

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL)

LETÍCIA BÁRBARA DA SILVA MACIEL BASTOS

POTENCIAL FISIOLÓGICO DE SEMENTES de *Tephrosia noctiflora* Bojer ex Baker EM
FUNÇÃO DE FATORES ABIÓTICOS

Rio Largo/AL

2024

LETÍCIA BÁRBARA DA SILVA MACIEL BASTOS

POTENCIAL FISIOLÓGICO DE SEMENTES de *Tephrosia noctiflora* Bojer ex Baker EM
FUNÇÃO DE FATORES ABIÓTICOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito para a obtenção do título de Mestre em produção vegetal.

Orientador: Prof. Dr. João Correia de Araújo Neto

Rio Largo/AL

2024

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Bibliotecária Responsável: Myrtes Vieira do Nascimento

B327p Bastos, Letícia Barbara da Silva Maciel
 Potencial fisiológico de sementes de *Tephrosia noctiflora* Bojer ex Baker em função de fatores abióticos. / Letícia Barbara da Silva Maciel Bastos – 2024.
 70 f.; il.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Alagoas, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias. Rio Largo, 2024.

Orientação: Dr. João Correia de Araújo Neto

Inclui bibliografia

1. Planta daninha. 2. Estresse hídrico. 3. Manejo integrado. I. Título

CDU: 632.5

TERMO DE APROVAÇÃO

LETÍCIA BÁRBARA DA SILVA MACIEL BASTOS
(Matrícula 2022110165)

"POTENCIAL FISIOLÓGICO DE SEMENTES de *Tephrosia noctiflora* Bojer ex
Baker EM FUNÇÃO DE FATORES ABIÓTICOS"

Dissertação apresentada e avaliada pela banca examinadora em vinte e cinco de julho de 2024, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal) do CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS da UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS.

Documento assinado digitalmente
 JOÃO CORREIA DE ARAÚJO NETO
Data: 07/11/2024 09:36:53 -0300
Verifique em <https://validar.jf.gov.br>

Prof. Dr. João Correia de Araújo Neto
Presidente

Documento assinado digitalmente
 JOÃO LUCIANO DE ANDRADE MELO JÚNIOR
Data: 06/11/2024 12:27:40 -0300
Verifique em <https://validar.jf.gov.br>

Prof. Dr. João Luciano de Andrade Melo Júnior
Membro

Documento assinado digitalmente
 LEILA DE PAULA REZENDE
Data: 06/11/2024 07:26:50 -0300
Verifique em <https://validar.jf.gov.br>

Profa. Dra. Leila de Paula Rezende
Membro

Rio Largo - AL
Julho/2024

DEDICO

*A DEUS, por me orientar nos momentos mais difíceis, me instruindo e trazendo paz.
A minha mãe Eliane Maria da Silva por toda instrução e dedicação a mim ofertada.
Ao meu esposo Hiago Antônio Bastos da Costa por sempre por ser o melhor companheiro e amigo, sempre me apoiando em todos os momentos.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pela minha vida, por me dá saúde, sabedoria, sempre me sustentando e me ajudando a ultrapassar todos os obstáculos.

A minha família, especialmente a minha mãe e meu irmão Darlan, por estarem sempre ao meu lado em todos os momentos.

Ao meu amigo e amado esposo, Hiago, por todo suporte, apoio, companheirismo e compreensão.

Aos meus queridos professores e orientador Prof. Dr. João Correia de Araújo Neto e a Prof. Dra. Vilma Marques, pelo apoio a mim ofertado, motivação e auxílio nesse momento importante da minha vida.

Aos companheiros do laboratório de Propagação de Plantas, em especial a Sabrina Barros do Nascimento Rocha por toda amizade, dedicação e ajuda, e ao técnico Alex, por toda ajuda que me foi oferecida.

Agradeço aos membros da banca examinadora por aceitarem o convite para participar da avaliação deste trabalho, contribuindo com valiosas sugestões que enriqueceram meu desenvolvimento pessoal e profissional.

Agradeço aos professores do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias pelo apoio, dedicação e compromisso, que me proporcionaram um enriquecimento tanto no conhecimento prático e científico quanto em lições de vida ao longo deste período.

Ao Campus de Engenharias e Ciências Agrárias e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia (Produção Vegetal) pela oportunidade que me foi oferecida.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio e concessão da bolsa de estudos.

Por fim, a todos que contribuíram de forma direta ou indireta para realização deste trabalho.

RESUMO

Compreender o comportamento do potencial fisiológico das sementes de diferentes espécies é crucial para desenvolver estratégias de redução do banco de sementes. A *Tephrosia noctiflora*, encontrada em diversas culturas e pastagens, é tóxica e causa dermatopatia em bovinos, gerando prejuízos econômicos. No entanto, faltam estudos científicos sobre seus frutos e sementes, dificultando o controle adequado. A avaliação do potencial fisiológico foi realizada em cinco temperaturas (20, 25, 30, 35 e 20-30°C), na presença e ausência de luz, em delineamento inteiramente casualizado, com esquema fatorial 5x2 (temperatura x luz) e quatro repetições de 25 sementes cada. As variáveis estudadas foram: porcentagem, índice de velocidade, tempo médio, velocidade média e frequência relativa de germinação. Em seguida, utilizando a melhor temperatura de 30 °C, o potencial fisiológico das sementes intactas e escarificadas em ácido sulfúrico 25 minutos foram avaliadas em função de pré-tratamento com altas temperaturas (80, 120, 160, 200, 240 °C) por 5 minutos em DIC e esquema fatorial 5x2 (temperatura x escarificação); diferentes concentrações de alumínio (0,0; 1,5; 3,0; 4,5 e 6,0 mmolc.dm-3 de Al³⁺); cálcio (0,0; 1,5; 3,0; 4,5 e 6,0 cmolc.dm-3 de Ca³⁺); e estresse hídrico com PEG 6000 em diferentes potenciais osmóticos (0,0; -0,3; -0,6; -0,9; -1,2 e -1,5 MPa). Os experimentos foram realizados em delineamento inteiramente casualizado (DIC) e os dados submetidos à análise de variância, com médias avaliadas pelo teste de Tukey a 5% e análise de regressão para as variáveis quantitativas. As variáveis estudadas foram: porcentagem, índice de velocidade, tempo médio, velocidade média, sincronia de germinação, comprimento de parte aérea e raiz, massa fresca e seca de raiz e parte aérea para o estresse hídrico com PEG 6000. Os resultados mostraram que a melhor germinabilidade ocorreu nas temperaturas constantes de 20 °C e 30 °C, e na alternada de 20-30 °C, tanto na presença quanto na ausência de luz. O pré-tratamento com altas temperaturas revelou que a espécie é pouco suscetível à exposição a altas temperaturas, não germinando a partir de 120 °C. A germinabilidade foi afetada significativamente a partir de 1,5 mmolc.dm-3 de Al³⁺, e os níveis de cálcio indicaram sensibilidade desde a dose inicial de 1,5 cmolc.dm-3. O estresse hídrico causou decréscimo na germinação com o aumento das pressões osmóticas.

