

RENATA SAMARA DA SILVA VENÂNCIO

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO ULTRASSOM DE BAIXA
FREQUÊNCIA SOBRE A GERMINAÇÃO DE *SENNA MULTIJUGA*
(RICH.) H. S. IRWIN & BARNEBY**

Sorocaba
2020

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO em

**ciências
ambientais**

RENATA SAMARA DA SILVA VENÂNCIO

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO ULTRASSOM DE BAIXA
FREQUÊNCIA SOBRE A GERMINAÇÃO DE *SENNA MULTIJUGA*
(RICH.) H. S. IRWIN & BARNEBY**

Tese apresentada como requisito para a
obtenção do título de Doutor em Ciências
Ambientais da Universidade Estadual
Paulista "Júlio de Mesquita Filho" na Área
de Concentração Diagnóstico, Tratamento
e Recuperação Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Antonio Cesar
Germano Martins

Sorocaba
2020

V448c Venâncio, Renata Samara da Silva
Estudo da Influência do Ultrassom de Baixa Frequência sobre a
Germinação de Senna multijuga (Rich.) H. S. Irwin & Barneby /
Renata Samara da Silva Venâncio. -- Sorocaba, 2020
69 f. : tabs., fotos, mapas

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba
Orientador: Antonio Cesar Germano Martins

1. Ciências Ambientais. 2. Biotecnologia. 3. Germinação. 4.
Ultrassom. 5. Revegetação. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de
Ciência e Tecnologia, Sorocaba. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Sorocaba

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

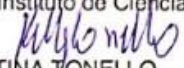
TÍTULO DA TESE: Estudo da influência do ultrassom de baixa frequência sobre a germinação de *Senna Multijuga* (Rich.) H. S. Irwin & Barneby

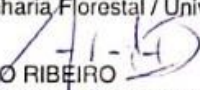
AUTORA: RENATA SAMARA DA SILVA VENÂNCIO

ORIENTADOR: ANTONIO CESAR GERMANO MARTINS

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em CIÊNCIAS AMBIENTAIS, área: Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. ANTONIO CESAR GERMANO MARTINS
Engenharia Ambiental / Instituto de Ciência e Tecnologia / Unesp / Sorocaba


Profª. Drª. KELLY CRISTINA TONELLO
Departamento de Engenharia Florestal / Universidade Federal de São Carlos - UFSCAR


Prof. Dr. ADMILSON IRIO RIBEIRO
Engenharia Ambiental / Unesp - ICT Sorocaba


Prof. Dr. NOBEL PENTEADO DE FREITAS
Coordenação de Ciências Biológicas / Universidade de Sorocaba (UNISO)


Profª. Drª. RENATA FRAÇACIO FRANCISCO
Engenharia Ambiental / Unesp - ICT Sorocaba

Sorocaba, 06 de dezembro de 2019

DEDICATÓRIA

*A Deus, minha família e orientador pelo apoio, força, incentivo,
companheirismo e amizade.
Sem eles nada disso seria possível.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por me guiar, iluminar, me ajudar a manter a fé e me dar tranquilidade para seguir em frente com os meus objetivos e não desanimar com as dificuldades.

Agradeço aos meus pais Henriqueta e Nelson; as minhas irmãs Kátia e Rosana; aos meus sobrinhos Murilo e Manuela; ao meu marido Eduardo, pela compreensão, entenderam as minhas faltas e momentos de afastamento e reclusão, pelo profundo apoio, me estimulando nos momentos mais difíceis. Obrigada por desejarem sempre o melhor para mim, pelo esforço que fizeram para que eu pudesse superar cada obstáculo em meu caminho e chegar até aqui e, principalmente, pelo amor imenso que vocês têm por mim. À vocês, minha família, sou eternamente grata por tudo que sou, por tudo que consegui conquistar e pela felicidade que tenho. Tudo que faço sempre é para que vocês tenham orgulho de mim.

Gostaria de agradecer também ao meu cunhado Edmilton pelo apoio e palavras de incentivo.

Ao meu orientador Prof. Dr. Antonio Cesar Germano Martins, pela confiança demonstrada, por todas as aprendizagens gratificantes que me permitiu alcançar, pelos conselhos, por toda a paciência, empenho e dedicação com que sempre me orientou. Muito obrigada por ter me corrigido quando necessário sem nunca me desmotivar.

Aos professores Paulo e Renata, que sempre muito atenciosos e prestativos disponibilizarem os equipamentos necessários para realização da parte experimental.

Gostaria de agradecer aos técnicos dos laboratórios por me auxiliarem nos experimentos sempre que necessário.

Ao professor Amarildo, por me presentear com o equipamento do banho de ultrassom e pela constante troca de informações, ideias e sugestões. Sempre me apoiando e incentivando desde o mestrado, contribuindo com sua grande ajuda e amizade.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Instituto de Ciência e Tecnologia - Câmpus de Sorocaba por abrir as portas para que eu pudesse realizar este sonho que era a minha TESE DE DOUTORADO. Propiciou-me mais que a busca de conhecimento técnico e científico, mas uma LIÇÃO DE VIDA.

Ninguém vence sozinho...

Por fim, a todos que contribuíram para a realização desse sonho.

Meu sincero, muito obrigada!

RESUMO

A germinação é uma sequência ordenada de atividades metabólicas, que se inicia com a imbebição e culmina na protrusão da radícula dos envoltórios da semente. Estudar esse processo é extremamente importante para produção de mudas, que poderão entre outras aplicações serem utilizadas na revegetação de áreas degradadas. Para o processo de germinação são necessários alguns fatores externos, como luz, água e oxigênio. A presença desses fatores é de grande importância para formação de plântulas normais. Algumas espécies são consideradas dormentes, por adotarem uma estratégia de sobrevivência para superar condições ambientais adversas. Para essas espécies a germinação não acontece mesmo quando as sementes são viáveis. Essas sementes germinam apenas quando esse processo é interrompido, o que pode ocorrer naturalmente quando as condições tornam-se mais favoráveis para a sobrevivência da espécie ou de forma induzida. Estudos demonstram que o ultrassom pode aumentar a taxa de germinação, no entanto, uma aplicação de dosagem excessiva pode causar danos graves à semente, impossibilitando a germinação. O presente trabalho teve objetivo estudar a quebra da dormência pela aplicação de ondas ultrassônicas de baixa frequência e avaliar o seu efeito sobre a germinação de sementes de *Senna multijuga* (Rich.) H. S. Irwin & Barneby, espécie utilizada na revegetação de áreas degradadas. Embora o ultrassom possua muitas aplicações, o seu uso para a quebra de dormência é ainda uma área pouco explorada. O experimento avaliou o efeito do banho e da sonda de ultrassom em diferentes tempos sobre as sementes, que foram colocadas para germinar em caixa gerbox sobre papel umedecido com água destilada. Após os tratamentos foram analisadas a taxa de germinação, o número de plântulas e o índice de velocidade de germinação (IVG). Os resultados foram comparados a outra metodologia já descrita na literatura (ácido sulfúrico) e avaliados estatisticamente mediante teste de Tukey, sendo possível concluir que entre os tratamentos avaliados, a sonda de ultrassom é o tratamento mais eficiente e seguro para acelerar a germinação de sementes de *S. multijuga* e produzir um maior número de plântulas, que consequentemente será de grande contribuição para produção de um maior número de mudas em curto período para serem utilizadas na revegetação de áreas degradadas.

Palavras-chave: Germinação. Revegetação. Ultrassom.

ABSTRACT

Germination is a sequence of metabolic activities, that begins with the soaking and it culminates in the protrusion of the radicle from the seed. The study of this process is extremely important for the production of seedlings to be used in revegetation of degraded areas. Some external factors, such as light, water and oxygen, are required for the germination process. The presence of those factors is of great importance for the formation of normal plantules. Some species are considered dormant because they adopt a survival strategy to overcome adverse environmental conditions. For these species, the germination does not happen even when the seeds are viable. These seeds germinate only when these conditions are interrupted, which can occur naturally or by induction. Studies had shown that ultrasound can increase germination rate, however, over-dosing can cause serious damage to the seed, making germination impossible. The objective of this work is to study dormancy breaking by the application of ultrasonic waves of low frequency and to evaluate its effect on seed germination of *Senna multijuga* (Rich.) H. S. Irwin & Barneby, species used for revegetation of degraded areas. Although the ultrasound has many applications, its use for dormancy breakdown is still not a fully explored area. The experiments carried out evaluated the effect of the bath and the ultrasound probe at different times on the seeds that were placed to germinate on paper moist with distilled water in gerbox. After ultrasound application, germination rate, the number of plantules and the speed of germination index (SGI) were obtained and analyzed. The results were compared to another methodology already described in the literature (sulfuric acid) and statistically evaluated by Tukey test. It can be concluded that among the evaluated treatments, the ultrasound probe is the most efficient and safe treatment to accelerate the germination of *S. multijuga* seeds to produce a larger number of plantules, which consequently will be of great contribution to the development and production of a larger number of seedlings in a short period to be used in the revegetation of degraded areas.

Keywords: Germination. Revegetation. Ultrasound.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa com as localizações dos biomas brasileiros.....	21
Figura 2 – Mapa comparativo entre a área de cobertura vegetal original de Mata Atlântica e a remanescente que ainda permanece preservada.....	22
Figura 3 – Área degradada com erosão.....	23
Figura 4 – Estrutura da semente de dicotiledônea.....	25
Figura 5 – Árvore de <i>S. multijuga</i> com sua floração amarela.....	26
Figura 6 – Sementes de <i>S. multijuga</i>	27
Figura 7 – Equipamentos de ultrassom de baixa frequência: banho e sonda.....	32
Figura 8 – Germinação de sementes de <i>S. multijuga</i>	36
Figura 9 – Germinação de sementes de <i>S. multijuga</i> com formação de plântulas normais.....	37
Figura 10 – Germinação acumulada de sementes de <i>S. multijuga</i> submetidas ao banho de ultrassom por 2 e 4 minutos.....	41
Figura 11 – Percentual de sementes de <i>S. multijuga</i> expostas a 2 e 4 minutos no banho de ultrassom.....	42
Figura 12 – Germinação acumulada de sementes de <i>S. multijuga</i> submetidas a sonda de ultrassom por 5 minutos com potências de 250, 350 e 450 watts.....	44

Figura 13 – Percentual de germinação de sementes de <i>S. multijuga</i> do grupo controle e de sementes submetidas a sonda de ultrassom por 5 minutos com potências de 250, 350 e 450 watts.....	45
Figura 14 – Germinação acumulada de sementes de <i>S. multijuga</i> submetidas a sonda de ultrassom na potência de 350 watts por 2, 3, 4, 5 e 6 minutos.....	46
Figura 15 – Percentual de germinação de sementes de <i>S. multijuga</i> do grupo controle e de sementes submetidas a potência de 350 watts na sonda de ultrassom por 2, 3, 4, 5 e 6 minutos.....	47
Figura 16 – IVG de sementes de <i>S. multijuga</i> submetidas a sonda de ultrassom na potência de 350 watts por 2, 3, 4, 5 e 6 minutos.....	48
Figura 17 – Percentual de plântulas normais de <i>S. multijuga</i> submetidas a sonda de ultrassom na potência de 350 watts por 2, 3, 4, 5 e 6 minutos.....	49
Figura 18 – Germinação acumulada de sementes de <i>S. multijuga</i> , submetidas a diferentes tratamentos: 4 minutos no banho de ultrassom, ácido sulfúrico concentrado por 5 minutos e sonda de ultrassom com potência de 350 watts.....	51
Figura 19 – Percentual de sementes de <i>S. multijuga</i> expostas a 4 minutos no banho de ultrassom, a 5 minutos no ácido sulfúrico concentrado e a 5 minutos na sonda de ultrassom com potência de 350 watts.....	52
Figura 20 – IVG de sementes de <i>S. multijuga</i> , submetidas a diferentes tratamentos: controle; ácido sulfúrico concentrado por 5 minutos; 2 e 4 minutos no banho de ultrassom; sonda de ultrassom com potência de 250, 350 e 450 watts.....	53
Figura 21 – Percentual de plântulas normais de <i>S. multijuga</i> , submetidas a diferentes tratamentos: controle; ácido sulfúrico concentrado por 5 minutos; 2 e 4	

minutos no banho de ultrassom; sonda de ultrassom com potência de 250, 350 e
450 watts..... 55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Médias obtidas no grupo controle por repetição para cada um dos parâmetros analisados.....	40
Tabela 2 – ANOVA para o percentual de germinação de sementes de <i>S. multijuga</i> do grupo controle e de sementes submetidas ao banho de ultrassom por 2 e 4 minutos.....	42
Tabela 3 – ANOVA para o percentual de germinação de sementes de <i>S. multijuga</i> do grupo controle e de sementes submetidas a sonda de ultrassom por 5 minutos com potências de 250, 350 e 450 watts.....	44
Tabela 4 – ANOVA para o percentual de germinação de sementes de <i>S. multijuga</i> do grupo controle e de sementes submetidas a potência de 350 watts na sonda de ultrassom por 2, 3, 4, 5 e 6 minutos.....	46
Tabela 5 – ANOVA para o IVG de sementes de <i>S. multijuga</i> do grupo controle e de sementes submetidas a potência de 350 watts na sonda de ultrassom por 2, 3, 4, 5 e 6 minutos.....	48
Tabela 6 – ANOVA para o percentual de plântulas normais de <i>S. multijuga</i> submetidas a sonda de ultrassom na potência de 350 watts por 2, 3, 4, 5 e 6 minutos.....	50
Tabela 7 – ANOVA para o percentual de germinação de sementes de <i>S. multijuga</i> do grupo controle e de sementes submetidas a 4 minutos no banho de ultrassom, a ácido sulfúrico concentrado por 5 minutos e a 5 minutos na sonda de ultrassom com potência de 350 watts.....	51
Tabela 8 – ANOVA para o IVG de sementes de <i>S. multijuga</i> do grupo controle e submetidas a ácido sulfúrico concentrado por 5 minutos, 2 e 4 minutos no banho	

de ultrassom, 5 minutos na sonda de ultrassom com as potências de 250, 350 e 450 watts.....	54
Tabela 9 – ANOVA para as plântulas normais de sementes de <i>S. multijuga</i> do grupo controle e submetidas a ácido sulfúrico concentrado por 5 minutos, 2 e 4 minutos no banho de ultrassom, 5 minutos na sonda de ultrassom com potências de 250, 350 e 450 watts.....	56
Tabela 10 – Variação das temperaturas da água após sofrerem efeito dos equipamentos de ultrassom em diferentes tempos.....	57
Tabela 11 – Diferentes espécies de sementes submetidas a tratamentos com ultrassom.....	58

SUMÁRIO

1. Introdução.....	16
2. Objetivos.....	19
3. Revisão de Literatura.....	20
3.1. Revegetação.....	20
3.2. Sementes.....	23
3.3. <i>Senna multijuga</i> (Rich.) H. S. Irwin & Barneby.....	25
3.4. Germinação.....	27
3.4.1. Dormência de sementes.....	28
3.5. Ultrassom.....	30
4. Materiais e Métodos.....	33
4.1. Materiais.....	33
4.1.1. Material vegetal.....	33
4.1.2. Ultrassom.....	33
4.2. Métodos.....	34
4.2.1. Germinação.....	34
4.2.1.1. Superação de dormência com ultrassom e germinação.....	34

4.2.2. Análise estatística dos dados.....	37
5. Resultados e Discussão.....	40
5.1. Banho Ultrassônico.....	41
5.1.1. Variação com o tempo de imersão.....	41
5.2. Sonda Ultrassônica.....	43
5.2.1. Variação com a potência ultrassônica.....	43
5.2.2. Variação com o tempo de imersão.....	45
5.2.3. Variação do IVG.....	47
5.2.4. Variação do número de plântulas normais.....	49
5.3. Comparação entre os métodos com escarificação química.....	50
5.3.1. Variação da porcentagem de germinação.....	50
5.3.2. Variação do IVG.....	52
5.3.3. Variação do número de plântulas normais.....	54
5.4. Variação com a temperatura da água de imersão.....	56
5.5. Comparação com resultados da literatura.....	58
6. Conclusões	60
7. Referências.....	62

1. Introdução

A Mata Atlântica é um dos biomas mais ricos em biodiversidade do Brasil, originalmente estendia-se continuamente ao longo da costa brasileira. No decorrer dos anos grande parte deste bioma foi destruído e as florestas que antes cobriam áreas enormes foram reduzidas a várias subdivisões florestais pequenas e distantes entre si (GASON et al., 2000).

