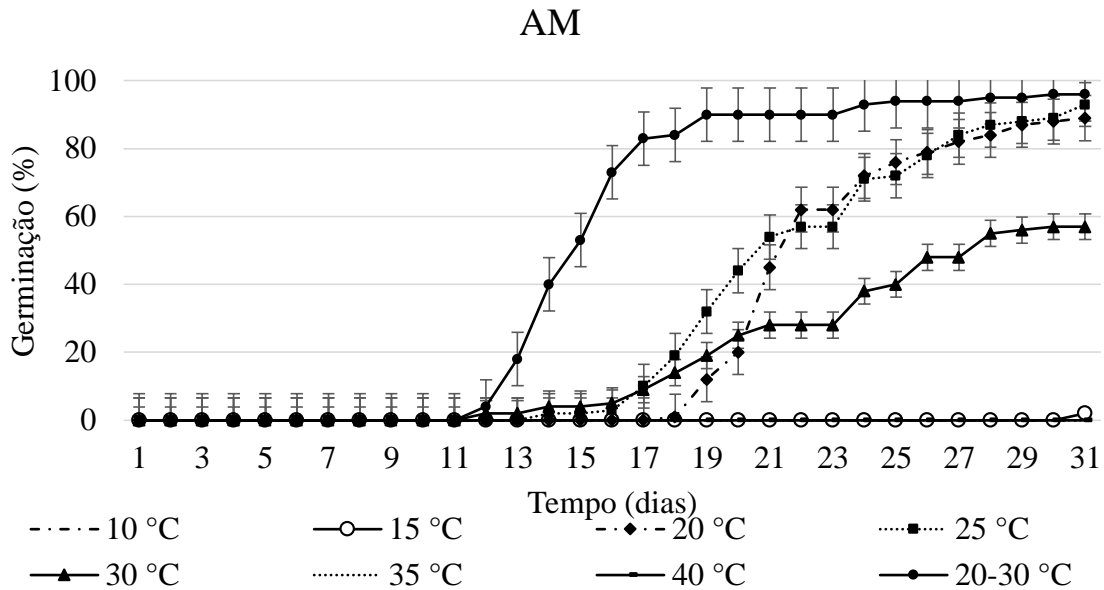
Figura 1. Efeito de diferentes temperaturas na germinação e índice de velocidade de germinação de sementes de *Psidium guajava* coletadas em Manaus (AM) e em Itumirim (MG).



Fonte: Da autora (2020).

O início da protrusão radicular variou com a temperatura, levando de 11 a 31 dias. Observando a curva de germinação acumulada das sementes dos dois lotes, é possível verificar a influência da temperatura sobre a velocidade de germinação (Figuras 2 e 3).

Figura 2. Efeito de diferentes temperaturas na curva de germinação de sementes de *Psidium guajava* coletadas em Manaus (AM).

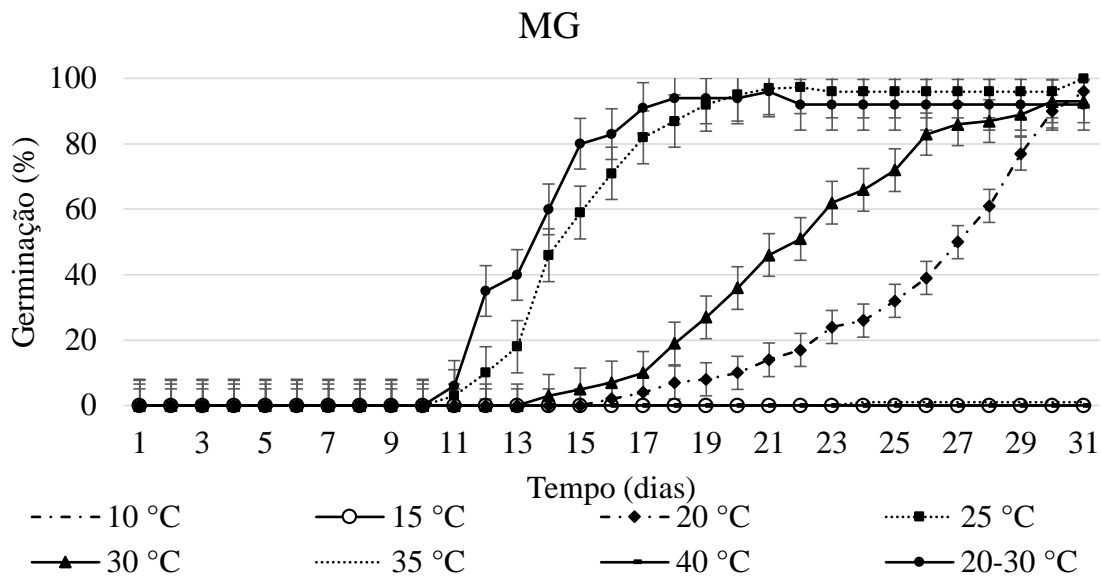


Fonte: Da autora (2020).

Os maiores percentuais de germinação de sementes ocorreram nas temperaturas constantes 20 e 25 °C e na temperatura alternada 20-30 °C para os dois lotes e também a 30 °C no lote MG. Nas sementes do lote AM, a temperatura alternada de 20-30 °C proporcionou o maior IVG. No lote MG, os maiores valores de IVG também foram observados na temperatura alternada de 20-30 °C e ainda, na temperatura constante de 25 °C.

A temperatura alternada de 20-30 °C foi a melhor para os dois lotes estudados, e portanto, utilizada nos demais testes. A temperatura de 20 °C foi considerada a mínima necessária para promover a germinação em ambos os lotes e a temperatura de 30 °C foi considerada a máxima para ambos os lotes, sendo que no lote AM, está temperatura apresentou redução no percentual de germinação ($p > 0,05$).

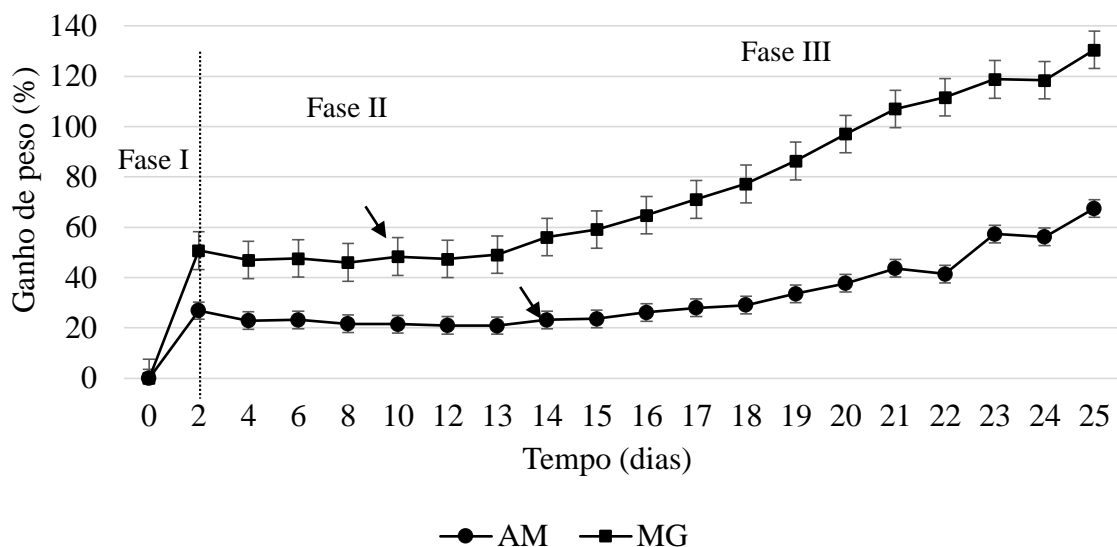
Figura 3. Efeito de diferentes temperaturas na germinação de sementes de *Psidium guajava* coletadas no município de Itumirim, MG.



Fonte: Da autora (2020).

O padrão de embebição foi trifásico, com rápido aumento na massa fresca das sementes durante as primeiras 48 horas, caracterizando a fase I de embebição (Figura 4). Após esse período, a massa fresca das sementes foi mantida (fase II) e a absorção de água foi estabilizada. Sementes do lote MG apresentaram emissão de radícula mais cedo (após 10 dias de embebição), quando comparadas ao lote AM (após 14 dias de embebição).

Figura 4. Curva de embebição de sementes de *Psidium guajava* coletadas em Manaus, AM e em Itumirim, MG, germinadas à temperatura de 20-30 °C. Setas indicam o início da protrusão radicular em cada lote.



Fonte: Da autora (2020).

Com a protrusão radicular houve o ganho de peso, caracterizando o início da fase III de embebição. Os lotes MG e AM atingiram 50% de germinação com 13 e 18 dias, respectivamente.

Em ambos os lotes, a TD foi mantida até aproximadamente nove dias de embebição, com mais de 90% de plântulas normais formadas (Tabela 3). Após 12 dias, as sementes do lote MG tiveram uma drástica perda da TD, enquanto as sementes do lote AM, mantiveram percentuais de plântulas normais próximos aos 60%. Esse valor foi mantido mesmo após 15 dias de embebição. Após a protrusão radicular, não foi observada a formação de plântulas normais quando as sementes foram submetidas à secagem e reidratação. Ao observar o IVG, notamos seu aumento nas sementes com nove dias de embebição, em ambos os lotes.

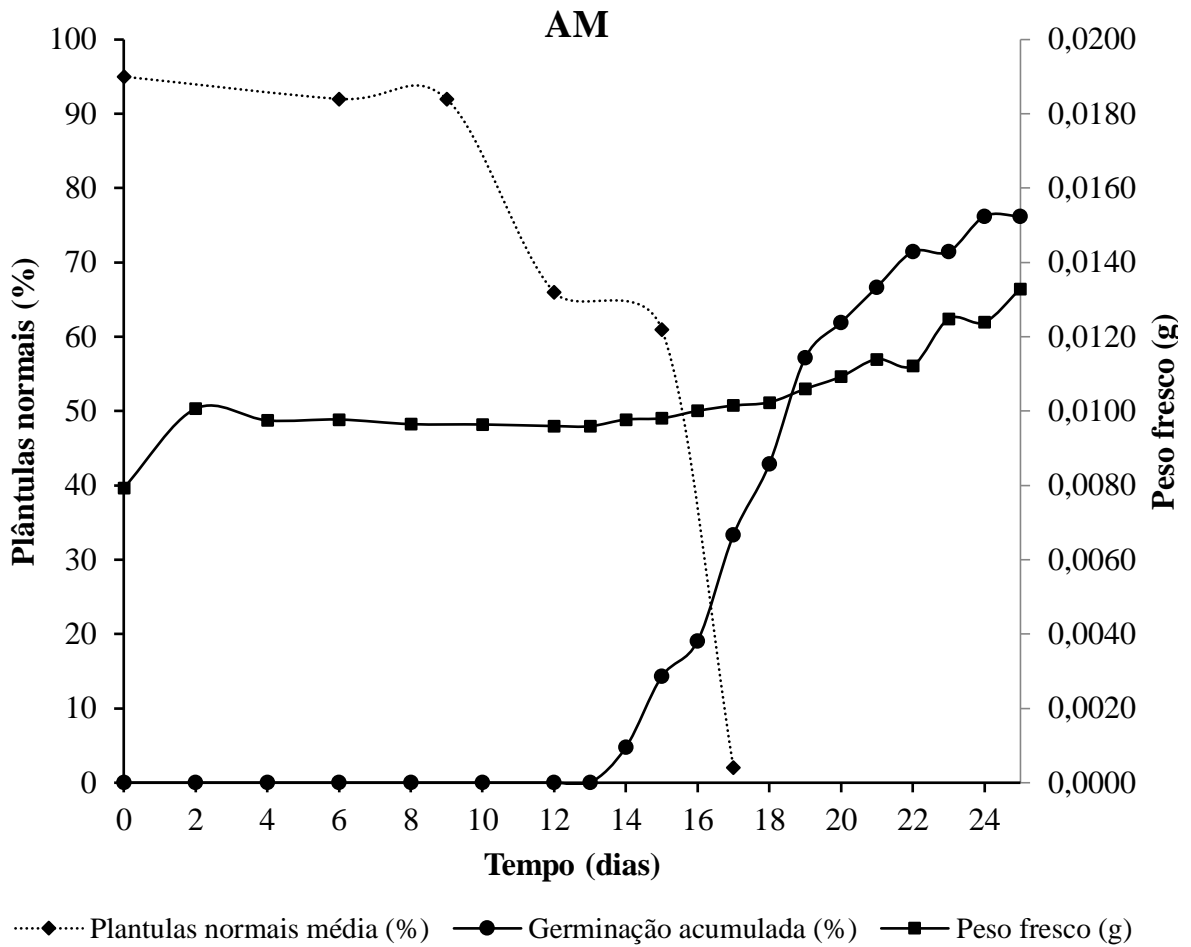
Tabela 3. Germinação (%), plântulas normais (%) e índice de velocidade de germinação (IVG) de sementes de *Psidium guajava* coletadas em Manaus (AM) e em Itumirim (MG), submetidas a diferentes tempos de embebição, seguidas de secagem e reidratação.

Tempo de embebição (dias)	Germinação (%)		Plântulas normais (%)		IVG	
	AM	MG	AM	MG	AM	MG
0	96 aA	100 aA	95 aA	100 aA	1,43 bB	1,73 bA
6	93 aA	97 aA	92 aA	94 aA	1,43 bB	1,62 bA
9	92 aA	95 aA	92 aA	94 aA	1,72 aB	2,06 aA
12	68 bA	15 bB	66 bA	6 bB	1,36 bA	0,28 cB
15	64 b	-	61 b	-	1,58 b	-
Protrusão radicular	100 aA	100 aA	2 cA	0 bA	-	-

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha (dentro de cada variável) não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância.