Palavras Chaves: planta daninha, estresse por alumínio, estresse hídrico, manejo integrado.

ABSTRACT

Understanding the behavior of the physiological potential of the seeds of different species is crucial for developing strategies to reduce the seed bank. *Tephrosia noctiflora*, found in various crops and pastures, is toxic and causes dermatopathy in cattle, generating economic losses. However, there is a lack of scientific studies on its fruits and seeds, making it difficult to control them properly. The physiological potential was assessed at five temperatures (20, 25, 30, 35 and 20-30°C), in the presence and absence of light, in a completely randomized design, with a 5x2 factorial scheme (temperature x light) and four replicates of 25 seeds each. The variables studied were: germination percentage, speed index, average time, average speed and relative frequency. Next, using the best temperature of 30 °C, the physiological potential of intact seeds and seeds scarified in sulphuric acid for 25 minutes were assessed as a function of pre-treatment with high temperatures (80, 120, 160, 200, 240 °C) for 5 minutes in a DIC and 5x2 factorial scheme (temperature x scarification); different concentrations of aluminum (0.0; 1.5; 3.0; 4.5 and 6.0 mmolc. dm⁻³ of Al³⁺); calcium (0.0; 1.5; 3.0; 4.5 and 6.0 cmolc.dm⁻³ of Ca³⁺); and water stress with PEG 6000 at different osmotic potentials (0.0; -0.3; -0.6; -0.9; -1.2 and -1.5 MPa). The experiments were carried out in a completely randomized design (DIC) and the data was submitted to analysis of variance, with means evaluated using the Tukey test at 5% and regression analysis for the quantitative variables. The variables studied were: percentage, speed index, average time, average speed, germination synchrony, length of aerial part and root, fresh and dry mass of root and aerial part for water stress with PEG 6000. The results showed that the best germination occurred at constant temperatures of 20 °C and 30 °C, and at alternating temperatures of 20-30 °C, both in the presence and absence of light. Pre-treatment with high temperatures revealed that the species is not very susceptible to exposure to high temperatures, not germinating above 120 °C. Germinability was significantly affected from 1.5 mmolc.dm⁻³ of Al³⁺, and calcium levels indicated sensitivity from the initial dose of 1.5 cmolc.dm⁻³. Water stress caused a decrease in germination as osmotic pressures increased.

Key words: weed, aluminum stress, water stress, integrated management.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Planta e sementes de ervilha (<i>Tephrosia noctiflora</i>) em área de pastagem.....	15
Figura 2: Sementes de <i>Tephrosia noctiflora</i> (A), beneficiamento (B) e sacos para armazenamento (C).....	27
Figura 3: Frequência relativa da germinação em dias das sementes de <i>Tephrosia noctiflora</i> nas temperaturas de 20°C, 25 °C, 30 °C, 35 °C e alternada de 20-30°C, na luz e na ausência de luz.	34
Figura 4: Plântulas de <i>Tephrosia noctiflora</i> submetidas a tratamento no escuro.....	39
Figura 5: Porcentagem (G%), Índice de Velocidade (IVG), Tempo Médio (TMG) e Velocidade Média de Germinação (VMG) de sementes de <i>Tephrosia noctiflora</i> , em função de pré-tratamento com altas temperaturas e ácido sulfúrico para quebra de dormência.....	41
Figura 6: Porcentagem (G%), Índice de Velocidade (IVG), Tempo Médio (TMG), Velocidade Média (VMG) e Sincronia de Germinação (Z) de sementes de <i>Tephrosia noctiflora</i> submetidas a diferentes doses de Alumínio $Al_2(SO_4)_3$	44
Figura 7: Porcentagem (G%), Índice de Velocidade (IVG), Tempo Médio (TMG), Velocidade Média (VMG) e Sincronia de Germinação (Z) de sementes de <i>Tephrosia noctiflora</i> , submetidas a solução de Cloreto de Cálcio ($CaCl_2$)	45
Figura 8: Porcentagem (G%), Índice de Velocidade (IVG), Tempo Médio (TMG), Velocidade Média (VMG) e Sincronia de Germinação (Z) de sementes de <i>Tephrosia noctiflora</i> submetidos a diferentes potenciais osmóticos de Polietileno Glicol 6000 (PEG 6000) - com diferentes concentrações.....	49

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1:** Porcentagem (G%), Índice de Velocidade (IVG), Tempo Médio (TMG) e Velocidade Média de Germinação (VMG) de sementes de *Tephrosia noctiflora* em função da temperatura e luz.....33
- Tabela 2:** Coeficiente de Assimetria (g1), Medida de Achatamento ou Curtose (g2), nas diferentes temperaturas e condições de luz com sementes de *Tephrosia noctiflora*.....33
- Tabela 3:** Porcentagem (G%), Índice de Velocidade (IVG), Tempo Médio (TMG) Velocidade Média de Germinação (VMG) de sementes de *Tephrosia noctiflora* em função de pré-tratamento com altas temperaturas e ácido sulfúrico para quebra de dormência.....39
- Tabela 4:** Porcentagem (G%), Índice de Velocidade (IVG), Tempo Médio (TMG), Velocidade Média (VMG) e Sincronia de Germinação (Z) de sementes de *Tephrosia noctiflora* submetidas a diferentes doses de Alumínio Al₂(SO₄)₃.....42
- Tabela 5:** Porcentagem (G%), Índice de Velocidade (IVG), Tempo Médio (TMG), Velocidade Média (VMG) e Sincronia de Germinação (Z) de sementes de *Tephrosia noctiflora*, submetidas a solução de Cloreto de Cálcio (CaCl₂)46
- Tabela 6:** Porcentagem (G%), Índice de Velocidade (IVG), Tempo Médio (TMG), Velocidade Média (VMG) e Sincronia de Germinação (Z) de sementes de *Tephrosia noctiflora*, submetidas a solução de Polietileno Glicol 6000 (PEG 6000)48
- Tabela 7:** Comprimento de parte Aérea (PA), Comprimento de Raiz (CR), Massa fresca da parte aérea (MF.PA), Massa seca da parte aérea (MS.PA), Massa fresca da raiz (MF. R), Massa seca da raiz (MS. R), de plântulas *Tephrosia noctiflora* sob diferentes potenciais osmóticos, aos 14 dias após a instalação do experimento. As concentrações ausentes da tabela não desenvolveram plântulas normais após germinação.....51