A fragmentação da Mata Atlântica limita a migração e a colonização de espécies, necessárias para a conservação das populações. Mudanças na vegetação geram desequilíbrio no ecossistema, pois as características intrínsecas da nova vegetação influenciam negativamente nos processos físicos, químicos e biológicos do solo (CASSIOLATO et al., 2010). Essa degradação ambiental é causada especialmente devido as ações antrópicas.

A revegetação é fundamental para estabelecer uma conectividade entre fragmentos florestais e para melhorar as condições do solo, sendo por isso recomendada esta ação em áreas degradadas utilizando espécies nativas, evitando assim mudanças na vegetação que possam levar a desequilíbrios ecológicos (CASSIOLATO et al., 2010; TABARELLI et al., 2005).

Desta forma, para se obter um maior número de sementes que gerem plantas viáveis, deve-se buscar maneiras que levem a germinação em curtos intervalos de tempo (VENÂNCIO et al., 2013).

O processo de germinação é decorrente de uma sequência de eventos fisiológicos no embrião, iniciando-se pela embebição e subsequentemente na protrusão da radícula dos envoltórios da semente (FERREIRA et al., 2004).

Para que ocorra a germinação deve-se ter, entre outras condições, a presença de luz e a disponibilidade de água e oxigênio. Porém, mesmo que estas condições estejam presentes, o

processo de germinação pode não ocorrer para muitas espécies, sendo estas denominadas dormentes por não apresentarem capacidade de germinar em determinado período de tempo na presença de condições ambientais favoráveis (BASKIN et al., 2004; CARDOSO, 2009).

A dormência é uma estratégia evolutiva de sobrevivência que visa proteger a espécie, uma vez que a germinação só passa a ocorrer em situações que aumentem a possibilidade de obtenção de uma planta saudável (MORI et al., 2012).

Encontrada na Mata Atlântica, a espécie arbórea *Senna multijuga* (Rich.) H. S. Irwin & Barneby conhecida popularmente como pau-cigarra é pertencente à família Fabaceae que, por ser pioneira, é recomendada na revegetação de áreas degradadas (LORENZI, 2008), uma vez que espécies nativas reduzem o impacto ambiental e conservam a biodiversidade em um processo de recuperação de áreas degradadas (CARNEIRO et al., 1998; BARBOSA et al., 2003).

Utilizar sementes de *S. multijuga* (Rich.) H. S. Irwin & Barneby na revegetação não é simples, pois esta espécie apresenta dormência física devido ao envoltório impermeável à água, que dificulta a embebição e o início do processo de germinação (PINTO, 2013).

São usadas várias técnicas para se quebrar a dormência de sementes. No caso das sementes de *S. multijuga* (Rich.) H. S. Irwin & Barneby as mais usadas são: imersão em água a 100°C por 48 horas (CARVALHO, 1994; MORI et al., 2012) e ácido sulfúrico para a escarificação do tegumento (PINTO, 2013).

Pinto et al. (2013) também realizou um estudo com sementes de *S. multijuga*, utilizando diferentes tratamentos para quebra de dormência, como escarificação mecânica (lixadas na região hilar), escarificação térmica (30 minutos de imersão em água fervente) escarificação química (ácido sulfúrico concentrado por 5 minutos). O melhor resultado foi alcançado em sementes que foram imersas em ácido sulfúrico concentrado por 5 minutos, obtendo-se uma taxa de germinação de 92% das sementes.

Como a dormência de sementes impede que a germinação ocorra de maneira uniforme, buscar técnicas para quebrar a dormência de sementes de forma rápida, com baixo risco para o ambiente e para o operador e com elevada eficácia é um grande desafio.

Estudos mostram que a aplicação de ultrassom de baixa frequência em meio líquido facilita a absorção de água pelas sementes, com consequente aumento na taxa de germinação e de crescimento (YALDAGARD et al., 2008; VENÂNCIO et al., 2015). Entretanto a intensidade e tempo aplicados causam diferentes graus de influência no processo de germinação (PASSOS

et al., 2013; VENÂNCIO et al., 2016), podendo inclusive levar a danos graves na semente o que pode até impedir a germinação.

Venâncio et al. (2016) realizaram testes com sementes de *Senna multijuga* avaliando os diferentes tempos no banho de ultrassom, obtendo um maior número de sementes germinadas nos grupos que sofreram tratamento ultrassônico quando comparado ao grupo que não sofreu nenhum tipo de tratamento.

Na literatura muitos trabalhos não identificam qual o tipo dos equipamentos de ultrassons utilizados (PASSOS et al.2013; YU et al., 2016) e alguns indicam o uso do banho de ultrassom (BAPTISTA et al., 2017; VENÂNCIO et al., 2016) para acelerar a germinação das sementes.

Diante do exposto, nota-se que a quebra de dormência utilizando ultrassom de baixa frequência se apresenta com potencial promissor para o processo de germinação e o crescimento inicial de mudas utilizadas para a revegetação de áreas degradadas, sendo necessário se aprofundar na avaliação do efeito do processo, bem como a sua eficiência quando comparado com os métodos tradicionais. O presente trabalho traz uma contribuição para a literatura ao apresentar dados e estudos inéditos com a sonda de ultrassom para quebrar a dormência de sementes de *S. multijuga*.

2. *Objetivos*

2.1. **Objetivo geral**

- Estudar e avaliar a quebra da dormência pela aplicação de ultrassom por meio de banho e sonda, identificar o seu efeito sobre a germinação de sementes de *S. multijuga*, bem como a eficiência da técnica e comparar com a literatura.

2.2. **Objetivos específicos**

- Levantar dados relativos à eficácia do uso de ultrassom na quebra de dormência de sementes de *S. multijuga*;
- Avaliar o efeito da sonda de ultrassom sobre a germinação de sementes de *S. multijuga*;
- Avaliar o vigor das sementes submetidas à aplicação do banho e da sonda de ultrassom;
- Avaliar e comparar o desempenho do uso de ultrassom em banho e por sonda;
- Comparar os resultados obtidos com o uso de ultrassom e com escarificação química.

3. Revisão de Literatura

3.1. Revegetação

Os biomas mais ricos em biodiversidade do planeta encontram-se no Brasil: Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal (Figura 1). A Mata Atlântica é o mais ameaçado em comparação aos demais e, desperta grande interesse por parte do ser humano devido a sua vasta biodiversidade (LAGOS et al., 2007; ANDRADE et al., 2014).

A Mata Atlântica apresenta cerca de 22.300 espécies diferentes de plantas e animais, das quais 38% são consideradas endêmicas (RIBEIRO et al., 2009; FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 2013). Segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2011) apenas em torno de 7,8 % da área original desse bioma permanece preservada (Figura 2), e reduzida a vários fragmentos florestais de pequena extensão e distantes entre si (GASCON et al., 2000).

Na Mata Atlântica do estado de São Paulo há aproximadamente 2.000 espécies arbóreas identificadas, das quais 10% sofrem risco de extinção, mostrando a urgência da preservação, conservação e restauração de áreas degradadas (RIBEIRO et al., 2011; BARBOSA, 2006).

Figura 1 – Mapa com as localizações dos biomas brasileiros.

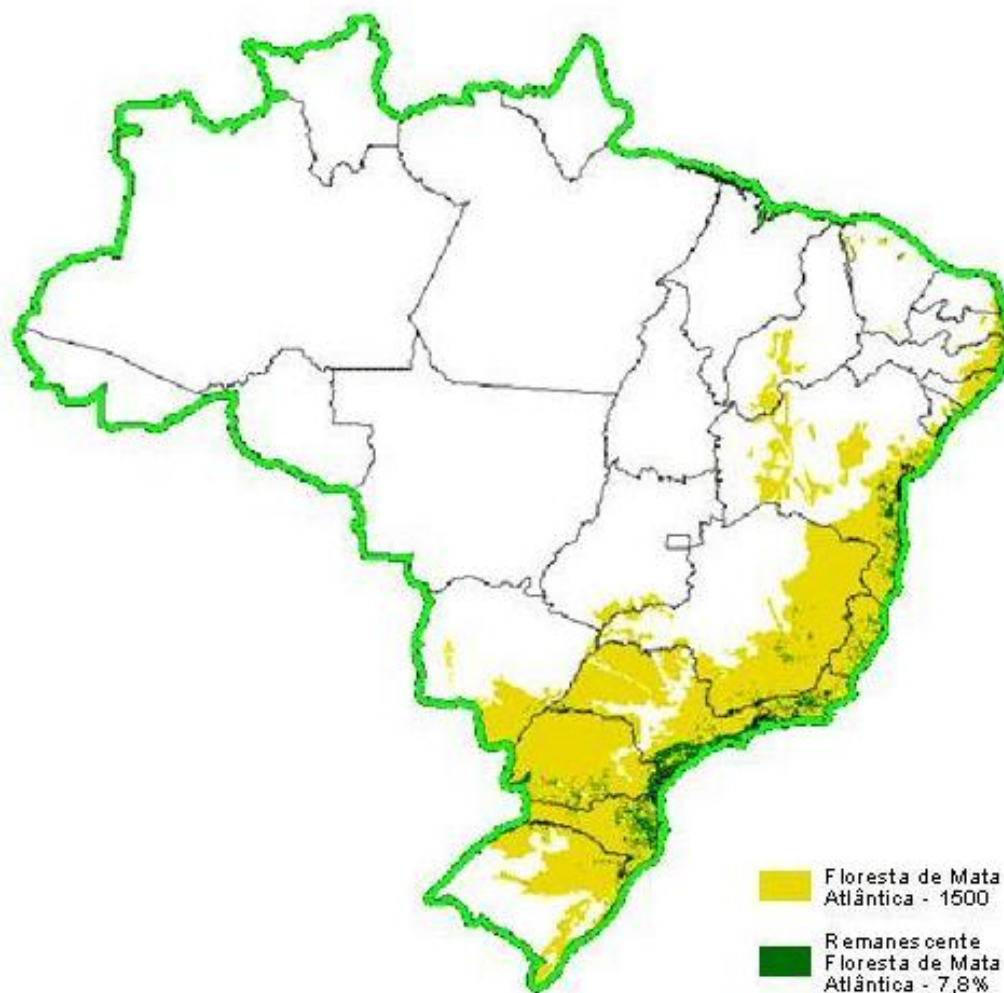


Fonte: Disponível em: < <https://www.estudopratico.com.br/biomas-brasileiros-o-que-e-caracteristicas-mapa/> >. Acesso em: 23 set. 2019.

A fragmentação de habitats é uma grande ameaça à diversidade biológica, sendo responsável pela extinção desenfreada de inúmeras espécies, por causar danos irreversíveis (BRANDON et al., 2005). Em decorrência da fragmentação surge o efeito de borda, que altera os fatores ambientais, causando a alta incidência de luz em locais antes cobertos por vegetação, aumentando a temperatura local, diminuindo a umidade e aumentando a velocidade dos ventos (KAPOS, 1989).

Modificações na composição da flora alteram consequentemente a fauna, afetando funções ecológicas como predação, parasitismos, herbivoria, polinização e dispersão de sementes (AIZEN et al., 1994; CUNNINGHAM, 2000).

Figura 2 – Mapa comparativo entre a área de cobertura vegetal original de Mata Atlântica e a remanescente que ainda permanece preservada.



Fonte: Disponível em: <<https://novaescola.org.br/conteudo/5482/ambiente-e-acao-humanas-florestas>>. Acesso em: 23 set. 2019.

O desmatamento contribui para um rápido empobrecimento dos solos devido a lixiviação que atingem com facilidade superfícies desmatadas, causando também erosão (MARTINS et al., 2016) (Figura 3). Para melhorar as condições do solo em áreas degradadas é recomendado a revegetação do local (SCABORA et al., 2010).

Figura 3 – Área degradada com erosão.



Fonte: Autoria própria

Para que ocorra a recuperação de áreas degradadas, através da revegetação, uma estratégia é utilizar espécies de rápido crescimento e, que sejam capazes de melhorar o solo, depositando matéria orgânica e reciclando nutrientes (FRANCO, 1991; SCHIAVO, 2005). As folhas que caem e o crescimento de raízes de espécies pioneiras estabilizam o solo, aumentam a atividade biológica do mesmo e consequentemente criam condições favoráveis para o desenvolvimento de outras espécies mais exigentes (FRANCO et al., 1992; SCHIAVO, 2005).

Dentre as espécies pioneiras, as leguminosas têm se destacado na revegetação de áreas degradadas. A *S. multijuga* é um exemplo disso, devido a adaptação desta espécie a diversos solos, sendo própria para utilização em revegetação de áreas degradadas e matas ciliares, como também para a arborização urbana (LORENZI, 2008).

3.2. Sementes

A semente é o órgão responsável pela dispersão e perpetuação das espermatófitas (plantas que produzem sementes), sendo originada do processo de fecundação, desenvolvimento e amadurecimento do óvulo. O início da formação das sementes ocorre nas flores, com a fertilização dos óvulos, momento responsável pela recombinação genética de

gametas masculino e feminino, assegurando uma variabilidade genética favorável à adaptação das espécies (MORAES, 2007).

A abertura do botão floral indica a maturidade sexual da planta. Após ocorrer a dupla fecundação nas angiospermas, a parede do ovário transforma-se em fruto, o zigoto transforma-se em embrião, o núcleo endospermático origina o endosperma (tecido de reserva) e os integumentos do óvulo transformam-se em tegumentos ou testa da semente (RAVEN et al., 2001).

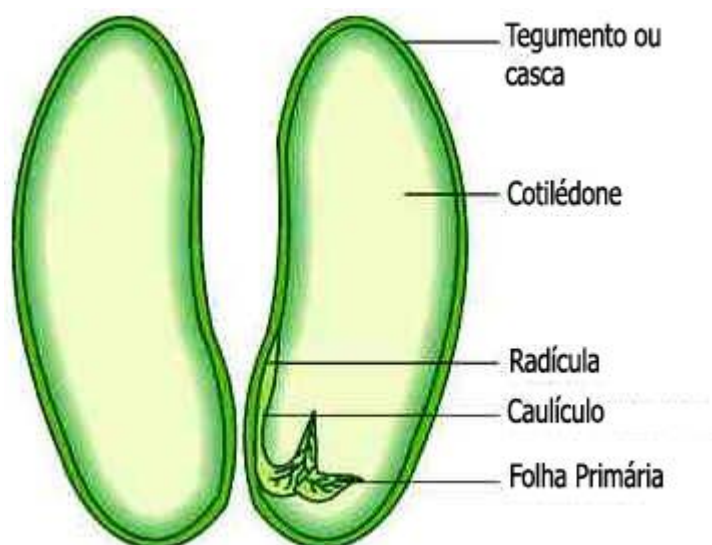
O genótipo é responsável por influenciar diretamente a qualidade fisiológica das sementes. Entretanto o meio pode contribuir para manter ou perder esta qualidade fisiológica, pois a partir da maturação as alterações degenerativas começam a ocorrer, e dependendo das condições de armazenamento, dos cuidados durante a colheita e da secagem a qualidade pode ser perdida (MARCOS FILHO, 2005).

Alterações no eixo embrionário são decorrentes da perda da qualidade das sementes, que consequentemente afeta a germinação, o vigor da população de plantas produzidas e dificulta a implantação das culturas (MORAES, 2007).

As sementes do ponto de vista funcional, independentemente do tamanho, são constituídas de três componentes (MORAES, 2007) (Figura 4):

- O tecido protetor é a estrutura externa que delimita a semente, denominado de tegumento. Dentre as suas funções, é responsável por manter as partes internas da semente unidas, por proteger as partes internas contra choques e abrasões, por evitar a entrada de microrganismos na semente, por regular a velocidade de reidratação da semente, por regular a velocidade das trocas gasosas (oxigênio e gás carbônico) e por regular a germinação, através do mecanismo de dormência.
- O eixo embrionário é a parte vital da semente, é capaz de iniciar divisões celulares, de crescer e formar um novo indivíduo adulto. O crescimento inicia em duas direções, para as raízes e para o caule. O embrião é formado pelo eixo embrionário e cotilédones (tecido de reserva). A extremidade inferior do eixo do embrião pode apresentar características nítidas de folha, caule e raiz, sendo denominados de folha primária, caulículo e radícula respectivamente.
- O tecido de reserva atua como reservatório e como fornecedor de compostos orgânicos em formas simples, que podem ser utilizadas pelo eixo embrionário desde o início da germinação até que a plântula se torne autotrófica. No caso da *S. multijuga* que é uma espécie dicotiledôneas está localizado nos cotilédones.