A perda da TD nas sementes do lote AM foi mais lenta, a curva de germinação apresentou menor ganho de peso e o início da protrusão radicular foi atrasado, em comparação ao lote MG (Figura 5).

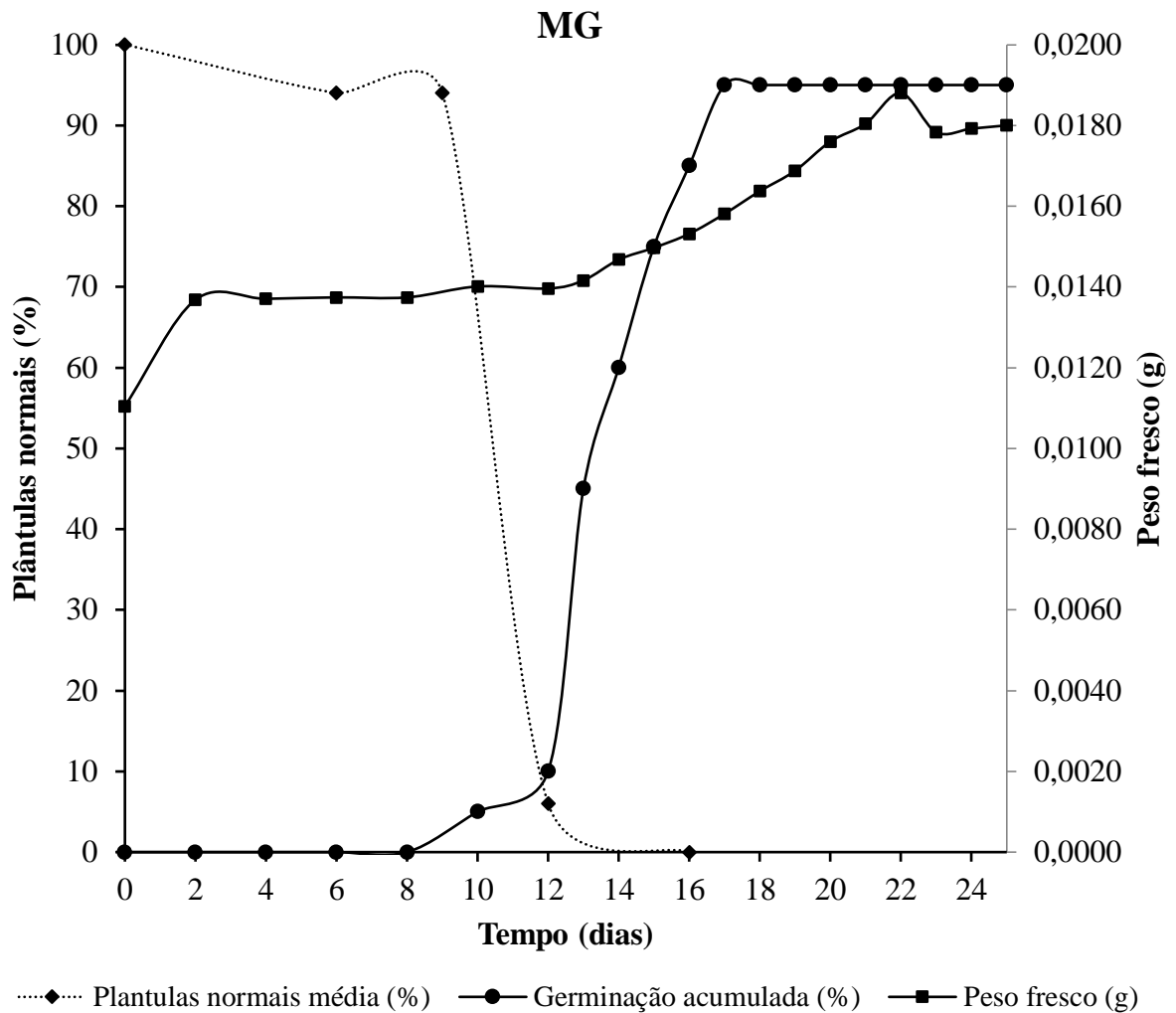
Figura 5. Plântulas normais, germinação acumulada e peso fresco de sementes de *Psidium guajava* coletadas na região norte (AM) em resposta ao tratamento de dessecação após embebição em diferentes tempos.



Fonte: Da autora (2020).

Sementes do lote MG apresentaram protrusão radicular mais cedo, maior ganho de peso e uma perda da tolerância à dessecação mais rápida, com queda mais acentuada, por volta de 12 dias (Figura 6).

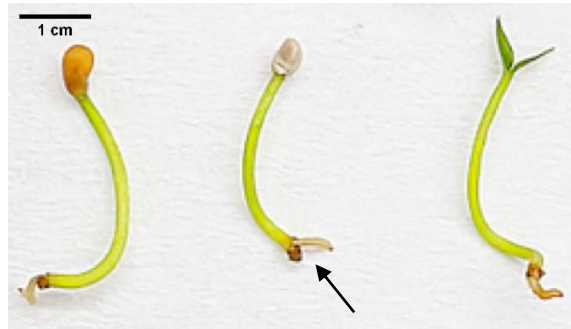
Figura 6. Plântulas normais, germinação acumulada e peso fresco de sementes de *Psidium guajava* coletadas na região sudeste (MG), em resposta ao tratamento de dessecação após embebição em diferentes tempos.



Fonte: Da autora (2020).

Após a protrusão radicular, em ambos os lotes, não foi possível a obtenção de plântulas normais. A secagem das sementes germinadas causou necrose na radícula, o que impediu o seu crescimento e desenvolvimento, porém foi observado que nos tempos de embebição antes da protrusão radicular (9 e 12 dias), mesmo com a necrose do tecido radicular, houve a produção de raiz, em ambos os lotes (Figura 7).

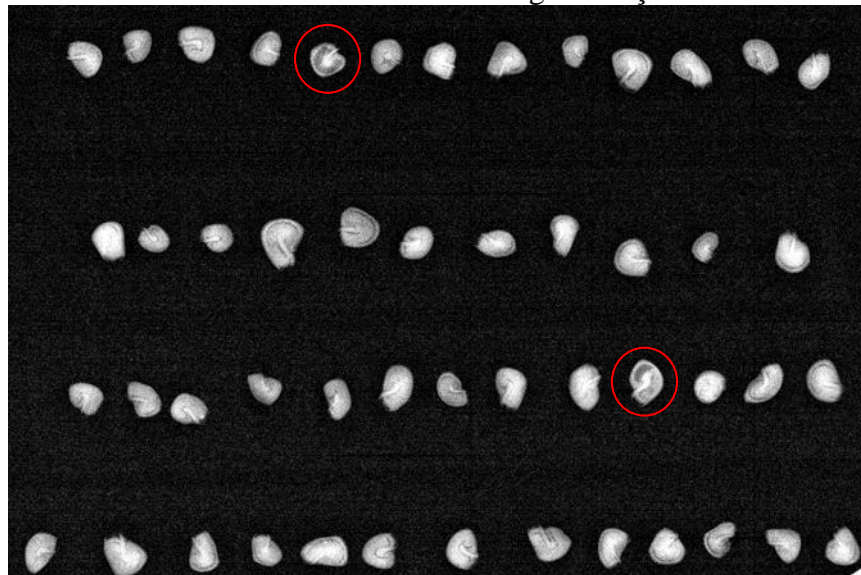
Figura 7. Plântulas normais de *Psidium guajava* produzidas após 9 dias de embebição, seguidas de secagem e reidratação. Destaque para a formação do sistema radicular mesmo com necrose da raiz principal.



Fonte: Da autora (2020).

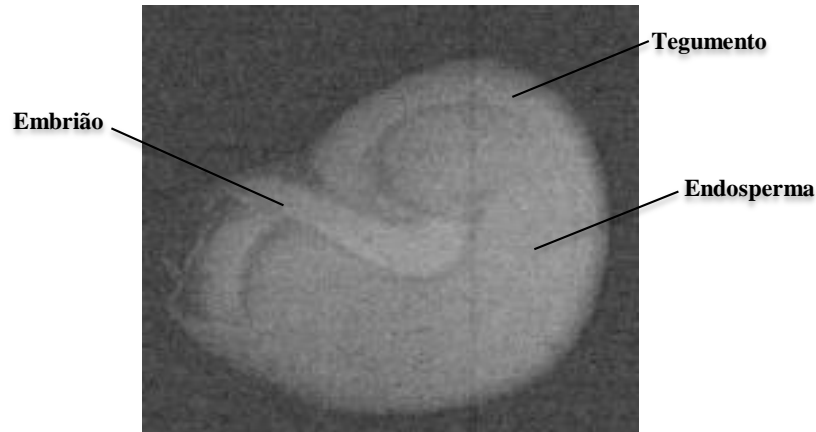
Ao observar as imagens obtidas pelo teste de raios X (Figura 8 e 9), foi possível identificar a morfologia interna das sementes. Sementes que apresentaram pouco preenchimento interno, no final do teste de germinação, não produziram plântulas normais. Estas sementes mortas ou duras não germinaram em condições ótimas de temperatura pela baixa quantidade de tecido endospermático ou por falhas na formação do embrião.

Figura 8. Imagem obtida pelo teste de raios X com sementes do lote MG. Sementes destacadas foram classificadas como mortas no teste de germinação.



Fonte: Da autora (2020).

Figura 9. Detalhe da morfologia interna de uma semente de *Psidium guajava* obtida através de imagem pelo teste de raios X com sementes do lote MG.



Fonte: Da autora (2020).

Das 400 sementes radiografadas, 97,25% germinaram, das quais 97% formaram plântulas normais. Somente 2,75% das sementes foram classificadas como mortas ou duras, sendo possível sua identificação nas imagens radiográficas. O teor de água no momento do teste foi de 10,14%.

DISCUSSÃO

As sementes colhidas em ambas regiões exibiram variação nas características fisiológicas. Estudos já demonstraram que diferentes espécies alteram padrões de massa ou morfologia de sementes a fim de melhor se adaptar a fatores climáticos (WANG et al., 2014; GORDEN et al., 2016). O tamanho e o peso das sementes podem variar de acordo com as condições ambientais, as quais também podem afetar a resposta das sementes ao ambiente (BEWLEY et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2019), o que pode ser visto na resposta da germinação em diferentes temperaturas e na TD.

Temperaturas extremas (10 e 15 °C e 35 e 40 °C) não proporcionaram a germinação de sementes de *P. guajava*. A temperatura também influenciou a velocidade de germinação dos lotes avaliados. Sabe-se que a temperatura desempenha importante papel na germinação e estabelecimento de plantas (LIU et al., 2017), podendo afetar a permeabilidade celular nas sementes, dificultando a entrada de água ou troca de gases, com reflexos na intensidade e velocidade de germinação, sendo um dos principais fatores que afetam esse processo (KUMAR et al., 2011; BASKIN; BASKIN, 2014; FLORES et al., 2014; EBERLE et al., 2014; GUALTIERI; FANTI, 2015). Altas temperaturas atuam na degradação de enzimas e proteínas, influenciando assim a viabilidade das sementes (GUALTIERI; FANTI, 2015).

As melhores temperaturas para germinação de sementes de *P. guajava* estão no intervalo térmico entre 20 e 30 °C, temperaturas recomendadas para a germinação de um grande número de sementes de espécies tropicais e subtropicais (WHITMORE, 1982). Há recomendações de uso das temperaturas constantes de 25 °C para a germinação de espécies dos biomas Cerrado e Mata Atlântica, e 30 °C para as do bioma Amazônia (BRANCALION et al., 2010). Para o lote AM contudo, a temperatura de 30 °C reduziu a germinação ($p > 0,05$).

Quando analisamos o uso de temperaturas alternadas, observamos que esta favoreceu a germinação nos dois lotes. O uso de fotoperíodo favorece espécies pioneiras, nesse caso, a luz atua como sinalização para a germinação (GUALTIERI; FANTI, 2015). A flutuação de temperatura, possibilitada na germinação em temperaturas alternadas, pode ainda favorecer o aparecimento de aberturas, provocadas pela expansão e retração do tegumento, facilitando assim a passagem de água e gases para o interior da semente, e conseqüentemente, a germinação (BEWLEY et al., 2013). Os maiores valores de IVG foram encontrados nessa condição de temperatura alternada nos lotes AM e MG, sendo que neste último, a temperatura 20-30 °C não foi diferente estatisticamente de 25 °C.

As respostas à germinação contribuem para se estabelecer o padrão de distribuição das espécies (DONOHUE et al., 2010; RIBEIRO; KOLB, 2016). Os padrões de germinação de uma mesma espécie podem variar frequentemente em resposta a pequenas diferenças ambientais (ABE; MATSUNAGA, 2011; LIU et al., 2017). No caso de *P. guajava*, observa-se uma pequena faixa de temperatura, além da variação destas respostas dentro da mesma espécie. Esperava-se que sementes oriundas da região norte (lote AM) germinassem bem sob temperaturas mais elevadas, considerando que essa região se caracteriza por apresentar alta temperatura e umidade durante todo o ano, o que não foi observado.

