

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CAMPUS SOROCABA

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA PARA A SUSTENTABILIDADE - CCTS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO E USO DE RECURSOS  
RENOVÁVEIS

BRUNA SANTOS TERAÇÃO

**TECNOLOGIAS RÁPIDAS PARA A AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE  
SEMENTES FLORESTAIS**

Sorocaba

2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CAMPUS SOROCABA

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA PARA A SUSTENTABILIDADE - CCTS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO E USO DE RECURSOS  
RENOVÁVEIS

BRUNA SANTOS TERAÇÃO

**TECNOLOGIAS RÁPIDAS PARA A AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE  
SEMENTES FLORESTAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis, para obtenção do título de Mestre em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis.

Orientação: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Fatima Conceição Márquez Piña-Rodrigues

Co-orientação: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Lausanne Soraya Almeida

Sorocaba

2023

Teração, Bruna Santos

Tecnologias rápidas para a avaliação da qualidade de sementes florestais / Bruna Santos Teração -- 2023. 46f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba

Orientador (a): Fatima Conceição Marquez Pinã-Rodrigues

Banca Examinadora: Elza Alves Corrêa, Aparecida Juliana Martins Correa

Bibliografia

1. Análise de Sementes. 2. Testes de vigor. 3. Viabilidade. I. Teração, Bruna Santos. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano - CRB/8 6979



# UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências e Tecnologias Para a Sustentabilidade  
Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis

---

## Folha de Aprovação

---

Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Bruna Santos Teração, realizada em 24/03/2023.

### Comissão Julgadora:

Profa. Dra. Fatima Conceição Marquez Piña-Rodrigues (UFSCar)

Profa. Dra. Elza Alves Corrêa (UNESP)

Profa. Dra. Aparecida Juliana Martins Corrêa (UFSCar)

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis.

## AGRADECIMENTO

Agradeço a Universidade Federal de São Carlos e todo o seu corpo docente, discente, técnicos e prestadores de serviço. O que no início parecia um sonho distante, hoje é a minha segunda casa. E ao Programa de Pós Graduação em Planejamento e uso de Recursos Renováveis - PPGPUR pela oportunidade de vivenciar o mestrado.

À professora Fatima C. M. Piña-Rodrigues, por aceitar mais uma vez trabalhar comigo e ser minha orientadora, uma pessoa que é fonte de inspiração profissional e pessoal, obrigada por me incentivar a continuar na pesquisa e a olhar o meu trabalho com muito carinho.

Ao professor José Mauro Santana da Silva, por acreditar no meu potencial e que “se até Zé Mauro consegue, eu também consigo”. Agradeço pelo apoio e conselhos nos momentos difíceis, foi um amparo que eu precisava para não desistir.

À minha co-orientadora Lausanne Soraya de Almeida, que apesar da distância continua sendo uma pessoa essencial na minha trajetória e que faz muita falta nos meus dias. Encontrá-la no laboratório era sempre reconfortante e recarregava minhas energias.

Aos meus amigos e colegas de trabalho do Laboratório de Sementes e Mudanças Florestais, Mariane, Andreliza, Felipe, Glória, Lindomar e todos os estagiários que estão atuando ou que já passaram pelo LASEM, obrigada pelas risadas, conselhos, momentos de desabafo e por me fazerem retomar a alegria de estar no laboratório, após o período de reclusão com a pandemia, é muito bom não estar sozinha.

Ao meu amigo Gabriel Perussi, que acompanhou de perto todos os meus momentos, felizes e complicados, obrigada por passar por tudo isso comigo, sempre muito carinhoso, preocupado, disposto a ajudar. Eu não teria conseguido continuar sem você.

Aos meus pais, que mesmo com o coração apertado pela distância, nunca deixaram de me apoiar, incentivar e se preocupar. E também meu irmão, que sempre foi um grande aliado, companheiro e amigo para todas as horas.

E um agradecimento especial a minha noiva Giulia Vecchia, que hoje posso falar abertamente. Muito obrigada por ser o meu porto seguro, minha paz e motivação de todos os dias. Você me faz ser uma pessoa melhor.

Por fim, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

## RESUMO

TERAÇÃO, Bruna Santos. **Tecnologias Rápidas Para a Avaliação da Qualidade de Sementes Florestais**. 2023. f. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2023.

Visando contribuir para as pesquisas de qualidade de sementes florestais, com foco em espécies de potencial uso na semeadura direta, o presente trabalho, em seu primeiro capítulo, buscou descrever o estado da arte sobre os testes rápidos mais utilizados na avaliação do vigor de sementes, por meio da Revisão Sistemática de Literatura (RSL) e estabelecer protocolos para as espécies-alvo: *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos, *Croton urucurana* Baill, *Schinus terebinthifolia* Raddi, *Jacaranda cuspidifolia* (Mart.), *Platypodium elegans* Vogel e *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms. Foram considerados artigos, dissertações e teses, utilizando o Google acadêmico, com as palavras-chave: semente; germinação; emergência; testes de vigor; análise de sementes e metodologia, no período de 1990 a 2021, totalizando 3.026 arquivos recuperados. Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, foram selecionados 1,2% (n = 32) dos trabalhos. Foi possível obter procedimentos referenciais sobre tetrazólio e condutividade elétrica, porém, a falta de testes em diferentes lotes, procedências e safras não permitiu a proposição de protocolos, dificultando a padronização das metodologias. Já no segundo capítulo, foram comparados os testes de germinação (TG), tetrazólio (TZ) e condutividade elétrica (CE), em sementes com diferentes condições de vigor, obtidas após cinco períodos de envelhecimento (100% UR a 42°C) utilizando as espécies *H. heptaphyllus*, *J. cuspidifolia* e *G. integrifolia*. Na CE as sementes foram imersas em 20 ml de água deionizada, por 24h. Para o TZ foram embebidas em água por 24h e posteriormente expostas à solução 2, 3, 5 trifenil cloreto de tetrazólio, nas concentrações 0,5 e 0,075%, por 24h, a 36, 35 e 40°C, respectivamente. Também foram avaliadas a porcentagem de germinação (%G), de plântulas normais (%PN) e índice de velocidade de germinação (IVG). A correlação de Spearman (%G, CE, TZ, %PN e IVG), e regressão polinomial (%G, %PN e IVG em função da CE) conforme os tempos de envelhecimento, indicaram para *H. heptaphyllus* e *G. integrifolia* uma associação forte ( $0,60 < r \leq 0,90$ ) e muito forte ( $0,90 < r < 1$ ) entre todas as variáveis, além de altos coeficientes de determinação ( $R^2 = 0,85; 0,70; 0,70$  e  $0,82; 0,86; 0,79$ ) obtiveram 71 e 61% de semente viáveis pelo TZ, e CE de 224,06 e 406,34  $\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$  respectivamente. Enquanto para *J. cuspidifolia*, a correlação foi fraca ( $r \leq 0,30$ ) para CE e as demais variáveis e moderada ( $0,30 < r \leq 0,60$ ) entre TZ e TG, %PN e IVG, além de baixos coeficientes de determinação ( $R^2 = 0,17; 0,06$  e  $0,05$ ), obteve 80% de sementes viáveis pelo TZ, com CE de 206,96  $\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ . Os testes de TZ e CE foram sensíveis para separar sementes com diferentes níveis de vigor para *H. heptaphyllus* e *G. integrifolia*, mas para *J. cuspidifolia* a CE não foi eficiente.

Palavras-chave: testes de vigor; sementes nativas; viabilidade.

## ABSTRACT

TERAÇÃO, Bruna Santos. **Rapid Technologies for Assessing the Quality of Forest Seeds.** 2022. f. Dissertation (Master's in Planning and Use of Renewable Resources) – Federal University of São Carlos, Sorocaba, 2023.

Aiming to contribute to research on the quality of forest seeds, focusing on species with potential use in direct sowing, the present work, in its first chapter, sought to describe the state of the art on the rapid tests most used in the evaluation of seed vigor, through the Systematic Literature Review (SLR) and establish protocols for the target species: *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos, *Croton urucurana* Baill, *Schinus terebinthifolia* Raddi, *Jacaranda cuspidifolia* (Mart.), *Platypodium elegans* Vogel and *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms. Articles, dissertations and theses were considered, using Google academic, with the keywords: seed; germination; emergency; vigor tests; seed analysis and methodology, from 1990 to 2021, totaling 3,026 recovered files. After applying the inclusion and exclusion criteria, 1.2% (n = 32) of the papers were selected. It was possible to obtain reference procedures on tetrazolium and electrical conductivity, however, the lack of tests in different batches, origins and vintages did not allow the proposition of protocols, making it difficult to standardize the methodologies. In the second chapter, the germination (TG), tetrazolium (TZ) and electrical conductivity (EC) tests were compared in seeds with different vigor conditions, obtained after five aging periods (100% RH at 42°C) using the species *H. heptaphyllus*, *J. cuspidifolia* and *G. integrifolia*. In EC the seeds were immersed in 20 ml of deionized water for 24 hours. For the TZ, they were soaked in water for 24 hours and then exposed to a solution of 2, 3, 5 triphenyl tetrazolium chloride, at concentrations of 0.5 and 0.075%, for 24 hours, at 36, 35 and 40°C, respectively. Germination percentage (%G), normal seedlings (%PN) and germination speed index (IVG) were also evaluated. Spearman's correlation (%G, EC, TZ, %PN and IVG), and polynomial regression (%G, %PN and IVG as a function of EC) according to the aging times, indicated for *H. heptaphyllus* and *G. integrifolia* a strong ( $0.60 < r \leq 0.90$ ) and very strong ( $0.90 < r < 1$ ) association between all variables, in addition to high coefficients of determination ( $R^2 = 0.85$ ;  $0.70$ ;  $0.70$  and  $0.82$ ;  $0.86$ ;  $0.79$ ) obtained 71 and 61% of viable seeds by TZ, and EC of 224.06 and 406.34  $\mu\text{s.cm}^{-1}.\text{g}^{-1}$  respectively. While for *J. cuspidifolia*, the correlation was weak ( $r \leq 0.30$ ) for EC and the other variables and moderate ( $0.30 < r \leq 0.60$ ) between TZ and TG, %PN and IVG, in addition to low coefficients of determination ( $R^2 = 0.17$ ;  $0.06$  and  $0.05$ ), obtained 80% of viable seeds by TZ, with EC of 206.96  $\mu\text{s.cm}^{-1}.\text{g}^{-1}$ . The TZ and CE tests were sensitive to separate seeds with different vigor levels for *H. heptaphyllus* and *G. integrifolia*, but for *J. cuspidifolia* CE was not efficient.

Keywords: vigor tests; native seeds; viability.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL .....	7
2	CAPÍTULO 1 - TECNOLOGIAS RÁPIDAS PARA A AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE SEMENTES FLORESTAIS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA .....	9
2.1	INTRODUÇÃO .....	9
2.2	MATERIAL E MÉTODOS .....	10
2.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	12
2.3.1	Condições para Germinação e Emergência .....	14
2.3.2	Testes Rápidos de Vigor .....	16
2.4	CONCLUSÕES .....	21
2.5	REFERÊNCIAS .....	22
3	COMPARAÇÃO ENTRE TESTES RÁPIDOS DE VIGOR PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES FLORESTAIS .....	26
3.1	INTRODUÇÃO .....	26
3.2	MATERIAL E MÉTODOS .....	27
3.2.1	Seleção e procedência das espécies .....	27
3.2.2	Caracterização inicial dos lotes de sementes .....	28
3.2.3	Preparo das sementes para obtenção de diferentes condições de vigor .....	28
3.2.4	Teste de Condutividade Elétrica .....	29
3.2.5	Teste de Tetrazólio .....	30
3.2.6	Teste de Germinação .....	32
3.3	ANÁLISE DE DADOS .....	33
3.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	33
3.5	CONCLUSÕES .....	42
3.6	REFERÊNCIAS .....	43

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A Década da Restauração de Ecossistemas, resolução lançada em junho de 2021 pelas Nações Unidas (ONU) visa apoiar, desenvolver e acelerar iniciativas de restauração para deter e reverter a degradação dos ecossistemas (PNUMA, 2019). Apoiada em acordos internacionais como a Declaração de New York sobre as Florestas Globais (UNDP, 2017), a Iniciativa 20x20 e o Bonn Challenge (IUCN, 2016), foram estabelecidas metas como a redução do desmatamento e a restauração de 350 milhões de hectares de florestas até 2030, dos quais o Brasil se comprometeu a restaurar 12 milhões de hectares (BRASIL, 2016).

A restauração ecológica é definida como “o processo de auxiliar a recuperação de um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído” (SER, 2004). Dentre os métodos que podem ser empregados, a semeadura direta tem ganhado destaque e ampliou sua utilização em várias regiões do Brasil e do mundo (COLE et al., 2011; CECCON et al., 2016). Apresenta boa relação custo-benefício, reduz os custos de implantação por dispensar a produção e o transporte de mudas florestais, além de proporcionar a formação de comunidade vegetal mais bem adaptada às condições de degradação da área (BRANCALION et al., 2015). Contudo, em função da baixa qualidade das sementes e condições na pós-emergência, é necessário empregar grandes quantidade de sementes por hectare, de até 300.000 sementes/ha (CAMPOS-FILHO et al, 2013), para suprimir seu baixo aproveitamento, com taxas entre 5 a 10% de emergência em campo (MERRIT, DIXON, 2011).

Nesse contexto, as sementes de espécies florestais são um insumo chave para a recuperação de áreas degradadas (VIEIRA et al, 2001). Isso requer o seu máximo aproveitamento associado à seleção de espécies adequadas ao habitat a ser restaurado, bem como o uso de sementes de boa qualidade fisiológica (PIÑA-RODRIGUES, VALENTINI, 1995). Embora a cadeia produtiva de sementes ainda discuta formas de se obter e fornecer sementes de alta qualidade e boa taxa de emergência em campo (PEDRINI et al., 2020), é de grande relevância ter meios de avaliar a qualidade das sementes comercializadas (PEDRINI, DIXON, 2020).