Figura 4 – Estrutura da semente de dicotiledônea.



Fonte: Disponível em: <<http://www.portalsaofrancisco.com.br/biologia/semente>>. Acesso em: 01 mar. 2018.

As sementes têm a função de contribuir com a dispersão e a sobrevivência de plantas sob condições ambientais favoráveis ou desfavoráveis. São responsáveis pela perpetuação da espécie, e quando são florestais podem produzir mudas para serem utilizadas na revegetação de áreas degradadas, mantendo a biodiversidade local. No Brasil é importante obter uma grande quantidade e variedade de sementes para revegetação, pois o país possui biomas com alta biodiversidade que sofrem cada vez mais com a ação antrópica desenfreada (VENÂNCIO et al., 2015).

3.3. *Senna multijuga* (Rich.) H. S. Irwin & Barneby

A família Fabaceae pode ser considerada a terceira maior família de angiospermas do planeta e uma das principais do ponto de vista econômico, sendo dividida em três subfamílias: Faboideae, Caesalpinioideae e Mimosoideae. Essa família apresenta distribuição cosmopolita, com aproximadamente 727 gêneros e 19.325 espécies, tendo como principal característica a presença de frutos em forma de vagem (LEWIS et al., 2005). É uma das principais famílias que compõem a flora brasileira, sendo que no país são encontrados aproximadamente 221 gêneros e 2.802 espécies pertencentes a essa família (LIMA, 2000; Flora do Brasil 2020, 2017).

S. multijuga é uma espécie arbórea pertencente à família Fabaceae e à subfamília Caesalpinioideae, conhecida popularmente como pau-cigarra (LORENZI, 2008), sendo nativa da Mata Atlântica. É uma planta decídua durante o inverno, heliófita, pioneira e indiferente às condições físicas do solo, sendo por isso utilizada na revegetação de áreas degradadas de preservação permanente (LORENZI, 2008; SOUZA et al., 2017). Também pode ser utilizada na arborização de ruas, parques e jardins, devido ao pequeno porte e forma estreita da copa (CARVALHO, 2004).

A árvore dessa espécie atrai muita atenção pela floração que ocorre de dezembro a abril, caracterizada pelas flores amarelas e perfumadas que revestem inteiramente sua copa (Figura 5).

Figura 5 – Árvore de *S. multijuga* com sua floração amarela.



Fonte: Autoria própria.

Nos meses de maio a agosto o fruto dessa espécie amadurece, sendo um legume reto, achatado lateralmente na forma de vagem, com coloração castanho escuro, deiscente, com 9 a 18 cm de comprimento. Suas sementes são planas, lustrosas e achatadas, apresentam coloração pardo-esverdeada, com 5 a 8 mm de comprimento e dormência tegumentar (CARVALHO,

2004) (Figura 6). As sementes ainda são caracterizadas por apresentarem ápice arredondado, levemente truncado, com base afinada e reentrante na região hilar. No centro da semente há uma aréola de coloração marrom-escura circundada pelo pleurograma fechado (AMORIN et al., 2008).

Figura 6 – Sementes de *S. multijuga*.



Fonte: Autoria própria.

3.4. Germinação

O termo germinação pode ter diversas definições, de acordo com a área de investigação. Do ponto de vista botânico a germinação é um processo biológico constituído pela retomada do desenvolvimento do embrião, que compreende uma sequência de atividades metabólicas, tendo início com a embebição e culminando com o rompimento do tegumento pela radícula (LABOURIAU, 1983; MORAES, 2007).

A análise da germinação em laboratório tem como objetivo estimar o número máximo de sementes que germinam sob condições de temperatura constante, substrato, umidade e aeração padronizados, para que os testes possam ser reproduzidos e comparados (BRASIL, 2009). Estas análises possibilitam uma germinação regular, mais rápida e completa das

amostras em estudo. Testes de germinação em condições de campo podem apresentar resultados errôneos, alterados por causa das variações das condições ambientais.

Em laboratório os substratos devem ter a capacidade de reter água, serem esterilizados e apresentarem Potencial Hidrogeniônico (pH) entre 6,0 e 7,5, sendo o papel (filtro e manta-borrão) e a areia, os mais utilizados. A água para umedecer o substrato deve ser livre de impurezas e apresentar pH entre 6,0 – 7,5 (BRASIL, 2009). As câmaras de germinação, assim como todos os materiais utilizados, devem ser limpas para evitar contaminação nos testes. A luz e a temperatura devem ser controladas e variarem de acordo com a espécie estudada.

A germinação inicia quando as sementes estão maduras e em condições ambientais adequadas. Alguns fatores externos são necessários para que ocorra a germinação, como disponibilidade de água, oxigênio, temperatura e luz (FOWLER et al., 2000). Sementes que germinam nessas condições são consideradas quiescentes, já as que não germinam nessas condições são consideradas dormentes, por apresentarem alguma outra restrição que impede a germinação (PINTO, 2013).

3.4.1. Dormência das sementes

Uma semente é considerada dormente quando ocorre uma interrupção temporária no seu desenvolvimento (MOLIZANE, 2012). A dormência é uma característica que foi adquirida provavelmente durante a evolução através da seleção natural, para que a espécie possa sobreviver em ambientes adversos, como calor, frio ou seca (SILVA, 2003). Essa característica é considerada uma estratégia benéfica, pois aumenta a probabilidade de sobrevivência da espécie por causa da distribuição da germinação ao longo do tempo, e pode estar relacionado aos fatores físicos, fisiológicos e morfológicos das sementes (PINTO, 2013).

Existem dois tipos de dormência, exógena (tegumentar) e endógena (embrionária). A dormência exógena é a mais comum, e está relacionada com a impermeabilidade do tegumento a água, devido a presença de inibidores químicos no tegumento e a resistência mecânica deste ao crescimento embrionário. Já a endógena está relacionada à presença de embrião imaturo ou mecanismo de inibição fisiológica que impede seu desenvolvimento (CARVALHO, 2004). Em algumas espécies os dois tipos de dormência podem ocorrer simultaneamente ou sucessivamente nas sementes (CARVALHO, 2004).

A dormência exógena está associada a fatores físicos, químicos ou mecânicos (MENEZES et al., 2009). Quando associada a fatores físicos é causada pela presença de tecidos localizados na parte externa do embrião, sendo impermeáveis à água e gases (BASKIN et al., 2004). Esta impermeabilidade é causada por uma camada de células alongadas e justapostas com diferentes graus de espessamento, denominadas de macroesclereides, que podem ou não estar impregnadas por lignina (CORNER, 1976; FERREIRA et al., 2004) e por outras substâncias hidrofóbicas (ROLSTON, 1978; MORRISON et al., 1998; BASKIN, 2003). Na natureza seres vivos presentes no solo, como fungos e bactérias, podem minimizar este tipo de dormência ao degradarem o tegumento das sementes de algumas espécies.

Os tratamentos mais utilizados para quebrar a dormência exógena são: escarificação mecânica, escarificação química (ácido sulfúrico) e escarificação térmica (FOWLER et al., 2000).

Condições ambientais também podem influenciar na quebra da dormência física e iniciar a germinação, como por exemplo, variação de temperatura entre dia e noite, longo período de seca após dias chuvosos, altas e baixas temperaturas e contato com o fogo podem agir sobre o tegumento da semente, romper a barreira física e facilitar a entrada de água, contribuindo para que ocorra a germinação (BASKIN et al., 2001). Alguns animais frugívoros também podem contribuir para quebra de dormência das sementes, através da passagem pelo seu trato digestivo (ROBERTSON et al., 2006).

Sementes de *S. multijuga* apresentam dormência física, sendo descritos diversos tratamentos para a superação dessa dormência. Nas sementes que sofrem tratamentos para quebrar a dormência a germinação pode chegar a 80% (LEMOS-FILHO et al., 1997). Já as sementes que não recebem nenhum tratamento atingem apenas em torno de 40% de germinação (CARVALHO, 2004).

Para sementes de *S. multijuga* os principais tratamentos utilizados para quebra de dormência e, conseqüentemente, facilitadores na absorção de água pelas sementes são:

- Escarificação química (ácido sulfúrico): as sementes são imersas em ácido sulfúrico concentrado, por 5 minutos, posteriormente são lavadas em água corrente e colocadas para germinar (PINTO, 2013). O ácido em contato com o tegumento duro da semente leva a sua ruptura (FERREIRA et al., 2004).
- Escarificação mecânica: as sementes são submetidas a abrasão geralmente por lixa que desgasta seu tegumento (SEIFFERT, 1982; PINTO, 2013), propiciando condições para que absorva água e inicie o processo de germinação. Sementes com impurezas (presença

de agentes contaminantes) comprometem a eficácia do tratamento, por isso a pureza do lote é extremamente importante.

- Escarificação térmica (água quente ou fervente): a água é aquecida até 100°C, onde as sementes são imersas e, em seguida permanecem por 48 horas na água sem aquecimento, submetendo as sementes a um choque térmico que enfraquece a estrutura tegumentar e possibilita a absorção de água. (ULHÔA et al., 1993; CARVALHO, 1994; FOWLER et al., 2000).

3.5. Ultrassom

Ultrassons são ondas mecânicas com frequência maior que 20 kHz que se propagam em ciclos sucessivos de compressão e rarefação através de qualquer meio material e que não são ouvidas pelo ser humano (FU, 2009; WHEATLEY, 1990).

Em meios aquosos, ultrassons induzem atividade cavitacional que por interação mecânica agem na superfície de materiais (VINATORU et al., 1997; YALDAGARD et al., 2008).

A seguir descreve-se uma breve descrição da história do desenvolvimento da área de ultrassom e em seguida são apresentadas algumas de suas características.

No ano de 1880, os físicos Pierre e Jacques Curie descobriram o ultrassom estudando o efeito piezelétrico. Através da aplicação de uma pressão mecânica sobre a superfície de certos cristais com um potencial elétrico entre superfícies opostas que produziu o ultrassom (SANTOS et al., 2012).

Os pesquisadores Thornycroft e Barnaby em 1894 observaram que na propulsão de mísseis lançados por destróier era gerada uma fonte de vibração que causavam a implosão de bolhas.

Em 1912, o SONAR (Sound Navigation And Ranging) foi desenvolvido pelo físico Langevin que é um equipamento que envia pulsos de ultrassom da quilha de um barco para o fundo do mar e esta onda é refletida para um detector, também situado no barco (SORIANO, 2006; MARTINES et al., 2000), o que permite mapear o fundo do mar e localizar objetos que possam causar danos a embarcação.

O SONAR foi aprimorado para fins militares durante a Segunda Guerra Mundial, período em que também foi desenvolvido o RADAR (Radio Detection and Ranging),

equipamento que utiliza o eco de ondas de rádio para determinar as distâncias e localizar objetos no ar (SANTOS et al., 2012).

As ondas sonoras são transmitidas apenas quando há uma substância (ou meio) que seja comprimida, por isso que o som não se propaga através do vácuo, e os meios líquidos transmitem melhor o som do que o ar (SANTOS et al., 2012)

O som ao se propagar em um meio cria regiões compreensivas e rarefeitas. Durante a compressão, as moléculas se aproximam, enquanto durante a rarefação as moléculas se afastam. Em um líquido, se a pressão de rarefação (pressão negativa) for maior que as forças coesivas entre as moléculas (tensão superficial) são geradas as bolhas de cavitação que crescem durante os ciclos de rarefação e colapsam durante os ciclos de compressão. O colapso das bolhas provoca a liberação de grande quantidade de energia, gerando temperaturas locais muito elevadas de aproximadamente 5000°C e pressões acima de 2000 atmosferas (MASON e LORIMER, 2002; CHITARRA, 2013).

Nos sistemas de 25 kHz o diâmetro médio destas bolhas são de 36 μm . Já nos sistemas de 40 kHz o tamanho das bolhas de cavitação é bem menor, sendo da ordem de 26 μm . Assim, as bolhas oriundas do sistema de 40 kHz tem uma maior capacidade de penetração, por serem em maior número e menores, apesar de resultarem em implosões menos violentas (ARAÚJO FILHO, 2013).

Os diâmetros das bolhas de cavitação também podem variar em função da densidade, da tensão superficial do líquido, da quantidade de gases contidos na solução, da temperatura e da viscosidade (VENÂNCIO et al., 2015).

Atualmente o ultrassom tem inúmeras aplicações na medicina, biologia e engenharia.

Na indústria é utilizado para limpeza de materiais, solda de plásticos, processos químicos, preparação de emulsão e suspensão, e obtenção de informações sobre defeitos, fraturas e aglomerados.

Em hospitais, é usado para o diagnóstico por imagem e estimulação de calo ósseo. Quando aplicado na área da biologia, é empregado para o rompimento de paredes de células e na homogeneização de amostras líquidas (VENÂNCIO et al., 2016).

Na área ambiental prevê-se um futuro promissor para as aplicações do ultrassom uma vez que a cavitação ultrassônica pode ser utilizada para quebrar a dormência de sementes, ao possibilitar a absorção de água pelas sementes, o que acarreta a germinação (GORDON, 1963; YALDAGARD et al., 2008; VENÂNCIO et al., 2016). Esta metodologia contribui para aumentar a velocidade de germinação e o desenvolvimento de plântulas (PASSOS et al., 2013),

entretanto deve ser levada em consideração a intensidade aplicada, pois uma intensidade excessiva pode causar danos graves à semente, impedindo a germinação (VENÂNCIO et al., 2016). A utilização do ultrassom traz muitos benefícios, tais como rapidez, não geração de resíduos nocivos ao meio ambiente e fácil manipulação (VENÂNCIO et al., 2015).

Em laboratório geralmente são utilizados dois tipos de equipamentos capazes de gerar ondas ultrassônicas: o “banho” e a “sonda” (Figura 7). O primeiro é geralmente utilizado para limpeza de materiais. Por possuir um transdutor piezoelétrico preso no fundo da cuba, sua energia é mais dispersa. A “sonda” é geralmente utilizada para romper membrana celular, liberando assim o material intracelular de interesse. Esta sonda fica fixada na extremidade do amplificador do transdutor, podendo ter assim um contato mais próximo da amostra, sendo considerada uma abordagem mais eficiente do que o banho, já que possui uma liberação de energia mais concentrada quando comparada ao do banho (BARBOZA et al., 1992; VENÂNCIO, et al., 2015).

Figura 7 – Equipamentos de ultrassom de baixa frequência: (A) banho e (B) sonda.



Fonte: Autoria própria.

4. Material e Métodos

4.1. Materiais

4.1.1. Material vegetal: sementes

Foram utilizadas sementes de *S. multijuga* compradas de dois fornecedores de diferentes localidades, o fornecedor 1 (Santa Catarina) e o fornecedor 2 (Paraná).

Os lotes foram inicialmente avaliados através de testes de germinação, onde as sementes foram colocadas em caixa gerbox sobre duas folhas de papel filtro umedecido com água destilada, sendo acompanhado o percentual de germinação de cada um dos lotes. Sementes compradas do fornecedor 2 foram as que apresentaram maior percentual de germinação e consequentemente maior número de plântulas normais. Posteriormente foram adquiridos outros lotes de sementes deste mesmo fornecedor, que foram utilizadas para compor toda a parte experimental deste estudo.

4.1.2. Ultrassom

Foram utilizados dois equipamentos de ultrassom de baixa frequência: o banho e a sonda de ultrassom (ver Figura 7 do Capítulo 3).

O banho de ultrassom utilizado é da marca BioWash, modelo STD, possui uma cuba com capacidade de 2,5 l, potência de 160 Watts e, frequência constante de 42 kHz. O transdutor piezoelétrico fica preso no fundo da cuba, o que leva a uma maior dispersão de energia.

O equipamento de sonda de ultrassom utilizada é da marca Eco-Sonics, modelo QR500, com macroponta, potência de 500 Watts e, frequência constante de 20 kHz. A sonda é fixada na extremidade do amplificador do transdutor piezoelétrico, possibilitando um contato mais próximo da amostra e menor dispersão de energia.