Há previsões de aumento da temperatura global em decorrência de alterações no clima até o ano de 2100. Cenários mais otimistas acreditam em um aumento de 0,3 a 1,7 °C na temperatura global, enquanto cenários pessimistas acreditam que esse acréscimo pode ser de 2,6 a 4,8 °C (IPCC, 2014). Espera-se ainda um aumento de 10% na área seca do globo, devido a diminuição das chuvas (SHERWOOD; FU, 2014). Avaliando os impactos da mudança climática sobre a América do Sul encontramos relatos mais pessimistas, com a redução de até 40% da precipitação nas regiões tropicais do continente, incluindo a Amazônia e o Nordeste do Brasil. Há previsão ainda de forte aquecimento na região, variando de 4 a 6 °C (MARENGO et al., 2012).

Isso indica que mudanças no clima poderão limitar o estabelecimento de plantas *P. guajava* ou forçá-las a adaptações, em especial as sementes produzidas na região norte, afetando

sua ecologia, visto que as variações na temperatura e umidade influenciam diretamente a germinação (WALCK et al., 2011; OOI, 2012). Essa situação é agravada com as elevadas taxas de desmatamento, fragmentação de habitats e incêndios florestais, interferindo na dinâmicas das populações e na própria regeneração das espécies.

É preciso considerar que a plasticidade genética e fenotípica das espécies para características como a germinação ocorre naturalmente em diferentes regiões, o que pode proteger as populações contra alguns dos efeitos das mudanças climáticas (WALCK et al., 2011; LIU et al., 2017). Observa-se que as sementes do lote MG apresentaram maior plasticidade em relação a germinação em diferentes temperaturas, do que as do lote AM.

Observando as curvas de embebição, nota-se que ambas apresentaram padrão trifásico, com rápida embebição nas primeiras 48 horas, o que caracteriza a fase I, onde ocorre o início da degradação das substâncias de reservas e a produção de energia, necessários para a fase II (MARCOS-FILHO, 2005). Ambos os lotes iniciaram juntos a fase II, mas sua duração foi diferente. Sementes do lote MG voltaram a apresentar ganho de peso antecipadamente (por volta do 14º dia), indicando a saída da fase II mais rapidamente. O início da germinação visível também foi mais cedo nesse lote (10º dia).

A germinação antecipada favorece o estabelecimento das plântulas antes de períodos desfavoráveis (PARSONS, 2012; PARSONS et al., 2014; RUBIO DE CASAS et al., 2017). O momento de transição de semente para plântulas é um período de alto risco no ciclo de vida da maioria das espécies, e a capacidade das sementes de tolerar as condições ambientais de estresse é fundamental para que a espécie estabeleça um banco de sementes e, em condições favoráveis, germine (SALAZAR et al., 2011).

Sementes do lote AM foram tolerantes à dessecação por até 15 dias, apresentando germinação superior a 60%, observando-se menor tamanho e germinação lenta, enquanto o lote MG apresentou queda drástica de germinação com 12 dias de secagem (15%), sementes maiores, maior teor de água e germinação rápida.

Sementes ortodoxas perdem a TD progressivamente à medida que a germinação avança e, geralmente, é perdida totalmente com a protrusão radicular, como é o caso de sementes de *Anadenanthera colubrina*, *Leucaena leucocephala*, *Peltophorum dubium* e *Senna multijuga* (GUIMARÃES et al., 2011; RODRIGUES-JUNIOR et al., 2015; RIBEIRO et al., 2016; CASTRO et al., 2017) e, como verificado no presente trabalho para *P. guajava*. Os mecanismos que atuam na TD são gradualmente desativados durante o processo de germinação, sendo a protrusão da radícula um marcador da perda da tolerância para muitas espécies (BUITINK et al., 2003; BEWLEY et al., 2013). Há casos, porém, que essa perda da tolerância ocorre após a

protrusão radicular, como em sementes de *Sesbania virgata* e *Handroanthus impetiginosa* (VIEIRA et al., 2010; MARTINS et al., 2015; MASETTO et al., 2015; COSTA et al., 2016).

Em ambos os lotes, o maior IVG foi obtido após 9 dias de embebição, seguidas de secagem. Em trabalhos avaliando ciclos de hidratação e desidratação, há relatos que sementes submetidas a hidratação com posterior secagem, seguidas vezes, podem aumentar sua tolerância a estresses (ASHRAFI; RAZMJOO, 2015; HORA; MEIADO, 2016; LIMA; MEIADO, 2017; LIMA et al., 2018).

A TD é atribuída ao acúmulo de proteínas LEA durante os ciclos de hidratação e desidratação, responsáveis pelo aumento da tolerância. A embebição atua como um condicionamento fisiológico, aumentando a tolerância ao estresse nas sementes durante a germinação, criando uma espécie de memória de hidratação (CHEN; ARORA, 2013).

A memória hídrica é a capacidade de sementes reterem alterações bioquímicas e fisiológicas causadas nas sementes por ocasião da hidratação descontínua (DUBROVSKY, 1996; LIMA et al., 2018). Sementes de *P. guajava* podem apresentar essa característica, o que justificaria o maior IVG após 9 dias de embebição, em ambos os lotes, sendo contudo necessários mais estudos.

Houve necrose do meristema radicular antes que as radículas fossem visíveis, porém, a formação do sistema radicular foi observada. Quando a secagem foi feita com a radícula recém emitida, essa necrose já estava avançada no tecido radicular e já não foi mais possível a regeneração.

Sementes de *Handroanthus impetiginosa* conseguiram desenvolver raízes adventícias quando houve necrose da radícula após dessecação (VIEIRA et al., 2010). Em sementes de *Sesbania virgata* houve a formação de raízes secundárias – e não adventícias - após a dessecação (COSTA et al., 2016). Em *P. guajava*, não foram realizados cortes anatômicos para verificação de qual das duas situações foi observada.

A parte do eixo embrionário contendo o tecido radicular é a parte mais sensível da semente ao processo de desidratação (KALEMBA et al., 2019). Trata-se da primeira estrutura a emergir da semente durante a germinação, pelo rompimento do tegumento, dando origem a raiz primária. Isso faz com que essa estrutura, formada por tecido meristemático, fique sensível às condições ambientais (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012; COSTA et al., 2016). Apesar dos danos causados pela desidratação em *P. guajava*, foi possível desenvolver sistema radicular em sementes secas antes da protrusão, no entanto, não se sabe a origem desse sistema radicular.

Observado as imagens radiográficas de sementes do lote MG, é possível visualizar a morfologia interna, identificando-se a espessura do tegumento, o tecido endospermático de

reserva (que preenche boa parte da semente) e o embrião.

Foi possível associar a qualidade fisiológica da semente com as imagens de raios X. O uso de técnicas de análise ótica, como os raios X, traz vantagens por ser não destrutiva e por fornecer informações sobre qualidade física de forma rápida (BRASIL, 2009; RAHMAN; CHO, 2016; GRASSO et al., 2018), o que é um progresso para a análise de sementes. Em espécies florestais essa técnica pode contribuir para o manejo da produção de mudas através da separação de lotes de sementes com maior qualidade física, (LIMA, et al., 2018) observando-se a formação dos tecidos, presença de sementes vazias e predadas.

Sementes com menor densidade tem mais chances de não germinar ou de produzir plântulas de baixa qualidade, uma vez que a alta densidade se relaciona com maior integridade dos tecidos e ao conteúdo de reservas, fatores fundamentais durante a germinação e formação de plântulas (MEDEIROS et al., 2020).

Relatos atuais demonstram o uso de imagens radiográficas para detecção de anormalidade embrionária, identificação de danos mecânicos no tegumento, determinação do estágio de maturação das sementes, seleção de sementes cheias e identificação geral da qualidade das sementes (AMARAL et al., 2019; GIBBERT et al., 2019; LEÃO-ARAÚJO et al., 2019; MEDEIROS et al., 2019; MEDEIROS et al., 2020). O teste de raios X é recomendado pelas Regras de Análise de Sementes - RAS (BRASIL, 2009) e pela Associação Internacional de Análise de Sementes (ISTA - International Seed Testing Association) (ISTA, 2003) com a finalidade de detectar sementes cheias, vazias, com injúrias mecânicas ou atacadas por insetos. Em sementes de *P. guajava* a intensidade de radiação de 24 kV, tempo de exposição à radiação de 10 segundos e distância focal de 14,3 cm da fonte de emissão de raios X foram suficientes para permitir a visualização da morfologia interna das sementes, podendo ser aplicado para classificação de lotes.

CONCLUSÕES

Houve variação das características fisiológicas entre os lotes coletados na região norte e sudeste do país. Sementes do lote AM perdem a tolerância à dessecação mais lentamente que sementes do lote MG, sendo estas últimas, mais sensíveis. A TD foi totalmente perdida, nos dois lotes estudados, com a protrusão da radícula.

Temperaturas extremas (10 e 15 °C e 35 e 40 °C) não possibilitam a germinação de sementes de *P. guajava*. Sementes oriundas da região sudeste germinam sob uma maior faixa de temperatura. A temperatura de 20 °C é considerada a mínima necessária para promover a

germinação de sementes em ambos os lotes e a máxima temperatura é de 30 °C. A temperatura alternada de 20-30 °C foi considerada ótima para os dois lotes.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) na pessoa da pesquisadora Dra. Isolde Dorothea Kossmann Ferraz pela coleta, processamento e envio de material vegetal.

REFERÊNCIAS

- ABE, T.; MATSUNAGA, M. Geographic variation in germination traits in *Melia azedarach* and *Rhaphiolepis umbellata*. **American Journal of Plant Sciences**, v. 02, n. 01, p. 52–55, 2011.
- AMARAL, E. V. E. J.; SALES, J. F.; ZUCHI, J.; NEVES, J. M. G.; OLIVEIRA, J. A. Analysis of radiographic images and germination of *Campomanesia pubescens* (Mart. ex DC.) O.Berg (Myrtaceae Juss.) seeds under drying. **Brazilian Journal of Biology**, v. 6984, 2019.
- ASHRAFI, E.; RAZMJOO, J. Seed treatment to overcome salt and drought stresses during germination in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). **Journal of Plant Nutrition**, v. 38, n. 14, p. 2151–2158, 2015.
- BASKIN, C. C.; BASKIN, J. M. **Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination**. San Diego, USA: Elsevier, 2014.
- BEWLEY, J. D.; BRADFORD, K. J.; HILHORST, H. W. M.; NONOGAKI, H. **Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy**. USA: Springer, 2013.
- BRANCALION, P. H. S.; NOVENBRE, A. D. DA L. C.; RODRIGUES, R. R. Temperatura ótima de germinação de sementes de espécies arbóreas brasileiras. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 4, p. 15–21, 2010.
- BRASIL. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária, 2009.
- BUITINK, J.; VU, B. L.; SATOUR, P.; LEPRINCE, O. The re-establishment of desiccation tolerance in germinated radicles of *Medicago truncatula* Gaertn. seeds. **Seed Science Research**, v. 13, n. 4, p. 273–286, 2003.
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. Jaboticabal: Funep, 2012.
- CASTRO, D. S. DE; ARAUJO, E. F.; BORGES, E. E. DE L. E; AMARO, H. T. R. Caracterização da testa de sementes de *Apuleia leiocarpa* (VOGEL) J. F. MACBR) após superação de dormência. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 3, p. 1061–1068, 2017.
- CASTRO, L. E.; GUIMARÃES, C. C.; FARIA, J. M. R. Physiological, cellular and molecular

aspects of the desiccation tolerance in *Anadenanthera colubrina* seeds during germination. **Brazilian Journal of Biology**, v. 1, n. 4, p. 1, 2017.

CHEN, K.; ARORA, R. Priming memory invokes seed stress-tolerance. **Environmental and Experimental Botany**, v. 94, p. 33–45, 2013.

COSTA, M. C. D.; FARIAS, J. M. R.; JOSÉ, A. C.; LIGTERINK, W.; HILHORST, H. W. M. Desiccation tolerance and longevity of germinated *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. seeds. **Journal of Seed Science**, v. 38, n. 1, p. 50–56, 2016.

DAWS, M. I.; CLELAND, H.; CHMIELARZ, P.; et al. Variable desiccation tolerance in *Acer pseudoplatanus* seeds in relation to developmental conditions: A case of phenotypic recalcitrance? **Functional Plant Biology**, v. 33, n. 1, p. 59–66, 2006.

DAWS, M. I.; LYDALL, E.; CHMIELARZ, P.; et al. Developmental heat sum influences recalcitrant seed traits in *Aesculus hippocastanum* across Europe. **New Phytologist**, v. 162, n. 1, p. 157–166, 2004.

DEKKERS, B. J. W.; COSTA, M. C. D.; MAIA, J.; et al. Acquisition and loss of desiccation tolerance in seeds: from experimental model to biological relevance. **Planta**, v. 241, n. 3, p. 563–577, 2015.

DONOHUE, K.; RUBIO DE CASAS, R.; BURGHARDT, L.; KOVACH, K.; WILLIS, C. G. Germination, postgermination adaptation, and species ecological ranges. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 41, p. 293–319, 2010.

DUBROVSKY, J. G. Seed hydration memory in Sonoran Desert cacti and its ecological implication. **American Journal of Botany**, v. 83, n. 5, p. 624–632, 1996.

EBERLE, C. A.; FORCELLA, F.; GESCH, R.; PETERSON, D.; EKLUND, J. Seed germination of calendula in response to temperature. **Industrial Crops and Products**, v. 52, p. 199–204, 2014.

FARIA, J. M. R.; BUTINK, J.; LAMMEREN, A. A. M. A. M. VAN; HILHORST, H. W. M. Changes in DNA and microtubules during loss and re-establishment of desiccation tolerance in germinating *Medicago truncatula* seeds. **Journal of Experimental Botany**, v. 56, n. 418, p. 2119–2130, 2005.