Protocolos de análises como as Regras de Análises de Sementes (BRASIL, 2009) e as Instruções para análises de Sementes (BRASIL, 2013), estabelecem métodos padronizados para realização de testes que avaliam a qualidade das sementes em laboratórios credenciados. Contudo, a demora em obter-se os resultados dos testes de qualidade para efetivar a comercialização legalizada faz com que se perca o tempo adequado para a semeadura (PIÑA-RODRIGUES, VALENTINI, 1995). Além disso, requer que os produtores mantenham as

sementes armazenadas até o momento em que recebem os boletins de análise, o que gera custos e afeta a qualidade, principalmente das espécies de curta longevidade natural. Portanto, a realização de testes rápidos de qualidade das sementes pode contribuir para a redução do tempo de avaliação e fornecer informações complementares ao teste padrão de germinação, sendo essencial para o sucesso de programas de restauração florestal, tanto para a técnica de semeadura direta quanto para a produção de mudas (FREIRE et al. 2017).

Dentre os testes rápidos de vigor mais utilizados, destacam-se o tetrazólio, que baseia-se na atividade das enzimas desidrogenases, que intermediam a reação de íons H<sup>+</sup> liberados durante a respiração com o sal de tetrazólio, essa redução tem como resultado o trifenil formazan, substância estável e não difusível de coloração vermelha, distinguindo as partes vivas (em vermelho) das mortas (não corado) (KRYZANOWSKI et al., 1999). E o teste de condutividade elétrica, que está relacionado à lixiviação dos eletrólitos das sementes, para uma solução de água deionizada, conforme a integridade das membranas celulares (SANTOS e PAULA, 2009).

Além das análises de imagem, como por exemplo com o uso de Raio-X, que possibilita determinar a proporção de sementes cheias, vazias e danificadas, conforme a sua morfologia evidenciada na radiografia (BARBEDO et al., 2018) Embora tenham princípios simples, esses testes requerem treinamento dos analistas e conhecimento sobre as estruturas de sementes, bem como dos parâmetros utilizados para a condução dos testes. Uma ferramenta que pode auxiliar na geração rápida de dados, identificar lacunas, sintetizar e sistematizar informações é a Revisão Sistemática de Literatura (RSL), capaz de auxiliar estabelecimento de protocolos de compilação de informações, devidamente analisadas e documentadas, à partir do estado da arte, para permitir sua posterior reprodução dentro da comunidade científica (KITCHENHAM, BRERETON, 2013).

Considerando o exposto, o presente trabalho teve como objetivo estabelecer e testar metodologias rápidas de avaliação da qualidade e do vigor de sementes florestais empregadas na semeadura direta. Para isto, o primeiro capítulo apresentou o estado da arte sobre o conhecimento técnico-científico acerca de técnicas de avaliação rápida da qualidade e vigor das sementes. No segundo capítulo foram avaliados dois testes rápidos e analisada sua efetividade para estimar a qualidade de sementes florestais.

## **2. CAPÍTULO 1 - TECNOLOGIAS RÁPIDAS PARA A AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE SEMENTES DE SEIS ESPÉCIES FLORESTAIS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA**

### **2.1 INTRODUÇÃO**

Sementes de espécies florestais nativas, de modo geral, possuem baixas porcentagens de germinação, e a emergência em campo tende a ser inferior à obtida em laboratório, onde são oferecidas condições controladas e ideais, o vigor das sementes pode ser um melhor indicador da qualidade dos lotes de sementes, capaz de identificar problemas quanto à maturação desuniforme, má formação e predação por insetos (BARBEDO et al., 2018).

Como a colheita de sementes de espécies florestais nativas é limitada pelo tempo entre a sua obtenção em campo, semeadura e plantio (MASULLO et al., 2011), a demora em receber os resultados de análise da qualidade das sementes gera custos pela necessidade de armazenamento e pode inclusive afetar a viabilidade das mesmas, principalmente de espécies que possuem curta longevidade. Isso compromete o tempo adequado de semeadura, o ajuste da quantidade de sementes, que visa reduzir o desperdício, e o aproveitamento em campo (PIÑA-RODRIGUES, VALENTINI, 1995).

Dessa forma, a qualidade das sementes é fundamental para selecionar lotes de alto potencial, e o emprego de testes rápidos para avaliação do vigor proporcionam informações adicionais ao teste padrão de germinação, como por exemplo detectar diferentes graus de deterioração das sementes. Dentre os testes utilizados, destacam-se o tetrazólio, condutividade elétrica, envelhecimento acelerado e o uso de testes de imagens, como o Raio-X. Contudo, é necessário adotar procedimentos padronizados para a condução de cada teste, eliminando variações na metodologia que possam gerar resultados conflitantes (KRZYZANOWSKI et al., 1999).

Uma ferramenta interessante para identificar tais lacunas no conhecimento, quanto aos parâmetros dos testes, além de sintetizar e sistematizar as informações dos estudos mais relevantes, de forma objetiva e passível de reprodução (SAMPAIO, MANCINI, 2007), é a revisão sistemática da literatura (RSL, Systematic Literature Review) sendo de grande importância para a rápida geração de dados, de forma lógica e crítica. Sua adoção segue protocolos específicos e possui alto nível de evidência sobre as estratégias de busca, processo de seleção e análise dos trabalhos (GALVÃO, RICARTE, 2020).

Diante do exposto, o trabalho teve como objetivo descrever o estado da arte sobre os testes e as práticas mais utilizados na avaliação do vigor de sementes, por meio da RSL como

ferramenta para sistematizar informações, identificar e estabelecer protocolos para as espécies estudadas.

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

As espécies-alvo foram selecionadas, com base no seu potencial para a restauração ecológica via sementeira direta, sendo elas *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos, (sin. *Tabebuia heptaphylla*), *Croton urucurana* Baill, *Schinus terebinthifolia* Raddi (sin. *Schinus terebinthifolius*), *Jacaranda cuspidifolia* (Mart.), *Platypodium elegans* Vogel e *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms.

A revisão sistemática de literatura (RSL) foi realizada conforme as recomendações de Pullin e Stewart (2006), formulando inicialmente as perguntas de pesquisa (Quadro 1) e definindo o Google acadêmico como base de dados para a busca dos trabalhos, devido à sua maior abrangência, que incluiu artigos, teses e dissertações, para recuperar o máximo possível de informações sobre o assunto. O intervalo de tempo foi delimitado conforme a amostragem inicial de 1990 até 2021 e, a seguir, concentrou-se no intervalo com maior proporção de trabalhos sobre as espécies-alvo.

Quadro 1. Descrição das perguntas a serem respondidas por meio da revisão sistemática de literatura, elaborada com base na metodologia proposta por Pullin e Stewart (2006).

Perguntas de pesquisa	
P1	Quais as condições ideais para germinação e emergência das espécies-alvo?
P2	Quais os testes e as práticas mais utilizados na avaliação do vigor de sementes das espécies-alvo?

Para a primeira pergunta de pesquisa (P1), as propostas de palavras-chave foram: a combinação do nome científico de cada espécie-alvo, e suas variações, como por exemplo, *Handroanthus heptaphyllus*, and *Tabebuia heptaphylla*, seguido do tema **(i)"semente" or "seed"** e os tópicos **(ii)"germinação" or "germination"** e **(iii) "emergência" or "emergence"**.

Para a segunda pergunta de pesquisa (P2), as palavras-chave empregadas foram: **(i) sementes, (ii) vigor, (iii) testes de vigor, (iv) análise de sementes, (v) viabilidade, (vi) metodologia, (vii) análise de imagem e (viii) teste de tetrazólio**. Após testar diferentes combinações das palavras-chave em sentenças (*search strings*), em inglês e português, e verificar a quantidade de trabalhos resgatados, foram pré-definidas as que melhor “afunilaram”

a pesquisa sendo elas: (i) "testes de vigor" and "análise de sementes" and "metodologia" (ii) "vigor tests" and "seed analysis" and "methodology". Em seguida, foram definidos os critérios de inclusão e exclusão dos trabalhos (quadro 2). Para cada trabalho amostrado foi realizada uma pré-seleção a partir da leitura do título e resumo, aplicando posteriormente os critérios de inclusão e exclusão por meio da leitura dos métodos e análise de resultados, a fim de identificar e classificar a relevância do trabalho para a RSL, conforme atendesse aos critérios, abordasse o assunto e tivesse todas as informações sobre os parâmetros dos testes, para possibilitar sua replicação. Para os trabalhos selecionados foi realizada a leitura completa (Figura 1).

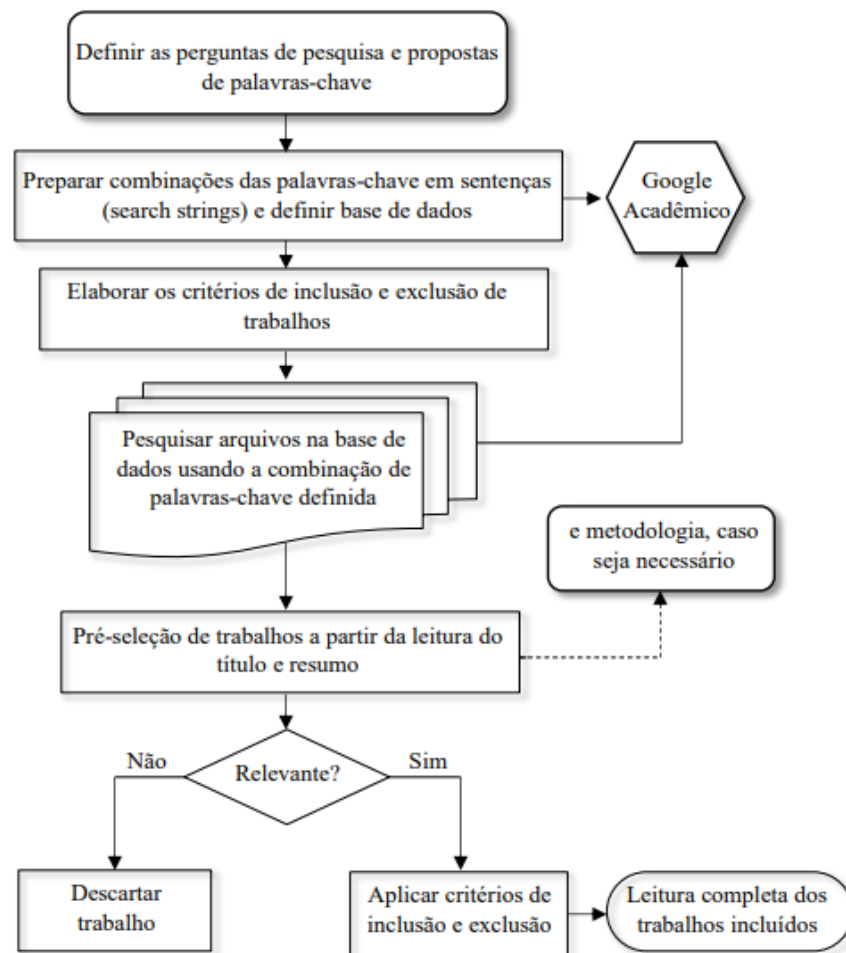


Figura 1: Fluxograma das etapas para a realização da revisão sistemática de literatura (RSL). Levantamentos realizados na base de dados do Google Acadêmico, nos períodos de 1990 a 2021.

Quadro 2. Critérios de inclusão e exclusão de trabalhos científicos para a revisão sistemática de literatura, realizada na base de dados Google Acadêmico, nos períodos de 1990 a setembro de 2021.

Inclusão	Exclusão
Artigos, dissertações e teses.	Trabalhos de conclusão de curso, notas científicas, circular técnica, relatórios e anais de congresso.
Estudos que incluem adequação da metodologia de testes de vigor.	Estudos que não sejam sobre as espécies-alvo.
Estudos que apresentem o mínimo de informação sobre testes de vigor e germinação/emergência.	Estudos que utilizam testes muito específicos.
Estudos que abordam mais de um teste de vigor.	Estudos que não tenham como tema principal avaliação do vigor e germinação/emergência.

### 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A amostragem inicial compreendeu o período de 1990 a 2021, e obteve o total de 3.026 arquivos. Verificou-se que 86,4% dos estudos envolvendo as espécies-alvo estava concentrado de 2005 a 2021 (n= 2.615), portanto, foi o intervalo utilizado na análise dos trabalhos. Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão estabelecidos, apenas 1,2% (n= 32) foram selecionados, divididos em artigos, dissertações e teses (Tabela 1) sendo que, em alguns casos, o mesmo trabalho atendeu a ambas as perguntas de pesquisa.

Tabela 1. Número de trabalhos obtidos na base de pesquisa Google Acadêmico no período de 2005 a 2021 e para as diferentes etapas da revisão sistemática de literatura conforme a Figura 1.

<b>Quais as condições ideais para germinação e emergência das espécies-alvo?</b>					
<b>Espécies-alvo</b>	<b>Resultados</b>	<b>Trabalhos selecionados</b>	<b>Artigo</b>	<b>Dissertação</b>	<b>Tese</b>
<i>Handroanthus heptaphyllus</i> (Vell.) Mattos	414	9	4	4	1
<i>Croton urucurana</i> Baill.	210	4	0	3	1
<i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi	832	9	5	3	1
<i>Jacaranda cuspidifolia</i> (Mart.)	543	3	2	0	1
<i>Platypodium elegans</i> Vogel	186	2	1	1	0
<i>Gallesia integrifolia</i> (Spreng.) Harms	118	1	1	0	0
<b>Quais os testes e as práticas mais utilizados na avaliação do vigor de sementes das espécies-alvo?</b>					
<b>Espécies-alvo</b>	<b>Resultados</b>	<b>Trabalhos selecionados</b>	<b>Artigo</b>	<b>Dissertação</b>	<b>Tese</b>
<i>Handroanthus heptaphyllus</i> (Vell.) Mattos	49	5	4	1	0
<i>Croton urucurana</i> Baill.	14	2	0	2	0
<i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi	113	5	3	2	0
<i>Jacaranda cuspidifolia</i> (Mart.)	91	3	2	1	0
<i>Platypodium elegans</i> Vogel	29	2	1	0	1
<i>Gallesia integrifolia</i> (Spreng.) Harms	16	2	1	1	0

Considerando os estudos que atenderam em parte ou totalmente aos critérios de seleção, dentro do período de maior concentração de trabalhos, observou-se a tendência crescente de estudos sobre o tema envolvendo espécies florestais. A partir de 2011, apesar da queda em 2012, houve oscilações na quantidade de publicações após 2018, com os máximos em 2011, 2014 e 2017. (Figura 2).