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	14
2.1 <i>Tephrosia noctiflora</i> e sua importância como planta daninha.....	14
2.2 Processo germinativo.....	16
2.3 Água na germinação.....	17
2.4 Avaliação da biologia da germinação das sementes.....	18
2.4.1 Dormência de sementes.....	19
2.4.2. Temperatura e luz.....	20
2.4.3. Efeito do pré-tratamento com alta temperatura na germinação.....	21
2.4.4. Alumínio.....	22
2.4.5. Calcio.....	23
2.4.6. Polietinol Glicol.....	25
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	27
3.1 Local de condução do experimento.....	27
3.2 Colheita das sementes de <i>Tephrosia noctiflora</i>	27
3.3 Processo de desinfestação e quebra de dormência.....	28
3.4 Avaliação do potencial fisiológico inicial das sementes.....	28
3.5 Efeito da alta temperatura no potencial fisiológico das sementes.....	28
3.6 Influência do alumínio na germinação.....	29
3.7 Influência do teor de cálcio na germinação.....	29
3.8 Estresse hídrico.....	29
3.9 Variáveis analisadas.....	30
3.10 Análise estatística.....	31
4 RESULTADO E DISCUSSÃO.....	32
4.1 Efeito da temperatura e luz na germinação de sementes <i>Tephrosia noctiflora</i>	32
4.2 Efeito da alta temperatura no potencial fisiológico das sementes.....	39
4.3 Influência do alumínio na germinação de sementes de <i>Tephrosia noctiflora</i>	42
4.4 Influência do cálcio na germinação de sementes de <i>Tephrosia noctiflora</i>	45
4.5 Estresse hídrico simulado por Polietileno Glicol 6000 (PEG 6000), em sementes de <i>Tephrosia noctiflora</i>	47
5 CONCLUSÕES.....	53
6 REFERENCIAS.....	54

1. INTRODUÇÃO

O entendimento do comportamento do potencial fisiológico das sementes de espécies invasoras tem papel fundamental no manejo e controle dessas plantas. Conhecer a capacidade de germinação, vigor e dormência das sementes permite prever a sua dispersão e estabelecimento em novos ambientes. Tais informações auxiliam na elaboração de estratégias eficazes de controle e prevenção, reduzindo os impactos negativos na agricultura e na biodiversidade nativa. E, essa compreensão pode contribuir para o desenvolvimento de práticas agrícolas mais sustentáveis e a proteção de ecossistemas naturais. Além de competirem por recursos e serem hospedeiras de pragas e doenças, algumas plantas também podem causar enfermidades em animais, agravando os prejuízos. A literatura sobre a biologia dessa espécie é escassa, destacando a necessidade de pesquisas para compreender suas formas de dispersão. Estes justificam a ideia principais de seu estudo conhecer a espécie para traçar estratégias de manejo.

Tephrosia noctiflora, popularmente conhecida como ervilha, nativa de áreas tropicais e subtropicais, tem sua distribuição no Brasil bastante ampla, ocorrendo principalmente nas regiões Nordeste e Centro-Oeste. É comum em solos arenosos e bem drenados, prosperando em ambientes perturbados, como bordas de matas, cerrados e campos rupestres. Seu ciclo de vida anual e a produção abundante de sementes favorecem sua rápida proliferação e manutenção em diversos ecossistemas, refletindo sua versatilidade e capacidade competitiva (Queiroz, 2020).

Esta pertence à família Fabaceae e ao gênero *Tephrosia*, sendo classificada como planta daninha devido ao seu impacto negativo na produção agrícola e à presença de rotenoides, substâncias tóxicas para insetos, peixes e mamíferos. Em algumas regiões da África e da América do Sul, espécies de *Tephrosia* são usadas por comunidades rurais e indígenas para envenenamento em atividades de pesca (NEUWINGER, 2004; VAN ANDEL, 2000)). No caso da *Tephrosia noctiflora*, há relatos que ela pode provocar dermatite em gado, e, que a intoxicação por esta planta resulta em emaciação, eritema, alopecia, exsudação com odor fétido, formação de crostas, hiperpigmentação, liquenificação e edema nas extremidades e peito dos animais (Barbosa et al., 2022). Essa condição foi observada em surtos no estado de Alagoas, evidenciando a toxicidade da *T. noctiflora* e seu impacto negativo na saúde do gado.

A literatura sobre a biologia dessa espécie é escassa, destacando a necessidade de pesquisas para compreender suas formas de dispersão e adaptação, essenciais para desenvolver

estratégias de controle e minimizar os impactos negativos observados em campo, como no cultivo de cana-de-açúcar e áreas de pastagens (Barbosa et al., 2022).

A ecologia da germinação é fundamental para o estabelecimento de daninhas em agroecossistemas, pois influencia a capacidade competitiva dessas plantas e as estratégias de manejo adotadas. Fatores como água, luz, temperatura, estresse, saturação por alumínio e cálcio, além da dormência, impactam a germinação e o sucesso na colonização de novos ambientes. A capacidade de adaptação das plantas daninhas a essas variações ambientais varia conforme a espécie, afetando a dinâmica populacional e a competitividade (BAJWA et al. 2015; CHAUHAN e JOHNSON 2010).

Compreender o comportamento germinativo das sementes de espécies invasoras em relação aos fatores ambientais é crucial para interpretar o comportamento ecológico dessas espécies no campo e desenvolver estratégias que reduzam o potencial do banco de sementes, desacelerando a proliferação de novas plantas indesejáveis. A ausência de informações na literatura sobre a biologia da germinação da espécie estudada evidencia a necessidade de investigações nesse campo. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi analisar o potencial fisiológico de sementes de *Tephrosia noctiflora* em função de fatores como temperatura, luz, altas temperaturas, estresse por alumínio, cálcio e déficit hídrico.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. *Tephrosia noctiflora* e sua importância como planta daninha

O gênero *Tephrosia* Pers., se destaca como um dos maiores gêneros de família Fabaceae, com cerca de 350 espécies e com uma ampla distribuição global (GEESINK, 1984; SCHRIRE, 2005). Cerca de 50 espécies de *Tephrosia* são naturais da África Equatorial, enquanto 70 são encontradas na África do Sul, 35 na Índia e 30 na América do Sul (ZHANG et al., 2020). No Brasil, são catalogadas 12 espécies de *Tephrosia*, incluindo a *T. noctiflora*. No país, a *T. noctiflora* é encontrada em diversos domínios fitogeográficos, como Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica e Pantanal (Queiroz, 2012).

Na literatura, constatou-se que diversas espécies do gênero *Tephrosia* têm sido empregadas na medicina popular para o tratamento de várias doenças em seres humanos e animais (Rao et al., 2020).

As plantas do gênero *Tephrosia* são reconhecidas por sua riqueza em fitoquímicos bioativos, que incluem flavonoides, rotenoides, terpenoides e esteroides. Devido ao seu teor de rotenoides, como rotenona, deguelina, rotenolona e tefrosina, várias espécies são conhecidas por sua toxicidade para insetos, peixes e mamíferos. Na África e na América do Sul, as espécies de *Tephrosia* são empregadas como venenos de pesca por comunidades rurais e indígenas. Nos Estados Unidos, a rotenona é frequentemente utilizada para controlar populações indesejadas de peixes em reservatórios agrícolas. Espécies comumente associadas a atividades inseticidas e piscicidas incluem *T. candida*, *T. elata*, *T. purpurea*, *T. villosa*, *T. virginiana*, *T. vogelii*, *T. dasyphylla*, *T. densiflora*, *T. diffusa*, *T. elegans*, *T. linearis*, *T. macropoda*, *T. nana* e *T. nyasae*. (Neuwinger, 2004; Zhang et al., 2020).