4.2. Métodos

4.2.1. Germinação

4.2.1.1. Superação de dormência com ultrassom e germinação

O teste foi realizado em câmara de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) com luz branca constante a 30°C, durante 35 dias. As sementes foram distribuídas em caixas de plástico transparente (gerbox), sobre duas folhas de papel filtro umedecido com água destilada. Posteriormente foi borrifado fungicida sob as sementes, que em um frasco de 15 gramas apresenta em sua composição 0,013 gramas de azul de metileno e 0,229 gramas de formaldeído (solução a 40%), componentes responsáveis por diminuir a proliferação de fungos.

As sementes foram divididas em três grupos: o grupo controle, o grupo que sofreu tratamento com o banho de ultrassom e o grupo que sofreu tratamento com a sonda de ultrassom.

O grupo controle foi composto por dois subgrupos, descritos a seguir:

- GC1 – sementes que não sofreram nenhum tipo de tratamento para quebra de dormência;
- GC2 – sementes que sofreram quebra de dormência por escarificação química ao ficarem imersas em ácido sulfúrico concentrado por 5 minutos e posteriormente lavadas com água corrente conforme indicação de Pinto (2013).

Para cada sub-grupo foram utilizadas uma amostra de 5 repetições de 35 sementes cada, totalizando 350 sementes do grupo controle (175 para GC1 e 175 para GC2).

O segundo grupo sofreu tratamento com banho de ultrassom de baixa frequência a temperatura inicial de 25°C, em diferentes tempos de imersão (2 e 4 min) em 1.000 mL de água destilada. Para cada tempo de imersão foram utilizadas 5 repetições de 35 sementes cada, totalizando 350 sementes nesse grupo. Como no banho de ultrassom a energia sofre maior dispersão devido a maior quantidade de água, foram realizados testes preliminares para se mapear a distribuição de energia das bolhas de cavitação, colocando-se uma folha de papel alumínio submerso na água e paralela ao fundo do equipamento. A partir da evolução temporal do aparecimento de buracos no papel alumínio, percebeu-se que no centro da cuba é liberada a maior quantidade de energia. Assim, os testes com as sementes foram realizados com o auxílio de um recipiente de acrílico com capacidade volumétrica de 450 mL, para concentrar as sementes, buscando mantê-las na região com maior concentração de energia cavitacional imersas em 80 mL de água destilada.

O terceiro grupo foi composto de sementes que passaram pelo tratamento com a sonda de ultrassom com baixa frequência, a temperatura inicial de 25°C, diferentes potências (250, 350 e 450 watts) com imersão em 70 mL de água destilada em por 5 minutos. Para cada potência da sonda de ultrassom foram utilizadas 5 repetições de 35 sementes, totalizando 525 sementes nesse grupo.

Após a análise dos resultados do terceiro grupo, foram realizados novos testes com sementes na sonda de ultrassom, apenas com a potência de 350 watts, a temperatura inicial de 25°C, em diferentes tempos de imersão (2, 3, 4 e 6 min) em 70 mL de água destilada. Para cada tempo de imersão foram utilizadas 5 repetições de 35 sementes cada, totalizando 700 sementes nesse grupo.

As avaliações foram realizadas a partir do 7º dia após a instalação do teste, considerando o número de sementes emitindo radícula (Figura 8) para a determinação da porcentagem de germinação. Além do percentual de germinação, também foram avaliados:

- a) percentual de plântulas normais (Figura 9) (aquelas que mostram potencial para continuar o seu desenvolvimento e dar origem a plantas normais, isto é, não apresentam nenhuma má formação);
- b) Índice de Velocidade de Germinação (IVG) (MAGUIRE, 1962) através da equação apresentada a seguir:

$$IVG = \frac{G_1}{N_1} + \frac{G_2}{N_2} + \dots + \frac{G_n}{N_n} \quad (1)$$

onde $G_1, G_2, \dots, G_n$ são os números de sementes germinadas computadas na primeira contagem, na segunda contagem, até a contagem n e, $N_1, N_2, \dots, N_n$ são os números de dias de semeadura na primeira, segunda, até a contagem n (LIN, 1988).

Figura 8- Germinação de sementes de *S. multijuga*. Círculos vermelhos representam exemplos de sementes emitindo radícula.



Fonte: Autoria própria.

Foram realizados testes para avaliar se a temperatura da água sofreu alterações a ponto de também influenciar a quebra de dormência das sementes. Em todos os tempos e potências testadas seja no banho ou na sonda de ultrassom, a temperatura da água foi medida com o auxílio de um termômetro digital.

Figura 9 – Germinação de sementes de *S. multijuga* com formação de plântulas normais.



Fonte: Autoria própria.

4.2.2. Análise estatística dos dados

A análise estatística serve para comprovar os resultados de uma maneira mais criteriosa, testando a sua hipótese através de testes paramétricos ou não paramétricos. Os testes paramétricos utilizam os parâmetros da distribuição para o cálculo de sua estatística e são os mais utilizados por serem os mais rigorosos e possuírem mais pressuposições para sua validação. Os testes não paramétricos utilizam postos atribuídos aos dados ordenados para o cálculo da sua estatística, são livres da distribuição de probabilidades dos dados estudados, não são tão rigorosos quanto os paramétricos e por isso podem acabar ocultando informações (REIS et al., 2007).

Antes de se realizar testes paramétricos deve-se verificar se as amostras seguem uma normalidade. Na análise estatística o teste de normalidade verifica se os dados seguem uma distribuição normal ou não. A normalidade é uma característica dos dados em que a maioria dos valores das amostras estão próximos ao valor médio de todas as amostras e a distribuição segue a expressão de uma curva de Gauss dada por:

$$f(x) = N \cdot e^{-\frac{(x-m)^2}{\Gamma^2}} \quad (2)$$

onde N é um fator de normalização, m é a média e Γ é o desvio padrão.

Logo a maioria das amostras apresentam valores próximos, sendo considerado uma distribuição normal de dados (MIOT, 2017).

Para verificar a normalidade dos dados de germinação e plântulas normais, foi aplicado o teste de Shapiro-Wilk, que é indicado para amostras pequenas ($n < 50$) e utiliza valores não agrupados, evitando assim a perda de informação. A distribuição é considerada normal quando o valor de $p > 0,05$ (SANTANA et al., 2004).

Mesmo as amostras não indicando uma normalidade deve-se analisar cuidadosamente todos os dados, pois muitas vezes não há necessidade de se substituir teste paramétricos por não paramétricos (REIS et al, 2007; BIANCONI et al., 2008)

A Análise de Variância (ANOVA) é um teste paramétrico que indica a medida de dispersão, ou seja, quanto os valores se distanciam da média, sendo usada quando se tem um Y numérico e um X categórico com mais de dois níveis. O teste indica a variação dentro de cada tratamento e entre os tratamentos, mas não identifica qual ou quais tratamentos diferem entre si. O teste F (teste de Fisher) que é o resultado do quadrado médio de cada tratamento dividido pelos resíduos, que nada mais é que o valor do quadrado médio entre os grupos dividido pelo valor de quadrado médio dentro dos grupos. A partir do valor de F é possível saber se há diferenças significativas entre as amostras (SILVA, 2019).

O teste de Tukey também é um teste paramétrico, utilizado quando há até três conjuntos de médias para serem comparadas, mostrando quais tratamentos diferem entre si (REIS et al., 2016).

Após a análise dos resultados do teste de Shapiro-Wilk, os dados foram avaliados por meio da ANOVA e as médias comparadas pelo teste de Tukey, no nível de 5% de probabilidade de erro, pelos programas estatísticos Paleontological Statistics (Past) 2.17c. e Software Estatístico para análises (Sisvar) 5.6 (HAMMER et al., 2001; FERREIRA, 2011; MACHADO, 2012).

Quando o resultado do teste F realizado na ANOVA é significativo ($p < 0,05$), há diferença entre as médias dos tratamentos avaliados, de forma que existe pelo menos um par de médias diferentes, mas não se sabe quantas médias diferem e quais diferem. Por isso a necessidade de realizar posteriormente um teste que indique quais são as médias que diferem.

O teste de Tukey é muito rigoroso e de fácil aplicação. Este teste analisa médias de duas em duas, comparando tratamentos e não repetições dentro do mesmo tratamento, sendo utilizado para testar toda e qualquer diferença entre duas médias de tratamento. O teste tem como base a Diferença Mínima Significativa (DMS) do experimento, que é expressa na mesma unidade dos dados envolvidos e corresponde a um valor de referência para as comparações entre médias. As médias de dois tratamentos são consideradas estatisticamente diferentes quando a diferença entre elas superar a DMS calculada para o experimento (SANTANA et al., 2004).

Os programas estatísticos que geralmente realizam o teste de Tukey, representam as diferenças significativas entre as médias através de letras, quando as letras são iguais não há diferenças entre as médias, e quando as letras são diferentes há diferenças expressivas entre as médias dos tratamentos.

Através da comparação entre duas médias o programa estatístico apresenta os resultados em forma de matriz. Cada valor desta matriz é a chance de a diferença entre dois tratamentos ser devida ao acaso. Quando se considera o nível de significância de 5%, caso a probabilidade numa determinada célula desta matriz seja inferior ou igual a 0,05, a diferença entre os tratamentos marcados na linha e na coluna é expressiva (diferença é real e não devido ao acaso), caso contrário não há nenhuma diferença significativa (SANTANA et al., 2004).

5. Resultados e Discussão

Na primeira etapa da análise estatística o teste de Shapiro-Wilk confirma a distribuição normal para os tratamentos avaliados neste estudo (todos maiores do que 0,05), exceto para o grupo controle cuja probabilidade de significância foi de 0,0003. A Tabela 1 apresenta os valores obtidos para cada experimento do grupo controle no estudo de variação de cada um dos parâmetros analisados, onde pode-se notar que não existe uma grande variação dos valores obtidos. Destaca-se ainda que esses valores são muito diferentes dos obtidos nos tratamentos avaliados, como poderá ser observado nos resultados a serem apresentados. Desta forma, optou-se por utilizar a análise estatística paramétrica para análise de germinação de sementes para todos os grupos, buscando-se evitar, conforme Bianconi et al., 2008, a perda de informações.

Tabela 1 – Médias obtidas no grupo controle por repetição para cada um dos parâmetros analisados. ¹Porcentagem do número de plântulas normais.

Parâmetros analisados	Repetições				
	I	II	III	IV	V
IVG	0,78	0,93	0,57	0,47	0,49
Número de Plântulas Normais ¹	17,14	20,00	11,42	11,42	11,42
Porcentagem de Germinação	17,14	20,00	11,42	11,42	11,42

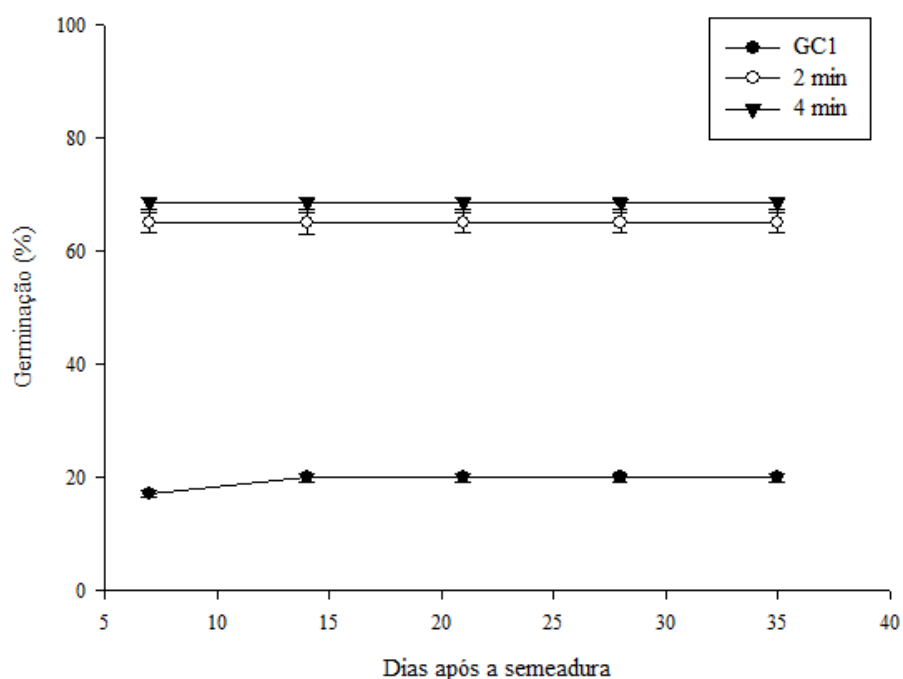
Fonte: Autoria própria

5.1. Banho ultrassônico

5.1.1. Variação com o tempo de imersão

Comparando os tempos no banho do ultrassom apresentados na Figura 10, observa-se que houve uma diferença muito pequena entre os tempos avaliados (2 e 4 minutos) em relação ao percentual de germinação das sementes. Das sementes que permaneceram por 2 minutos no banho de ultrassom, 65 % germinaram, já das sementes que permaneceram por 4 minutos sob a ação do ultrassom, 68% germinaram. As sementes que permaneceram por 4 minutos no ultrassom alcançaram esse resultado desde a primeira avaliação, 7 dias após a instalação do teste. Ao comparar sementes que sofreram tratamento com banho de ultrassom e sementes que não sofreram nenhum tipo de tratamento (sub-grupo GC1), nota-se que para essa espécie um tratamento para quebra de dormência é fundamental, pois das sementes que não sofreram tratamento apenas 20% germinaram.

Figura 10 – Germinação acumulada de sementes de *S. multijuga*, submetidas ao banho de ultrassom por 2 e 4 minutos, mostrando apenas o maior resultado que foi escolhido após o término do experimento. Barras de erro representam o erro padrão da média (n=5).



Fonte: Autoria própria

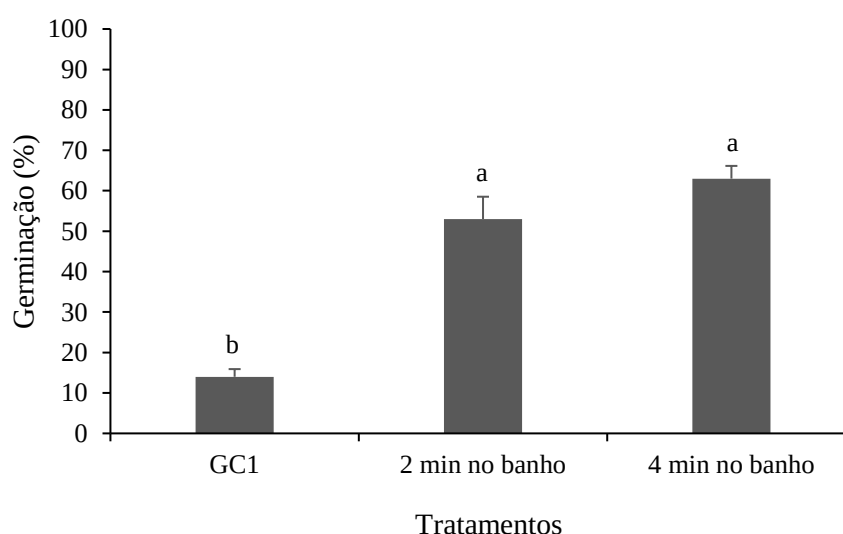
Segundo a ANOVA há uma diferença significativa entre os tratamentos avaliados (Tabela 2). Utilizando o teste de Tukey obteve-se que há uma diferença real e não ao acaso entre as sementes que sofreram o tratamento com diferentes tempos de imersão no banho de ultrassom e as sementes do grupo controle (Figura 11).

Tabela 2 – ANOVA para o percentual de germinação de sementes de *S. multijuga* do grupo controle e de sementes submetidas ao banho de ultrassom por 2 e 4 minutos, onde SQ = soma de quadrados; GL = graus de liberdade; QM = quadrado médio; F = teste de Fisher; p = probabilidade de significância. Ensaio com 5% de probabilidade de erro.

Fonte de variação	ANOVA				
	SQ	GL	QM	F	p
Entre grupos	6181	2	3090,5	6,024	0,01201
Dentro dos grupos	7695	15	513		
Total	13786	17			

Fonte: Autoria própria

Figura 11 - Percentual de sementes de *S. multijuga* expostas a 2 e 4 minutos no banho de ultrassom. Letras iguais indicam que não há diferenças significativas entre as médias, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Barras de erro representam o erro padrão da média (n=5).