FLORA DO BRASIL. *Psidium* in Flora do Brasil 2020 em construção. Disponível em: <<http://reflora.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB24034>>. Acesso em: 2/7/2020.

FLORES, A. V.; BORGES, E. E. DE L.; GUIMARÃES, V. M.; et al. Atividade enzimática durante a germinação de sementes de *Melanoxylon brauna* Schott sob diferentes temperaturas. **Cerne**, v. 20, n. 3, p. 401–408, 2014.

GIBBERT, P.; BORTOLINI, M. F.; KAISER, D. K.; MULLER, E. M.; GUSATTO, F. Seed quality evaluation of *Senegalia polyphylla* (DC.) Britton & Rose. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 2, 2019.

GORDEN, N. L. S.; WINKLER, K. J.; JAHNKE, M. R.; et al. Geographic patterns of seed mass are associated with climate factors, but relationships vary between species. **American Journal of Botany**, v. 103, n. 1, p. 60–72, 2016.

GRASSO, R.; GULINO, M.; GIUFFRIDA, F.; et al. Non-destructive evaluation of watermelon seeds germination by using Delayed Luminescence. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 187, p. 126–130, 2018.

GUALTIERI, S. C. J.; FANTI, S. C. Ecofisiologia da germinação de sementes. **Sementes florestais tropicais: da ecologia a produção**. 1st ed., p.477, 2015.

GUIMARÃES, C. C.; FARIA, J. M. R.; OLIVEIRA, J. M.; SILVA, E. A. A. DA. Avaliação da perda da tolerância à dessecação e da quantidade de DNA nuclear em sementes de *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taubert durante e após a germinação. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 2, p. 207–215, 2011.

HARRISON, P. A.; BAILEY, G.; VAILLANCOURT, R. E.; POTTS, B. M. Provenance and seed mass determines the seed germination success of *Eucalyptus ovata* (Myrtaceae). **Seed Science and Technology**, v. 42, n. 3, p. 466–472, 2014.

HOEKSTRA, F. A.; GOLOVINA, E. A.; BUITINK, J. Mechanism of plant desiccation tolerance. **Trends in Plant Science**, v. 6, n. 9, p. 431–438, 2001.

HORA, I. S. DA; MEIADO, M. V. A hidratação descontínua em sementes favorece a produção de mudas de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae)? **Agroforestalis News**, v. 1, n. 1, p. 20–24, 2016.

IPCC. **Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Geneva, Switzerland, 2014.

ISTA. **International rules for seed testing**. Zurich, Switzerland, 2003.

KALEMBA, E. M.; BAGNIEWSKA-ZADWORNA, A.; SUSZKA, J.; PUKACKA, S. Dehydration sensitivity at the early seedling establishment stages of the European beech (*Fagus sylvatica* L.). **Forests**, v. 10, n. 10, p. 1–18, 2019.

KUMAR, B.; VERMA, S. K.; SINGH, H. P. Effect of temperature on seed germination parameters in Kalmegh (*Andrographis paniculata* Wall. ex Nees.). **Industrial Crops and Products**, v. 34, n. 1, p. 1241–1244, 2011.

LEÃO-ARAÚJO, É. F.; GOMES-JUNIOR, F. G.; SILVA, A. R. DA; PEIXOTO, N.; SOUZA, E. R. B. DE. Evaluation of the desiccation of *Campomanesia adamantium*, seed using radiographic analysis and the relation with physiological potential. **Agronomy Journal**, v. 111, n. 2, p. 592–600, 2019.

LEPRINCE, O.; BUITINK, J. Desiccation tolerance: From genomics to the field. **Plant Science**, v. 179, n. 6, p. 554–564, 2010.

LEPRINCE, O.; HARREN, F. J. M.; BUITINK, J.; ALBERDA, M.; HOEKSTRA, F. A. Metabolic dysfunction and unabated respiration precede the loss of membrane integrity during dehydration of germinating radicles. **Plant physiology**, v. 122, n. 2, p. 597–608, 2000.

LIMA, A. T.; CUNHA, P. H. DE J.; DANTAS, B. F.; MEIADO, M. V. Does discontinuous hydration of *Senna spectabilis* (DC.) H.S. Irwin & Barneby var. *excelsa* (Schrad.) H.S. Irwin & Barneby (Fabaceae) seeds confer tolerance to water stress during seed germination? **Journal**

of **Seed Science**, v. 40, n. 1, p. 36–43, 2018.

LIMA, A. T.; MEIADO, M. V. Discontinuous hydration alters seed germination under stress of two populations of cactus that occur in different ecosystems in Northeast Brazil. **Seed Science Research**, v. 27, n. 4, p. 292–302, 2017.

LIMA, J. M. E.; SMIDERLE, O. J.; OLIVEIRA, J. A.; CARVALHO, M. L. M. DE. Técnicas de análise de imagem para caracterização da qualidade de sementes de paricarana (*Bowdichia virgilioides* Kunth). **Ciência Florestal**, v. 28, n. 3, p. 1202–1216, 2018.

LIU, X.; XU, D.; YANG, Z.; ZHANG, N. Geographic variations in seed germination of *Dalbergia odorifera* T. Chen in response to temperature. **Industrial Crops and Products**, v. 102, p. 45–50, 2017.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 53, n. 2, p. 176–177, 1962.

MAIA, J.; GUIMARÃES, C. C.; SILVA, E. A. A.; FARIA, J. M. R. What can cell cycle and ultrastructure tell us about desiccation tolerance in *Leucaena leucocephala* germinating seeds? **Biologia Plantarum**, v. 60, n. 2, p. 320–328, 2016.

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: Fealq, 2005.

MARENGO, J. A.; CHOU, S. C.; KAY, G.; et al. Development of regional future climate change scenarios in South America using the Eta CPTEC/HadCM3 climate change projections: Climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco and the Paraná River basins. **Climate Dynamics**, v. 38, n. 9, p. 1829–1848, 2012.

MARQUES, A. R.; ATMAN, A. P. F.; SILVEIRA, F. A. O.; LEMOS-FILHO, J. P. DE. Are seed germination and ecological breadth associated? Testing the regeneration niche hypothesis with bromeliads in a heterogeneous neotropical montane vegetation. **Plant Ecology**, v. 215, n. 5, p. 517–529, 2014.

MARTINS, J. R.; EDVALDO, A. A. S.; ALVARENGA, A. A.; et al. Seedling survival of *Handroanthus impetiginosus* (Mart ex DC) Mattos in a semi-arid environment through modified germination speed and post-germination desiccation tolerance. **Brazilian journal of biology**, v. 75, n. 4, p. 812–820, 2015.

MASETTO, T. E.; FARIA, J. M.; FRAIZ, A. C. R. Re-Induction of desiccation tolerance after germination of *Cedrela fissilis* Vell. Seeds. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 86, n. 3, p. 1273–1285, 2014.

MASETTO, T. E.; FARIA, J. M. R.; FRAIZ, A. C. R. R.; et al. Loss and re-establishment of desiccation tolerance in the germinated seeds of *Sesbania virgata* (Cav.) (Pers.). **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 37, n. 3, p. 313, 2015.

MEDEIROS, A. D. DE; ZAVALA-LEÓN, M. J.; ARAÚJO, J. DE O.; et al. Relationship between internal morphology and physiological quality of *Leucaena leucocephala* seeds using image analysis. **Revista Árvore**, v. 43, n. 2, p. 1–9, 2019.

MEDEIROS, A. D. DE; ZAVALA-LEÓN, M. J.; SILVA, L. J. DA; OLIVEIRA, A. M. S.; DIAS, D. C. F. DOS S. Relationship between internal morphology and physiological quality of

pepper seeds during fruit maturation and storage. **Agronomy Journal**, v. 112, n. 1, p. 1–11, 2020.

MEDEIROS, A. D.; SILVA, L. J.; PEREIRA, M. D.; OLIVEIRA, A. M. S.; DIAS, D. C. F. S. High-throughput phenotyping of brachiaria grass seeds using free access tool for analyzing X-ray images. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 92 1, p. 1–17, 2020.

OLIVEIRA, G. M.; SILVA, F. F. S.; ARAUJO, M. DO N.; et al. Environmental stress, future climate, and germination of *Myracrodruon urundeuva* seeds. **Journal of Seed Science**, v. 41, n. 1, p. 32–43, 2019.

OOI, M. K. J. Seed bank persistence and climate change. **Seed Science Research**, v. 22, n. SUPPL. 1, 2012.

PARSONS, R. F. Incidence and ecology of very fast germination. **Seed Science Research**, v. 22, n. 3, p. 161–167, 2012.

PARSONS, R. F.; VANDELOOK, F.; JANSSENS, S. B. Very fast germination: Additional records and relationship to embryo size and phylogeny. **Seed Science Research**, v. 24, n. 2, p. 159–163, 2014.

PEREIRA, W. V. S.; FARIA, J. M. R.; TONETTI, O. A. O.; SILVA, E. A. A. Loss of desiccation tolerance in *Copaifera langsdorffii* Desf. seeds during germination. **Brazilian Journal of Biology**, v. 74, n. 2, p. 501–508, 2014.

PRITCHARD, H. W.; DAWS, M. I.; FLETCHER, B. J.; et al. Ecological correlates of seed desiccation tolerance in tropical African dryland trees. **American Journal of Botany**, v. 91, n. 6, p. 863–870, 2004.

R CORE TEAM. A language and environment for statistical computing, reference index version 3.6.1. , 2019.

RAHMAN, A.; CHO, B. K. Assessment of seed quality using non-destructive measurement techniques: A review. **Seed Science Research**, v. 26, n. 4, p. 285–305, 2016.

RANIERI, B. D.; PEZZINI, F. F.; GARCIA, Q. S.; CHAUTEMS, A.; FRANÇA, M. G. C. Testing the regeneration niche hypothesis with Gesneriaceae (tribe Sinningiae) in Brazil: Implications for the conservation of rare species. **Austral Ecology**, v. 37, n. 1, p. 125–133, 2012.

RIBEIRO, D. E.; ALVARENGA, A. A.; MARTINS, J. R.; RODRIGUES, A. C.; MAIA, V. O. Germinação e reindução da tolerância à dessecação em sementes de *Senna multijuga* (Rich.) Irwin et Barn. **Ciencia Florestal**, v. 26, n. 4, p. 1133–1140, 2016.

RIBEIRO, J. W. F.; KOLB, R. M. Distinct germination responses may contribute to the distribution pattern of two *Moquiniastrum* species in different phytophysiognomies from the Brazilian savanna. **Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, v. 223, p. 159–166, 2016.

RODRIGUES-JUNIOR, A. G.; FARIA, J. M. R.; VAZ, T. A. A.; JOSÉ, A. C. Loss of desiccation tolerance and storage behavior in germinating seeds of *Senna multijuga*: implications for seed germination and conservation. **New Forests**, v. 46, n. 2, p. 283–291, 2015.

- RODRIGUES, A. C.; ALVES DE ALVARENGA, A.; RIBEIRO, DIEGO EGÍDIO; MENDES GUIMARÃES, RENATO; ALVES, E.; MARQUES DA SILVA JUNIOR, J. Reindução da tolerância à dessecação em sementes de *Bauhinia forficata* Link (Fabaceae). **Cerne**, v. 21, n. 4, p. 579–585, 2015.
- RUBIO DE CASAS, R.; WILLIS, C. G.; PEARSE, W. D.; et al. Global biogeography of seed dormancy is determined by seasonality and seed size: a case study in the legumes. **New Phytologist**, v. 214, n. 4, p. 1527–1536, 2017.
- SALAZAR, A.; GOLDSTEIN, G.; FRANCO, A. C.; MIRALLES-WILHELM, F. Timing of seed dispersal and dormancy, rather than persistent soil seed-banks, control seedling recruitment of woody plants in Neotropical savannas. **Seed Science Research**, v. 21, n. 2, p. 103–116, 2011.
- SANTOS, J. C.; LIMA, A. N.; SILVA, D. M.; et al. Análise biométrica multidimensional com tratamentos pré-germinativos em sementes e caracterização morfológica de plântulas de *Mimosa bimucronata* (De Candolle) Otto Kuntze. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 2, p. 131–140, 2019.
- SHERWOOD, S.; FU, Q. A drier future? **Science**, v. 343, n. 6172, p. 737–739, 2014.
- SILVA, R. M. DA; CARDOSO, A. D.; DUTRA, F. V.; MORAIS, O. M. Aspectos biométricos de frutos e sementes de *Caesalpinia ferrea* Mart. ex Tul. provenientes do semiárido baiano. **Journal of Neotropical Agriculture**, v. 4, n. 3, p. 85–91, 2017.
- TWEDDLE, J. C.; DICKIE, J. B.; BASKIN, C. C.; BASKIN, J. M. Ecological aspects of seed desiccation sensitivity. **Journal of Ecology**, v. 91, n. 2, p. 294–304, 2003.
- VIEIRA, C. V.; SILVA, E. A. A.; ALVARENGA, A. A.; CASTRO, E. M.; TOOROP, P. E. Stress-associated factors increase after desiccation of germinated seeds of *Tabebuia impetiginosa* Mart. **Plant Growth Regulation**, v. 62, n. 3, p. 257–263, 2010.
- WALCK, J. L.; HIDAYATI, S. N.; DIXON, K. W.; THOMPSON, K.; POSCHLOD, P. Climate change and plant regeneration from seed. **Global Change Biology**, v. 17, n. 6, p. 2145–2161, 2011.
- WANG, Y.; WANG, J.; LAI, L.; et al. Geographic variation in seed traits within and among forty-two species of *Rhododendron* (Ericaceae) on the Tibetan plateau: Relationships with altitude, habitat, plant height, and phylogeny. **Ecology and Evolution**, v. 4, n. 10, p. 1913–1923, 2014.
- WHITMORE, T. C. On patterns and process in forest. In: Newman (Ed.); **The Plant Community as a Working Mechanism**. p.128, 1982.
- WYSE, S. V.; DICKIE, J. B. Predicting the global incidence of seed desiccation sensitivity. **Journal of Ecology**, v. 105, n. 4, p. 1082–1093, 2017.