Estudos recentes também apontam para o uso de inseticidas botânicos derivados de espécies do gênero *Tephrosia* como promissores complementos às estratégias de controle de vetores das espécies dos gêneros *Aedes*, *Culex* e *Anopheles*. Além disso, esses estudos investigam os efeitos dos extratos de *Tephrosia toxicaria* no controle das populações de *Aedes*, bem como sua fitotoxicidade. Adicionalmente, foram examinados os efeitos desses extratos como agentes antimicrobianos contra as formas promastigotas de *Leishmania amazonensis* e diversas cepas bacterianas e fúngicas (Silva, 2022).

A espécie *Tephrosia noctiflora* é um arbusto ereto (Figura 1), com caule indumentoso, estrigoso ou seríceo, com folhas estipuladas persistentes e compostas pinadas, contendo mais de três folíolos de formato obovado e com indumento de cor rufo. A inflorescência ocorre na posição terminal, e as flores exibem um comprimento do tubo do cálice menor que o

comprimento dos lobos, caracterizando um cálice giboso e lobado com lacínias. Suas flores e as pétalas são de cor branca, os estiletes e estigmas são glabros. O fruto, é do tipo legume, cartáceo e linear, com ápice curvo, tendo entre 2 e 5 cm de comprimento, o indumento é rufo, o cálice está ausente e o legume apresenta indumento viloso. As sementes não possuem arilo, têm coloração marrom, formato elipsoidal a reniforme e a testa é verrucosa, conforme dados relatados por Antonio-Domingues et al., (2019); Flora Brasil (2020); Queiroz et al., (2012); Queiroz, (2020).

Figura 1. Planta e sementes de ervilha (*Tephrosia noctiflora*) em área de pastagem.



Fonte. Autora, 2024.

Os danos observados nas plantas cultivadas devido à presença de plantas daninhas não podem ser atribuídos exclusivamente à competição, pois uma variedade de pressões ambientais também desempenha um papel, incluindo fatores diretos como competição e alelopatia, e indiretos como a hospedagem de pragas e doenças. O efeito combinado desses fatores é denominado interferência, que representa o conjunto de efeitos que uma determinada cultura sofre devido à presença da comunidade infestante em uma área específica (Helvig et al., 2020).

As plantas daninhas são altamente adaptáveis a ambientes frequentemente perturbados, principalmente devido a características das sementes, como alta produção, dispersão eficiente, longevidade e, especialmente, dormência (Silva et al., 2014). Elas também variam significativamente em resposta às condições edafoclimáticas e às práticas agronômicas adotadas (Silva et al., 2018), o que pode favorecer o potencial regenerativo de várias espécies, mesmo na ausência de produção de sementes por longos períodos, tornando-se o principal desafio no controle dessas plantas (Silva et al., 2014).

A ocorrência de intoxicações em animais de produção devido à ingestão de plantas é um problema antigo no Brasil, acarretando consideráveis perdas econômicas. Durante a pesquisa conduzida por Barbosa et al. (2022), foi identificada uma epidemia de uma doença que afetou bovinos no estado de Alagoas, localizado no Nordeste do Brasil. Os animais apresentaram sintomas como perda de peso, dermatite com vermelhidão, queda de pelos, secreção malcheirosa, crostas, escurecimento da pele, espessamento e inchaço dos membros anteriores e posteriores, além do tórax e das barbelas. Ao examinar microscopicamente as lesões, observou-se uma dermatite difusa com infiltração de linfócitos e histiócitos, além de hiperqueratose e acantose. A planta *Tephrosia noctiflora*, consumida pelos animais e encontrada em áreas de pastagem, foi testada em conjunto com ração comercial, confirmando sua associação com os surtos de dermatite observados nos bovinos que pastavam nessas áreas infestadas.

Em seus estudos, Almeida et al., (2019) pontuaram que as plantas invasoras ganham relevância ao servirem como hospedeiras alternativas para pragas e doenças. Santos et al. (2007) relatam um outro exemplo do gênero, como a *Tephrosia cinerea*, também chamada de "falso anil", uma leguminosa comum no nordeste brasileiro, associada à intoxicação de ovinos durante períodos de seca. Apesar disso, o princípio ativo responsável pela intoxicação ainda não foi identificado. Os sintomas clínicos da ingestão dessa planta incluem fibrose hepática, hipertensão portal e ascite, sendo conhecida como doença da "barriga d'água". Essa enfermidade tem um curso crônico, com sinais clínicos que podem levar semanas ou meses para se manifestarem, sendo os mais comuns: ascite, anorexia, depressão, dispneia e intolerância ao exercício. A morbidade varia entre 10% e 70%, com uma letalidade em torno de 50% (Silveira et al., 2018). Isso destaca a importância do entendimento sobre o gênero *Tephrosia*, bem como a escassez de estudos relacionados a ela.

2.2 Processo germinativo

O processo de germinação é bastante complexo e envolve diversos aspectos. Inicialmente, ocorre a retomada do crescimento do embrião, que havia sido interrompido durante a maturação e, quando estimulado por condições apropriadas, volta a se desenvolver (Carvalho e Nakagawa, 2012). Isso implica na ativação de reações bioquímicas e enzimáticas, desencadeadas pela absorção de água pela semente, resultando em expansão, divisões celulares e crescimento do embrião. Assim, a germinação é uma etapa essencial para o crescimento das plantas, sendo desencadeada por condições favoráveis, como umidade, oxigênio e temperatura adequados, além da presença adequada de luz e nutrientes para determinadas espécies. No entanto, essas exigências podem ser influenciadas por outros fatores em sementes dormentes, como destacado

por Zhao et al. (2017). Ademais, o período de dormência fisiológica é encerrado, iniciando-se o processo germinativo, que é abordado de maneira distinta pela Fisiologia Vegetal, culminando com a protrusão da raiz primária, e pelos Tecnologistas de Sementes (Brasil, 2009), que também consideram a formação e desenvolvimento da plântula (Marcos-Filho, 2015).

A germinação de sementes pode ser afetada por diversos fatores internos e externos à própria semente, como pH, temperatura constante, estresse osmótico, estresse salino e armazenamento a seco. Esses fatores tornam esse estágio crítico e muitas vezes imprevisível em termos de localização e tempo (Daddario et al, 2017) Apesar de sensível aos fatores ambientais, a germinação das sementes pode ser influenciada por eles, interferindo em atividades metabólicas e podendo retardar ou inibir o processo. No entanto, as plantas desenvolveram mecanismos para garantir sua sobrevivência, envolvendo uma série de processos bioquímicos e celulares, como a reativação do metabolismo, a retomada da respiração celular, a reparação do DNA e o início da mobilização das reservas (Ali e Elozeiri, 2017). Assim, as condições ideais para germinação são específicas para cada espécie e devem ser determinadas por meio de experimentação.

Realizar testes de germinação em laboratório é fundamental para entender previamente o potencial germinativo de sementes de muitas espécies. Em condições controladas, é possível avaliar a capacidade de germinação das sementes, identificando lotes com maior probabilidade de ter um desempenho eficiente. As análises da qualidade e do vigor das sementes permitem comparar seu potencial fisiológico, determinar taxas de germinação para uso posterior na semeadura e comercialização, além de identificar o período ideal para armazenamento. Essa prática, embasada em estudos como os de Carvalho e Nakagawa (2012); Figliolia (2015); Marcos-Filho, (2015), contribui significativamente para a gestão eficaz de recursos e a promoção da agricultura sustentável.