Fonte: Autoria própria

Venâncio et al. (2016) observaram resultado semelhante em estudo com a mesma espécie e utilizando o banho de ultrassom em diferentes tempos (1, 2, 4, 8 e 10 minutos), quando os maiores percentuais de germinação foram alcançados por sementes que permaneceram por 2 e 4 minutos no banho de ultrassom. Os mesmos autores observaram também que sementes que permaneceram por um tempo menor ou maior no banho de ultrassom tiveram sua germinação afetada.

Passos et al. (2013) realizaram um estudo com sementes de *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud., utilizando diferentes tempos de permanência (2, 4, 8 e 16 min.) no banho de ultrassom e concluíram ao fim do estudo que 2 minutos foi o melhor tempo para essa espécie, alcançando os resultados mais elevados no percentual de germinação e no IVG. Outros estudos mostram que o banho de ultrassom também é eficiente na germinação de sementes de gramíneas, por promover a absorção de água pelas sementes, diminuindo o período de germinação (CHEN et al., 2012; KRATOVALIEVA et al., 2012).

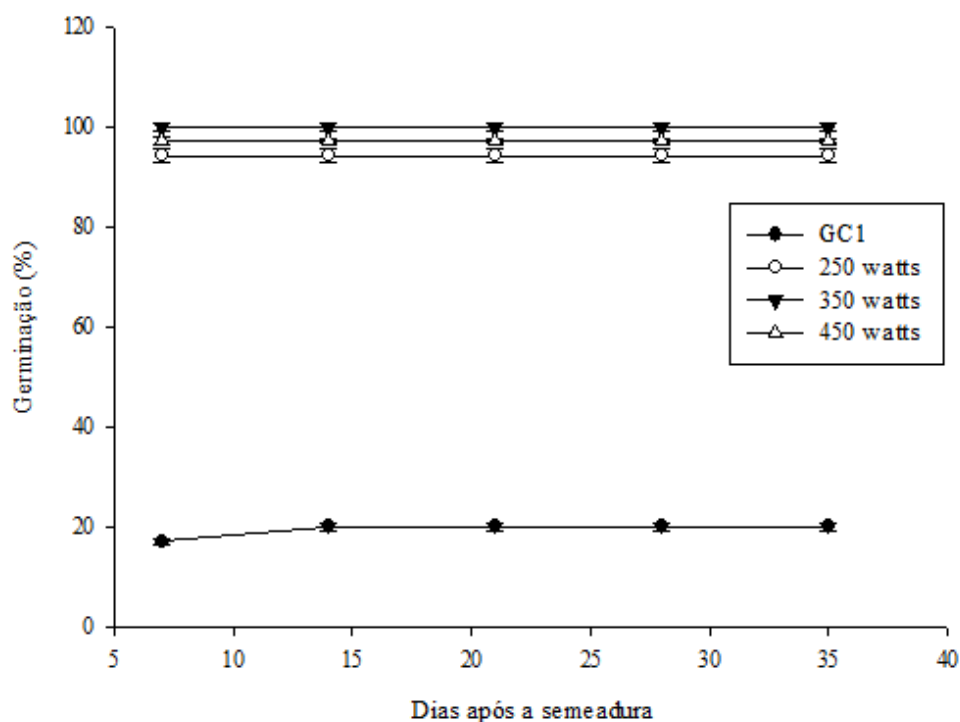
5.2. Sonda ultrassônica

5.2.1. Variação com a potência ultrassônica

Neste estudo, as sementes que sofreram tratamento com a sonda de ultrassom alcançaram maiores percentuais de germinação, 94% delas germinaram. Das que não sofreram nenhum tratamento (sub-grupo GC1) apenas 20% germinaram. Comparando as diferentes potências da sonda de ultrassom, das sementes que sofreram o tratamento com potência de 250 watts 94% germinaram, as que sofreram o tratamento com potência de 350 watts 100% germinaram e as que sofreram tratamento com potência de 450 watts 97% germinaram (Figura 12).

Segundo a ANOVA há uma diferença significativa entre os tratamentos avaliados (Tabela 3). Utilizando o teste de Tukey obtêm-se que há uma diferença significativa entre as sementes que sofreram o tratamento com a sonda de ultrassom em diferentes potências e as do grupo controle, entretanto não existe diferenças entre as potências avaliadas (Figura 13).

Figura 12 - Germinação acumulada de sementes de *S. multijuga*, submetidas a sonda de ultrassom por 5 minutos com potências de 250, 350 e 450 watts, mostrando apenas o maior resultado que foi escolhido após o término do experimento. Barras de erro representam o erro padrão da média (n=5).



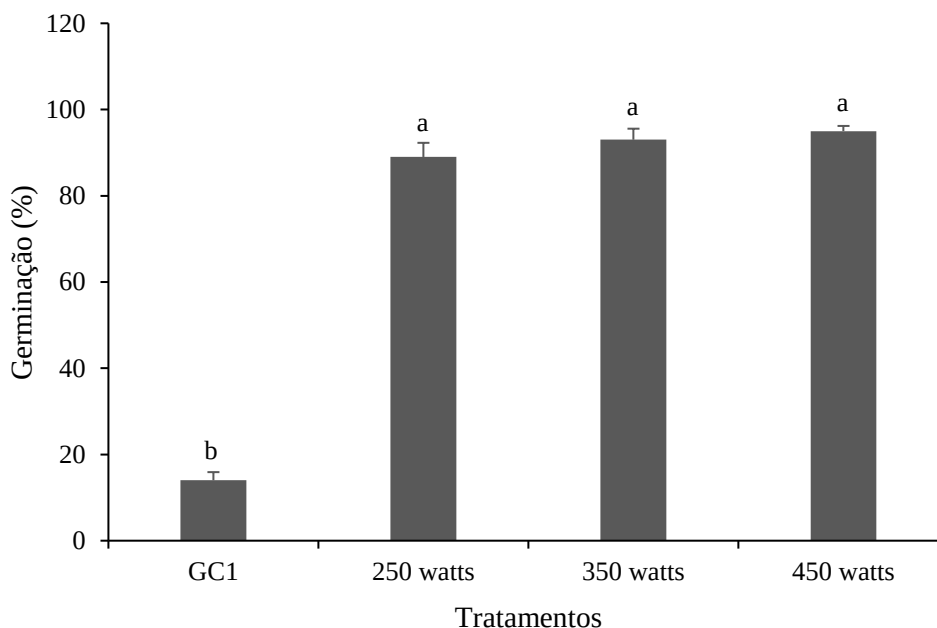
Fonte: Autoria própria

Tabela 3 – ANOVA para o percentual de germinação de sementes de *S. multijuga* do grupo controle e de sementes submetidas a sonda de ultrassom por 5 minutos com potências de 250, 350 e 450 watts, onde SQ = soma de quadrados; GL = graus de liberdade; QM = quadrado médio; F = teste de Fisher; p = probabilidade de significância. Ensaio com 5% de probabilidade de erro.

Fonte de variação	ANOVA				
	SQ	GL	QM	F	p
Entre grupos	18893	3	6297,67	5,279	0,0076
Dentro dos grupos	23858,7	20	1192,92		
Total	42751,3	23			

Fonte: Autoria própria

Figura 13 - Percentual de germinação de sementes de *S. multijuga* submetidas a sonda de ultrassom por 5 minutos com potências de 250, 350 e 450 watts. Letras iguais indicam que não há diferenças significativas entre as médias, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Barras de erro representam o erro padrão da média (n=5).



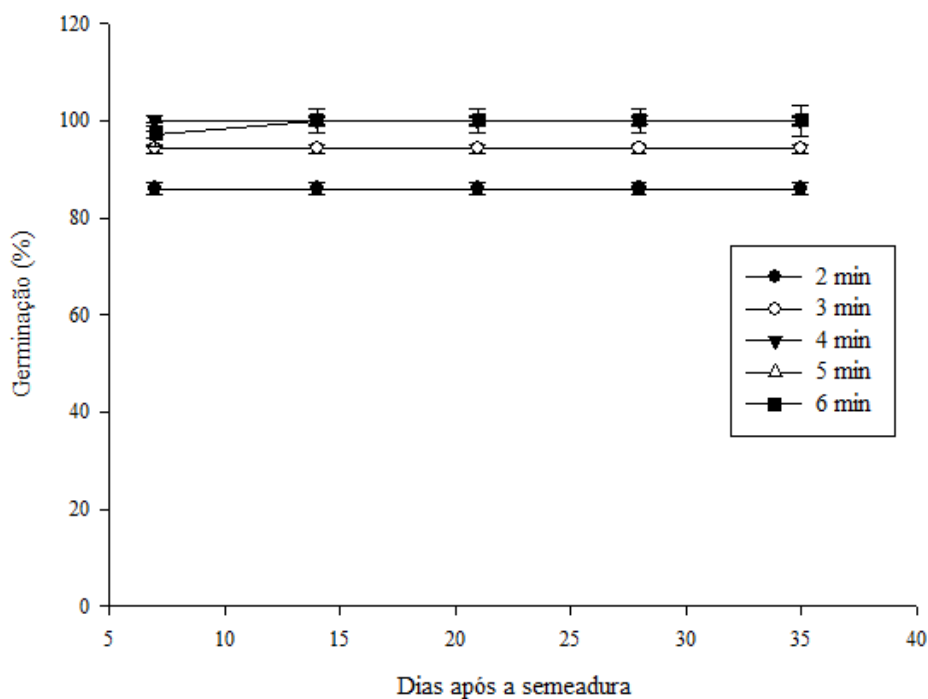
Fonte: Autoria própria

5.2.2. Variação com o tempo de imersão

Comparando os diferentes tempos de imersão (2, 3, 4, 5 e 6 min) de sementes na sonda de ultrassom em potência de 350 watts, os resultados foram muito próximos para a porcentagem de germinação. A maior porcentagem de germinação para cada grupo foi alcançada em sementes que permaneceram por 5 minutos na sonda, 100% delas germinaram, e a menor porcentagem foi alcançada em sementes que permaneceram por 2 minutos na sonda, 86% delas germinaram (Figura 14).

Segundo a ANOVA não há diferença significativa entre todos os tempos avaliados na potência de 350 watts na sonda de ultrassom (Tabela 4). No entanto, o teste de Tukey aponta que o tempo de permanência de 2 minutos difere dos tempos de 4 e 5 minutos, resultando em dois conjuntos distintos, e que os tempos de 3 e 6 minutos são indeterminados, podendo fazer parte de qualquer um dos dois (Figura 15).

Figura 14 - Germinação acumulada de sementes de *S. multijuga*, submetidas a sonda de ultrassom na potência de 350 watts por 2, 3, 4, 5 e 6 minutos, mostrando apenas o maior resultado que foi escolhido após o término do experimento. Barras de erro representam o erro padrão da média (n=5).



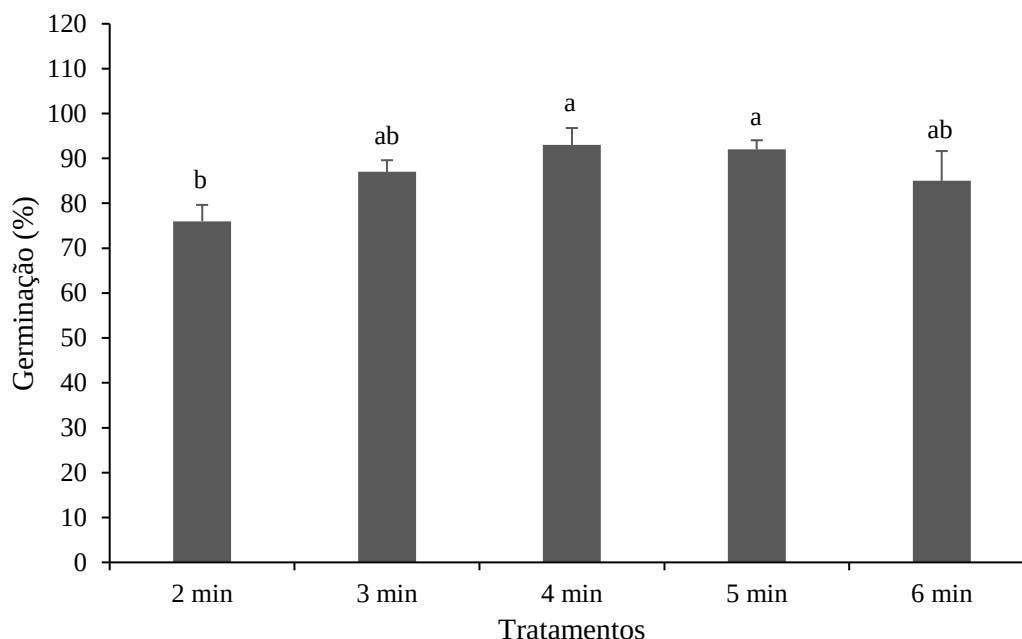
Fonte: Autoria própria

Tabela 4 – ANOVA para o percentual de germinação de sementes de *S. multijuga* do grupo controle e de sementes submetidas a potência de 350 watts na sonda de ultrassom por 2, 3, 4, 5 e 6 minutos, onde SQ = soma de quadrados; GL = graus de liberdade; QM = quadrado médio; F = teste de Fisher; p = probabilidade de significância. Ensaio com 5% de probabilidade de erro.

Fonte de variação	ANOVA				
	SQ	GL	QM	F	p
Entre grupos	669,133	4	167,283	0,1104	0,9777
Dentro dos grupos	37879,2	25	1515,17		
Total	38548,3	29			

Fonte: Autoria própria

Figura 15 - Percentual de germinação de sementes de *S. multijuga* submetidas a sonda de ultrassom na potência de 350 watts por 2, 3, 4, 5 e 6 minutos. Letras iguais (a ou b) indicam que não há diferenças significativas entre as médias, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro, e ab rotula uma indeterminação. Barras de erro representam o erro padrão da média (n=5).



Fonte: Autoria própria

5.2.3. Variação do IVG

Ao comparar a velocidade de germinação (Equação 1) nos diferentes tempos de imersão (2, 3, 4, 5 e 6 min) de sementes na sonda de ultrassom em potência de 350 watts, os resultados são semelhantes,

O resultado da ANOVA neste caso de 0,05224 (Tabela 5) apresenta um valor muito próximo do limite do teste de significância (0,05), deixando com esse teste uma indeterminação no que se refere a diferença significativa entre o IVG dos diferentes tempos submetidos a sonda de ultrassom em potência de 350 watts.

Na Figura 16 pode-se notar que a maior velocidade de germinação foi alcançada em sementes que permaneceram por 4 e 5 minutos na sonda ultrassônica, atingindo 4,6 no IVG e

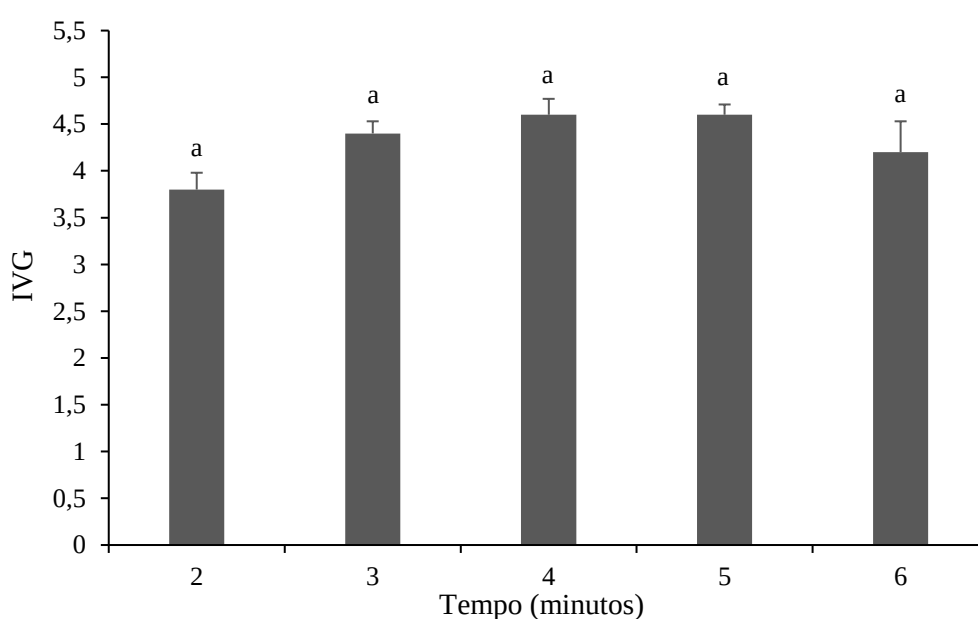
que a menor para as que permaneceram 2 minutos foi de 3,8. No entanto, o teste de Tukey aponta que não há nenhuma diferença estatística significativa nesta situação.