ARTIGO 3 Fisiologia da germinação e tolerância à dessecação de sementes de *Bixa orellana* L.

Autores: Alana Chocorosqui Fernandes, José Marcio Rocha Faria.

RESUMO: *Bixa orellana*, popularmente conhecida como urucum, é uma importante espécie florestal com uso industrial e na recuperação de áreas degradadas. Contudo, sua baixa germinação e desuniformidade entre populações, dificuldade de armazenamento e dormência dificultam sua propagação. Sabendo disso, este trabalho teve como objetivo (1) caracterizar a fisiologia da germinação e (2) descrever a perda da tolerância à dessecação de um lote de sementes de *Bixa orellana*. Para isso, foram determinadas as características morfométricas do lote em estudo com o aparelho e software Groundeye®. Posteriormente, as sementes foram submetidas a teste de raios X para verificação da qualidade física. As sementes radiografadas foram submetidas a teste de germinação, mantendo a mesma disposição do teste de raios X, a fim de se avaliar o desenvolvimento inicial das plântulas e possibilitar sua correlação com as imagens radiográficas. Foi conduzido um teste de germinação para caracterização da curva de embebição, onde sementes foram pesadas antes, e após embebição, a cada 12 horas, até a estabilização. Para avaliar a perda da tolerância à dessecação sementes foram colocadas para germinar e, após os intervalos de tempo: (1) sementes sem embebição, diretamente destinadas a secagem (controle); (2) sementes com 80 horas de embebição; (3) sementes com 160 horas de embebição; (4) sementes com 250 horas de embebição; e (5) sementes logo após a protrusão radicular, foi realizada a interrupção da embebição e feita a secagem das sementes em sílica gel. A perda de água foi acompanhada através da pesagem regular das sementes até que fosse atingida a estabilização. Essa condição foi mantida por 72 horas. Após esse período, as sementes foram submetidas à pré-umidificação, e em seguida, foi retomado o teste de germinação. As sementes recém colhidas apresentaram alta germinação (78%) após 30 dias de incubação, mesmo sem tratamento de superação de dormência. As sementes apresentaram as seguintes dimensões médias: área: 0,11 cm²; comprimento: 0,43 cm; largura: 0,32 cm; e perímetro: 1,32 cm. O peso de mil sementes foi de 19,57 g. No teste de raios X, a germinação foi semelhante ao resultado com sementes recém colhidas (75,4%), contudo não foi possível relacionar a morfologia interna das sementes, obtidas pelas imagens de raios X, com a qualidade fisiológica obtida pelo teste de germinação. Observando a curva de embebição, esta apresentou padrão de trifásico, com rápida entrada de água na semente durante as primeiras 17 horas. A germinação das sementes foi desuniforme, sendo a transição entre a fase II e III variável entre as sementes, o que prolongou a curva. A protrusão da radícula foi visualizada após 113 horas de embebição. A tolerância à dessecação em sementes de *Bixa orellana* foi baixa, independentemente do tempo ou ocorrência da embebição, sendo totalmente perdida com a protrusão da radícula. Essa baixa germinação pode estar relacionada a aquisição de dormência secundária pelas sementes.

Palavras Chave: Urucum; secagem; semente florestal; raios X.

INTRODUÇÃO

Bixa orellana L. (Bixaceae) é uma árvore ou arbusto, nativa, não endêmica (VILAR et al., 2014), popularmente conhecida como urucum. De suas sementes é extraído um corante natural com aplicações nas indústrias têxtil, de tintas, cosmética, farmacêutica e de alimentos (ORWA et al., 2009; JOSEPH et al., 2010; POORNIMA; AMBIKA, 2012; VILAR et al., 2014; NASCIMENTO JÚNIOR et al., 2016; DAS et al., 2018), que o tornam uma importante espécie comercial.

O urucum possui ainda importância ecológica, sua rusticidade, rápido crescimento e a capacidade de se desenvolver naturalmente em solos de baixa a média fertilidade fazem com que a espécie seja utilizada na recuperação de áreas degradadas (LORENZI; MATOS, 2008; SOUZA et al., 2016). A espécie atua ainda como atrativo para fauna sendo importante fonte de alimento em áreas recuperadas.

O cultivo da espécie é dificultado, pois faltam sementes ou mudas no mercado. Evidências apontam alta variação na germinação de sementes de *B. orellana* provenientes de diferentes populações (JOSEPH et al., 2010). Trabalhos relatam ainda baixa germinação de sementes de urucum (CUSTÓDIO et al., 2002; LOPES et al., 2008; JOSEPH et al., 2010; DAS et al., 2018), o que é atribuído a presença de dormência física nas sementes (YOGESHHA et al., 2005; CASTELLO et al., 2012; POORNIMA; AMBIKA, 2012; DAS et al., 2018; COSTA et al., 2018). Alguns trabalhos relatam também problemas em relação ao armazenamento dessas sementes (YOGESHHA et al., 2005; ORWA et al., 2009), o que parece ser outro empecilho na produção de mudas desta espécie.

Sugere-se que a sensibilidade à dessecação de sementes é mais comum em espécies arbóreas de florestas tropicais e subtropicais, e sua ocorrência é predominante em habitats úmidos e não sujeitos a congelamento (TWEDDLE et al., 2003; WYSE; DICKIE, 2017). Sementes de urucum porém, apesar de ocorrer nesses ambientes, são consideradas sementes ortodoxas e, portanto, tolerante à dessecação (POORNIMA; AMBIKA, 2012; LIMA et al., 2014).

A tolerância à dessecação (TD) é comumente descrita como sendo a habilidade de órgãos e organismos, de sobreviver a níveis mínimos de água sem acumulação de danos letais, sendo capazes de restabelecer seu metabolismo normal após hidratação (HOEKSTRA et al., 2001; LEPRINCE; BUITINK, 2010; DEKKERS et al., 2015). Conhecer as condições limitantes de sobrevivência de espécies florestais pode contribuir para uma melhor compreensão da dinâmica da vegetação, além de ser fundamental para a conservação e

melhoramento genético das espécies (LIU et al., 2017).

Outra alternativa para auxiliar a elucidar os problemas relacionados a fisiologia de sementes de urucum é o uso de análises de imagem. A técnica de obtenção de imagens de raios X é não destrutiva e de rápida aplicação, quando associada ao teste de germinação pode fornecer informações quanto a anormalidades no embrião, danos mecânicos no tegumento, estágio de maturação das sementes e danos causados por insetos. Além disso, pode possibilitar a seleção de sementes cheias e a identificação geral da qualidade física das sementes (AMARAL et al., 2019; GIBBERT et al., 2019; LEÃO-ARAÚJO et al., 2019; MEDEIROS et al., 2019, 2020).

Aprofundar o conhecimento sobre a fisiologia da germinação de *B. orellana* torna-se fundamental para seu uso na silvicultura. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi (1) caracterizar a fisiologia da germinação e (2) definir o momento da perda da tolerância à dessecação de um lote de sementes de *Bixa orellana*.

MATERIAL E MÉTODOS

Coleta do material vegetal

Frutos maduros de *Bixa orellana* foram coletados em março de 2019 em Lavras, Minas Gerais (21°13'31.7"S 44°58'04.5"W). As sementes foram extraídas manualmente dos frutos e colocadas para secar naturalmente em temperatura ambiente para armazenamento em câmara fria e seca (± 10 °C e 40% UR) até o início dos experimentos. Foram determinados o teor de água, características morfométricas e a qualidade fisiológica do lote (teste de germinação) de sementes recém-colhidas. Posteriormente, sementes já armazenadas foram submetidas a teste de raios X para verificação da qualidade interna.

Determinação do teor de água

Sementes amostradas aleatoriamente no lote foram secas em estufa a 105 ± 3 °C por 24 horas (BRASIL, 2009). Foram usadas quatro repetições de cinco sementes, pesadas antes e após a secagem. O teor de água foi expresso em percentagem média de umidade (base úmida).

Caracterização das sementes

As características morfométricas foram obtidas de quatro repetições de 50 sementes com o aparelho e software Groundeye®, versão L 800. Foram selecionadas para análise as seguintes características: comprimento, largura, área e perímetro das sementes. O peso individual e o peso de mil sementes foram determinados segundo Brasil (2009) utilizando balança analítica com precisão de 10^{-4} g.

A obtenção de imagens radiográficas foi feita de quatro repetições de 100 sementes, fixadas em folhas de acetato com auxílio de fita dupla face. Foi utilizado aparelho Foxitron X - Ray, com ajuste automático para intensidade (35 kV) e tempo de exposição à radiação (18,4 segundos), a uma distância focal de 14,3 cm da fonte de emissão de raios X. As imagens radiográficas foram salvas em formato de arquivo de imagem (TIFF).

As sementes radiografadas foram submetidas a teste de germinação, mantendo a mesma disposição do teste de raios X, a fim de se avaliar o desenvolvimento inicial das plântulas e/ou danos físicos/predação para possibilitar sua correlação com as imagens radiográficas. Para isso, as sementes foram previamente desinfetadas com hipoclorito de sódio (2,5%, v/v) por 10 minutos, dispostas em recipiente gerbox, sobre duas folhas de papel, umedecidas com água 2,5 vezes o peso do papel seco, em câmaras de crescimento a 25 ± 2 °C e luz constante.

Curva de embebição

Para a realização da curva de embebição, foram seguidos os mesmos critérios de germinação utilizados anteriormente. As sementes foram pesadas antes da embebição, e após, a cada 12 horas, até estabilização. Antes de cada pesagem, a água superficial foi removida das sementes utilizando uma folha de papel toalha. Após as pesagens, as sementes foram retornadas às condições de germinação até a finalização do teste. Foram realizadas 40 repetições de uma semente cada.

Tolerância à dessecação

Sementes foram colocadas para germinar conforme descrito anteriormente e, após diferentes intervalos de tempo, houve a interrupção da embebição. Os intervalos foram determinados com base na curva de embebição, sendo: (1) sementes sem embebição, diretamente destinadas a secagem (controle); (2) sementes com 80 horas de embebição; (3)

sementes com 160 horas de embebição; (4) sementes com 250 horas de embebição; e (5) sementes logo após a protrusão radicular.

As sementes, em cada intervalo, foram pesadas e dispostas para secar em camada única, sobre tela suspensa em caixas tipo gerbox contendo sílica gel no fundo, em câmaras de crescimento a 20 ± 2 °C, no escuro.

A perda de água foi acompanhada através da pesagem regular das sementes até que fosse atingida a estabilização. Quando isso ocorria, as sementes eram mantidas nessas condições por 72 horas, conforme descrito por Buitink et al. (2003). A substituição da sílica gel foi feita a cada 24 horas.

Após secagem, as sementes foram submetidas à pré-umidificação, sobre tela em gerbox fechado e saturado com água (sem contato direto entre água e sementes) e mantido a 25 °C durante 24 horas a fim de evitar danos de embebição. Em seguida, foi retomado o teste de germinação seguindo as mesmas condições de germinação já descritas.

Foram avaliados o percentual de germinação, o índice de velocidade de germinação (IVG) (MAGUIRE, 1962), a porcentagem de plântulas normais e de sementes duras. Para cada tratamento foram utilizadas quatro repetições de 25 sementes. As sementes foram consideradas germinadas quando ocorreu protrusão da radícula (2 mm) e consideradas plântulas normais aquelas com estruturas bem desenvolvidas. Para avaliar a TD, o critério adotado foi o de formação de plântulas normais.

Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado em todos os experimentos foi o inteiramente casualizado (DIC). A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk. Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa estatístico R (R CORE TEAM, 2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Sementes recém-coletadas de *Bixa orellana* L. apresentaram teor de água de 16% e germinação média de 78%. Após 30 dias de incubação, 16% das sementes incubadas permaneceram duras. A baixa germinação das sementes de urucum causada pela impermeabilidade do tegumento é descrita por muitos autores (YOGEESSHA et al., 2005;

GAMA-ARACHCHIGE et al., 2011, 2013; CASTELLO et al., 2012; PEREIRA et al., 2012; POORNIMA; AMBIKA, 2012; DAS et al., 2018; COSTA et al., 2018), mas não foi observada neste lote, cujas sementes apresentaram alto percentual de germinação, sem qualquer tratamento de superação de dormência.

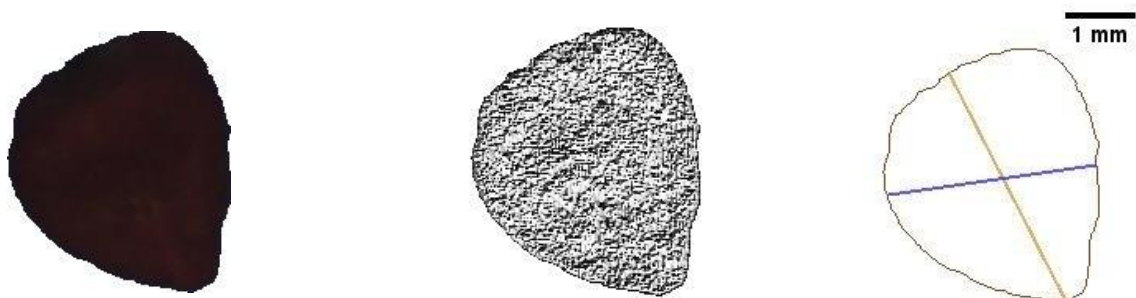
Figura 1. Plântula normal (formada após 30 dias de incubação) e semente embebida de *Bixa orellana*.