2.3 Água na germinação

A água é essencial para o processo de germinação das sementes, sendo considerado o requisito mais crucial, conforme destacado por Bewley et al. (2013). A absorção de água pela semente desencadeia importantes processos metabólicos, como atividade enzimática e respiração, marcando o início do processo germinativo (Baskin e Baskin, 2001).

A observação da absorção de água pelas sementes permite compreender e descrever o processo de hidratação em cada espécie, o que é essencial para investigações relacionadas à germinação, permeabilidade do tegumento, utilização de reservas e aplicação de reguladores vegetais, conforme salientado por (Marcos-Filho 2015).

As diferenças nos níveis de hidratação podem ser atribuídas a variações na composição química das sementes, incluindo a quantidade de proteínas, amidos ou lipídios, bem como à morfologia da semente e às variações na permeabilidade de sua cobertura. Durante os estágios iniciais da germinação, o tegumento atua como reservatório de água, contribuindo para manter o teor hídrico adequado durante a embebição. Sementes com teor oleaginoso tendem a absorver menos água do que aquelas ricas em amido, e estas, por sua vez, menos do que as ricas em proteínas. Portanto, as velocidades e intensidades de absorção variam de acordo com cada espécie. Além da composição química, a permeabilidade pode ser influenciada por características como porosidade, estrutura e pigmentação do tegumento, conforme destacado por (Marcos-Filho 2015).

2.4 Avaliação da biologia da germinação das sementes

A produção de sementes é considerada o principal meio de propagação das plantas daninhas, e a germinação dessas sementes não é uniforme, sendo este um fator crucial para a sobrevivência e dispersão dessas plantas. Por possuírem maior capacidade de captar água e nutrientes, graças ao crescimento mais rápido de suas plântulas, essas plantas se proliferam rapidamente em áreas agrícolas e outras regiões perturbadas (Santana, 2021). Em relação a qualidade das sementes, esta é determinada por uma série de características, incluindo aspectos físicos, genéticos, fisiológicos e sanitários. (Marcos-Filho 2015) ressalta que, dentro desses componentes cruciais da qualidade das sementes, o potencial fisiológico tem sido o mais investigado como indicador da qualidade geral.

Cada espécie possui um padrão específico de germinação, que é determinado pela interação de fatores genéticos, tecnológicos e ambientais, como o potencial hídrico e a variação da temperatura (Hoffmann et al., 2016). As estratégias de manejo em áreas de cultivo requerem o conhecimento da influência dos fatores abióticos sobre a germinação e o vigor das sementes, que caracteriza o conjunto de propriedades intrínsecas à semente, cuja combinação determina seu potencial de germinação e emergência da plântula (Bandeira et al., 2019; Grzybowski et al., 2015; Amaro et al., 2015).

Na literatura atual, há uma escassez de informações sobre a germinação da espécie *Tephrosia noctiflora*, assim como uma falta de dados sobre a germinação de sementes de outras espécies do gênero *Tephrosia*. Os estudos disponíveis mencionam baixas taxas de germinação e uma falta de uniformidade nesse processo. Os estudos existentes sobre o gênero mencionam técnicas para superar a dormência das sementes, indicam que os níveis de salinidade não

influenciam o crescimento inicial e demonstram sensibilidade ao estresse hídrico (Ribeiro, J. et. al. 2023; S. F. Costa et. al. 2023).

2.4.1. Dormência de sementes

A dormência tegumentar é uma ocorrência comum em diversas famílias botânicas, sendo particularmente prevalente na família Fabaceae (Piña-Rodrigues e Martins, 2012). Essa forma de dormência está relacionada à impermeabilidade do tegumento à água e ao oxigênio, bem como à sua resistência mecânica ao crescimento do embrião (Avelino et al., 2012).

Os processos de germinação de sementes de Fabaceae são amplamente estudados com base em parâmetros fisiológicos. No entanto, muitas sementes silvestres dessa família apresentam dormência, que precisa ser superada para promover a germinação. Isso geralmente é alcançado através de processos de escarificação. Estudos anatômicos das sementes revelam uma estrutura da cobertura caracterizada por tecidos esclerenquimáticos e coberturas cerosas, que dificultam a entrada de água necessária para a embebição. A escarificação mecânica ou química efetivamente romper essa barreira. A análise detalhada da anatomia do tegumento permite identificar a técnica de escarificação mais adequada para alcançar a germinação ideal das sementes (Peña e Bravo, 2023).

Vale ressaltar que, a dormência é considerada um mecanismo de proteção das sementes contra condições ambientais adversas que podem dificultar ou impedir seu metabolismo normal (Marcos-Filho, 2015). Apesar de ser vantajosa para a sobrevivência das espécies, a dormência pode apresentar um desafio na análise das sementes em laboratório e na produção de mudas, destaca (Medeiros, 2019).

A inibição da germinação de sementes dormentes pode ser resultado de uma interação de fatores físicos, fisiológicos ou morfológicos que atuam de forma individual ou combinada (TORRES, 2008). Essas sementes dormentes têm uma longa vida útil e qualquer método que quebre o tegumento, permitindo a absorção de água, facilita sua germinação e o surgimento de plântulas geralmente vigorosas (Grus et. al, 1984).

Alguns procedimentos prévios não estão diretamente ligados à dormência das sementes, mas são realizados para agilizar o processo de germinação ou facilitar o estabelecimento de mudas, já que podem auxiliar na superação da dormência em determinadas condições (Cardoso et al., 2014). Dentre os métodos empregados em pesquisas experimentais para promover a germinação de sementes, destaca-se a escarificação química utilizando ácido sulfúrico. Esse método é aplicado em sementes que são impermeáveis e têm uma casca dura (Meschede et al., 2004).

Em estudos não publicados Chavante (2023), observa-se que as sementes de *Tephrosia noctiflora* apresentam dormência devido à impermeabilidade do tegumento. Para superar essa dormência, foram testados diversos tratamentos, incluindo imersão em banho-maria a 45 °C por 20 minutos, choque térmico (imersão em água fervente seguida de resfriamento em água corrente) e imersão em ácido sulfúrico (H₂SO₄) por períodos de 5, 10, 15, 20 e 25 minutos. Dentre os métodos, destacou-se a imersão por 25 minutos em ácido sulfúrico, associada a uma temperatura constante de 30 °C, resultando em uma germinação média de 85% e maior Velocidade de Germinação, Índice de velocidade e Tempo Médio de Germinação.

Em seus estudos, Baes et al. (2001) afirmam que os tegumentos de algumas espécies possuem características que favorecem a germinação e a emergência das sementes, que sementes ingeridas por animais e humanos podem resistir aos processos digestivos, permitindo que passem ilesas pelo trato intestinal, facilitando assim a dispersão. No entanto, a utilização de agentes químicos corrosivos, como o ácido sulfúrico, nem sempre é uma comparação adequada para esse processo biológico natural. (Mackay, 1996) diz que em condições naturais, a exposição das sementes a altas temperaturas também têm sido sugerida como um fator responsável pela quebra da dormência.