Tabela 5 – ANOVA para o IVG de sementes de *S. multijuga* do grupo controle e de sementes submetidas a potência de 350 watts na sonda de ultrassom por 2, 3, 4, 5 e 6 minutos, onde SQ = soma de quadrados; GL = graus de liberdade; QM = quadrado médio; F = teste de Fisher; p = probabilidade de significância. Ensaio com 5% de probabilidade de erro.

Fonte de Variação	ANOVA				
	SQ	GL	QM	F	p
Entre grupos	2,3028	4	0,575699	2,826	0,05224
Dentro dos grupos	4,07392	20	0,203696		
Total	6,37672	24			

Fonte: Autoria própria

Figura 16 - IVG de sementes de *S. multijuga* submetidas a sonda de ultrassom na potência de 350 watts por 2, 3, 4, 5 e 6 minutos. Letras iguais indicam que não há diferenças significativas entre as médias, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Barras de erro representam o erro padrão da média (n=5).



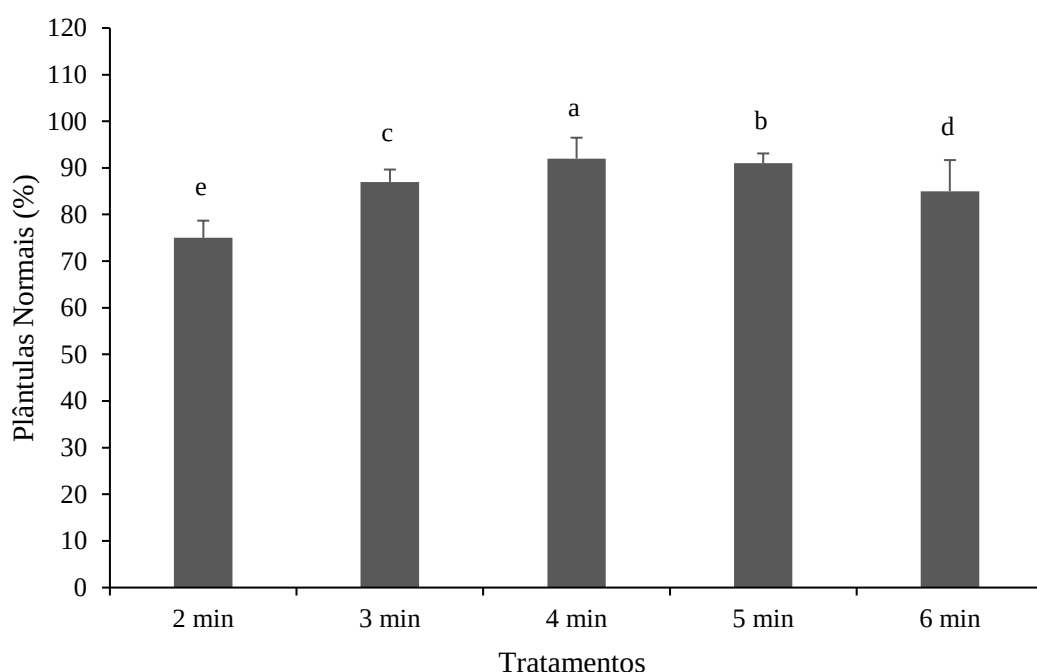
Fonte: Autoria própria

5.2.4. Variação do número de plântulas normais

Avaliando a formação de plântulas normais de sementes que sofreram tratamento com sonda de ultrassom em potência de 350 watts por diferentes tempos de imersão (2, 3, 4, 5 e 6 min.), os resultados seguiram o mesmo padrão, sendo muito próximos. Os maiores percentuais de plântulas normais foram obtidos em sementes que permaneceram imersas por 4 e 5 minutos na sonda de ultrassom (Figura 17).

Comparando os diferentes tempos na sonda de ultrassom segundo a análise estatística, há diferenças entre os tempos avaliados, e entre eles e o grupo controle (Tabela 6 e Figura 17).

Figura 17 – Percentual de plântulas normais de *S. multijuga*, submetidas a sonda de ultrassom na potência de 350 watts por 2, 3, 4, 5 e 6 minutos. Letras iguais indicam que não há diferenças significativas entre as médias, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Barras de erro representam o erro padrão da média (n=5).



Fonte: Autoria própria

Tabela 6 – ANOVA para o percentual de plântulas normais de *S. multijuga*, submetidas a sonda de ultrassom na potência de 350 watts por 2, 3, 4, 5 e 6 minutos, onde SQ = soma de quadrados; GL = graus de liberdade; QM = quadrado médio; F = teste de Fisher; p = probabilidade de significância. Ensaio com 5% de probabilidade de erro.

Fonte de variação	ANOVA				
	SQ	GL	QM	F	p
Entre grupos	975,2	4	243,8	2,936	0,04632
Dentro dos grupos	1660,8	20	83,04		
Total	2636	24			

Fonte: Autoria própria

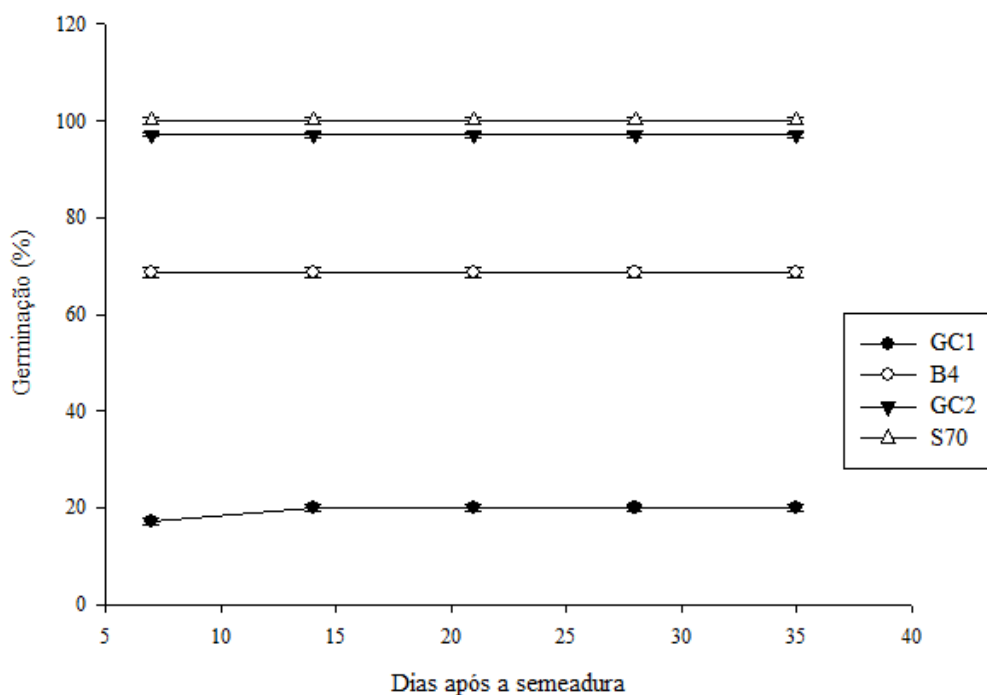
5.3. Comparação entre os métodos com escarificação química

5.3.1. Variação da porcentagem de germinação

Neste estudo, a escarificação química com o ácido sulfúrico concentrado por 5 minutos contribuiu para a germinação de 97% das sementes de *S. multijuga* que sofreram o tratamento (Figura 18).

Comparando as metodologias avaliadas neste trabalho, o banho de ultrassom com potência de 350 watts e o tratamento de ácido sulfúrico apresentam os percentuais de germinação mais elevados para *S. multijuga*. Neste caso, tem-se novamente que o resultado da ANOVA é muito próximo do limite do teste de significância (Tabela 7). Segundo o teste de Tukey não há nenhuma diferença significativa entre as amostras que sofreram tratamento com ácido sulfúrico e com a sonda de ultrassom, mas indica que há uma diferença significativa entre sementes que sofreram esses tratamentos e as que passaram pelo tratamento com o banho de ultrassom (Figura 19). Este teste também aponta que existe uma diferença do grupo controle com os grupos que passaram pelos tratamentos com o ácido sulfúrico e com a sonda ultrassônica.

Figura 18 - Germinação acumulada de sementes de *S. multijuga*, submetidas a diferentes tratamentos: 4 minutos no banho de ultrassom (B4), ácido sulfúrico concentrado por 5 minutos (GC2) e sonda de ultrassom com potência de 350 watts (S70), mostrando apenas o maior resultado que foi escolhido após o término do experimento. Barras de erro representam o erro padrão da média (n=5).



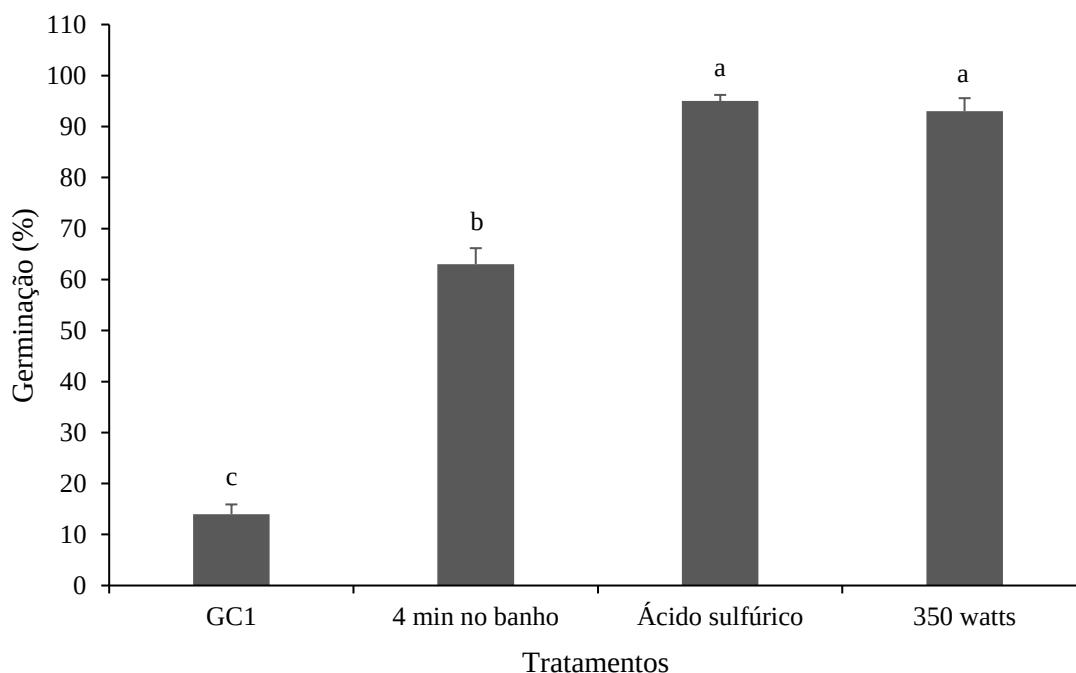
Fonte: Autoria própria

Tabela 7 – ANOVA para o percentual de germinação de sementes de *S. multijuga* do grupo controle e de sementes submetidas a 4 minutos no banho de ultrassom, a ácido sulfúrico concentrado por 5 minutos e a 5 minutos na sonda de ultrassom com potência de 350 watts, onde SQ = soma de quadrados; GL = graus de liberdade; QM = quadrado médio; F = teste de Fisher; p = probabilidade de significância. Ensaio com 5% de probabilidade de erro.

Fonte de variação	ANOVA				
	SQ	GL	QM	F	p
Entre grupos	17308,8	3	5769,6	5,697	0,005486
Dentro dos grupos	20255,8	20	1012,79		
Total	37564,6	23			

Fonte: Autoria própria

Figura 19 - Percentual de germinação de sementes de *S. multijuga* expostas a 4 minutos no banho de ultrassom, a 5 minutos no ácido sulfúrico concentrado e a 5 minutos na sonda de ultrassom com potência de 350 watts. Letras iguais indicam que não há diferenças significativas entre as médias, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Barras de erro representam o erro padrão da média (n=5).



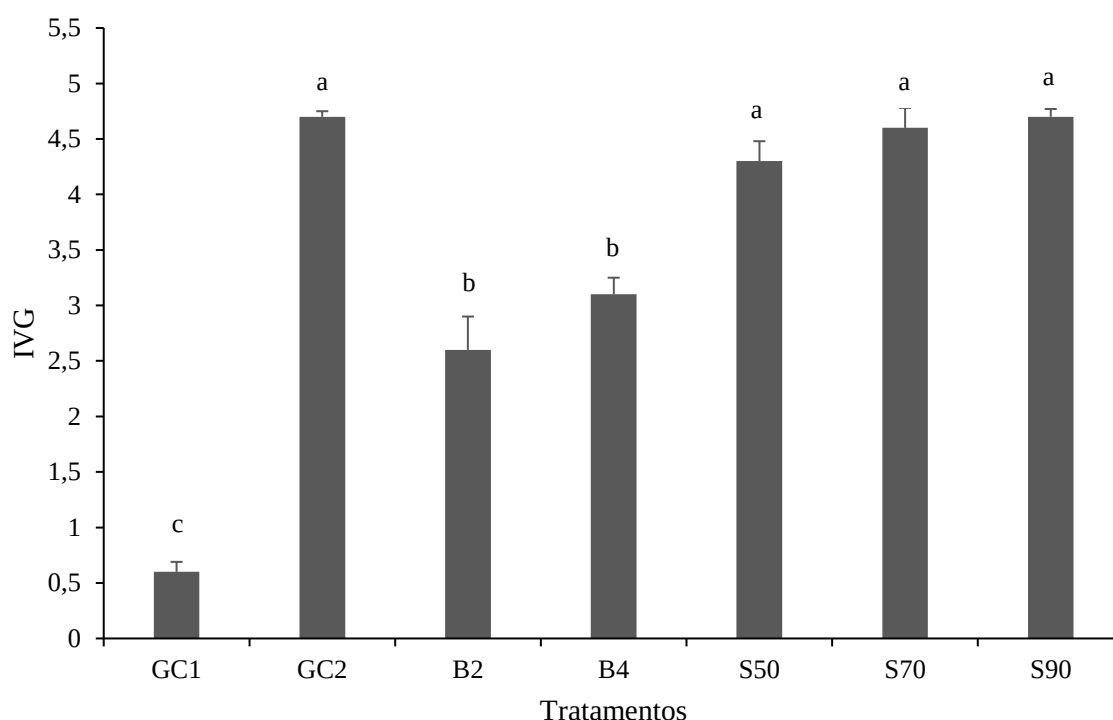
Fonte: Autoria própria

Entretanto deve-se ressaltar os danos que o ácido sulfúrico pode causar ao meio ambiente e a saúde humana. Já a sonda de ultrassom pode ser considerada como uma tecnologia limpa, pois não gera resíduos tóxicos ao meio ambiente e não coloca em risco a saúde humana.

5.3.2. Variação do IVG

As sementes de *S. multijuga* que sofreram tratamento com a sonda de ultrassom apresentam maior velocidade de germinação, atingindo 4,7 no IVG, sendo que resultado muito parecido foi observado por sementes que sofreram imersão em ácido sulfúrico concentrado (Figura 20).

Figura 20 – IVG de sementes de *S. multijuga*, submetidas a diferentes tratamentos: controle identificado por GC1; ácido sulfúrico concentrado por 5 minutos identificado por GC2; 2 e 4 minutos no banho de ultrassom identificados por B2 e B4 respectivamente; sonda de ultrassom com potência de 250, 350 e 450 watts identificados por S50, S70 e S90 respectivamente. Letras iguais indicam que não há diferenças significativas entre as médias, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Barras de erro representam o erro padrão da média (n=5).