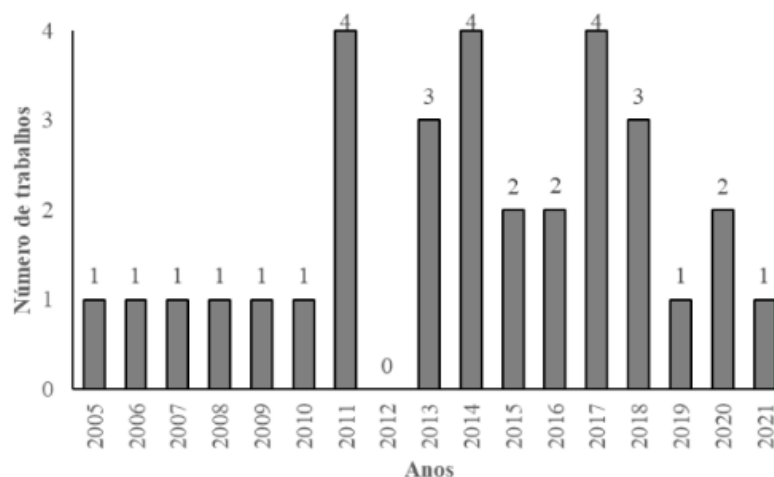


Figura 2. Número de trabalhos selecionados como relevantes para os temas de pesquisa sobre condições para germinação e testes de vigor das espécies-alvo, obtidos na revisão sistemática de literatura (RSL), no período de 2005 a setembro de 2021.

*Schinus terebinthifolia* (36,1%; n= 945) *Jacaranda cuspidifolia* (24,2%, n= 634) e *Handroanthus heptaphyllus* (17,7%; n= 463) concentraram o maior número de trabalhos. Já *Gallesia integrifolia* foi a que obteve o menor resultado no geral, com 5,1% (n= 134) e apenas um artigo com o tema central sobre as condições ideais para a germinação. Contudo, em relação aos testes de vigor, *Croton urucurana* foi a menos estudada, com 14 trabalhos encontrados e apenas dois atendendo aos critérios de seleção, ambas dissertações, não tendo artigos publicados sobre o assunto. Todos os 32 trabalhos selecionados realizaram o teste de germinação, porém somente 31,2% (n= 10) apresentaram a germinação como tema central da pesquisa, dos quais 21,8% (n= 7) também tinham alguma informação sobre a emergência.

### 2.3.1 Condições para Germinação e Emergência

Para *Handroanthus heptaphyllus*, os testes de germinação foram conduzidos com as sementes apresentando teor de água de 8 a 11%, o que foi mencionado em apenas três trabalhos, predominantemente na temperatura de 25 °C e papel filtro como substrato, porém um dos trabalhos relatou que podem ser utilizados vários substratos, indicou o uso do método sobre areia e, inclusive, questionou a recomendação do Rolo de papel, feita por Wielewicky et al. (2006) e Azevedo (2008), pois em seus testes obtiveram menor germinação comparados aos demais (TONETTO, 2014). Com relação à emergência, apenas um trabalho constatou que a profundidade de semeadura de 1 cm foi mais adequada, por proporcionar maior percentual de emergência (RODRIGUES et al., 2018).

Os quatro trabalhos sobre *Croton urucurana* utilizaram o procedimento de alternância de temperatura (20-30 °C) durante o processo de germinação e assepsia com hipoclorito de sódio a 4%. Apenas um dos estudos empregou o método de imersão em água a 50 °C com retirada da fonte de calor durante dois minutos, para superação ou remoção de dormência, mas não alterou significativamente a germinação (PAIVA et al., 2020). Em todos os estudos a germinação obtida foi baixa, e o ponto de maturação da semente foi apontado como possível causa (BRANT, 2015).

Para *Jacaranda cuspidifolia* um dos estudos verificou que as sementes podem ser armazenadas por 150 dias sob refrigeração, pois apresentaram porcentagens de emergência maiores do que as armazenadas na temperatura ambiente, mesmo sem nenhum tratamento pré-germinativo, e a profundidade de semeadura empregada no estudo foi de 2 cm (SCALON, 2006). O outro trabalho observou que o hipoclorito de sódio pode causar o atraso no desenvolvimento do sistema radicular, sendo mais indicada a solução de detergente na desinfestação das sementes. Além disso, a germinação foi realizada em rolo de papel na temperatura de 25 °C (ANASTÁCIO, 2014).

A maior parte dos trabalhos sobre *Schinus terebinthifolia* utilizaram temperaturas entre 20 e 25°C, semeadas em papel germitest e com algumas variações na condição de luz, com fotoperíodos de 12 horas ou 8-16 horas de luz e escuro. Um dos estudos, apesar de não especificar os parâmetros em que o teste foi conduzido, verificou que os métodos de escarificação ácida e mecânica favoreceram a germinação. Também se recomenda não armazenar sementes de *S. terebinthifolia* em condições de laboratório por mais de 60 dias (VIANA, et al., 2018).

Poucos trabalhos foram publicados sobre a germinação de sementes de *Platypodium elegans*. O único artigo encontrado não obteve diferença significativa em seus tratamentos pré-germinativos, mas constatou que um corte longitudinal no pericarpo, sem e com embebição por 24 horas, promoveu maiores valores de porcentagem de germinação (51%) e índice de velocidade de germinação (0,95) (PACHECO et al., 2007). Já o outro estudo, uma tese, utilizou areia como substrato e a temperatura constante de 25 °C, após realizar a assepsia com solução de hipoclorito de sódio a 1% por 10 minutos. Houve uma alta incidência de sementes mortas e ocas, com germinação lenta e alta quantidade de frutos predados, evidências segundo o autor, de que esta espécie pode estar sendo afetada pela alteração e redução do habitat (DÍAZ, 2013).

No caso da *Gallesia integrifolia*, dois dos trabalhos encontrados utilizaram a temperatura de 25 °C e o rolo de papel como substrato, porém, outro estudo também indicou que o teste pode ser conduzido com 30 g de vermiculita umedecida com 45 a 90 mL de água,

nas temperaturas constantes de 20 ou 25 °C, sob fotoperíodo de oito horas de luz branca (BARROS et al., 2005).

### 2.3.2 Testes rápidos de Vigor

Dos 32 trabalhos selecionados, 19 abordaram o tema, e as práticas mais utilizadas para a avaliação do vigor de sementes das espécies-alvo foram: Primeira contagem de germinação e Índice de velocidade de germinação (IVG), que apareceram em praticamente todos os trabalhos, seguida da condutividade elétrica (n= 4), envelhecimento acelerado (n= 3), Raio-X (n= 3) e tetrazólio (n= 2).

A condutividade elétrica foi o teste que obteve mais estudos, com dois artigos para *S. terebinthifolia*, uma dissertação para *G. integrifolia*, na qual realizou-se dois métodos para o mesmo teste, e uma dissertação para *H. heptaphyllus* (Tabela 2), sendo esta a única espécie em que foram encontrados estudos para todos os testes. No caso das demais espécies não foram encontrados trabalhos publicados sobre o assunto, o que evidencia a escassez de estudos e o quanto ainda precisamos avançar nessa área para as sementes florestais nativas.

Tabela 2. Condições para avaliação da viabilidade e vigor de sementes de espécies florestais pelo teste de Condutividade Elétrica.

Teste de Condutividade Elétrica						
Espécies-alvo	Método	Repetições	Volume de Água (mL)	T (°C)	t (horas)	Autores
<i>Handroanthus heptaphyllus</i> (Vell.) Mattos	Massal	4x25 e 3x25	75	25	12	MARTINS, 2013
	Massal	4x25	75	25	24	SABONARO et al., 2017
<i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi	Massal	4x 1g de sementes	75	25	10	SHIBATA et al., 2019
	Massal	4x25	75	25	48	
<i>Gallesia integrifolia</i> (Spreng.) Harms	Individual	80 de uma semente cada	50	25	48	GUOLLO, 2016

Apesar de *Schinus terebinthifolia* ter sido a espécie com mais trabalhos encontrados, ainda se tratando de um número muito baixo de pesquisas os estudos ressaltaram que são necessárias mais investigações para adequar o preparo das sementes para o teste. As condições testadas não foram eficientes na avaliação da qualidade, visto que a não remoção de estruturas

do fruto (mesocarpo) interferiu no processo de embebição e lixiviação dos solutos (SABONARO et al., 2017.) e que as características do tegumento, formado por compostos fenólicos, podem ter causado resistência à entrada e/ou saída de água, também interferindo no teste (SHIBATA et al., 2019).

O método mais empregado foi o massal, que em sua maioria utilizou quatro repetições de 25 sementes. Apenas um estudo, com *G. integrifolia*, testou o método individual, sendo este menos utilizado por ser mais trabalhoso, porém, consegue comprovar o comportamento da CE em diferentes condições encontradas nas sementes. Neste caso, ambos foram eficientes para a avaliação da qualidade fisiológica. Uma questão interessante, levantada por este estudo, foi a importância do estabelecimento do ponto de partição, que é um valor de condutividade elétrica que pode ser definido no momento da entrada do lote em laboratório. Seu uso permite separar as sementes viáveis das não viáveis, quando estas apresentarem condutividade abaixo ou acima desse ponto de partição, tendo em vista que é um valor variável dentro da mesma espécie, garantindo informações específicas para o lote e não da espécie em geral (GUOLLO, 2017).

O estudo sobre a espécie *H. heptaphyllus* visava verificar a viabilidade das sementes armazenadas no fruto, utilizando o teste de condutividade elétrica, que se mostrou eficiente para essa finalidade e apresentou uma relação inversamente proporcional com a germinação, como era esperado.

Para o teste de Envelhecimento Acelerado, foram selecionados apenas três trabalhos, um artigo da espécie *H. heptaphyllus* e um artigo e uma dissertação de *S. terebinthifolia* (Tabela 3). Em todos os estudos foi utilizado o “gerbox”, tendo em vista que é mais simples, prático e de menor custo, pois não necessita de equipamentos mais específicos como uma câmara de envelhecimento acelerado. Embora também possua limitações, como por exemplo a manutenção constante da umidade, o possível acúmulo de gotículas de água na tampa do gerbox, que pode ocasionalmente gotejar nas sementes, dentre outros fatores, sua praticidade é apontada como fator relevante.

Tabela 3. Condições para avaliação da viabilidade e vigor de sementes de espécies florestais pelo teste de Envelhecimento Acelerado

Teste de Envelhecimento Acelerado					
Espécies-alvo	Método	Volume de Água (mL)	T (°C)	t (horas)	Autores
<i>Handroanthus heptaphyllus</i> (Vell.) Mattos	gerbox	40	42	72	LAMARCA, BARBEDO, 2017
	gerbox	40	41	72	PACHECO et al., 2011
<i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi	gerbox	40	41	72	VELASQUES, 2016

No trabalho com *H. heptaphyllus*, foi constatado o tempo de 72 horas como mais adequado para a condução do teste de envelhecimento acelerado (Tabela 3) e que, ao longo dos períodos, quando se analisou a primeira contagem e o tempo médio de germinação, verificou-se a constituição de três níveis de deterioração, sendo os testes de vigor mais indicados para avaliação do processo de deterioração dessas sementes (LAMARCA, BARBEDO, 2017).

Para *Schinus terebinthifolia*, apesar de ambos utilizarem as mesmas condições para o teste de envelhecimento acelerado, um dos estudos apontou que o teste detectou um número muito baixo de sementes vigorosas, diferente dos resultados do teste de comprimento de plântulas, e recomenda os testes de germinação, emergência das plântulas em areia ou teste de frio para a avaliação da qualidade fisiológica das sementes (VELASQUES, 2016). Já o outro estudo, que também testou o envelhecimento acelerado com solução saturada de sal, concluiu que o método tradicional foi eficiente para classificar os lotes de sementes em alta, intermediária e baixa qualidade fisiológica (PACHECO et al., 2011).

Com relação ao teste de tetrazólio, foram selecionados estudos apenas para as espécies *Handroanthus heptaphyllus* e *Jacaranda cuspidifolia*. No caso da primeira, o artigo não teve como tema central o teste de tetrazólio, mas utilizou para avaliar a viabilidade de sementes com 24 meses de armazenamento. Apesar de realizar o teste em diferentes condições, com o mesmo pré-condicionamento das sementes mas duas concentrações de 2,3,5 trifênil cloreto de tetrazólio, dois tempos de incubação e duas temperaturas (Tabela 4), em seus resultados não mencionou ou recomendou quais foram as mais adequadas para a coloração dos embriões, no entanto, obteve 100% das sementes classificadas como viáveis (DUARTE et al., 2014).

Tabela 4. Condições para avaliação da viabilidade e vigor de sementes de espécies florestais pelo teste de Tetrazólio.