Assim, a pesquisa de abordagens alternativas para superar a dormência pode ser aplicada para avaliar a qualidade fisiológica das sementes em laboratório e contribuirá principalmente para o avanço de técnicas que possibilitem a comercialização de sementes com redução parcial ou completa da dormência (Marcos-Filho 2015).

2.4.2. Temperatura e luz

A temperatura exerce um papel fundamental na germinação das sementes, influenciando sua taxa, velocidade e uniformidade. Esse impacto decorre das alterações que a temperatura provoca nas atividades metabólicas e enzimáticas no interior da semente, as quais são cruciais para iniciar o processo de germinação (Bewley et al., 2013).

De maneira geral, cada tipo de planta possui uma faixa específica de temperatura na qual a germinação ocorre de maneira mais eficiente. Temperaturas muito baixas têm o potencial de atrasar ou impedir o processo de germinação, ao passo que temperaturas excessivamente altas podem causar danos às estruturas celulares, reduzindo a viabilidade das sementes. Ademais, a temperatura ambiental pode variar ao longo do dia e das estações do ano, exercendo diferentes influências sobre a germinação. Por exemplo, certas sementes podem necessitar de temperaturas mais elevadas para germinar durante o dia e de temperaturas mais amenas durante a noite (Bewley et al., 2013; Marcos-Filho 2015).

No que diz respeito à temperatura e à luz, esses elementos representam dois dos principais fatores ambientais que exercem influência no processo de germinação (Daddario, 2018). A luz, por exemplo, atua como um agente natural para superar a dormência em sementes de algumas espécies invasoras. Autores como Yun e Wen (2018), que estudaram espécies da família *Asteraceae*, e Ribeiro, J. et al., (2023), que analisaram espécies de *Tephrosia*, destacam a relevância desse aspecto.

2.4.3. Efeito do pré-tratamento com alta temperatura na germinação

A simulação de fogo com altas temperaturas em testes de germinação de plantas daninhas ou invasoras é crucial para entender como essas espécies respondem a estresses ambientais extremos, essa simulação permite avaliar a resistência das sementes ao calor intenso, comum em áreas sujeitas a incêndios naturais. Além disso, esses testes ajudam a determinar a viabilidade das sementes após a exposição ao fogo, fornecendo dados importantes para a gestão e controle de espécies invasoras, especialmente em ecossistemas onde o fogo é um fator natural regular (Vermeire e Rinella, 2017). Considerando que os pré-tratamentos térmicos podem funcionar tanto como método de vigoramento quanto como elementos de "distress", ainda são pouco investigados quanto ao vigor e às respostas de emergência e desenvolvimento inicial das plântulas de plantas invasoras provenientes de diferentes locais de coleta.

Estudando a influência da queima prescrita em diversas plantas invasoras, Ditomaso et al. (2017) afirmam que essa técnica tem sido utilizada principalmente como uma ferramenta para o controle de espécies invasoras anuais de folhas largas e gramíneas no final da estação, tais como *Carlina corymbosa*, *Taeniatherum caput-medusae*, *Aegilops triuncialis*, *Melilotus officinalis* e *Lagenocarpus velutinus*, e queima tem se mostrado eficaz no controle dessas invasoras, que possuem a característica de criar um grande banco de sementes no solo.

Asgarpour et al. (2020), ao testar o efeito do pré-tratamento com altas temperaturas na germinação de sementes de duas espécies daninhas, *Chamaesyce maculata* e *Euphorbia heterophylla*, utilizaram quatro faixas de temperatura: 80 °C, 100 °C, 120 °C e 140 °C, com durações de 1 e 5 minutos. Descobriu-se que as sementes de *C. maculata* e *E. heterophylla* são altamente suscetíveis à exposição prolongada a temperaturas acima de 100 °C e 120 °C, respectivamente. Observou-se que a germinação dessas duas espécies apresentou uma tendência decrescente com o aumento das temperaturas, a 140 °C, por 1 e 5 minutos, a germinação de *E. heterophylla* foi de 82% e 5%, respectivamente, além disso, a germinação de *C. maculata* foi completamente perdida a 120 °C e 140 °C por 5 minutos. Demonstrando, assim, que esse processo é especialmente eficaz para sementes localizadas na camada superficial do

solo, onde o calor da queimada é mais intenso, e que algumas sementes se tornam completamente inviáveis a determinadas temperaturas e durações de exposição.

2.4.4. Alumínio

O alumínio (Al) é o metal mais comum na crosta terrestre, e sua forma livre (Al^{3+}) é prejudicial para a maioria das espécies cultivadas, mesmo em concentrações baixas (Cárcamo et al., 2019; Feng et al., 2023). O efeito nocivo do Al está relacionado à indução da superprodução de espécies reativas de oxigênio (ERO), que, quando em excesso, perturbam o equilíbrio celular, oxidam macromoléculas biológicas (como lipídios, açúcares, proteínas e ácidos nucleicos), causam peroxidação lipídica e alteram a atividade enzimática (Yu et al., 2019; Chauhan et al., 2021).

O íon Al^{3+} possui afinidade com as moléculas de pectina na parede celular, estabelecendo uma ligação mais forte e rápida do que o Ca^{2+} . Essa substituição resulta em rigidez, reduzindo a capacidade de extensibilidade, um atributo essencial para a expansão celular (Kochian et al., 2005). Sua principal função é preservar a integridade da parede celular, influenciando o transporte seletivo de íons e protegendo-a dos efeitos prejudiciais dos íons de hidrogênio (pH 3,9), que podem comprometer as funções da membrana (Beninni et al., 2003). Além disso, o íon Al^{3+} desempenha um papel crucial na divisão e alongamento celular, sendo essencial para a germinação do pólen e o crescimento do tubo polínico, sendo também fundamental para o crescimento e aprofundamento das raízes (Naiff, 2007).

Entretanto, o tecido celular é afetado pelo alumínio tanto internamente quanto externamente. Quando em contato com o sistema radicular, pode haver alterações morfológicas como consequência secundária dos danos celulares. O alumínio danifica a cobertura da raiz, causando engrossamento radicular. Isso ocorre devido à ligação do alumínio com componentes como pectina e hemicelulose presentes na parede celular (Kar et al., 2021).

Quando as plantas são expostas a concentrações letais de alumínio, ocorrem mudanças nas membranas celulares, resultando em aumento da permeabilidade e consequente efluxo de solutos do interior das células. A peroxidação lipídica é um dos primeiros efeitos sobre a bicamada lipídica, afetando os canais de proteínas das membranas e alterando o potencial elétrico da parede celular (Shomer et al., 2003; Vitorello et al., 2005). Além disso, o alumínio pode deslocar íons críticos no apoplasto, interrompendo as concentrações iônicas intracelulares ao interferir com transportadores de solutos na membrana, como canais iônicos, transportadores e bombas, que são responsáveis pelo transporte de solutos carregados através da membrana (Kar et al., 2021).

A tolerância ao alumínio é uma característica que permite às plantas se adaptarem a ambientes adversos, resultando em maior produtividade de grãos nos genótipos que possuem essa tolerância, em comparação com aqueles que não a possuem. Compreender os mecanismos que diferenciam o desempenho dos genótipos facilita a exploração da variabilidade genética existente para essa característica (Passos et al., 2015).