Fonte: Autoria própria

Embora a ANOVA não apresente diferença significativa entre IVGs de todos os tratamentos testados (Tabela 8), o teste de Tukey (ver Figura 20) indica que não há nenhuma diferença significativa entre as sementes que sofreram tratamento com ácido sulfúrico (GC2) e as diferentes potências testadas na sonda ultrassônica (S50, S70 e S90), mas há diferença significativa entre estes e o grupo controle (GC1). Ainda com o teste de Tukey, comparando-se os diferentes tempos no banho do ultrassom (B2 e B4) obtém-se que não há nenhuma diferença significativa entre eles, mas existe diferença significativa ao compará-los com os demais grupos.

Tabela 8 – ANOVA para o IVG de sementes de *S. multijuga* do grupo controle e submetidas a ácido sulfúrico concentrado por 5 minutos, 2 e 4 minutos no banho de ultrassom, 5 minutos na sonda de ultrassom com as potências de 250, 350 e 450 watts, onde SQ = soma de quadrados; GL = graus de liberdade; QM = quadrado médio; F = teste de Fisher; p = probabilidade de significância. Ensaio com 5% de probabilidade de erro.

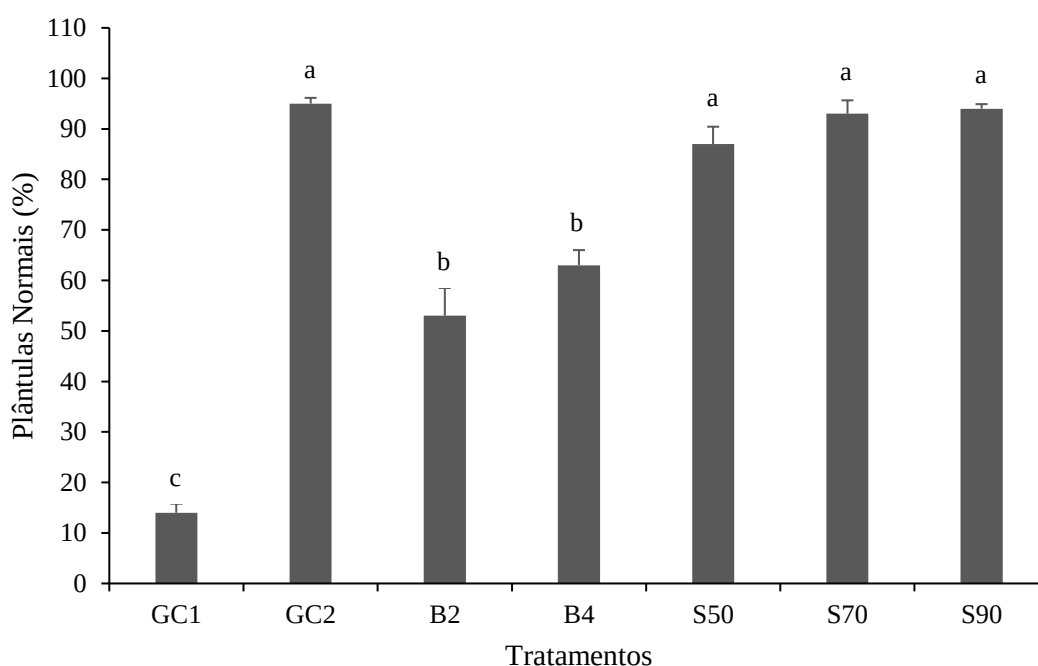
Fonte de variação	ANOVA				
	SQ	GL	QM	F	p
Entre grupos	60,1858	5	12,0372	87,96	1,242
Dentro dos grupos	3,28428	24	0,136845		
Total	63,4701	29			

Fonte: Autoria própria

5.3.3. Variação do número de plântulas normais

Avaliando a formação de plântulas normais de sementes que sofreram o tratamento com o banho e a sonda de ultrassom, com ácido sulfúrico concentrado e as que não sofreram nenhum tratamento, os resultados seguiram o mesmo padrão. Os maiores percentuais de plântulas normais foram obtidos em sementes que sofreram tratamento com sonda de ultrassom e sementes que sofreram tratamento com ácido sulfúrico concentrado (Figura 21). Esses dados sugerem que o ultrassom favorece a absorção de água pelas sementes e, assim contribui para a formação de maiores percentuais de plântulas normais que são responsáveis pela formação de mudas.

Figura 21 – Percentual de plântulas normais de *S. multijuga*, submetidas a diferentes tratamentos: controle identificado por GC1; ácido sulfúrico concentrado por 5 minutos identificado por GC2; 2 e 4 minutos no banho de ultrassom identificados por B2 e B4 respectivamente; sonda de ultrassom com potência de 250, 350 e 450 watts identificados por S50, S70 e S90 respectivamente. Letras iguais indicam que não há diferenças significativas entre as médias, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Barras de erro representam o erro padrão da média (n=5).



Fonte: Autoria própria

Como no caso anterior, apesar da ANOVA não mostrar diferenças significativas entre a porcentagem de plântulas normais de todos os tratamentos avaliados (Tabela 9), os resultados do teste de Tukey do percentual de plântulas normais seguiram o mesmo padrão da comparação feita com o percentual de germinação, mostrando diferenças significativas apenas entre o controle e os diferentes tratamentos e entre o banho de ultrassom e os tratamentos com a sonda de ultrassom e o ácido sulfúrico.

Tabela 9 – ANOVA para as plântulas normais de sementes de *S. multijuga* do grupo controle e submetidas a ácido sulfúrico concentrado por 5 minutos, 2 e 4 minutos no banho de ultrassom, 5 minutos na sonda de ultrassom com as potências de 250, 350 e 450 watts, onde SQ = soma de quadrados; GL = graus de liberdade; QM = quadrado médio; F = teste de Fisher; p = probabilidade de significância. Ensaio com 5% de probabilidade de erro.

Fonte de variação	ANOVA				
	SQ	GL	QM	F	p
Entre grupos	27513,4	6	4585,56	90,19	5,314
Dentro dos grupos	1423,6	28	50,8429		
Total	28937	34			

Fonte: Autoria própria

Pinto et al. (2013) realizaram um estudo com sementes da mesma espécie, avaliando diferentes tratamentos para quebra de dormência e entre eles a escarificação química, com ácido sulfúrico concentrado em diferentes tempos, inclusive com o tempo avaliado neste estudo. Dentre os tratamentos testados o melhor resultado em relação a porcentagem de germinação foi alcançado com sementes que sofreram imersão em ácido sulfúrico concentrado por 5 minutos, tendo 90% das sementes germinadas, resultado muito próximo do que foi observado neste trabalho, comprovando que o método aqui proposto é eficiente para quebra de dormência de *S. multijuga*.

5.4. Variação com a temperatura da água de imersão

As temperaturas da água no banho de ultrassom e na sonda de ultrassom sofreram variações conforme o tempo de permanência sob o efeito dos equipamentos (Tabela 10).

Segundo Fowler et al. (2000), a imersão de sementes em água a partir da temperatura de 100°C e permanência fora do aquecimento por 48 horas, é capaz de provocar algum efeito benéfico nas sementes de *S. multijuga*, contribuindo para a quebra de dormência. Assim a variação de temperatura oriunda dos equipamentos de ultrassom não seria capaz de provocar nenhum efeito para acelerar a germinação das sementes, pois não alcança a temperatura de 100°C. Entretanto as temperaturas aumentam gradativamente e de maneira bem relevante

conforme aumenta o tempo de permanência das sementes sob as ondas ultrassônicas da sonda, mas esse aumento provavelmente não foi suficiente para aumentar a porcentagem de germinação e o IVG desta espécie. Desta forma, pode-se no máximo supor que o aumento da temperatura age em conjunto as ondas ultrassônicas e não apenas sozinha para quebrar a dormência das sementes.

Tabela 10 – Variação das temperaturas da água após sofrerem efeito dos equipamentos de ultrassom em diferentes tempos, onde a temperatura inicial é 25°C.

Tratamentos	Tempos (minutos)	Temperatura (°C)
Banho de ultrassom	2 min.	26°C
	4 min.	28°C
250 watts na sonda	2 min.	38°C
	3 min.	41°C
	4 min.	44°C
	5 min.	48°C
	6 min.	54°C
350 watts na sonda	2 min.	41°C
	3 min.	46°C
	4 min.	53°C
	5 min.	60°C
	6 min.	64°C
450 watts na sonda	2 min.	42°C
	3 min.	50°C
	4 min.	58°C
	5 min.	60°C
	6 min	72°C

Fonte: Autoria própria

Foi observado neste estudo que após os tratamentos com o banho ou a sonda de ultrassom, a água em que se encontravam as sementes apresentava uma quantidade bem

pequena de resíduos oriundos das sementes. Entretanto durante o processo de escarificação com ácido sulfúrico é liberado uma grande quantidade de resíduos das sementes, mudando até a coloração do líquido.

5.5. Comparação com resultados da literatura

Resultados semelhantes a esse estudo são observados em muitos trabalhos com sementes de espécies diferentes, comprovam que o tratamento com ultrassom contribui para acelerar o processo e aumentar a taxa de germinação (Tabela 11) de sementes.

Tabela 11 – Diferentes espécies de sementes submetidas a tratamentos com ultrassom.

Tipos de sementes	Resultados	Referências
Sementes de cevada	Período da germinação diminuiu em 30-45% após o tratamento.	Yaldagard et al., 2008
Sementes de ervilha verde	Porcentagem de germinação aumentou de 85% a 98,1%.	Chiu & Sung, 2014
Sementes de girassol	As sementes tratadas tiveram uma taxa de germinação de 95% em comparação com 68% no controle.	Machikowa et al., 2013
Arbusto de codorna, Cominho e Alcaparra de feijão síria	A taxa de germinação aumentou em 28%, 36 e 35,7% em comparação com os controles.	Sharififar et al., 2015
Trigo	A taxa de germinação aumentou em 90% a 94% depois do tratamento.	Aladjadjiyan, 2011
Lentilhas	A taxa de germinação aumentou em 92% a 98% depois do tratamento.	Aladjadjiyan, 2011

Pau-cigarra	As sementes tratadas com a sonda ultrassônica tiveram uma taxa de germinação de até 100% e o IVG dessas sementes chegou a 4,7.	Venâncio et al., 2019
Arroz vermelho e arroz marrom	Exposição a 25 kHz por 5 min melhorou a taxa de germinação e as propriedades funcionais da farinha.	Ding et al., 2018
Sementes forrageiras envelhecidas	Ultrassom de 254,29 W em 25°C por 22 min promoveu a germinação, comprimento da raiz e comprimento da parte aérea.	Liu et al., 2018
Folhas de alface	A exposição a pressão ultrassônica abaixo de 20kPa promoveu a taxa de crescimento das folhas.	Kurashina, Yamashita, Kurabayashi, Takemura e Ando, 2019
Sementes secas	Processo de sonicação a seco melhorou as características de germinação em sementes secas.	Redding Jr, 2018

Fonte: Rifna et al., 2019; Venâncio et al., 2019.

6. Conclusões

A partir dos testes realizados nesse estudo é possível concluir que para *S. multijuga* o ultrassom é considerado um tratamento importante para quebra de dormência.

Foram levantados dados que comprovam a eficiência do uso de ultrassom na quebra de dormência de sementes de *S. multijuga*, seja para o banho ou a sonda de ultrassom.

A sonda de ultrassom se mostrou um tratamento muito promissor para aumentar a porcentagem de germinação e o IVG de sementes de *S. multijuga*, quando comparado as sementes que não sofreram nenhum tipo de tratamento.

Os tratamentos com ultrassom (banho e sonda) foram responsáveis por manter o vigor das sementes submetidas aos mesmos, contribuindo para o desenvolvimento de plântulas vigorosas, que darão origem a produção de mudas vigorosas em um curto intervalo de tempo para serem utilizadas na revegetação de áreas degradadas.

Dentre os dois tipos de tratamentos com ultrassom avaliados, a sonda de ultrassom apresentou resultados mais satisfatórios, não demonstrando nenhuma diferença significativa entre as potências, mas houve diferenças significativas entre os tempos testados segundo a análise estatística empregada. Também não foi observada nenhuma diferença em relação aos resultados de sementes que sofreram tratamento com ácido sulfúrico concentrado.

Embora a aplicação de ácido sulfúrico também apresentou ótimos resultados neste estudo, corroborando com resultados encontrados na literatura, deve-se ressaltar que este pode causar danos graves à saúde do pesquisador e riscos ao meio ambiente.

Acelerar a germinação das sementes é extremamente importante para espécies utilizadas na revegetação de áreas degradadas, pois quanto mais rápido ocorre a revegetação mais rápido será a reestabilização do ecossistema.

Além da sonda de ultrassom ser muito eficiente para quebra de dormência de sementes dessa espécie, possibilitando um maior número de plântulas em curto espaço de tempo, esse tratamento também não gera resíduos ao meio ambiente, é de fácil manipulação, apresenta um risco baixo a saúde do manipulador e muito promissor para produção de mudas para serem utilizadas na revegetação de áreas degradadas.

Foram realizados testes para se avaliar se a elevação da temperatura provocada pela sonda de ultrassom seria responsável pela germinação das sementes. No entanto, os valores obtidos de temperatura não atingiram aqueles reportados na literatura. Porém não se descarta a possibilidade que este aumento da temperatura possa atuar em conjunto com as ondas ultrassônicas para quebrar a dormência das sementes, sendo necessária a realização de trabalhos futuros para a verificação da existência deste efeito acoplado.

7. Referências

- AIZEN, M.; FEINSINGER, P. Forest fragmentation, pollination, and plant reproduction in Chaco dry forest, Argentina. **Ecology**, v.75, n. 2, p.330- 351. 1994.
- AMORIN, I. L.; DAVIDE, A. C.; FERREIRA, R. A.; CHAVES, M. M. C. Morfologia de frutos, sementes, plântulas e mudas de *Senna multijuga* var. *lindleyana* (Gardner) H. S. Irwin & Barneby - Leguminosae Caesalpinioideae. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 31, n. 3, p. 507-516, 2008.
- ANDRADE, A. M. D.; MOURA, M. A. L.; SANTOS, A. B.; CARNEIRO, R. G.; JUNIOR SILVA, R. S. Radiação fotossinteticamente ativa incidente e refletida acima e abaixo do dossel de floresta de Mata Atlântica em Coruripe, Alagoas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 29, n.1, p. 68-79, 2014.
- ARAÚJO FILHO, W. D. **Geração de microbolhas monodispersas utilizando o óleo de girassol como revestimento lipídico**. 2013. 69 f. Tese de Doutorado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.
- BAPTISTA, I. S.; MEDEIROS JÚNIOR, G.; SANTOS, D. C.; VIEIRA, A. H.; CIPRIANI, H. N.; PASSOS, A. M. A. Efeito do ultrassom de baixa frequência na germinação de sementes de *Copaifera langsdorffii* Desf. In: 4º ENCONTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 1, Rondônia, 2017. **Anais do 4º Encontro de Ciência e Tecnologia**. Rondônia: 4º Encontro de Ciência e Tecnologia, 2017.
- BARBOZA, J. C. S.; SERRA, A. A. Ultra-som: Influência do ultra-som na química. **Química Nova**, v. 15, n. 4, p. 302-316, 1992.

BARBOSA, L. M.; BARBOSA, J. M.; BARBOSA, K. C.; POTOMATI, A.; MARTINS, S. E.; ASPERTI, L. M.; MELO, A. C. G.; CARRASCO, P. G.; CASTANHEIRA, S. A.; PILIACKAS, J. M.; CONTIERI, W. A.; MATTIOLI, D. S.; GUEDES, D. C.; JUNIOR SANTOS, N.; SILVA, P. M. S.; PLAZA, A. P. Recuperação florestal com espécies nativas no estado de São Paulo: pesquisas apontam mudanças necessárias. **Florestar Estatístico**, São Paulo, v.6, n. 14, p. 28-34, 2003.

BARBOSA, L.M. **Manual para recuperação de áreas degradadas do estado de São Paulo: matas ciliares do interior paulista**. São Paulo: Instituto de Botânica, 2006.

BASKIN, J. M.; BASKIN, C. C. Evolutionary considerations of claims for physical dormancy-break by microbial action and abrasion by soil particles. **Seed Science Research**, v. 10, n. 4, p. 409–413, 2000.

BASKIN, C. C.; BASKIN, J. M. **Seeds**: Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination. San Diego: Academic Press, 2001.