Teste de Tetrazólio					
Espécies-alvo	Pré-condicionamento	Coloração			Autores
		TZ (%)	T (°C)	t (horas)	
<i>Handroanthus heptaphyllus</i> (Vell.) Mattos	imersão em água por 24h a 27 °C e posterior remoção do tegumento	0,5	36	24	DUARTE et al., 2014
		1	37	48	
<i>Jacaranda cuspidifolia</i> (Mart.)	embebição por 24h a 35°C, sem posterior retirada do tegumento e com corte longitudinal	0,075	35	3	FOGAÇA, 2003

Nos estudos com *Jacaranda cuspidifolia*, o objetivo foi a padronização do teste de tetrazólio para avaliar a viabilidade de sementes florestais. Como resultado, recomendou o pré-condicionamento (Tabela 4). Seu uso mostrou-se eficiente na coloração das sementes e adequada para a avaliação da viabilidade, quando comparada ao teste de germinação (FOGAÇA, 2003).

Ambos os estudos apresentaram em seus resultados fotos das sementes após o teste, mas de difícil visualização dos detalhes, inclusive em um deles a imagem está em preto e branco, o que impossibilita observar a coloração dos embriões. Vale lembrar que são trabalhos de 2003 e 2014. Em trabalhos mais recentes já são empregadas tecnologias com imagens digitalizadas, para auxiliar na avaliação do teste, inclusive por meio de softwares e inteligência artificial, porém ainda são mais recorrentes em pesquisas com espécies de grandes culturas (RIBEIRO, 2022).

Por fim, os trabalhos sobre o teste de Raio-X foram encontrados apenas para as espécies *H. heptaphyllus*, *P. elegans*, e *C. urucurana* sendo este eficiente na avaliação da morfologia interna das sementes, pois detectou defeitos que afetaram a germinação e reduziram o vigor do lote. As condições do teste para as sementes de *H. heptaphyllus* foram, radiação com intensidade de 10kv durante 300 segundos, em cinco repetições de 30 sementes, para cada tratamento. O equipamento utilizado foi o Faxitron X-ray modelo MX-20 (AMARAL et. al., 2011).

Para a classificação das sementes foram atribuídas notas de 1 a 6 conforme os critérios para o preenchimento da cavidade embrionária e a formação dos cotilédones. A maioria das

sementes que receberam notas 5 e 6, referente à cavidade embrionária vazia e com menos de 50% de preenchimento ou suas estruturas internas mal formadas, originaram sementes mortas. Também foi possível constatar que as sementes amarelo-claro menores apresentaram alta incidência de malformação do eixo embrionário, informação que foi corroborada pela quantidade de sementes mortas (AMARAL et. al., 2011).

No caso do *Platypodium elegans*, a intensidade de radiação foi de 30kvp com 50 sementes por lote. E o aparelho empregado foi o Faxitron HP modelo 43855AX. Observou-se que a categorização das sementes em Cheia; Vazia; Atacada por insetos e Mal-formada influenciaram diretamente na germinação (DE SOUZA et al., 2008).

O trabalho com *Croton urucurana* classificou as sementes em formada, danificada e vazia. Mesmo os lotes de sementes colhidas no ponto de maturação fisiológica apresentaram um alto percentual de sementes vazias. Este estudo utiliza o equipamento Faxitron Digital, modelo MX-20 DC-12, porém não menciona a intensidade de radiação empregada (BRANT, 2015).

## **2.4 CONCLUSÕES**

Constatou-se que poucos trabalhos publicados avaliaram as condições de germinação, emergência e testes rápidos de vigor de sementes para as espécies alvo, apesar de seu valor de uso na semeadura direta.

Com base no levantamento realizado, foi possível obter procedimentos referenciais sobre testes de vigor, tetrazólio, condutividade elétrica, envelhecimento precoce e uso de Raio-X. Por outro lado, a falta de testes em diferentes lotes, procedências e safras das espécies-alvo não permitiu a proposição de protocolos para a replicabilidade dos testes, dificultando a padronização das metodologias e a própria aplicação de protocolos.

## 2.5 REFERÊNCIAS

- AMARAL, J. B. D., MARTINS, L., FORTI, V. A., CÍCERO, S. M., E MARCOS FILHO, J. Teste de raios x para avaliação do potencial fisiológico de sementes de ipê-roxo. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, p. 601-607, 2011.
- ANASTÁCIO, M. R. **Aspectos Germinativos de 25 espécies Florestais Brasileiras: Eficiência do método, anormalidade de plântulas e mortalidade de sementes**. 2014. Tese (Doutorado em fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG, 2014.
- BARBEDO, C. J.; Santos Junior, N. A. dos, 2018. **Sementes do Brasil**. Publicado em: São Paulo. Instituto de botânica - InB. ISBN 978-85-7523-068-8.
- BARROS, S. SU; SILVA, A. da; AGUIARI, I. B. Germinação de sementes de *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms (pau-d'alho) sob diferentes condições de temperatura, luz e umidade do substrato. **Brazilian Journal of Botany**, v. 28, p. 727-73, 2005.
- BRANCALION, P. H. S.; GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R. R. **Restauração Florestal**. 1 ed. Oficina de Textos, São Paulo, 428 p, 2015.
- BRANT, H. S. C. **Qualidade das sementes e emergência da plântula de espécies de recobrimento para restauração de florestas estacionais semidecíduais**. 2015. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2015.
- BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Adesão do Brasil ao Desafio de Bonn e à Iniciativa 20x20. 03 dez. 2016. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/adesao-do-brasil-ao-desafiode-bonn-e-a-iniciativa-20x20>. Acesso em set. 2022.
- BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Instrução Normativa MAPA nº 42, de 17 de setembro de 2019. Regulamenta a produção, a comercialização e a utilização de sementes e mudas de espécies florestais, nativas e exóticas, visando garantir sua procedência, identidade e qualidade. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 9 dez. 2019. Seção 1.
- CAMPOS-FILHO, J. Nmn Da. Costa, Ol De Sousa, S. Semeadura direta mecanizada de florestas nativas no Xingu, Brasil Central. **Journal of Sustainable Forestry**, São Paulo, v. 32, p.702-727, 2013.
- COLE, R. J.; HOLL, K. D.; KEENE, C. L.; ZAHAWI, R. A. Direct seeding of late successional trees to restore tropical montane forest. **Forest Ecology and Management**, v. 261, n. 10, p. 1590-1597, 2011.
- CECCON, E.; GONZÁLEZ, E. J.; MARTORELL, C. Is direct seeding a biologically viable strategy for restoring forest ecosystems? Evidences from a Meta-analysis. **Land Degradation and Development**, v. 27, n. 3, p. 511-520, 2016.
- DEMINICIS, B.B.; VIEIRA, H.D.; ARAÚJO, S. A. C; JARDIM, J.G.; PÁDUA, F. T.; CHAMBELA NETO, A., 2009. Dispersão natural de sementes: importância, classificação e sua dinâmica nas pastagens tropicais. **Arquivos de Zootecnia**, v.58, p.35-58.

DE SOUZA, L. A., DOS REIS, D. N., DOS SANTOS, J. D. P., E DAVIDE, A. C. Uso de raios-x na avaliação da qualidade de sementes de *Platypodium elegans* Vog. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 2, p. 343-347, 2008.

DÍAZ, D. C. C. **Avaliação da qualidade física e fisiológica de sementes de espécies florestais nativas produzidas em plantios de restauração florestal e remanescentes naturais no estado de São Paulo**. 2013. 100 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2013.

FOGAÇA, C. A. **Padronização do teste de tetrazólio para avaliação da viabilidade de sementes de três espécies florestais**. 2003. xii, 55 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2003.

FREIRE, J.M.; URZEDO, D.I.; PIÑA-RODRIGUES, F.C.M., 2017. A realidade das sementes nativas no Brasil: desafios e oportunidades para a produção em larga escala. **Seed News**, 21(5), 24-28.

GALVÃO M.C.B.; RICARTE I.L.M. Revisão Sistemática Da Literatura: Conceituação, Produção E Publicação. **Logeion: Filosofia da informação**, Rio de Janeiro, v. 6 n. 1, p.57-73, 2020.

IUCN. **Bonn Challenge**. 2016. Disponível em: <https://www.bonnchallenge.org>. Acesso set. 2022.

KITCHENHAM, B; BRERETON, P. A systematic review of systematic review process research in software engineering. **Information and Software Technology**, v.55, p.2049– 2075, 2013.

KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. de B. **Vigor de Sementes: Conceitos e Testes**. Ed Abrates, Londrina, PR, Brasil, 1999.

LAMARCA, E. V.; BARBEDO, C. J. Acerca da utilização do método científico nas pesquisas com sementes florestais: o envelhecimento acelerado em sementes de ipê-roxo, um modelo descritivo. **Revista da Universidade Ibirapuera**, 2017.

MASULLO, L. S.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; FIGLIOLIA, M. B.; AMÉRICO, C.. Optimization of tetrazolium tests to assess the quality of *Platymiscium floribundum*, *Lonchocarpus muehlbergianus* and *Acacia polyphylla* DC. seeds. **Journal of Seed Science**, [S.L], v. 39, n. 2, p. 189-197, 2011.

MERRIT DJ, DIXON KW. Restoration seed banks - a matter of scale. **Science**, v. 332, p. 424–425, 2011.

PACHECO, M. V., SILVA, C. S. D., SILVEIRA, T. M. T., HÖLBIG, L. D. S., HARTER, F. S., E VILLELA, F. A. Physiological quality evaluation of the radii *Schinus terebinthifolius* seeds. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, p. 762-767, 2011.

PACHECO, Mauro V. et al. Germinação de sementes de *Platypodium elegans* Vog. submetidas a diferentes tratamentos pré germinativos e substratos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, p. 497-501, 2007.

PAIVA, J. B.; NAVES, R.; RODRIGUES, R. R. **Germinação de sementes de espécies florestais nativas de recobrimento utilizando a técnica de peletização em diferentes**

**profundidades de sementeira.** 110 f. Dissertação (Mestrado em Ciências, Programa: Recursos Florestais). Piracicaba - SP, 2020.

PEDRINI, S.; DIXON, K. W. International principles and standards for native seeds in ecological restoration. **Restoration Ecology**, v. 28, p. S286-S303, 2020.

PEDRINI, S. et al. Seed enhancement: getting seeds restoration-ready. **Restoration Ecology**, v. 28, p. S266-S275, 2020.

PIÑA-RODRIGUES, F.C.M.; VALENTINI, S.R.T. Teste de tetrazólio. In: SILVA, A.; PIÑA-RODRIGUES, F.C.M.; FIGLIOLIA, M.B. (Coords.). **Manual de análise de sementes florestais.** São Paulo: Instituto Florestal, p. 61-73, 1995.

PIOTROWSKI, I.; PALADINES, H.M.; DE ALMEIDA, L.S.; LÓPEZ, A.M.T.; DUTRA, F.B.; FRANCISCO, B.S.; DA SILVA, J.M.S.; PIÑA-RODRIGUES, F.C.M. Seeds' Early Traits as Predictors of Performance in Direct Seeding Restoration. **Forests**, 2023, 14, 547.

PNUMA. **Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente.** Resolução adotada na Assembleia Geral das Nações Unidas em 1 de março de 2019. Década de Restauração de Ecossistemas da ONU, 2019.

PULLIN, A. S.; G. B. STEWART. Guidelines for systematic review in conservation and environmental management. **Conservation Biology**, v. 20, p.1647–1656, 2006.

RESTORATION APPROACH. **Initiative 20x20.** Disponível em: <https://initiative20x20.org/regions-countries/brazil>. Acesso em set. de 2022.

RIBEIRO, G. F. R. **Sistema Vigor-S e processamento digital como componentes auxiliares de testes para avaliação do vigor de sementes de soja.** 2022. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

RODRIGUES, B. C.; TELES, H. F.; VASCONCELOS, W. A.; SILVA, J. P. Substratos E Profundidades De Sementeira Na Emergência e Desenvolvimento De Ipê Rosa (*Handroanthus heptaphyllus*) (Vell.) Mattos. **Rev. Treedimensional, ProFloresta - Goiânia**, v.3 n.5; p. 78-84, 2018.

SABONARO, D. Z., PRUDENTE, C. M., DA SILVA, B. M., E BARBEDO, C. J. Estruturas do fruto de aroeira na qualidade de sementes através do teste de condutividade elétrica. **Revista trópica: Ciências agrárias e biológicas**, v. 9, n. 01, 2017.

SCALON, S. P. Q.; MUSSURY, R. M.; SCALON FILHO, H.; FRANCELINO, C. S. F.; FLORENCIO, D. K. A. Armazenamento e tratamento pré-germinativos em sementes de jacarandá (*Jacaranda cuspidifolia* Mart.). **Rev. Árvore**, v. 30, n. 2, p.179-185, 2006.

SAMPAIO R.F.; MANCINI M.C. Systematic review studies: a guide for careful synthesis of the scientific evidence. Methodological Articles. **Brazilian Journal of Physical Therapy**, 2007.

SANTOS, P. L. et al. Estabelecimento de espécies florestais nativas por meio de sementeira direta para recuperação de áreas degradadas. **Revista Árvore**, v. 36, p. 237-245, 2012.

SANTOS, S. R. G. DOS; PAULA, R. C. DE. Teste de condutividade elétrica para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de *Sebastiania commersoniana* (BAIL) SMITH E DOWNS – EUPHORBIACEAE. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 27, n. 2, p. 136-145,

SER - Society for Ecological Restoration International. **Princípios da SER International sobre a restauração ecológica**. 2004, p. 3.

SHIBATA, MARILIA; CORREDOR-PRADO, JENNY PAOLA CORREDOR; DE OLIVEIRA, LUCIANA MAGDA. Germinação e condutividade elétrica de sementes de *Schinus terebinthifolius* (Anacardiaceae). **Acta Biológica Catarinense**, v. 6, n. 3, p. 98-105, 2019.

TONETTO, T. S. **Tecnologia de Sementes e Desenvolvimento de Mudanças de *Handroanthus Heptaphyllus* (Mart.) Mattos Sob Diferentes Formas de Manejo no Viveiro e no Campo**. 2014, 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2014.