Os resultados apresentados por Huang et al. (2021) em seu estudo com plantas de *Camellia sinensis* demonstraram que essa espécie possui mecanismos internos que permitem a formação de complexos não tóxicos de alumínio no citosol. Além disso, o estudo revelou um acúmulo de alumínio na parte aérea da planta, especialmente nas folhas mais velhas. Essas estratégias de desintoxicação do alumínio são fundamentais para o desenvolvimento de genótipos mais tolerantes a esse elemento, especialmente em solos ácidos.

Sementes expostas a diferentes concentrações de Al^{3+} apresentaram um aumento nos níveis de H_2O_2 , indicando que o estresse oxidativo estava envolvido na toxicidade do Al^{3+} durante a germinação (Ma e Shen 2007). Esse tipo de estresse foi identificado em sementes de diversas plantas, como *Arabidopsis thaliana* (Richards et al., 1998), *Triticum aestivum* L. (Darkó et al., 2004), *Nicotiana tabacum* e *Pisum sativum* (Yamamoto et al., 2002), promovendo a produção de espécies reativas de oxigênio ERO.

Yamashita e Guimarães (2011) em suas pesquisas envolvendo as plantas daninhas *C. canadensis* e *C. bonariensis*, comuns em grandes culturas, mostraram que a germinação dessas espécies foi reduzida pela presença de alumínio no substrato, havendo uma diminuição significativa na germinação a partir de $1,5 \text{ mmol}_c.\text{dm}^3$ para as sementes de ambas as espécies, além disso, a velocidade de germinação foi afetada negativamente já a partir da menor concentração de alumínio testada ($0,5 \text{ mmol}_c.\text{dm}^3$). Esses resultados indicam que as sementes dessas plantas daninhas são sensíveis à presença de alumínio no substrato de germinação. E essa sensibilidade pode trazer benefícios agrícolas, visto que o solo possuindo níveis elevados de alumínio, a germinação e o crescimento das plantas daninhas serão prejudicados, o que reduz a competição com as culturas principais por nutrientes, água e luz.

2.4.5. Cálcio

O cálcio (Ca) é um nutriente fundamental e vital para as plantas, sendo imprescindível manter um nível constante de cálcio para assegurar a integridade da parede celular e o funcionamento adequado da membrana. Além disso, as diferentes espécies podem apresentar variações significativas em suas exigências de cálcio para um crescimento ideal (Thompson et al., 1997). Além disso, em seus estudos, Sanders et al. (1999) afirmam que o cálcio exerce uma

função crucial no fortalecimento e na manutenção da estabilidade estrutural dos tecidos biológicos, abrangendo desde as membranas intercelulares até as paredes celulares dos caules lenhosos.

Existem poucas informações disponíveis sobre o impacto dos íons Ca^{2+} na germinação das sementes (Shaikh et al., 2007; Munns, 2002).

Relatou-se que três níveis de cálcio (baixo, médio e alto) foram testados em três espécies florestais: *Pinus massoniana*, *Cunninghamia lanceolata* e *Liquidambar formosana*, e observou-se que a germinação dessas espécies aumentou com o incremento no teor de cálcio. No entanto, o mesmo efeito não foi observado em outras três espécies: *Cryptomeria fortunei*, *Pinus armandii* e *Cryptomeria chinensis*, cujos resultados foram estatisticamente inferiores aos das espécies anteriores, sendo que nesta última a germinação foi zero (Liu et al. 2011).

Outros pesquisadores também indicam que altas concentrações de Ca^{2+} por períodos prolongados podem favorecer a germinação das sementes, embora esse aspecto tenha sido menos explorado na literatura (Guan et al., 2009; Parida e Das, 2005).

Também foi constatado que o cálcio impede a absorção de Na^{+} , reduzindo assim seu impacto negativo na germinação das sementes. (Yang et al., 2007; Zehra et al., 2012). Isso significa que, em ambientes onde há presença excessiva de sódio (Na^{+}), o cálcio (Ca^{2+}) pode atuar como um inibidor, reduzindo a quantidade de sódio que as sementes absorvem. O sódio em excesso é prejudicial porque pode interferir no metabolismo das sementes e dificultar a absorção de água e nutrientes, comprometendo o processo de germinação. Reduzindo a absorção de sódio, o cálcio protege as sementes dos efeitos prejudiciais desse elemento, favorecendo uma germinação mais saudável e eficiente, o cálcio também promove o crescimento das plantas e atenua os efeitos tóxicos causados por Na^{+} e Mg^{2+} , possivelmente por bloquear a entrada desses íons. (Joshi et al., 2012; Kronzucker e Britto, 2012).

Estudos sobre a interação entre sódio (Na^{+}) e cálcio (Ca^{2+}) demonstraram os benefícios do cálcio na mitigação dos danos causados pelo excesso de sal, pois o Ca^{2+} impede a absorção excessiva de Na^{+} pelas sementes, protegendo-as dos efeitos adversos do sal e promovendo uma germinação mais saudável e eficiente, visto isso diversas culturas, como ervilha, trigo, girassol e tomate, evidenciaram o alívio da toxicidade do sal durante a germinação com a presença de Ca^{2+} Bonilla et al., (2004); Daowei e Moxin, (2010); Turkmen et al., (2004). Esse efeito benéfico também foi observado em *H. ammodendron*, *Artemisia ordosica*, *Aristida adscensionis*, *Bassia dasyphylla*, *Pisum sativum* e *Chenopodium album* Tobe et al., (2003); Tobe et al., (2004); Yao et al., (2010), assim como em várias outras espécies halófitas da costa do Paquistão (Gul e Khan, 2006).

Os resultados obtidos por Kolodziejek et al. (2015), ao estudar a influência do Ca^{2+} sobre a germinação de *Galium cracoviense*, demonstraram que as sementes dessa espécie podem suportar o estresse causado por CaCO_3 sem perder a viabilidade e são capazes de germinar quando a concentração de CaCO_3 é reduzida. Os autores também observaram que a porcentagem de germinação de *Galium cracoviense* diminui conforme a concentração de Ca^{2+} aumenta. Um efeito semelhante foi observado por Kumar et al. (2009) em sementes de *Jatropha curcas* L. sob estresse de Ca^{2+} .

2.4.6. Polietinol Glicol

A simulação do déficit hídrico em laboratório é uma técnica crucial para entender o comportamento do sistema radicular das plantas em condições de estresse hídrico. Esse método é importante porque permite a criação de um ambiente controlado onde a disponibilidade de água pode ser precisamente regulada, algo que é difícil de fazer em condições de campo. A avaliação das raízes no campo é complexa e requer a escavação completa do solo, o que é laborioso e pode danificar as raízes. Em laboratório, o uso de substâncias como o polietilenoglicol permite induzir a deficiência hídrica de maneira controlada e repetível, facilitando o estudo dos mecanismos de adaptação das plantas ao estresse hídrico. Isso proporciona uma compreensão mais detalhada de como as plantas respondem à falta de água, ajudando no desenvolvimento de cultivares mais resistentes à seca e na melhoria das práticas de manejo agrícola (Dantas et al., 2017; Flores et al., 2017).