Fonte: Da autora (2020).

As sementes apresentaram as seguintes dimensões médias: área: 0,11 cm²; comprimento: 0,43 cm; largura: 0,32 cm; e perímetro: 1,32 cm (Figura 2). O peso de mil sementes foi de 19,57 g.

Figura 2. Imagens obtidas com o software Groundeye® mostrando coloração, formato, textura, posição de medição do comprimento (maior medida) e largura (menor medida) das sementes de *Bixa orellana*.



Fonte: Da autora (2020).

Vilar et al. (2014) estudando semente de *Bixa orellana* encontraram medidas de comprimento variando de 0,3 a 0,5 cm e largura média de 0,2 a 0,3 cm. Orwa et al. (2009), estudando a mesma espécie verificaram o comprimento médio das sementes com valor de 0,45 cm. Ambos relatos corroboram com os valores encontrados neste trabalho para o lote em estudo.

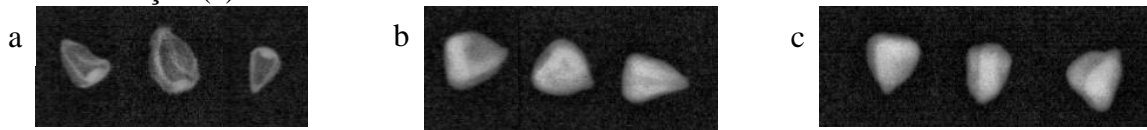
Um quilograma de sementes de *Bixa orellana* contém aproximadamente 51.099 sementes, valor superior ao que consta nas Instruções para Análise de Sementes Florestais, que estima de 22.000 a 40.000 sementes por quilograma (BRASIL, 2013). O peso de mil sementes pode variar de acordo com as condições climáticas, nutrição da planta mãe e entre diferentes populações. Essa diferença pode ainda estar relacionada com o teor de água das sementes no momento da pesagem. Segundo Marcos-Filho (2015), o teor de água das sementes interfere diretamente no peso das sementes e, pode variar de acordo com as condições ambientais no momento da coleta, idade e grau de maturação das sementes.

As condições ambientais em que as sementes são produzidas podem afetar sua resposta a morfologia e germinação (BEWLEY et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2019). Estudos já demonstraram que diferentes espécies alteram padrões de massa ou morfologia de sementes a fim de melhor se adaptar a fatores climáticos (WANG et al., 2014; GORDEN et al., 2016). Evidências apontam alta variação na germinação de sementes de *B. orellana* provenientes de diferentes populações. Essa variação foi atribuída à genética das próprias plantas e à influência do ambiente em que se encontram (JOSEPH et al., 2010).

Avaliando o teste de raios X, a germinação média das quatro repetições submetidas a análise de imagem foi de 75,4%, das quais 61% formaram plântulas normais e 15% plântulas anormais. Sementes duras corresponderam a aproximadamente 12%. Foram encontradas sementes vazias (1%) identificadas inicialmente como mortas e, após análise das imagens, reclassificadas como vazias.

Não foi possível relacionar a morfologia interna das sementes (qualidade física), obtidas pelas imagens de raios X, com a qualidade fisiológica obtida pelo teste de germinação (Figura 3). Isso porque as estruturas da semente não ficaram totalmente visíveis, sendo impossível a identificação de danos que causaram morte de sementes ou anormalidade em plântulas.

Figura 3. Imagem radiográfica de sementes de *Bixa orellana*. Sementes vazias (a); Sementes mortas (b); Sementes viáveis que produziram plântulas normais após 30 dias de incubação (c).



Fonte: Da autora (2020).

Somente a separação de sementes cheias e vazias pode ser realizada, sendo que áreas claras correspondem aos tecidos com maior densidade enquanto áreas escuras representam ausência de tecido. O formato triangular da semente projetou sombra nas imagens, dificultando a identificação de tecidos de baixa densidade ou sementes com baixo preenchimento.

Relatos atuais demonstram o uso de imagens radiográficas para detecção de anormalidade embrionária, identificação de danos mecânicos no tegumento, determinação do estágio de maturação das sementes, seleção de sementes cheias e identificação geral da qualidade física das sementes (AMARAL et al., 2019; GIBBERT et al., 2019; LEÃO-ARAÚJO et al., 2019; MEDEIROS et al., 2019, 2020). O teste de raios X é recomendado pelas Regras para Análise de Sementes (RAS) (BRASIL, 2009) e pela Associação Internacional de Análise de Sementes (ISTA - International Seed Testing Association) (ISTA, 2003) com a finalidade de detectar sementes cheias, vazias, com injúrias mecânicas ou atacadas por insetos.

O princípio da técnica consiste na absorção de raios X em diferentes quantidades pelos tecidos das sementes. Isso ocorre em função de sua estrutura, composição, densidade e tempo de exposição à radiação (ISTA, 2003).

Em relação a densidade, o teor de água das sementes pode influenciar na densidade óptica (SIMAK, 1991), sendo que quanto maior a densidade dos tecidos, mais opaca fica a imagem (MEDEIROS et al., 2018). Contudo, no momento do teste, as sementes de *B. orellana* encontravam-se com teor de água de 12,6%, sendo um conteúdo baixo para causar esse tipo de problema.

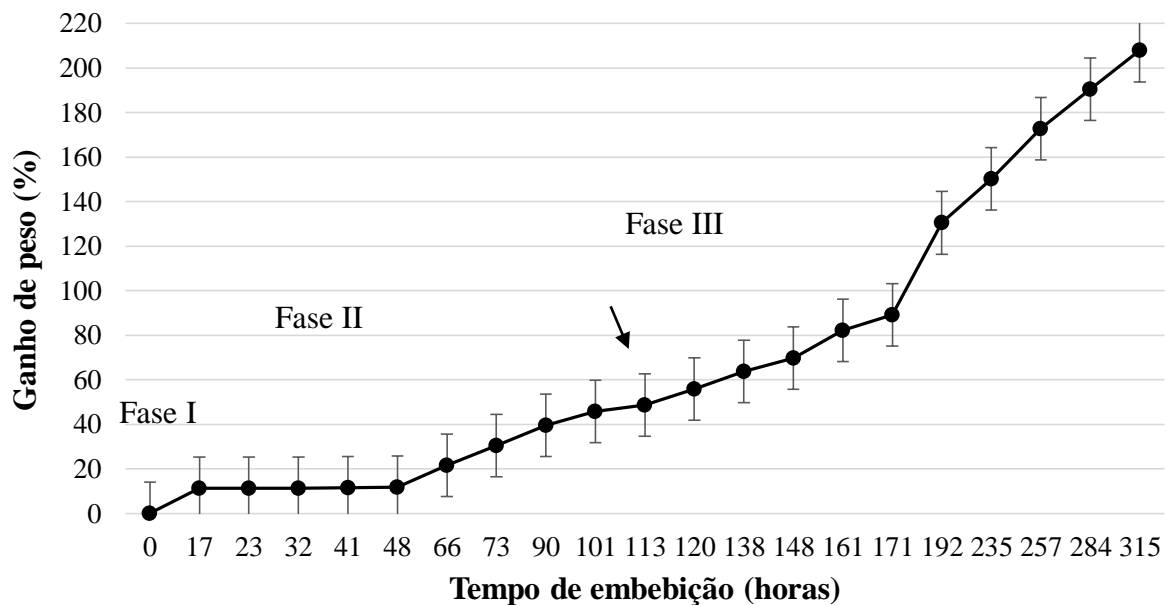
Observando a curva de embebição, foi encontrado o padrão foi trifásico, com rápida entrada de água na semente, o que causou aumento da massa fresca durante as primeiras 17 horas (fase I de embebição) (Figura 4). Em estudo com a mesma espécie, testando-se a capacidade de absorção de água das sementes, foi possível atingir a saturação das sementes após 24 horas de embebição em água destilada e incubação a 27 °C (JOSEPH et al., 2010), sem tratamento de superação de dormência.

Em seguida, observa-se na curva, uma fase de desaceleração da velocidade de hidratação, mantendo estável o peso fresco das sementes, o que caracterizaria a fase II da curva

de embebição, mantida por aproximadamente 30 horas.

Após 48 horas do início da embebição, houve a retomada do crescimento, ainda sem protrusão da radícula. O início da protrusão da radícula foi visualizada após 113 horas de embebição, o que corresponde a aproximadamente 5 dias, caracterizando o início da fase III da curva de embebição. A germinação das sementes foi desuniforme, sendo a transição entre a fase II e III variável entre as sementes, o que prolongou a curva. A germinação de 48% das sementes foi alcançada após 192 horas (8 dias). O teor de água inicial encontrado nas sementes no início da construção da curva de embebição foi de 12,7% e o IVG foi 3,55.

Figura 4. Curva de embebição de sementes de *Bixa orellana*. A seta indica o momento de início da germinação visível (protrusão radicular).

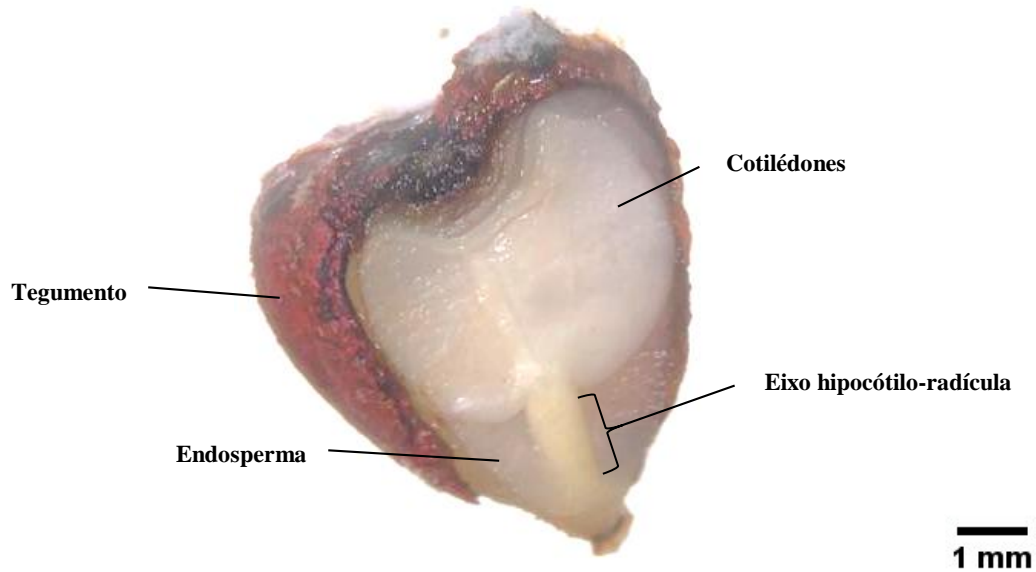


Fonte: Da autora (2020).

O padrão trifásico de embebição proposto por Bewley et al., (2013) é comumente observado durante o processo de germinação em sementes ortodoxas, como é o caso de *Bowdichia virgilioides*, *Libidibia ferrea*, *Cedrela fissilis*, *Handroanthus impetiginosus*, *Piptadenia gonoacantha*, *Pelthoporum dubium* e *Jatropha curcas* (GUIMARÃES et al., 2011; SMIDERLE et al., 2013; ACCHILE et al., 2017; PEREIRA et al., 2018), e agora, para *B. orellana*.

A velocidade de absorção e a quantidade de água absorvida variam de acordo com a composição química, permeabilidade do tegumento, disponibilidade hídrica, pressão osmótica da água, temperatura e substrato (CASTRO et al., 2004; BEWLEY et al., 2013).

Figura 5. Corte transversal de semente embebida de *Bixa orellana*. Destaque para a morfologia interna da semente.



Fonte: Da autora (2020).

Há relatos de que sementes de *B. orellana* possuem tegumento duro, o que caracterizaria a presença de dormência física descrita por muitos autores (YOGEESSHA et al., 2005; GAMA-ARACHCHIGE et al., 2011, 2013; CASTELLO et al., 2012; POORNIMA; AMBIKA, 2012; DAS et al., 2018; COSTA et al., 2018). Contudo pode-se observar que as sementes utilizadas neste trabalho embeberam totalmente nas primeiras 17 horas, sem qualquer tipo de tratamento de superação de dormência, sugerindo que pode haver variação na intensidade da dormência em sementes de urucum.

Condições ambientais durante a formação da semente podem interferir no processo de maturação, causando alterações na qualidade fisiológica e no estabelecimento de dormência física (HAY et al., 2010; GAMA-ARACHCHIGE et al., 2011). Há relatos que maior exposição solar tende a formar sementes com maior intensidade de dormência (SOUZA, DE et al., 2015), assim como temperaturas mais baixas induzem a maior grau de dormência (HUANG et al., 2017).

Diferentes graus de dormência podem ser observados entre sementes de diferentes espécies, procedências, anos de coleta e tempo de armazenamento (MARCOS-FILHO, 2015), levando à desuniformidade na germinação. No caso de *B. orellana*, houve embebição nas primeiras horas, o que descaracterizou a presença de dormência física. Houve porém desuniformidade na passagem da fase II para a fase III de embebição, com sementes exigindo maior tempo de preparo para emissão da radícula.