UNDP. United Nations Development Programme. Global platform for New York Declaration on **Forests launched**. 2017. Disponível em: <https://www.undp.org/content/undp/en/home/newscentre/news/2017/new-york-declaration-on-forests-global-platform-launched.html>. Acesso em set. de 2022.

VIANA, A., BARROS, B., DOUSSEAU, S., POSSE, S., da VITÓRIA, R. Z., SCHMILDT, O., MALIKOUSKI, R. G. E OLIVEIRA, F. (2018). Qualidade fisiológica de sementes de aroeira em função das condições de armazenamento. **Nucleus**, v.15, n.2, out. 2018.

VELASQUES, N. C. **Seleção de árvores matrizes e indicação de áreas de coleta de sementes de *Schinus terebinthifolius* Raddi**. 2016. 65f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

VIEIRA, A.H.; MARTINS, E.P.; PEQUENO, P.L.L.; LOCATELLI, M.; SOUZA, M.G. Técnicas de Produção de sementes Florestais. **EMBRAPA/CPAF**, 4p. (Circular Técnica, 205), 2001.

WIELEWICKI, A. P. et al. Proposta de padrões de germinação e teor de água para sementes de algumas espécies florestais presentes na região Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Sementes**, vol. 28, n. 3, p. 191-197, 2006.

### **3. CAPÍTULO 2 - COMPARAÇÃO ENTRE TESTES RÁPIDOS DE VIGOR PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES FLORESTAIS**

#### **3.1 INTRODUÇÃO**

O emprego de testes rápidos de vigor é ferramenta imprescindível para a avaliação fisiológica (PIÑA-RODRIGUES, VALENTINI, 1995) e para evitar a perda de tempo e recursos financeiros investidos em sementes de baixa germinação e por isso tem merecido a atenção dos tecnólogos, produtores e pesquisadores (DEMINICIS, et al., 2009). Dentre as técnicas mais utilizadas destaca-se o teste de condutividade elétrica. De caráter químico, se baseia na relação direta entre a integridade das membranas das sementes e o processo de deterioração. Por meio da avaliação da quantidade de íons lixiviados durante o processo de embebição detecta as sementes menos vigorosas, as quais liberam mais solutos na solução resultando em altos valores de condutividade elétrica (VIEIRA, KRZYZANOWSKI, 1999), trata-se de um teste simples e promissor. Contudo, sua principal limitação é a grande variabilidade de resposta entre as espécies, pela influência de fatores como o tamanho e número de sementes, teor de água inicial, tempo e temperatura de embebição, e volume de água deionizada (GUOLLO et al., 2017). Isso requer pesquisas para sua padronização e adequação no uso, fundamentais para a sua aplicação em espécies florestais.

No envelhecimento acelerado, de caráter físico, as sementes são expostas às condições adversas de temperatura e umidade relativa, por um período de tempo determinado, e posteriormente submetidas ao teste padrão de germinação. Baseia-se no princípio de que sementes mais vigorosas serão menos afetadas em seu percentual de germinação e capacidade de produzir plântulas normais (PIÑA-RODRIGUES, FIGLIOLIA, 2015).

O teste de Tetrazólio, de caráter bioquímico, baseia-se na atividade das enzimas desidrogenases, que catalisam reações respiratórias nas mitocôndrias, durante a glicólise e ciclo do ácido cítrico (FRANÇA NETO, KRZYZANOWSKI, 2019). Com a reação entre o tetrazólio e os tecidos das sementes são liberados íons de hidrogênio que irão reduzir o sal 2, 3, 5-trifenil cloreto ou brometo de tetrazólio, formando uma substância vermelha, estável, não difusível chamado trifetilformazan ou formazan (ABBADÉ, TAKAKI, 2014). Tecidos vivos colorem-se em diferentes tons de vermelho, diferenciando-se dos tecidos mortos que não são corados.

O uso de Raios- X é menos comum por conta do alto valor de investimento inicial para a aquisição do equipamento. Esse teste auxilia na determinação da proporção de sementes

cheias, vazias e danificadas, de acordo com a sua anatomia interna, gerando resultados de forma imediata e não destrutiva (BARBEDO, SANTOS JUNIOR, 2015).

A eficiência dos testes de vigor depende da finalidade do uso dos resultados e a escolha adequada do método. Porém um único teste não é capaz de caracterizar todas as interações possíveis entre as sementes e as condições ambientais, portanto, recomenda-se a combinação de mais de um teste, a fim de aumentar a eficiência das avaliações e o volume de informações (MENDONÇA et al., 2008). A padronização para condução de cada teste é muito importante para eliminar as variações na metodologia e garantir a confiabilidade dos dados, sendo um desafio ainda maior para as espécies florestais nativas (KRZYZANOWSKI et al., 1999).

Considerando a importância dos testes rápidos para avaliar o vigor e a germinação de sementes, este trabalho teve como objetivo comparar os testes rápidos, de tetrazólio e condutividade elétrica, e analisar sua efetividade para estimar a qualidade de sementes florestais de espécies utilizadas na semeadura direta.

## 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.2.1 Seleção e procedência das espécies

As espécies foram pré-selecionadas com base em estudos de aptidão e probabilidade de sucesso de espécies florestais na semeadura direta, com foco na restauração ecológica (PIOTROWSKI, 2016; SANTOS, 2020). Adotou-se como critérios a germinação em laboratório, a emergência e estabelecimento em campo. Baseado em pesquisas que indicaram uma maior taxa de emergência e sobrevivência de sementes de maior tamanho, em função de sua reserva, comparadas às sementes de menor tamanho (PALMA, LAURENCE, 2015; SOUZA, ENGEL, 2018), a classificação das espécies considerou diferentes tamanhos de sementes. Para isso, foram utilizadas as seguintes categorias: Extra grande (até 10 sementes. Kg<sup>-1</sup>), Muito grande (de 11 a 100 sementes. Kg<sup>-1</sup>), Grande (de 101 a 1.000 sementes. Kg<sup>-1</sup>), Média (de 1.001 a 10.000 sementes. Kg<sup>-1</sup>) Pequena (de 10.001 a 100.000 sementes. Kg<sup>-1</sup>) Muito pequena (de 100.001 a 1.000.000 sementes. Kg<sup>-1</sup>) e Extra pequena (mais de 1.000.000 sementes. Kg<sup>-1</sup>) (ALBUQUERQUE, 2022).

Dessa forma, foram selecionadas as espécies: *Handroanthus heptaphyllus* (Vell) Mattos (Bignoniaceae), por ter uma curta viabilidade e, apesar da alta germinação em laboratório (83%) (MARTINS, 2013) seu estabelecimento em campo é muito baixo, de apenas 2% (PIOTROWSKI et al., 2023); *Jacaranda cuspidifolia* Mart (Bignoniaceae), também representando as sementes palhentas, com uma germinação em laboratório superior a 70%

(SCALON et al, 2006) e baixo estabelecimento em campo (10%) (CAMINHOS DA SEMENTE, 2020) e *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms (Phytolaccaceae), que apresenta germinação em laboratório de até 92% (BARROS et al, 2005) mas com estabelecimento em campo de 2% (CAMINHOS DA SEMENTE, 2020; PIOTROWSKI et al., 2023). As sementes utilizadas foram procedentes de áreas de restauração florestal e fragmentos em zonas de Floresta Estacional, situadas no município de Promissão, em São Paulo, coletadas no ano de 2022.

### **3.2.2 Caracterização inicial dos lotes de sementes**

Na recepção das sementes, foram separadas amostras de cada lote para caracterizá-los quanto ao peso de mil sementes (PMS), número de sementes/Kg e teor de água. Conforme metodologia adaptada das Regras para análise de sementes (BRASIL, 2009). Para o PMS foram pesadas 10 amostras de 100 sementes cada, e a partir destes valores foi realizado o cálculo de número de sementes/Kg. Para a determinação do teor de água foi utilizado o método de estufa a 105°C (BRASIL, 2009), com o uso de duas amostras de 25 sementes cada.

### **3.2.3 Preparo das sementes para obtenção de diferentes condições de vigor**

Para a obtenção de amostras de sementes com diferentes níveis de vigor e capacidade germinativa foi adotada a metodologia tradicional de envelhecimento acelerado, técnica do gerbox, na qual utiliza caixas plásticas como minicâmaras, em substituição à câmara de envelhecimento acelerado (KRZYZANOWSKI et al., 2020). Neste método, primeiramente foi adicionada ao fundo do gerbox 40 ml de água deionizada, em seguida colocada uma tela de aço inox suspensa em seu interior, contendo as sementes, de modo que não entrem em contato direto com a água. Estes compartimentos foram fechados e acondicionados em incubadoras BOD (Biological Oxygen Demand), submetidas à 42 °C por cinco períodos de tempo, sendo de 0, 24, 36, 48 e 72 horas para as espécies *Handroanthus heptaphyllus* e *Jacaranda cuspidifolia* e 0, 6, 12, 18 e 24 horas para a *Gallesia integrifolia*, conforme parâmetros encontrados na RSL. Em seguida, as sementes de cada tratamento foram submetidas aos testes de condutividade elétrica, tetrazólio e germinação.



Figura 1. Envelhecimento acelerado pelo método gerbox.

### 3.2.4 Teste de Condutividade Elétrica

No teste de condutividade elétrica foi adotado o método individual, em que são utilizados 100 copos plásticos (50 ml), contendo uma semente cada, previamente pesada, imersa em 20 ml de água deionizada, um volume padronizado para as três espécies considerando o tamanho e a densidade das sementes, bem como uma quantidade suficiente para cobrir o eletrodo do equipamento empregado nas medições. Após o período de 24 horas de embebição, foi realizada a leitura da condutividade elétrica em cada recipiente, com o uso de um Medidor Digital Multiparâmetros Portátil EZ-9908 – SATRA, após a agitação da solução para homogeneizá-la, e lavagem do eletrodo com água deionizada, a cada medição, secando-o com papel toalha, a fim de evitar a contaminação de um recipiente para o outro. Os valores resultantes foram divididos pelas massas das sementes e expressos em  $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$  (GUOLLO, 2016).



Figura 2. Teste de condutividade elétrica pelo método individual.

### 3.2.5 Teste de Tetrazólio

Com base nas informações encontradas na literatura e após a realização de pré-testes, utilizando diferentes concentrações do sal de tetrazólio (1, 0,5 e 0,075%) e cortando as sementes após 2, 6, 12 e 24 horas para verificar se obtiveram uma coloração uniforme, além de observar também a coloração da própria solução, pois caso esteja colorida é um indicativo de tempo ou temperatura excessiva (KRZYZANOWSKI et al., 1999) foram definidos o pré-condicionamento, para facilitar a penetração do sal, e as condições de tempo, temperatura e concentração para a condução do teste (Tabela 1). As sementes foram acondicionadas em caixas gerbox, na cor preta, e submersas em solução de 2,3,5 trifenil cloreto de tetrazólio (pH 6,5 a 7,0), com quatro repetições de 25 sementes. Em seguida, os gerbox foram envolvidos com papel laminado, para impedir qualquer incidência de luz, e mantidos em incubadora BOD.

Tabela 1. Condições para avaliação da viabilidade e vigor de sementes de espécies florestais pelo teste de Tetrazólio.

Espécies-alvo	Pré-condicionamento	Coloração		
		TZ (%)	T (°C)	t (horas)
<i>Handroanthus heptaphyllus</i> (Vell.) Mattos	imersão em água por 24h a 27 °C, sem posterior retirada do tegumento	0,5	36	24
<i>Jacaranda cuspidifolia</i> (Mart.)	embebição por 24h a 35°C, sem posterior retirada do tegumento e com corte longitudinal	0,075	35	24
<i>Gallesia integrifolia</i> (Spreng.) Harms	embebição por 24h a 25°C	0,075	40	24

Após o tempo de incubação cada semente foi seccionada ao meio, com o uso de um bisturi (Figura 3) e examinadas ambas as partes em lupa estereoscópica (2x a 4x). Para a interpretação dos resultados foram empregados os padrões propostos por Masullo et al. (2011), definindo inicialmente quatro áreas da morfologia do embrião, sendo elas: **Zona 1-** o eixo embrionário (hipocótilo-radícula) e áreas próximas, consideradas essenciais para o desenvolvimento do embrião; **Zona 2-** áreas medianas da semente, importantes na translocação de substâncias para o eixo embrionário; **Zona 3-** áreas distantes do eixo embrionário. Em seguida, dentro das zonas citadas foram analisados os seguintes parâmetros: **(a)** coloração dos tecidos, **(b)** posição das manchas, **(c)** extensão e tamanho das manchas e **(d)** aspecto dos tecidos.

Pela análise desses parâmetros foram assinaladas as características do embrião de cada semente e enquadradas nas três classes de viabilidade, também definidas por Masullo et al. (2011), sendo: **Classe 1** - tecidos com coloração vermelho brilhante uniforme, considerado como típico de sadios, ausência de manchas brancas ou vermelho intensa nas áreas críticas (eixo embrionário) ou presença de manchas inferior a 20% do tamanho das sementes, aspecto dos tecidos firmes, sem exsudados, classificadas como “sementes viáveis”, com potencial de germinação; **Classe 2** - tecidos com coloração vermelho intenso, presença de manchas localizadas nas áreas medianas das sementes e nos cotilédones (zonas 2 e 3) ou próximas ao eixo hipocótilo-radícula (zona 1), ocupando de 20 a 40% do tamanho das sementes, tecidos com aspecto firme e sem exsudados, também classificando as sementes como “viáveis” pois apesar de possuir essas características que afetam seu vigor, sendo mais baixo em comparação às sementes de classe 1, mantém seu potencial germinativo e não interferem no desenvolvimento da plântula. **Classe 3** - tecidos com coloração amarelada ou branca, presença de manchas localizadas próximas ou no próprio eixo embrionário, ocupando uma área superior a 40% do tamanho das sementes, e tecidos com aspecto leitoso, presença de exsudados e sinais de deterioração, classificando as sementes como não viáveis pois não possuem potencial germinativo. Para calcular o percentual de “sementes viáveis” por tratamento é realizado o somatório do número de sementes nas classes 1 e 2 e sua percentagem total.