BASKIN, C. C. Breaking physical dormancy in seeds – focussing on the lens. **New Phytologist**, v. 158, n. 2, p. 227 – 238, 2003.

BASKIN, J. M.; BASKIN, C. C. A classification system for seed dormancy. **Seed Science Research**, v. 14, n. 1, p. 1–16, 2004.

BIANCONI, A.; GOVONE, J. S.; ZUNBEN, C. J. V.; PIÃO, A. C. S.; PIZANO, M. A.; ALBERTI, L. F. Transformações de dados e implicações da utilização do teste de Kruskal-Wallis em pesquisas agroecológicas. **Pesticida: r. ecotoxicol. e meio ambiente**, v. 18, p. 27-34, 2008.

BRANDON, K.; FONSECA, G. A. B.; RYLANDS, A. B.; SILVA, J. M. C. Conservação brasileira: desafios e oportunidades. **Megadiversidade**, v.1, n.1, p.7-13. 2005.

BRASIL. **Regras para Análise de Sementes**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária, 2009. 399 p.

CARDOSO, V. J. M. Conceito e classificação da dormência em sementes. **Oecologia Brasiliensis**, v. 13, n. 4, p. 619-631, 2009.

CARNEIRO, M, A. C.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; CARVALHO, D.; BOTELHO, S. A.; SAGGIN JUNIOR, O. J. Micorriza arbuscular em espécies arbóreas e arbustivas nativas de ocorrência no sudeste do Brasil. **Cerne**, v. 4, n. 1, p. 129-145, 1998.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras**: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira. Colombo: Embrapa, 1994. 640 p.

- CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. v.1. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004.
- CASSIOLATO, A. M. R.; MALTONO, K. L.; SCABORA, M. H. Crescimento, fosfatase ácida e micorrização de espécies arbóreas em solo de Cerrado degradado. **Bragantina**, v. 69, n. 2, p. 445-451, 2010.
- CHEN, G.; WANG, Q.; LIU, Y.; LI, Y.; CUI, J.; LIU, Y.; LIU, H.; ZHANG, Y. Modelling analysis for enhancing seed vigour of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) using an ultrasonic technique. **Biomass and Bioenergy**, v. 47, p. 426-435, 2012.
- CHITARRA, G. S. **Aplicação do método da sonoquímica na avaliação da degradabilidade de polímeros**. 2013. 34 f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Química), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2013.
- CORNER, E. J. H. **The seeds of Dicotyledons**. London: Cambridge University Press, 1976.
- CUNNINGHAM, S. A. Effects of habitat fragmentation on the reproductive ecology of four plant species in mallee woodland. **Conservation Biology**. v.14, n. 3, p. 758-768. 2000.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.
- FERREIRA, R. A.; DAVIDE, A. C.; MOTTA, M. S. Vigor e viabilidade de sementes de *Senna multijuga* (Rich.) Irwin et Barn. e *Senna macranthera* (Collad.) Irwin et Barn., num banco de sementes em solo de viveiro. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 26, p. 24-31, 2004.
- FLORA DO BRASIL 2020. **Fabaceae**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB115>>. Acesso em: 03 Ago. 2017
- FRANCO, A. A. Revegetação de solos degradados. In: WORKSHOP SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 1, Rio de Janeiro, 1991. **Anais do Workshop sobre recuperação de áreas degradadas**. Rio de Janeiro: Workshop sobre recuperação de áreas degradadas, 1991.
- FRANCO, A. A.; CAMPEL, E. F.; SILVA, E. M. R.; FARIA, S. M. **Revegetação de solos degradados**. Seropédica: EMBRAPA-CNPBS, 1992. 8 p.
- FOWLER, A. J. P.; BIANCHETTI, A. **Dormência em sementes florestais**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 27p.
- FU, T. T.; MA, Y.; FUNFSCHILLING, D.; LI, H. Z. Bubble formation and breakup mechanism in a microfluidic flow-focusing device. **Chemical Engineering Science**, v. 64, n. 10, p. 2392-2400, 2009.

- FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA E INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE) 2013. **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica: Período de 2011 - 2012**. Ministério da Ciência e Tecnologia. São Paulo, p. 122. 2011.
- GASCON, C.; WILLIAMSON, B.; FONSECA, G. A. B. Receding forest edges and vanishing reserves. **Science**, v. 288, n. 5470, p. 1356-1358, 2000.
- GORDON, A. G. The use of ultrasound in agriculture. **Ultrasonics**, v. 1, n. 2, p.70-77, 1963.
- GUEDES, F. B. **Genética da conservação como uma ferramenta para avaliar os problemas populacionais da fragmentação de habitat**. 2004. 39 f. Monografia (Bacharel em Ciências Biológicas), Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2004.
- HAMMER, O.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. Past: Paleontological statistics software package for education and data analysis. **Paleontologia Electronica**, v. 4, n. 1, p. 1-9, 2001.
- INPE – Instituto Nacional Pesquisas Espaciais. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica período 2008-2010**. Relatório parcial. São Paulo: INPE, 2011.122 p.
- KAPOS, V. Effects of isolation on the water status of forest patches in the Brazilian Amazon. **Journal of Tropical Ecology**, v. 5, n. 2, p. 173-185, 1989.
- KRATOVALIEVA, S.; SRBINOSKA, M.; POPSIMONOVA, G.; SELAMOVSKA, A.; MEGLIC, V.; ANDJELKOVIC, V. Ultrasound influence on coleoptile length at Poaceae seedlings as valuable criteria in prebreeding and breeding processes. **Genetika**, v. 44, n. 3, p. 561-570, 2012.
- LABOURIAU, L. G. **A germinação de sementes**. Washington: OEA: 1983. p. 174.
- LAGOS, A. R.; MULLER, B. L. A. Hotspot Brasileiro: Mata Atlântica. **Saúde & Ambiente em Revista**, v. 2, n. 2, p. 35 - 45, 2007.
- LEMOES-FILHO, J. P.; GUERRA, S. T. M.; LOVATO, M. B.; SCOTTI, M. R. M. M. L. Germinação de sementes de *Senna macranthera*, *Senna multijuga* e *Stryphnodendron polyphyllum*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, n. 4, p. 357-361, 1997.
- LEWIS, G.; SCHRINE, B.; MACKINDER, B.; LOCK, M. **Legumes of the world**. Kew: Royal Botanic Gardens, 2005.
- LIMA, H. C. **Leguminosas arbóreas da Mata Atlântica – uma análise da riqueza, padrões de distribuição geográfica e similaridades florísticas em remanescentes florestais do estado do Rio de Janeiro**. 2000. 122 f. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.
- LIN, S. S. Efeito do tamanho e maturidade sobre a viabilidade, germinação e vigor do fruto de palmitreiro. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 8, n. 1, p. 57-66, 1988.

- LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 5. ed. São Paulo: Instituto Plantarum, 2008.
- MACHADO, D. F. M. **Estudo da germinação e do efeito de *Trichoderma spp.* na promoção do crescimento de *Gochnatia polymorpha* (Less.) cabrera**. 2012. 99 f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.
- MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 2, n. 1, jan./feb. 1962. 176-177p.
- MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: Fealq, 2005.
- MARTINS, M. S.; RÓZ, A. L.; MACHADO, G. O. **Mata Atlântica: localização geográfica da região**. Disponível em: <<http://educar.sc.usp.br/licenciatura/trabalhos/mataatl.htm>>. Acesso em: 12 mar. 2016.
- MARTINES, M. A. U.; DAVOLOS, M. R.; JAFELICCI JÚNIOR, M. O efeito do ultra-som em reações químicas. **Química Nova**, v. 23, n. 2, p. 251-256, 2000.
- MENEZES, N. L.; FRANZIN, S. M.; BORTOLOTO, R. P. Dormência em sementes de arroz: causas e métodos de superação. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v.7, n. 1, p. 35-44, 2009.
- MIOT, H. A. Avaliação da normalidade dos dados em estudos clínicos e experimentais. **Jornal Vascular Brasileiro**, v. 16, n. 2, p. 88-90, 2017.
- MOLIZANE, D. M. **Estabelecimento e superação de dormência em sementes de *Erythrina speciosa* Andrews**. 2012. 77 f. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.
- MORAES, J. V. **Morfologia e germinação de sementes de *Poecilanthe parviflora* Benth (Fabaceae – Faboideae)**. 2007. 78 f. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2007.
- MORI, E. S.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; FREITAS, N. P. **Sementes florestais: Guia para germinação de 100 espécies nativas**. 1. ed. São Paulo: Instituto Refloresta, 2012.
- MORRISON, D. A.; MCCLAY, K.; POTEW, C.; RISH, S. The role of the lens in controlling heat induced breakdown of testa-imposed dormancy in native Australian legumes. **Annals of Botany**, v. 82, p. 35 – 40, 1998.
- PASSOS, A. M. A.; LEITE, V. P. D.; CIPRIANI, H. N.; BOTELHO, F. J. E.; TOWNSEND, C. R. Efeito de banho de ultrassom de baixa frequência sobre a germinação e vigor de sementes de gliricídia (*Gliricidia sepium*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SEMENTES, 18,

- Paraná, 2013. **Anais do Congresso Brasileiro de Sementes**. Paraná: Congresso Brasileiro de Sementes, 2013.
- PINTO, T. T. **Morfoanatomia e fisiologia de sementes com dormência física de *Colubrina glandulosa* Perkins (Rhamnaceae) e *Senna multijuga* (Rich.) H. S. Irwin & Barneby (Caesalpinioideae- Fabaceae)**. 2013. 71 f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2013.
- RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S.E. **Biologia Vegetal**. 6. ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 2001.
- REIS, G. M.; RIBEIRO JÚNIOR, J. I. Comparação de testes paramétricos e não paramétricos aplicados em delineamentos experimentais. In: III SIMPÓSIO ACADÊMICO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Viçosa, 2007. **Anais do III Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção**. Viçosa: Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção, 2007.
- REIS, B. C. M.; PINTO, R. L. M.; SOARES, C. L. Aplicação da análise estatística via teste de Tukey e análise de variância para a avaliação dos parâmetros de qualidade de corte em um processo de fabricação. In: XXXVI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Paraíba, 2016. **Anais do XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Paraíba: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2016.
- RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J.; HIROTA, M. M. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left and how is the remaining forest distributed? Implications for Conservation. **Biological Conservation**, v. 142, p. 1141-1153, 2009.
- RIBEIRO, E. F.; NASCIMENTO, P.; SILVA, A. G.; SANTOS, G. A.; GOMES JÚNIOR, D. Efeito de Atividades Antrópicas Sobre a Mata do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Minas Gerais – campus São João Evangelista (IFMG-SJE). **Revista Agroambiental**, v.3, n.2, p. 83-92, 2011.
- RIFNA, E. J.; RAMANAN, K. R.; MAHENDRAN, R. Emerging technology applications for improving seed germination. **Trends in Food Science & Technology**, v. 86, p. 95-108, 2019.
- ROBERTSON, A.W., TRASS, A., LADLEY, J. J.; KELLY, D. Assessing the benefits of frugivory for seed germination: the importance of the deinhibition effect. **Functional Ecology**, v. 20, p. 58-66, 2006.
- ROLSTON, M. P. Water impermeable seed dormancy. **The Botanical Review**, v. 44, p. 365-396, 1978.
- SANTANA, D. G.; RANAL, M. A. **Análise da germinação: um enfoque estatístico**. 1. ed. São Paulo: Unb, 2004.

- SANTOS, H. C. O.; AMARAL, W. N.; TACON, K. C. B. A história da ultrassonografia no Brasil e no mundo. **EFDeportes**, v. 17, n. 167, 2012.
- SCABORA, M. H.; MALTONI, K. L.; CASSIOLATO, A. M. R. Crescimento, fosfatase ácida e micorrização de espécies arbóreas em solo de Cerrado degradado. **Bragantina**, v. 69, n. 2, p. 445-451, 2010.
- SCHIAVO, J. A. **Revegetação de áreas degradadas pela extração de argila, com espécies micorrizadas de *Acácia mangium*, *Sesbania virgata* e *Eucalyptus camaldulensis***. 2005. 117 f. Tese de Doutorado, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, 2005.
- SEIFFERT, N.F. **Métodos de escarificação de sementes de leguminosas forrageiras tropicais**. Embrapa. 1982. Disponível em: <<http://www.cnpqc.embrapa.br/publicacoes/cot/COT13.html>>. Acesso em: 15 jun. 2017.
- SILVA, M. J. E. **Aspectos fisiológicos da dormência em sementes**. 2003. 21 f. Monografia (Licenciatura em Ciências Biológicas), Faculdade de Ciências da Saúde, Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2003.
- SILVA, A. R. Análise de variância (ANOVA). Disponível em: <http://arsilva.weebly.com/uploads/2/1/0/0/21008856/aula_anova.pdf>. Acesso em: 08 nov. 2019.
- SORIANO, S. **Avaliação de diferentes estratégias para o tratamento de amostras de suplementos multivitamínicos/multiminerais visando a determinação de Cu, Fe, Mn e Zn por FAAS**. 2006. 101 f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2006.
- SOUZA, C. R.; ROSSI, L. M. B.; AZEVEDO, C. P.; LIMA, R. M. B. Comportamento da *Acacia mangium* e de clones de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* em plantios experimentais na Amazônia Central. **Scientia Florestalis**, v. 65, p. 95-101, 2004.
- SOUZA, V.C.; BORTOLUZZI, R. L. C. **Senna in Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB23157>>. Acesso em: 21 jun. 2017.
- TABARELLI, M.; PINTO, L. P.; SILVA, J. M.; HIROTA, M. M.; BEDÊ, L. C. Desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade na Mata Atlântica brasileira. **Megadiversidade**, v. 1, p. 132-138, 2005.

- ULHÔA, M. L.; BOTELHO, S. A. Quebra de dormência em sementes de cássia-verrugosa (*Senna multijuga* (L.C. Rich) Irwin & Barneby - Caesalpinaceae). **Informativo ABRATES**, Brasília, v.3, n.3, p.116, 1993.
- VENÂNCIO, R. S. S.; MIURA, R. Y. H. Análise da germinação de quatro espécies nativas: capororoca (*Rapanea ferruginea* (Ruiz & Pav.) Mez.), juçara (*Euterpe edulis* Mart.), leiteiro (*Peschiera fuchsiaefolia* Miers) e tamboril (*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong). **Scientia Vitae**, v. 1, n. 2, p. 3-11, 2013.
- VENÂNCIO, R. S. S.; TONELLO, P. S.; MARTINS, A. C. G. Environmental technology: applications of ultrasound. **International Journal of Engineering and Applied Sciences**, v. 7, n. 2, p. 1-5, 2015.
- VENÂNCIO, R. S. S.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; MARTINS, A. O. Técnicas alternativas de quebra de dormência: uso do ultrassom de baixa frequência em sementes de pau-cigarra (*Senna multijuga* (Rich.) H. S. Irwin & Barneby). **Perspectivas em Ciências Tecnológicas**, v. 5, n. 5, p. 28-42, 2016.
- VENÂNCIO, R. S. S.; MARTINS, A. C. G. Overcoming dormancy of *Senna multijuga* seeds with an ultrasonic probe the comparison with ultrasound and sulfuric acid baths. **Ciência Rural**, v. 49, n. 9, p. 1-7, 2019.
- VINATORU, M.; TOMA, M.; RADU, O.; FILIP, P. I.; LAZURCA, D.; MASON, T. J. The use of ultrasound for the extraction of bioactive principles from plant materials. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 4, n. 2, p. 135-139, 1997.
- WHEATLEY, M. A.; SCHROPE, B.; SHEN, P. Contrast agents for diagnostic ultrasound: development and evaluation of polymer-coated microbubbles. **Biomaterials**, v. 11, n. 9, p. 713-717, 1990.
- YALDAGARD, M.; MORTAZAVI, S. A.; TABATABAIE, F. Application of ultrasonic waves as a priming technique for accelerating and enhancing the germination of barley seed: optimization of method by the taguchi approach. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 114, n. 1, p. 14-21, 2008.
- YU, M.; LIU, H.; YANG, Y.; SHI, A.; LIU, L.; HUI, H.; WANG, Q. Optimisation for resveratrol accumulation during peanut germination with phenylalanine feeding & ultrasound-treatment using response surface methodology. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 51, p. 938 – 945, 2016.