A fase II da curva de embebição se caracteriza por processos bioquímicos preparatórios necessários para conclusão do processo de germinação, entre os quais podemos citar síntese de enzimas, de DNA e de RNA. A ocorrência ou duração dessa fase varia entre espécies, mas é comum, em sementes não dormentes, que a fase II da curva de embebição seja maior em duração (até dez vezes) que a fase I (BEWLEY et al., 2013; MARCOS-FILHO, 2015; ACCHILE et al., 2017; PEREIRA et al., 2018), o que foi visto para *B. orellana*.

Perda da tolerância à dessecação

A TD, medida com base na capacidade de formação de plântulas normais após embebição, secagem e reidratação, foi extremamente baixa, independentemente do tempo de embebição anterior à secagem. Sementes embebidas até emissão visível de raiz apresentaram 100% de germinação, pois não haviam passado por nenhum tratamento de secagem. Após a secagem, contudo, não houve sobrevivência (Tabela 1 e Figura 6), sendo a TD totalmente perdida com a protrusão da raiz.

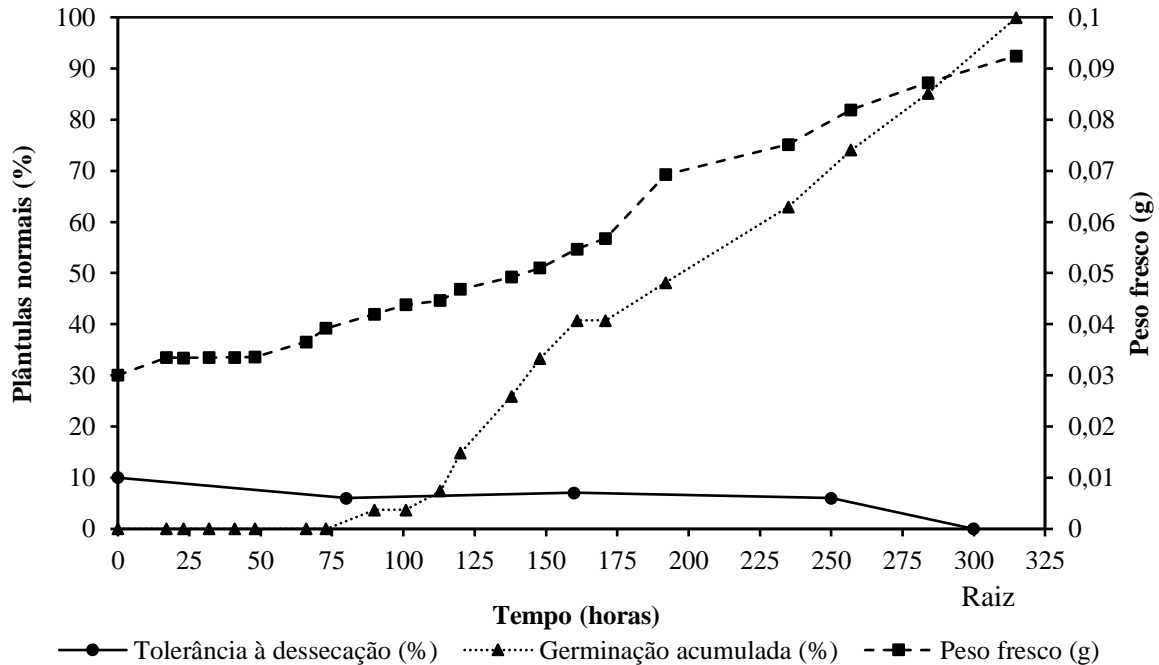
Tabela 1. Germinação (%), plântulas normais (%), sementes duras (%) e índice de velocidade de germinação (IVG) de sementes de *Bixa orellana* submetidas a diferentes tempos de embebição e, em seguida, secagem e reidratação.

Tempo de embebição (horas)	Germinação (%)	Plântulas normais (%)	Sementes duras (%)	IVG
0	15 b	10 a	77 b	0,25 b
80	06 b	6 a	86 b	0,11 b
160	11 b	7 a	68 b	0,16 b
250	08 b	6 a	73 b	0,26 b
Raiz	100 a	0 a	0 a	0,38 a

*Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Na maioria das espécies que produzem sementes ortodoxas a perda total da TD está associada à protrusão da radícula (BUITINK et al., 2003; GUIMARÃES et al., 2011; BEWLEY et al., 2013; RODRIGUES-JUNIOR et al., 2015; MAIA et al., 2016; CASTRO et al., 2017). No presente estudo, notou-se baixa TD após hidratação, secagem e reidratação, sendo a protrusão da radícula o marco dessa perda total. Essa baixa germinação pode estar relacionada a aquisição de dormência secundária pelas sementes.

Figura 6. Plântulas normais, germinação acumulada e peso fresco de sementes de *Bixa orellana* em resposta ao tratamento de embebição por diferentes tempos, dessecação e reidratação.



Fonte: Da autora (2020).

Há relatos que a aquisição de dormência em *B. orellana* está relacionada a redução do teor de água. Em trabalho analisando as várias fases de desenvolvimento de sementes de *B. orellana*, observou-se o estabelecimento de dormência quando as sementes exibem conteúdo de água em torno de 10%, o que resultou em redução da germinação (20%) (AMARAL et al., 2000). Poornima e Ambika (2012) também relatam que a dureza em sementes de *B. orellana* foi imposta após a dessecação a teor de água abaixo de 10%, enquanto Yogeesha et al. (2005) afirmam que a dureza da semente é imposta entre 22% a 28% de teor de água da semente.

Acredita-se que sementes de *B. orellana* com alto conteúdo de água provavelmente ainda não adquiriram dormência, apresentando alta germinação. Quando o conteúdo de água é reduzido, elas se tornariam impermeáveis (AMARAL et al., 2000) e consequentemente dormentes. A aquisição de dormência física está relacionada a impermeabilidade do tegumento, adquirida no final da maturidade fisiológica, desencadeada pela secagem de maturação (GAMA-ARACHCHIGE et al., 2013). Observa-se contudo, que o lote utilizado neste trabalho apresentou teor de água por volta de 12%, próximo aos valores citados como críticos para desencadeamento de dormência da espécie, dormência essa que não foi observada nas sementes recém coletadas no lote em estudo.

Considerando que a germinação de sementes de *B. orellana* é facilitada em maiores teores de água, seria interessante o uso de sementes neste estágio mais úmido para a produção de mudas. Acontece que teores de água baixos são fundamentais para o armazenamento de sementes ortodoxas. Segundo Marcos-Filho (2015), a longevidade das sementes depende em grande parte do grau de umidade e das condições ambientais do armazenamento.

Além disso, a contaminação das sementes de *B. orellana* por fungos é um problema comum no armazenamento (JOSEPH et al., 2011), sendo esse potencializado pelo alto teor de água e elevadas temperaturas de armazenamento. Yogeisha et al. (2005) testando armazenamento de frutos e sementes com umidade em torno de 60%, a fim de manter a alta germinação obtida nesse teor de água, conseguiram mantê-las viáveis por até 40 e 22 dias, respectivamente, devido ao desenvolvimento de fungos.

O uso de sementes isentas de microrganismos é difícil, pois patógenos podem ser transportados internamente, nos tecidos da semente (CARMO et al., 2017), sendo motivo de atenção para produtores, pois podem se tornar fonte de contaminação nos viveiros, resultando em baixa emergência de plântulas acarretando maior custo de produção.

Em relação ao armazenamento de sementes de *B. orellana*, Orwa et al. (2009) observaram redução da longevidade das sementes quando armazenadas a -20°C . Também já foi relatada a redução da germinação em sementes armazenadas por 3 anos (YOGEESSHA et al., 2005). Esses autores afirmam que as sementes desta espécie não são ortodoxas convencionais. Sementes de *B. orellana* já foram classificadas como intermediárias (GOLDBACH, 1979; ORWA et al., 2009) e, posteriormente, reclassificadas como ortodoxas, visto que novas pesquisas (POORNIMA; AMBIKA, 2012; LIMA et al., 2014) entenderam que teores de água baixo (<10%) não causavam perda da viabilidade, mas contribuía para a aquisição de dormência física.

Essa classificação tradicional quanto ao armazenamento e TD de sementes entre ortodoxas, recalcitrantes e intermediárias é tecnologicamente útil, mas cientificamente generalista, sendo atualmente adotada a ideia de um gradiente de TD ou níveis de recalcitrância (BERJAK; PAMMENTER, 2000; PAMMENTER; BERJAK, 2014; WALTERS, 2015). Há a possibilidade de existir um gradiente contínuo nessa tolerância, desde as sementes mais tolerantes (ortodoxas) até as mais sensíveis (recalcitrantes). *B. orellana* não se enquadraria como uma semente ortodoxa clássica.

Existe uma diversidade de respostas à secagem, ao congelamento e a viabilidade em diferentes períodos de armazenamento de sementes, que demonstra que as diferenças entre elas são muito mais complexas do que prevê a classificação entre essas três categorias (BARBEDO

et al., 2013). Além disso, sementes podem responder diferentemente quando são oriundas de regiões distintas (DAWS et al., 2004, 2006; LAMARCA; BARBEDO, 2015) e até mesmo variar em uma mesma matriz, em anos de coleta (LAMARCA et al., 2011, 2013).

A perda precoce da TD em sementes de *B. orellana* pode indicar um comportamento de armazenamento dentro desse gradiente de tolerância. Isso porém pode não ser representativo para toda a espécie, visto as variações possíveis existentes. Da mesma forma, apesar da dormência não ter sido caracterizada neste lote, também há possibilidade de diferentes graus de dormência entre sementes de diferentes procedências, anos de coleta e tempo de armazenamento (HAY et al., 2010; GAMA-ARACHCHIGE et al., 2011; MARCOS-FILHO, 2015). Essa baixa germinação pode estar ainda relacionada a aquisição de dormência secundária pelas sementes.

CONCLUSÕES

O teste de raios X permitiu a identificação de sementes vazias e cheias.

A curva de embebição das sementes de *Bixa orellana* segue padrão trifásico;

Sementes de *Bixa orellana* que não passaram por processo de secagem podem germinar sem tratamento de superação de dormência física.

A tolerância à dessecação em sementes de *Bixa orellana* foi baixa, independentemente do tempo ou tratamento de embebição, sendo totalmente perdida com a protrusão da radícula. Essa baixa germinação pode ainda estar relacionada a aquisição de dormência secundária pelas sementes.

REFERÊNCIAS

- ACCHILE, S.; R. N., C.; SILVA, L. K. S.; et al. Biometria de frutos e sementes e determinação da curva de absorção de água de sementes de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. **Scientific Electronic Archives**, v. 10, n. 5, p. 26–34, 2017.
- AMARAL, E. V. E. J.; SALES, J. F.; ZUCHI, J.; NEVES, J. M. G.; OLIVEIRA, J. A. Analysis of radiographic images and germination of *Campomanesia pubescens* (Mart. ex DC.) O.Berg (Myrtaceae Juss.) seeds under drying. **Brazilian Journal of Biology**, v. 6984, 2019.
- AMARAL, L. I. V.; PEREIRA, M. DE F. D. A.; CORTELAZZO, Â. L. Germinação de sementes em desenvolvimento de *Bixa orellana*. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 12, n. 3, p. 273–285, 2000.
- BARBEDO, C. J.; CENTENO, D. DA C.; FIGUEIREDO-RIBEIRO, R. D. C. L. Do recalcitrant seeds really exist? **Hoehnea**, v. 40, n. 4, p. 583–595, 2013.
- BERJAK, P.; PAMMENTER, N. W. What ultrastructure has told us about recalcitrant seeds. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 12, n. Ed. Especial, p. 22–55, 2000.

BEWLEY, J. D.; BRADFORD, K. J.; HILHORST, H. W. M.; NONOGAKI, H. **Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy**. USA: Springer, 2013.

BRASIL. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária, 2009.

BRASIL. **Instruções para análise de sementes florestais**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária, 2013.

BUITINK, J.; VU, B. L.; SATOUR, P.; LEPRINCE, O. The re-establishment of desiccation tolerance in germinated radicles of *Medicago truncatula* Gaertn. seeds. **Seed Science Research**, v. 13, n. 4, p. 273–286, 2003.

CARMO, A. L. M.; MAZARATTO, E. J.; ECKSTEIN, B.; SANTOS, Á. F. Associação de fungos com sementes de espécies florestais nativas. **Summa Phytopathologica**, v. 43, n. 3, p. 246–247, 2017.

CASTELLO, M. C.; SHARAN, M.; MADHURI, S. In vitro culture studies of *Bixa orellana* L: IV-in vitro and in vivo trials for breaking the dormancy of seeds of *Bixa orellana*. **European Journal of Experimental Biology**, v. 2, n. 1, p. 174–179, 2012.

CASTRO, L. E.; GUIMARÃES, C. C.; FARIA, J. M. R. Physiological, cellular and molecular aspects of the desiccation tolerance in *Anadenanthera colubrina* seeds during germination. **Brazilian Journal of Biology**, v. 1, n. 4, p. 1, 2017.

CASTRO, R. D.; BRADFORD, K. J.; HILHORST, H. W. M. Embebição e reativação do metabolismo. In: A. G. Ferreira; F. Borghetti (Eds.); **Germinação: do básico ao aplicado**, 2004.

COSTA, R. N.; SANTOS, W. J.; LIMA, J. L.; et al. Avaliação de diferentes métodos pré-germinativos para três espécies arbóreas da família Fabaceae em diferentes ambientes. **Scientific Electronic Archives**, v. 11, n. 1, p. 35–43, 2018.