Figura 3. Corte das sementes submetidas ao teste de tetrazólio.

### 3.2.6 Teste de Germinação

A capacidade germinativa das sementes foi avaliada pelo teste padrão de germinação, em que foram utilizadas quatro repetições com 25 sementes cada, mantidas em germinadores B.O.D à temperatura de 25°C e fotoperíodo de 12 horas com luz. As espécies *Handroanthus heptaphyllus* e *Jacaranda cuspidifolia* foram semeadas em rolos de papel umedecidos com água destilada na proporção de 2,5 vezes o seu peso seco. Para a *Gallesia integrifolia* foi empregado o substrato vermiculita (BRASIL, 2013). Ao final dos testes foram contabilizadas as sementes germinadas, com protrusão radicular maior ou igual a 2 mm, de acordo com o critério botânico de germinação (LABOURIAU, 1983), e também as sementes classificadas como duras (que permanecem sem absorver água até o final do teste) firmes (que absorvem água porém não germinam) e mortas (que não germinam e apresentam-se amolecidas, atacadas por microrganismos e sem nenhum sinal de início de germinação). Além disso, foram avaliadas as plântulas normais (intactas ou com pequenos defeitos) e anormais (danificadas, deformadas ou deterioradas) conforme os critérios das Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009) (Figura 4).

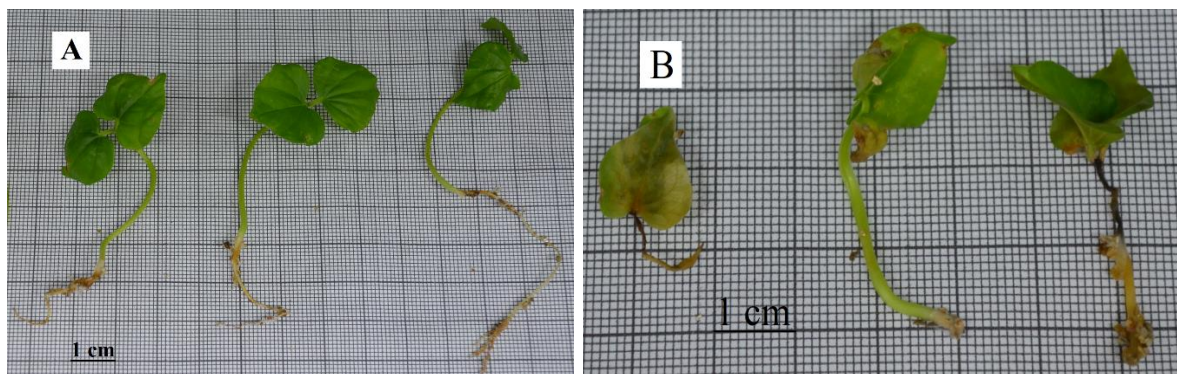


Figura 4. Exemplo de avaliação de plântulas normais, com todas as suas estruturas essenciais bem desenvolvidas, completas, proporcionais e sadias (A) e anormais (B) com sinais de deterioração e desenvolvimento desproporcional da parte aérea e radicular de *Gallesia integrifolia*.

Para estimar o vigor das sementes foi determinado o Índice de Velocidade de Germinação (IVG), de acordo com Santana e Ranal (2004), pela seguinte equação:

$$IVG = \frac{G1}{T1} + \frac{G2}{T2} + \dots + \frac{Gi}{Ti}$$

Onde: G1 até Gi é o número de sementes germinadas ocorrida a cada dia; T1 até Ti é o tempo (dias) transcorrido da semeadura à última contagem de germinação.

### 3.3 ANÁLISE DE DADOS

A normalidade dos dados foi verificada por meio do teste de Shapiro-Wilk. Para analisar a correlação entre os testes de germinação, condutividade elétrica, tetrazólio, plântula normal e IVG em função dos tempos de envelhecimento acelerado, foi realizada a correlação de Spearman, com correção de Bonferroni para ajustar o valor de significância e diminuir a chance de erro tipo 1 (rejeitar a hipótese nula, quando na verdade é verdadeira). A interpretação das correlações foi realizada conforme a classificação proposta por Callegari-Jacques (2009) em que:  $r = 0$  (nula);  $r \leq 0,30$  (fraca);  $0,30 < r \leq 0,60$  (moderada);  $0,60 < r \leq 0,90$  (forte);  $0,90 < r < 1$  (muito forte) e  $r = 1$  (perfeita). Para avaliar a relação entre a germinação, plântulas normais e IVG em função dos valores de condutividade elétrica foi realizada a análise de regressão polinomial. Também foi aplicado o teste de Kruskal-Wallis e Mann – Whitney para comparação das médias e detectar diferenças entre a germinação, plântulas normais e sementes viáveis pelo teste de tetrazólio. Todas as análises estatísticas foram realizadas no programa PAST (HAMMER et al., 2001).

### 3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme a categorização adotada para o tamanho das sementes, as espécies *Jacaranda cuspidifolia* (PMS = 31,69 g e N° sem/Kg = 31.557) e *Gallesia integrifolia* (PMS = 45,87 g e N° sem/Kg = 21.800) foram classificadas como pequenas, e o *Handroanthus heptaphyllus* (PMS = 32,94 g e N° sem/Kg = 30.358) como médias. *Gallesia integrifolia* obteve o maior valor médio inicial de condutividade elétrica, e os menores valores para as demais variáveis (Tabela 2) indicando uma menor viabilidade em comparação às outras espécies, enquanto a *Jacaranda cuspidifolia* apresentou o menor valor de condutividade, e os maiores valores para as outras variáveis, com exceção do IVG, que foi maior para o *Handroanthus heptaphyllus*.

Tabela 2. Valores médios do teste de teor de água (TA), teste padrão de germinação (G), índice de velocidade de germinação (IVG), Porcentagem de plântulas normais (PN), porcentagem de sementes viáveis pelo teste de tetrazólio (TZ) e teste de condutividade elétrica (CE), seguidos do desvio-padrão, para as três espécies estudadas.

Espécies-alvo	TA (%)	G (%)	IVG	PN (%)	TZ (%)	CE ( $\mu\text{S/cm}$ )
<i>Handroanthus heptaphyllus</i> (Vell.) Mattos	10,8	81 $\pm$ 4,36	2,62 $\pm$ 0,14	76 $\pm$ 2,83	71 $\pm$ 3,32	224,06 $\pm$ 20,50
<i>Jacaranda cuspidifolia</i> (Mart.)	11,5	91 $\pm$ 5,92	2,39 $\pm$ 0,15	82 $\pm$ 9,17	80 $\pm$ 5,66	206,96 $\pm$ 22,29
<i>Gallesia integrifolia</i> (Spreng.) Harms	12,2	65 $\pm$ 5,92	2,00 $\pm$ 0,21	58 $\pm$ 7,21	61 $\pm$ 4,36	406,34 $\pm$ 11,26

Os resultados dos coeficientes de correlação de Spearman indicaram uma associação forte ( $0,60 < r \leq 0,90$ ) e muito forte ( $0,90 < r < 1$ ) entre os valores obtidos para as espécies *Handroanthus heptaphyllus* e *Gallesia integrifolia*, significativas ao nível de 1% de significância. Para *Jacaranda cuspidifolia*, a correlação entre a condutividade elétrica e as demais variáveis foi fraca ( $r \leq 0,30$ ) e não significativa, e no caso das sementes viáveis pelo teste de tetrazólio, foi moderada ( $0,30 < r \leq 0,60$ ) com relação aos resultados de Germinação, Plântulas normais e IVG, significativo ao nível de 1% para as duas primeiras e ao nível de 5% para a última, porém, obteve uma forte correlação com os tempos de Envelhecimento acelerado, sendo inclusive maior do que a correlação entre a germinação e o envelhecimento, que foi moderada (Tabela 3).

Dessa forma, para a *Jacaranda cuspidifolia*, as variáveis Tetrazólio, Plântulas normais e IVG tiveram uma maior correlação com a obtenção de sementes em diferentes níveis de vigor, pelo envelhecimento, comparado ao teste de germinação e de condutividade elétrica. Ao passo que, para as outras duas espécies todos os testes obtiveram uma forte correlação.

Tabela 3. Matriz de correlação de Spearman para as variáveis de porcentagem de germinação (G), índice de velocidade de germinação (IVG), Porcentagem de plântulas normais (PN), porcentagem de sementes viáveis pelo teste de tetrazólio (TZ) e teste de condutividade elétrica (CE) para as três espécies estudadas.

Variáveis	EA (h)	G (%)	IVG	PN (%)	TZ (%)
<i>Handroanthus heptaphyllus</i>					
<b>G (%)</b>	-0,952**	-	-	-	-
<b>IVG</b>	-0,939**	0,979**	-	-	-
<b>PN (%)</b>	-0,969**	0,962**	0,933**	-	-
<b>TZ (%)</b>	-0,965**	0,9435**	0,956**	0,920**	-
<b>CE (<math>\mu\text{S. cm}^{-1}.\text{g}^{-1}</math>)</b>	0,895**	-0,853**	-0,839**	-0,873**	-0,852**
<i>Jacaranda cuspidifolia</i>					
<b>G (%)</b>	-0,576**	-	-	-	-
<b>IVG</b>	-0,656**	0,754**	-	-	-
<b>PN (%)</b>	-0,756**	0,686**	0,643**	-	-
<b>TZ (%)</b>	-0,827**	0,571**	0,541*	0,574**	-
<b>CE (<math>\mu\text{S. cm}^{-1}.\text{g}^{-1}</math>)</b>	0,318 <sup>ns</sup>	-0,258 <sup>ns</sup>	-0,126 <sup>ns</sup>	-0,165 <sup>ns</sup>	-0,121 <sup>ns</sup>
<i>Gallesia integrifolia</i>					
<b>G (%)</b>	-0,953**	-	-	-	-
<b>IVG</b>	-0,933**	0,979**	-	-	-
<b>PN (%)</b>	-0,940**	0,966**	0,957**	-	-
<b>TZ (%)</b>	-0,924**	0,846**	0,830**	0,862**	-
<b>CE (<math>\mu\text{S. cm}^{-1}.\text{g}^{-1}</math>)</b>	0,956**	-0,955**	-0,943**	-0,931**	-0,850**

\* e \*\* Significativos, respectivamente ( $P \leq 0,05$ ) e ( $P \leq 0,01$ ). <sup>ns</sup> Não significativo ( $P > 0,05$ ).

*Handroanthus heptaphyllus* apresentou um valor de condutividade elétrica inicial ( $224,06 \mu\text{s.cm}^{-1}.\text{g}^{-1}$ ), superior ao encontrado na literatura ( $40,7 \mu\text{s.cm}^{-1}.\text{g}^{-1}$ ). Tal diferença pode estar relacionada ao alto teor de água, que no estudo foi de 49,3% com germinação de 83% (MARTINS, 2011), e no presente trabalho foi de 10,8% e germinação de 81%. Segundo Krzyzanowski e colaboradores (2020), de maneira geral, teores de água muito baixos ( $\leq 10\%$ ) ou muito alto ( $\geq 17\%$ ) influenciam significativamente nos resultados da condutividade elétrica, e, portanto, devem ser ajustados para uma faixa entre 10% e 17%. Essa influência foi relatada para sementes de Amendoim (*Arachis hypogaea* L), em que houve maior relação entre a condutividade e o vigor de sementes com teor de água de 9% a 15%, e ocorreu a estabilização dos resultados com teor de 10 e 14% (BARBOSA, 2012).

As equações de regressão polinomial, obtidas entre os valores de porcentagem de germinação, porcentagem de plântulas normais e IVG, em função da condutividade elétrica, apresentaram altos coeficientes de determinação para a espécie *Handroanthus heptaphyllus* ( $R^2 = 0,858$ ; 0,700 e 0,702) e *Gallesia integrifolia* ( $R^2 = 0,826$ ; 0,866 e 0,795). O método CE foi eficiente para demonstrar que, quanto menor o vigor das sementes, maiores eram os valores de

condutividade elétrica. Isso foi constatado para os tempos e envelhecimento empregados, em relação à germinação, plântulas normais e IVG (Figura 5).

Para *Jacaranda cuspidifolia*, os coeficientes de determinação foram baixos ( $R^2 = 0,169$ ;  $0,059$  e  $0,056$ ). Em estudo realizado com sementes de Carobinha (*Jacaranda micranta* Cham) foi observada a tendência de correlação positiva entre os valores de condutividade elétrica e períodos de armazenamentos, que possibilitou a diferenciação da viabilidade das sementes nos diferentes lotes, o de maior vigor obteve um valor de  $289,9 \mu\text{s.cm}^{-1}.\text{g}^{-1}$  e o de menor vigor  $362,2 \mu\text{s.cm}^{-1}.\text{g}^{-1}$  (SOUZA et al., 2016). Também foi relatado alto grau de associação dos resultados de condutividade elétrica com o teste de germinação, em sementes de Jacarandá-da-bahia (*Dalbergia Nigra* (Vell) Fr.All. ex Benth), concluindo que foi sensível na diferenciação da qualidade de lotes e com a recomendação da realização do teste na temperatura de  $25^\circ\text{C}$ , com 30 ou 36 horas de embebição (MARQUES, 2002).