CUSTÓDIO, C. C.; MACHADO-NETO, N. B.; CASEIRO, R. F.; IKEDA, M.; BOMFIM, D. C. Germinação de sementes de urucum (*Bixa orellana* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 24, n. 1, p. 197–202, 2002.

DAS, A.; MANDAL, S.; NAG, S. Seed germination of annatto (*Bixa orellana* L.) - A review. **International Journal of Recent Scientific Research**, v. 9, n. 4, p. 26257–26260, 2018.

DAWS, M. I.; CLELAND, H.; CHMIELARZ, P.; et al. Variable desiccation tolerance in *Acer pseudoplatanus* seeds in relation to developmental conditions: A case of phenotypic recalcitrance? **Functional Plant Biology**, v. 33, n. 1, p. 59–66, 2006.

DAWS, M. I.; LYDALL, E.; CHMIELARZ, P.; et al. Developmental heat sum influences recalcitrant seed traits in *Aesculus hippocastanum* across Europe. **New Phytologist**, v. 162, n. 1, p. 157–166, 2004.

DEKKERS, B. J. W.; COSTA, M. C. D.; MAIA, J.; et al. Acquisition and loss of desiccation tolerance in seeds: from experimental model to biological relevance. **Planta**, v. 241, n. 3, p. 563–577, 2015.

GAMA-ARACHCHIGE, N. S.; BASKIN, J. M.; GENEVE, R. L.; BASKIN, C. C. Acquisition of physical dormancy and ontogeny of the micropyle-water-gap complex in developing seeds of *Geranium carolinianum* (Geraniaceae). **Annals of Botany**, v. 108, n. 1, p. 51–64, 2011.

GAMA-ARACHCHIGE, N. S.; BASKIN, J. M.; GENEVE, R. L.; BASKIN, C. C. Identification and characterization of ten new water gaps in seeds and fruits with physical dormancy and classification of water-gap complexes. **Annals of Botany**, v. 112, n. 1, p. 69–84, 2013.

- GIBBERT, P.; BORTOLINI, M. F.; KAISER, D. K.; MULLER, E. M.; GUSATTO, F. Seed quality evaluation of *Senegalia polyphylla* (DC.) Britton & Rose. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 2, 2019.
- GOLDBACH, H. Germination and storage of *Bixa orellana* seeds. **Seed Science and Technology**, v. 7, p. 399–402, 1979.
- GORDEN, N. L. S.; WINKLER, K. J.; JAHNKE, M. R.; et al. Geographic patterns of seed mass are associated with climate factors, but relationships vary between species. **American Journal of Botany**, v. 103, n. 1, p. 60–72, 2016.
- GUIMARÃES, C. C.; FARIA, J. M. R.; OLIVEIRA, J. M.; SILVA, E. A. A. DA. Avaliação da perda da tolerância à dessecação e da quantidade de DNA nuclear em sementes de *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taubert durante e após a germinação. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 2, p. 207–215, 2011.
- HAY, F. R.; SMITH, R. D.; ELLIS, R. H.; BUTLER, L. H. Developmental changes in the germinability, desiccation tolerance, hardseededness, and longevity of individual seeds of *Trifolium ambiguum*. **Annals of Botany**, v. 105, n. 6, p. 1035–1052, 2010.
- HOEKSTRA, F. A.; GOLOVINA, E. A.; BUITINK, J. Mechanism of plant desiccation tolerance. **Trends in Plant Science**, v. 6, n. 9, p. 431–438, 2001.
- HUANG, Z.; FOOTITT, S.; TANG, A.; FINCH-SAVAGE, W. E. Predicted global warming scenarios impact on the mother plant to alter seed dormancy and germination behaviour in *Arabidopsis*. **Plant Cell and Environment**, v. 41, n. 1, p. 187–197, 2017.
- ISTA. **International rules for seed testing**. Zurich, Switzerland, 2003.
- JOSEPH, N.; SIRIL, E. A.; NAIR, G. M. Imbibition duration, seed treatment, seed mass and population influence germination of annatto (*Bixa orellana* L.) seeds. **Seed Technology**, v. 32, n. 1, p. 37–45, 2010.
- JOSEPH, N.; SIRIL, E. A.; NAIR, G. M. An efficient in vitro propagation methodology for Annatto (*Bixa orellana* L.). **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 17, n. 3, p. 263–270, 2011.
- LAMARCA, E. V.; BARBEDO, C. J. Sensibilidade à dessecação de embriões de *Inga vera* Willd. formados sob diferentes condições ambientais. **Revista Árvore**, v. 39, n. 6, p. 1083–1092, 2015.
- LAMARCA, E. V.; PRATAVIERA, J. S.; BORGES, I. F.; et al. Maturation of *Eugenia pyriformis* seeds under different hydric and thermal conditions. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 85, n. 1, p. 223–233, 2013.
- LAMARCA, E. V.; SILVA, C. V.; BARBEDO, C. J. Limites térmicos para a germinação em função da origem de sementes de espécies de eugenia (myrtaceae) nativas do Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 25, n. 2, p. 293–300, 2011.
- LEÃO-ARAÚJO, É. F.; GOMES-JUNIOR, F. G.; SILVA, A. R. DA; PEIXOTO, N.; SOUZA, E. R. B. DE. Evaluation of the desiccation of *Campomanesia adamantium*, seed using radiographic analysis and the relation with physiological potential. **Agronomy Journal**, v. 111, n. 2, p. 592–600, 2019.
- LEPRINCE, O.; BUITINK, J. Desiccation tolerance: From genomics to the field. **Plant Science**, v. 179, n. 6, p. 554–564, 2010.
- LIMA, M. DE J. R.; HONG, T. D.; ARRUDA, Y. M. B. C.; MENDES, A. M. S.; ELLIS, R. H. Classification of seed storage behaviour of 67 Amazonian tree species. **Seed Science and Technology**, v. 42, p. 363–392, 2014.

- LIU, X.; XU, D.; YANG, Z.; ZHANG, N. Geographic variations in seed germination of *Dalbergia odorifera* T. Chen in response to temperature. **Industrial Crops and Products**, v. 102, p. 45–50, 2017.
- LOPES, J. C.; LIMA, R. V.; MACEDO, C. M. P. Germinação e vigor de sementes de urucu. **Horticultura Brasileira**, v. 26, n. 1, p. 19–25, 2008.
- LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. **Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas**. São Paulo: Plantarum, 2008.
- MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 53, n. 2, p. 176–177, 1962.
- MAIA, J.; GUIMARÃES, C. C.; SILVA, E. A. A.; FARIA, J. M. R. What can cell cycle and ultrastructure tell us about desiccation tolerance in *Leucaena leucocephala* germinating seeds? **Biologia Plantarum**, v. 60, n. 2, p. 320–328, 2016.
- MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Londrina: ABRATES, 2015.
- MAYRINCK, R. C.; VAZ, T. A. A.; DAVIDE, A. C. Classificação fisiológica de sementes florestais quanto à tolerância à dessecação e ao comportamento no armazenamento. **Cerne**, v. 22, n. 1, p. 85–92, 2016.
- MEDEIROS, A. D.; ARAÚJO, J. DE O.; LEÓN, M. J. Z.; SILVA, L. J.; DIAS, D. C. F. D. S. Parameters based on X-ray images to assess the physical and physiological quality of *Leucaena leucocephala* seeds. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 42, n. 6, p. 643–652, 2018.
- MEDEIROS, A. D. DE; ZAVALA-LEÓN, M. J.; ARAÚJO, J. DE O.; et al. Relationship between internal morphology and physiological quality of *Leucaena leucocephala* seeds using image analysis. **Revista Árvore**, v. 43, n. 2, p. 1–9, 2019.
- MEDEIROS, A. D. DE; ZAVALA-LEÓN, M. J.; SILVA, L. J. DA; OLIVEIRA, A. M. S.; DIAS, D. C. F. DOS S. Relationship between internal morphology and physiological quality of pepper seeds during fruit maturation and storage. **Agronomy Journal**, v. 112, n. 1, p. 1–11, 2020.
- NASCIMENTO JÚNIOR, L. G. L. DO; LOPES, M. T. G.; VALENTE, M. S. F.; et al. Estimativa de parâmetros genéticos em sementes de caroba. **Revista Ciência Agrária**, v. 59, n. 4, p. 311–319, 2016.
- OLIVEIRA, G. M.; SILVA, F. F. S.; ARAUJO, M. DO N.; et al. Environmental stress, future climate, and germination of *Myracrodruon urundeuva* seeds. **Journal of Seed Science**, v. 41, n. 1, p. 32–43, 2019.
- ORWA, C.; MUTUA, A.; KINDT, R.; JAMNADASS, R. H.; ANTHONY, S. Agroforestry Database: a tree reference and selection guide version 4.0. Disponível em: <<http://www.worldagroforestry.org/sites/treedbs/treedatabases.asp>>. Acesso em: 20/6/2019.
- PAMMENTER, N. W.; BERJAK, P. Physiology of Desiccation-Sensitive (Recalcitrant) Seeds and the Implications for Cryopreservation. **International Journal of Plant Sciences**, v. 175, n. 1, p. 21–28, 2014.
- PEREIRA, W. V. S.; FARIA, J. M. R.; TONETTI, O. A. O.; JOSÉ, A. C.; MELO, L. A. Loss of desiccation tolerance in seeds of tree species during germination: Theoretical and practical implications. **Revista Árvore**, v. 42, n. 5, p. 1–9, 2018.
- PEREIRA, W. V. S.; FARIA, J. M. R.; TONETTI, O. A. O.; SILVA, E. A. A. Desiccation tolerance of *Tapirira obtusa* seeds collected from different environments. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, n. 3, p. 388–396, 2012.

PEREIRA, W. V. S.; FARIA, J. M. R.; TONETTI, O. A. O.; SILVA, E. A. A. Loss of desiccation tolerance in *Copaifera langsdorffii* Desf. seeds during germination. **Brazilian Journal of Biology**, v. 74, n. 2, p. 501–508, 2014.

POORNIMA, S.; AMBIKA, S. R. Germination studies in an important natural food dye yielding plant *Bixa orellana* L. **International Journal of Innovations in Bio-sciences**, v. 2, n. 1, p. 48–50, 2012.

R CORE TEAM. A language and environment for statistical computing, reference index version 3.6.1., 2019.

RODRIGUES-JUNIOR, A. G.; FARIA, J. M. R.; VAZ, T. A. A.; JOSÉ, A. C. Loss of desiccation tolerance and storage behavior in germinating seeds of *Senna multijuga*: implications for seed germination and conservation. **New Forests**, v. 46, n. 2, p. 283–291, 2015.

SIMAK, M. Testing of forest tree shrub seeds by X-radiography. In: B. S. P. GORDON, A.G., GOSLIN, P.G.; WANG (Ed.); **Tree and shrub seed handbook**. **International Seed testing Association**. p.14.1-14.28, 1991.

SMIDERLE, O. J.; LIMA, J. M. E.; PAULINO, P. P. S. Curva de absorção de água em sementes de *Jatropha curcas* L. com dois tamanhos. **Revista Agroambiente**, v. 7, n. 2, p. 203–208, 2013.

SOUZA, M. C. S.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; CASAGRANDE, J. C.; SILVA, S. F.; SCORIZA, R. N. Funcionalidade ecológica de sistemas agroflorestais biodiversos: Uso da serapilheira como indicador da recuperação de áreas de preservação permanente. **Floresta**, v. 46, n. 1, p. 75–82, 2016.

SOUZA, T. V. DE; TORRES, I. C.; STEINER, N.; PAULILO, M. T. S. Seed dormancy in tree species of the Tropical Brazilian Atlantic Forest and its relationships with seed traits and environmental conditions. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 38, n. 2, p. 243–264, 2015.

SPADETO, C.; MENGARDA, L. H. G.; PAULUCIO, M. C.; LOPES, J. C.; MATHEUS, M. T. Embebição, osmocondicionamento e viabilidade de sementes de *Apuleia leiocarpa* (vogel.) J. F. Macbr. **Ciencia Florestal**, v. 28, n. 1, p. 80–89, 2018.

TWEDDLE, J. C.; DICKIE, J. B.; BASKIN, C. C.; BASKIN, J. M. Ecological aspects of seed desiccation sensitivity. **Journal of Ecology**, v. 91, n. 2, p. 294–304, 2003.

VILAR, D. D. A.; VILAR, M. S. D. A.; MOURA, T. F. A. DE L.; et al. Traditional uses, chemical constituents, and biological activities of *Bixa Orellana* L.: A review. **Scientific World Journal**, v. 2014, p. 1–11, 2014.

WALTERS, C. Orthodoxy, recalcitrance and in-between: describing variation in seed storage characteristics using threshold responses to water loss. **Planta**, v. 242, n. 2, p. 397–406, 2015.

WANG, Y.; WANG, J.; LAI, L.; et al. Geographic variation in seed traits within and among forty-two species of *Rhododendron* (Ericaceae) on the Tibetan plateau: Relationships with altitude, habitat, plant height, and phylogeny. **Ecology and Evolution**, v. 4, n. 10, p. 1913–1923, 2014.

WYSE, S. V.; DICKIE, J. B. Predicting the global incidence of seed desiccation sensitivity. **Journal of Ecology**, v. 105, n. 4, p. 1082–1093, 2017.

YOGEESSHA, H. S.; SHIVANANDA, T. N.; BHANUPRAKASH, K. Effect of seed maturity, seed moisture and various pre-treatments on seed germination of annatto (*Bixa orellana* L.). **Seed Science and Technology**, v. 33, n. 1, p. 97–104, 2005.

(VERSÃO PRELIMINAR)