Não foram encontrados trabalhos publicados especificamente sobre a *Jacaranda cuspidifolia*. Em função disso, foi empregada a mesma metodologia do teste de condutividade elétrica das outras duas espécies. Contudo, necessita de mais pesquisas quanto à adequação do teste, incluindo os métodos massal e individual, em diferentes volumes de água deionizada, temperaturas e tempos de embebição. Vale ressaltar que espécies com dificuldades de embebição (espessura e/ou teor de lignina no tegumento) apresentam maiores restrições quanto ao uso do teste, além de sofrer influência de outros fatores, tais como, teor de água, tamanho das sementes e injúrias (KRZYZANOWSKI et al., 1999).

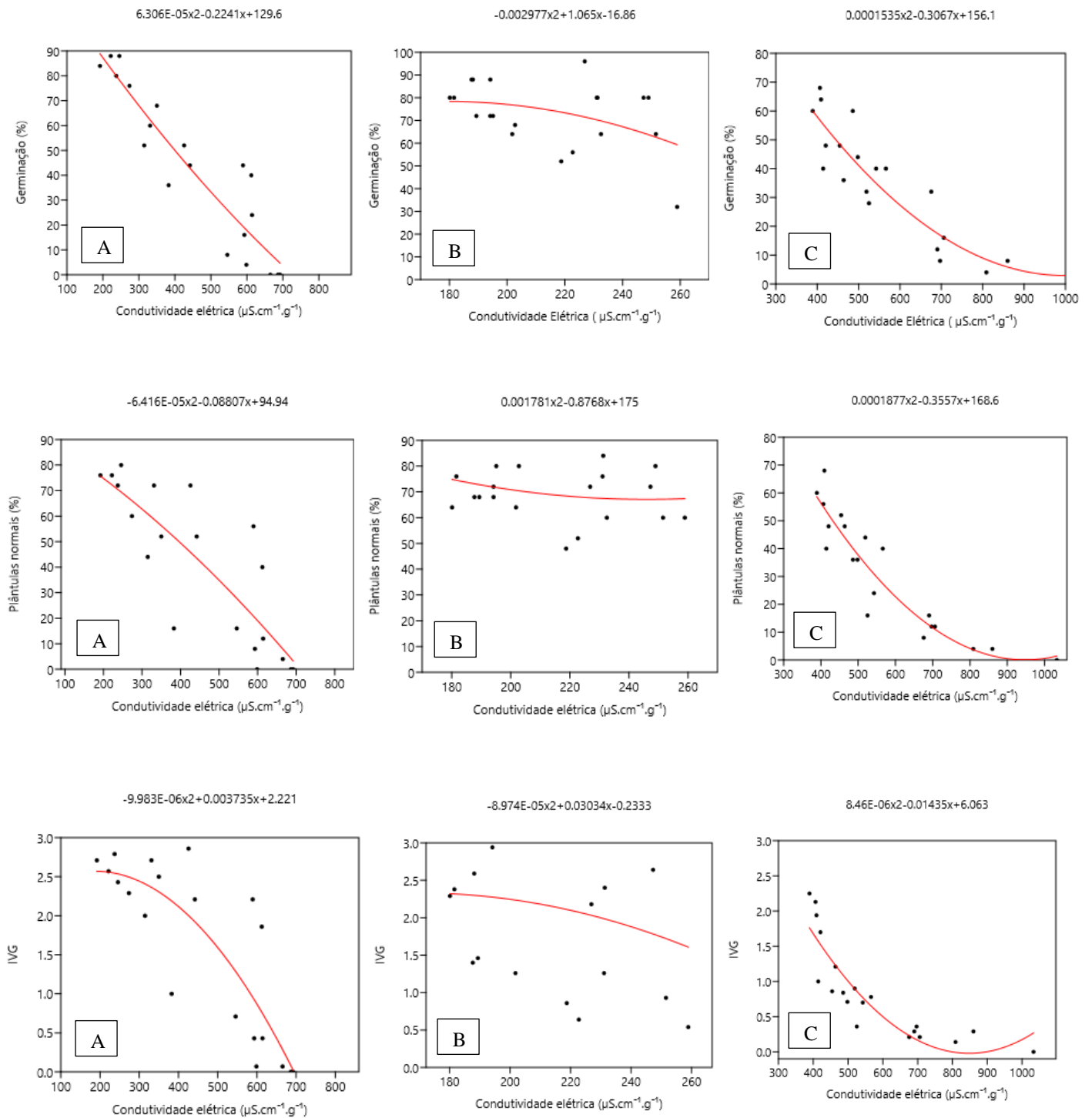


Figura 5. Análise de regressão polinomial entre a germinação (%), plântulas normais (%) e IVG em função dos valores de condutividade elétrica ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ ) de sementes de *Handroanthus heptaphyllus* (A), *Jacaranda cuspidifolia* (B) e *Galesia integrifolia* (C).

Para o teste de tetrazólio, foram constatadas diferenças em relação ao observado na literatura. O tempo de incubação das sementes de *Jacaranda cuspidifolia*, em que a coloração adequada para distinguir sementes viáveis e inviáveis só ocorreu após 24 horas (Figura 8), e no caso do *Handroanthus heptaphyllus*, que mesmo sem a retirada do tegumento obteve a coloração das sementes (Figura 7). Já para a *Gallesia integrifolia*, por meio de pré-testes, verificou-se que o pré-condicionamento das sementes, com embebição por 24h a 25°C, e as condições de 24h de exposição dos tecidos a 40 °C, na concentração de 0,075% de sal de tetrazólio, foi eficiente para a categorização das sementes nas classes de vigor (Figura 9).

Foi observada a presença de tecidos com coloração preta e sinais de deterioração nas sementes de *Handroanthus heptaphyllus*, que também apareceram no teste de germinação, mesmo com a protrusão da radícula (Figura 6). Uma possível explicação seria o processo de auto-oxidação de lipídios, produzindo radicais livres que inativam enzimas que contribuem para a integridade das membranas (COSTA, 2009).

Em estudo realizado com essa mesma espécie, quanto à viabilidade das sementes armazenadas em frutos (MARTINS, 2013) a alta atividade da enzima peroxidase, importante na biossíntese de constituintes da parede celular, em sementes armazenadas em câmara fria, após serem extraídas do fruto, contribuiu para a manutenção da sua qualidade fisiológica. Dessa forma, o balanço entre a formação e remoção de radicais livres, durante a secagem e armazenamento, está relacionado com a longevidade das sementes de Ipê, assim como a pequena quantidade de substâncias de reserva armazenada que também contribui para a sua curta viabilidade (ABBADE, 2012).

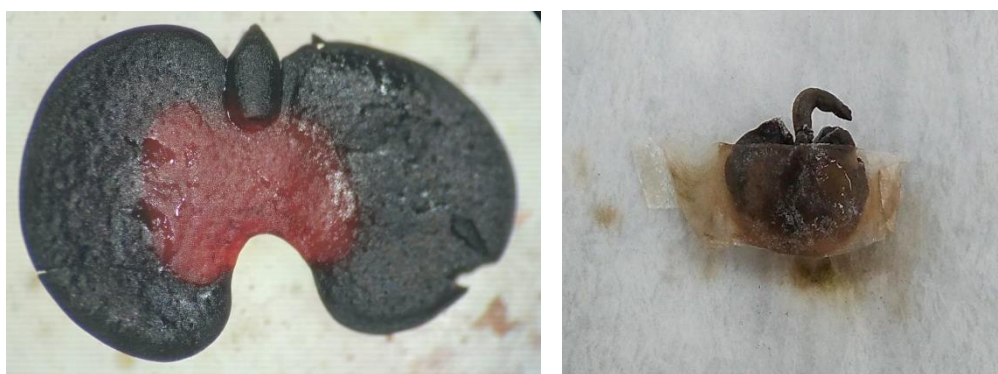


Figura 6. Embrião de sementes de *Handroanthus heptaphyllus* submetido ao teste de tetrazólio e com a protrusão da radícula no teste de germinação, respectivamente, ambas com coloração preta indicando o processo de oxidação.

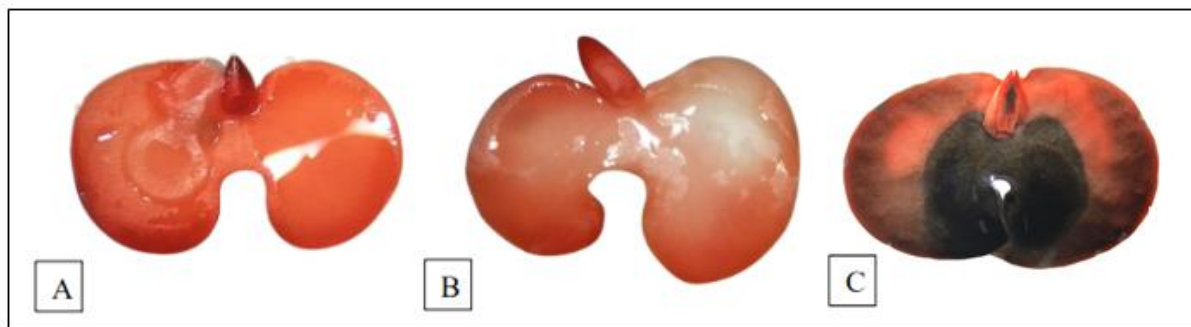


Figura 7. Coloração de sementes de *Handroanthus heptaphyllus* submetidas ao teste de tetrazólio na concentração de 0,5% por 24h de imersão à temperatura de 36°C. (A) Classe 1, viável, com coloração vermelho brilhante, tecidos firmes e ausência de manchas; (B) Classe 2, viável, mas com presença de manchas brancas na zona 1, próximas ao eixo hipocótilo-radícula; (C) Classe 3, inviável, com sinais de deterioração pela presença de manchas pretas ocupando grande parte do embrião.

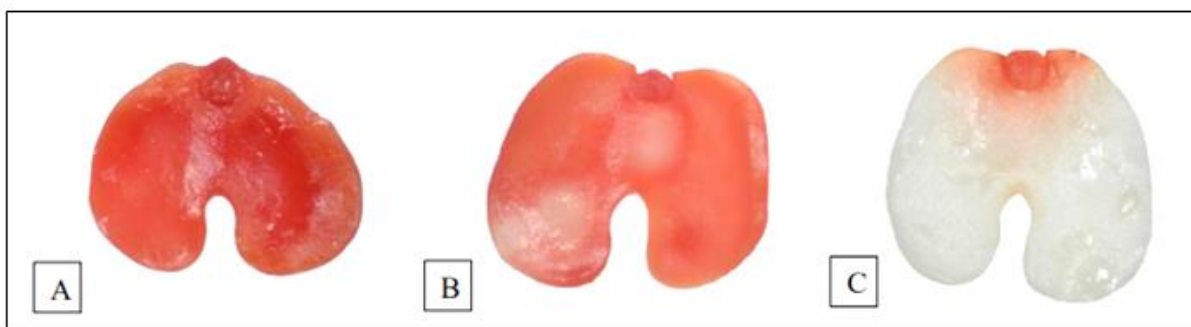


Figura 8. Coloração de sementes de *Jacaranda cuspidifolia* submetidas ao teste de tetrazólio na concentração de 0,075% por 24h de imersão à temperatura de 35°C. (A) Classe 1, viável, com coloração vermelho brilhante, tecidos firmes e ausência de manchas; (B) Classe 2, viável, com presença de manchas brancas na zona 1, próximas ao eixo hipocótilo-radícula; (C) Classe 3, inviável, com quase 100% dos tecidos mortos.

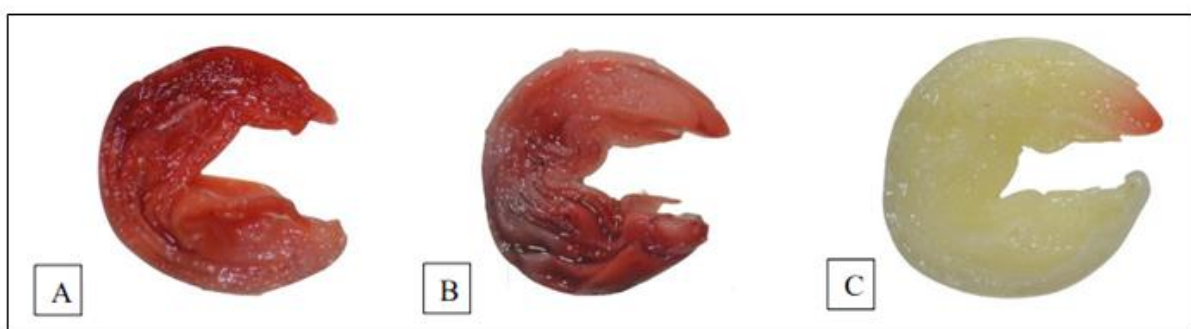


Figura 9. Coloração de sementes de *Galesia integrifolia* submetidas ao teste de tetrazólio na concentração de 0,075% por 24h de imersão à temperatura de 25°C. (A) Classe 1, viável, com coloração vermelho brilhante, tecidos firmes e ausência de manchas; (B) Classe 2, viável, com presença de manchas de coloração vermelho intenso, que indicam o início do processo de deterioração; (C) Classe 3, inviável, com quase 100% dos tecidos mortos.

Apesar dos resultados das sementes viáveis pelo teste de tetrazólio geralmente coincidirem com os do teste padrão de germinação e de plântulas normais, que foi o que ocorreu para as espécies *Jacaranda cuspidifolia* e *Galesia integrifolia*, não apresentando diferença estatística entre os seus resultados médios pelo teste de Kruskal-Wallis e Mann - Whitney,

houve diferença estatística significativa entre o tetrazólio e a germinação para o *Handroanthus heptaphyllus* ( $p = 0,010$ ).

Resultados discrepantes ocorrem uma vez que nem todas as anormalidades presentes nas plântulas podem ser observadas nos embriões, assim como não é possível detectar a contaminação por patógenos que acabam se manifestando no teste de germinação, nesses casos, o tetrazólio tende a apresentar resultados maiores (KRZYZANOWSKI et al., 2020), porém, no presente estudo os resultados de sementes viáveis foram mais próximos da porcentagem de plântulas normais, o que pode ser explicado pelo comprometimento de grande parte dos tecidos de reserva, classificando as sementes como não viáveis, mesmo que estruturas como o eixo hipocótilo-radícula estejam com seus tecidos corados e vivos, dessa forma, ocorre a protrusão da raiz primária, maior ou igual a 2 mm, considerada como germinada conforme o critério botânico, no entanto, não possui reserva suficiente para a continuação do desenvolvimento da plântula.

Essa hipótese é corroborada pelas Regras para Análise de Sementes – RAS (BRASIL, 2009), nas quais plântulas anormais apresentaram sistema radicular em perfeitas condições, mas não mostram potencial para continuar seu desenvolvimento e crescimento para produzir uma planta normal. Também é possível observar pela análise de regressão polinomial que a curva das sementes viáveis pelo teste de tetrazólio está mais próxima da curva de plântulas normais do que do teste de germinação (Figura 10).

A porcentagem de germinação, de plântulas normais e de sementes viáveis pelo tetrazólio apresentaram altos valores de coeficientes de determinação, evidenciando uma queda em todas as variáveis em função do aumento do tempo de envelhecimento, conforme já era esperado, ou seja, os testes foram capazes de diferenciar a qualidade das sementes obtidas em diferentes níveis de vigor pelo envelhecimento acelerado.

No entanto, para a *Jacaranda cuspidifolia* as curvas das variáveis obtiveram uma queda menos acentuada e com menores valores de coeficientes de determinação, comparada às outras duas espécies, uma possível explicação seria a necessidade de maiores tempos de envelhecimento acelerado, ou adequações na metodologia quanto à temperatura e volume de água, para a obtenção de sementes com diferentes níveis de vigor, tendo em vista que foi a espécie que obteve a maior porcentagem de germinação, de plântulas normais e de sementes viáveis pelo Tetrazólio, ou seja, era mais vigorosa, e as condições de envelhecimento foram insuficientes para tal finalidade.

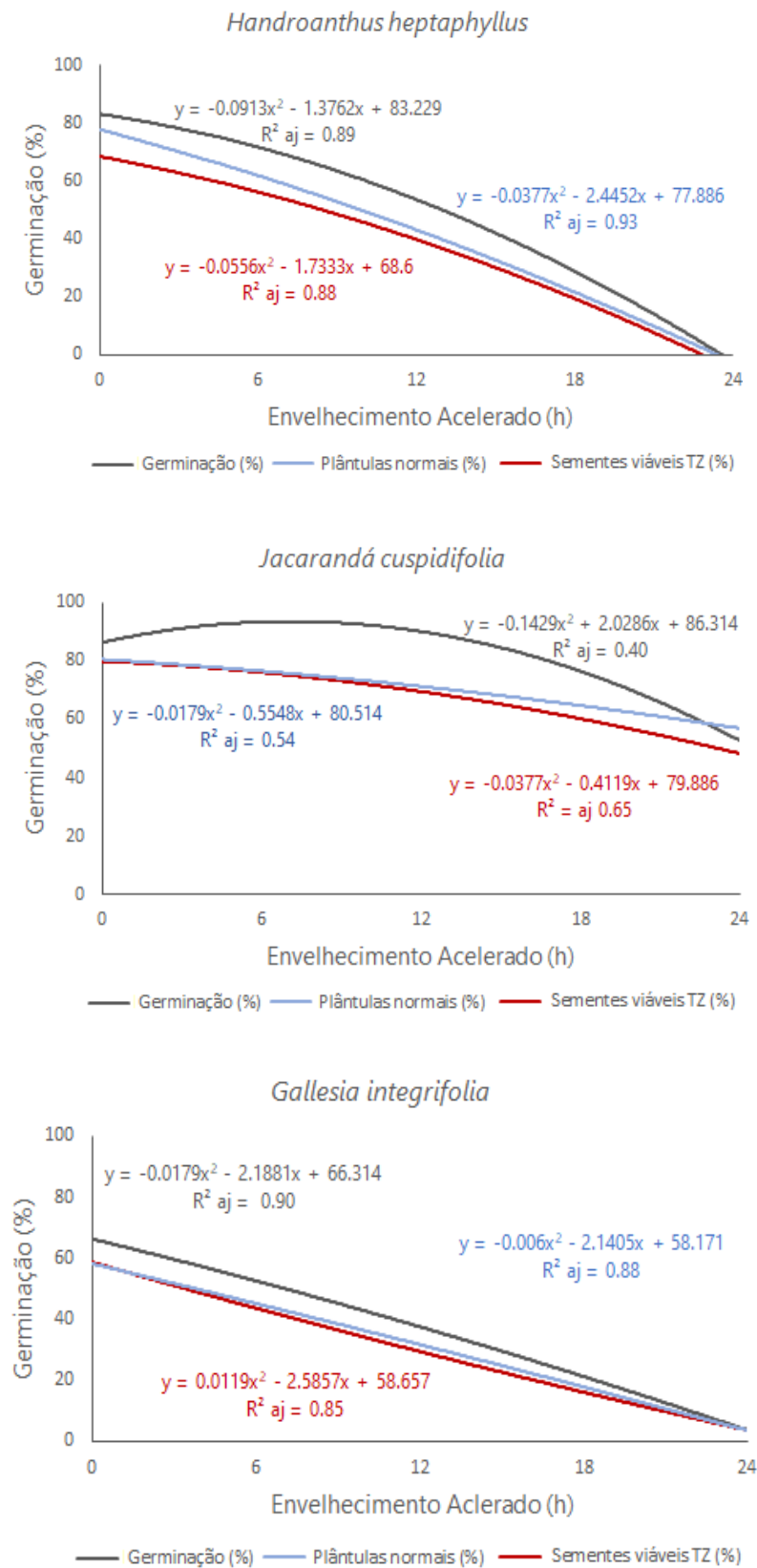


Figura 10. Análise de regressão polinomial entre Germinação (%), Plântulas normais (%) e Sementes viáveis pelo teste de Tetrazólio (%) em função do tempo de envelhecimento acelerado (h).

### 3.5 CONCLUSÕES

Em geral, ambos os testes são recomendados, pois foram eficientes para estimar a qualidade das sementes e sensíveis na separação de lotes com diferentes níveis de vigor, obtendo resultados mais rapidamente comparado ao teste padrão de germinação, com exceção da condutividade elétrica para as sementes de *Jacaranda cuspidifolia*, sendo necessário realizar mais pesquisas quanto à adequação do teste para essa espécie. Contudo, o presente estudo evidenciou uma maior correlação entre os resultados do teste de tetrazólio e as demais variáveis.

Vale ressaltar que, no teste de condutividade elétrica não se têm parâmetros de comparação, apenas sobre o potencial fisiológico entre os lotes avaliados, principalmente para espécies florestais, dificultando a categorização de níveis de vigor, pois muitos fatores influenciam em seus resultados.

### 3.6 REFERÊNCIAS

ABBADE, L. C.; TAKAKI, M. Teste de tetrazólio para avaliação da qualidade de sementes de *Tabebuia roseoalba* (Ridl.) Sandwith - Bignoniaceae, submetidas ao armazenamento. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 2, p.233-240, 2014.

ABBADE, L. C. **Alterações Bioquímicas e Fisiológicas Durante o Armazenamento e a Germinação de Sementes de *Tabebuia roseoalba* (RIDL.) Sandwith (Bignoniaceae)**. 2012. 69f. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2012.

ALBUQUERQUE, N. C. B (org.). **Sementes florestais da Mata Atlântica [livro eletrônico]: um guia para o manejo de espécies da Hileia Baiana**. Teixeira de Freitas, BA: Programa Arboretum de Conservação e Restauração da Diversidade Florestal, 2022.

BARBEDO, C. J.; SANTOS JUNIOR, N. A. dos. **Sementes do Brasil**. 1 ed. Instituto de botânica - InB: São Paulo, p. 134-135, 2018.

BARBOSA, R. M., Silva, C. B. D., MEDEIROS, M. A. D., CENTURION, M. A. P. D. C., e VIEIRA, R. Condutividade elétrica em função do teor de água inicial de sementes de amendoim. **Ciência Rural**, v. 42, p. 45-51, 2012.

BARROS, S. S. U.; SILVA, A. Da; AGUIARI, I. B. Germinação de sementes de *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms (pau-d'algo) sob diferentes condições de temperatura, luz e umidade do substrato. **Brazilian Journal of Botany**. São Paulo, SP, Brazil: Sociedade Botânica de São Paulo, v. 28, n. 4, p. 727-733, 2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 399p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instruções para Análise de Sementes Florestais**. Brasília: MAPA/ACS. 97p, 2013.

CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Tradução. [s.l.] Artmed Editora, 2009.

COSTA, C. J. Armazenamento e Conservação de Sementes de Espécies do Cerrado. Planaltina, DF. **Embrapa Cerrados**. Documentos 265. 2009. 30 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAC-2010/31497/1/doc-265.pdf>. Acesso em nov. de 2022.

DEMINICIS, B.B.; VIEIRA, H.D.; ARAÚJO, S. A. C; JARDIM, J.G.; PÁDUA, F.T.; CHAMBELA NETO, A. Dispersão natural de sementes: importância, classificação e sua dinâmica nas pastagens tropicais. **Archivos de Zootecnia**, v.58, p.35-58, 2009.

FRANÇA NETO, J. de B.; KRZYZANOWSKI, F. C. Tetrazolium: an important test for physiological seed quality evaluation. **Journal of Seed Science**, Londrina, v.41, n. 3, p. 359-366, 2019.

GUOLLO, K. et al. Avaliação Da Qualidade Fisiológica De Sementes Florestais Através Do Teste De Condutividade Elétrica. **Revista Cultivando o saber**, [S.L], v. 10, n. 2, p. 191 a 204, abr./jun. 2017.

HAMMER, Ø., HARPER, D.A.T., and P. D. RYAN, 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. **Palaeontologia Electronica** 4(1): 9pp.

KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. de B.; FILHO J. M. **Vigor de Sementes: Conceitos e Testes**. Publicado em: Londrina, PR, Brasil. Ed Abrates, 2020.

KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. de B. **Vigor de Sementes: Conceitos e Testes**. Publicado em: Londrina, PR, Brasil. Ed Abrates, 1999.

LABOURIAU, L.G. **A germinação das sementes**. Washington: Secretaria Geral da OEA, 1983. 173p.

MASULLO, L. S.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; FIGLIOLIA, M. B.; AMÉRICO, C. Optimization of tetrazolium tests to assess the quality of *Platymiscium floribundum*, *Lonchocarpus muehlbergianus* and *Acacia polyphylla* DC. seeds. **Journal of Seed Science**, [S.L], v. 39, n. 2, p. 189-197, 2011.

MARQUES, M. A., PAULA, R. C., RODRIGUES, T. J. D.; Adequação do teste de condutividade elétrica para determinar a qualidade fisiológica de sementes de jacarandá-da-bahia (*Dalbergia nigra* (Vell.) Fr. All. ex Benth.). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 24, p. 271-278, 2002.

MARTINS, M. R. S. **Viabilidade de Sementes de *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos Armazenadas nos Frutos**. 2013. 76f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2013.

MENDONÇA, E. A. F., AZEVEDO, S.C., GUIMARÃES, S.C., ALBUQUERQUE, M.C.F. Testes de vigor em sementes de algodoeiro herbáceo. **Revista Brasileira de Sementes** 30: 1-9, 2008.

PALMA, A.C.; LAURANCE, S.G.W. A review of the use of direct seeding and seedling plantings in restoration: what do we know and where should we go? **Applied Vegetation Science**, n. 18, p.561–568, 2015.

PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; FIGLIOLIA, M. B.; SILVA, A. da. **Sementes Florestais Tropicais: da ecologia à produção**. 1 ed. Ed Abrates: Londrina, PR, 2015, 477 p.

PIÑA-RODRIGUES, F.C.M.; VALENTINI, S.R.T. Teste de tetrazólio. In: SILVA, A.; PIÑA-RODRIGUES, F.C.M.; FIGLIOLIA, M.B. (Coords.). **Manual de análise de sementes florestais**. São Paulo: Instituto Florestal, p. 61-73, 1995.

PIOTROWSKI, IVONIR. **Aptidão de espécies florestais para a restauração ecológica em áreas de Floresta Estacional**. 2016. 43f. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis) - Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2016.

Planilha Colaborativa de Espécies para Semeadura Direta. In: **Caminhos da Semente**. Iniciativa Caminhos da Semente (Agroicone); ISA; P4F; Embrapa, 2020. Disponível em: <https://caminhosdasemente.org.br/biblioteca/5ff4708daa6d2f0ee553f163>. Acesso nov. de 2022.

SANTANA, D.G.; RANAL, M. A. **Análise da germinação: um enfoque estatístico**. Brasília: UnB, 2004. 248 p.

SANTOS, I. P. **Probabilidade de sucesso de espécies florestais na semeadura direta em restauração ecológica**. 2020. Tese (Doutorado em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2020.

SCALON, S. P. Q.; MUSSURY, R. M.; SCALON FILHO, H.; FRANCELINO, C. S. F.; FLORENCIO, D. K. A. Armazenamento e tratamento pré-germinativos em sementes de jacarandá (*Jacaranda cuspidifolia* Mart.). **Rev. Árvore**, v. 30, n. 2, p.179-185, 2006.

SOUZA, D.C. de; ENGEL, V.L. Direct seeding reduces costs, but it is not promising for restoring tropical seasonal forests. **Ecological Engineering**, v. 116, p. 35-44, 2018.

SOUZA, G. F.; GARLET, J.; DELAZERI, P. Teste de condutividade elétrica em sementes de Jacaranda micranta. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 85, p. 79-83, 2016.

VIEIRA, R.; KRZYZANOWSKI, F. C. Teste de condutividade elétrica. Vigor de sementes: conceitos e testes. Londrina: **ABRATES**, v. 1, p. 1-26, 1999.