O polietilenoglicol (PEG) 6000 é um regulador osmótico quimicamente inerte composto por uma série de polímeros com peso molecular de 6000, amplamente utilizado para induzir artificialmente o estresse hídrico. Isso ocorre porque suas macromoléculas dificultam a absorção de água pelas sementes (Larher et al., 1993), levando as plantas a uma condição de estresse por seca (Govindaraj et al., 2010). Além disso, diversos autores destacam os benefícios de utilizar o PEG para induzir a seca, pois ele proporciona uma grande uniformidade no estresse hídrico aplicado durante os estágios iniciais de germinação e crescimento das plântulas (Khodarahmpour, 2011; Shamim et al., 2014).

Estudando duas plantas daninhas, *Conyza canadensis* e *Conyza bonariensis*, Yamashita e Guimarães (2011) observaram que, dentre os potenciais avaliados, houve uma redução significativa na germinação e na velocidade germinativa a partir de $-0,2$ Mpa, além disso, a partir de $-0,6$ MPa, não ocorreu germinação das sementes de *Conyza*, indicando que essas espécies são sensíveis a baixos potenciais osmóticos. Sena (2023) observou na espécie *Erythrina velutina*, uma Fabaceae nativa de ampla ocorrência, que o tratamento das sementes

com PEG resulta em restrição hídrica, considerada a principal característica climática que impede ou afeta metabolicamente a germinação, tornando-a mais lenta e não uniforme ao longo do tempo, no entanto, quando as condições ótimas de germinação no ambiente foram restauradas, as sementes viáveis conseguiram reidratar os tecidos embrionários e germinar, revertendo assim os efeitos da restrição hídrica causados pela solução de PEG.

Moraes et al. (2023), em seus estudos com *Tephrosia egregia Sandwith*, outra Fabaceae nativa da Caatinga brasileira, simularam estresse hídrico com PEG em diferentes concentrações e observaram que a germinação das sementes foi reduzida a partir do potencial hídrico de -0,2 MPa, chegando a ser nula a partir de -0,6 MPa. As reduções observadas podem ser atribuídas à diminuição da atividade enzimática, que prejudica o metabolismo das sementes. Isso ocorre devido à baixa disponibilidade de água necessária para a digestão e o transporte das substâncias de reserva das sementes (Bewley et al., 2013).

Pelegriini et al. (2013) observaram que a germinação das sementes de *Erythrina falcata Benth.*, uma Fabaceae conhecida popularmente no Brasil como mulungu, foi afetada pelo estresse hídrico imposto pelo PEG 6000 a partir de -0,5 Mpa, além disso Almeida et. al. (2014), ao estudarem as sementes de *Amburana cearensis*, conhecida como cumaru, notaram maiores percentuais de germinação nos potenciais de 0 e -0,2 Mpa, com uma redução significativa na germinação a partir de -0,6 MPa, e a germinação foi nula nos potenciais de -0,8 e -1,0 MPa.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local de condução do experimento

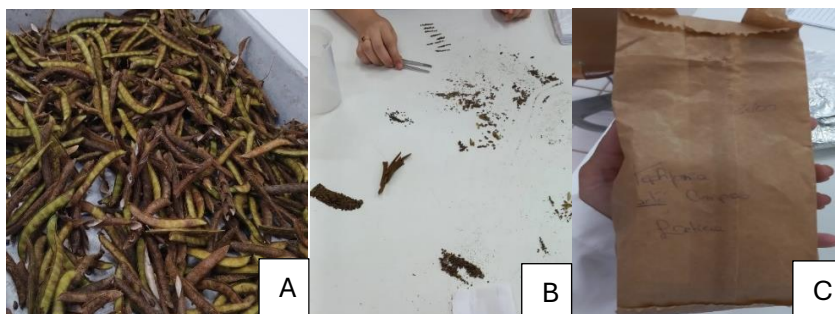
O estudo foi realizado no Laboratório de Propagação de Plantas, localizado no Campus de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, Brasil, localizado a 09° 28' S, 35° 49' W e 127 m de altitude, no período de julho de 2023 a março de 2024.

3.2. Colheita das sementes de *Tephrosia noctiflora*

As sementes foram obtidas de frutos maduros, caracterizados pela coloração marrom (Figura 2-A). Em áreas de pastagem e plantio de cana-de-açúcar em Alagoas, a colheita foi realizada manualmente nos meses de junho e julho de 2023, nos municípios de São Miguel dos Campos, localizado a 09° 46' 51" S e 36° 05' 38" O, e São Miguel dos Milagres, localizado a 9° 15' 54" S e 35° 22' 18" O. A classificação climática dessas regiões, de acordo com Koppen e Geiger (1928), é tropical, com estação seca no verão. As vagens coletadas foram transferidas para o laboratório de propagação de plantas, colocados em sacos de papel tipo "kraft" (Figura 2-C), e mantidas em estufa de circulação forçada a 35 °C por dois dias, facilitando a abertura das mesmas e o desprendimento das sementes.

Após o processo de secagem, procedeu-se a extração das sementes, sendo estas postas em bandejas plásticas para beneficiamento (Figura 2-B), sendo removida palhas, folhas e outras impurezas. Em seguida, as sementes limpas e homogeneizadas foram armazenadas em sacos de papel tipo "Kraft", em câmara seca com temperatura controlada de 23°C $\pm$ 2°C e umidade relativa de 60% $\pm$ 4%, até o início de cada experimento.

Figura 2. Sementes de *Tephrosia noctiflora* (A), beneficiamento (B) e sacos para armazenamento (C).



Fonte autora, 2024

3.3 Processo de desinfestação e quebra de dormência

No início dos experimentos ou cada teste, as sementes foram submetidas ao processo asséptico realizado pela imersão em álcool 70% por um minuto, seguidas de lavagem em água destilada por cinco minutos (CASTRO, 2021). Transcorrido este processo, as sementes foram escarificadas com ácido sulfúrico concentrado por 25 minutos, devido à presença de dormência tegumentar (Chavante, 2023).

3.4 Avaliação do potencial fisiológico inicial das sementes

O teste de germinação foi realizado em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 5x2 (temperatura x luz), utilizando cinco temperaturas (20, 25, 30, 35 e 20-30°C), com e sem luz, quatro repetições de 25 sementes cada, com fotoperíodo de oito horas, durante 21 dias. Como substrato, foram utilizadas duas folhas de papel “mata borrão” esterilizados e umedecidas com um volume de água equivalente a 2,5 vezes o peso do substrato seco (Brasil, 2009).

As sementes foram colocadas em caixas plásticas (11,0×11,0×3,5 cm) transparentes para a condição de luz e caixas pretas para a condição de ausência de luz e em seguida levadas as câmaras de germinação. A iluminação nas câmaras de germinação foi provida por quatro lâmpadas fluorescentes e fotoperíodo de oito horas por dia.

A instalação e a contagem das sementes germinadas foram realizadas em ambiente iluminado com luz verde de segurança, (KENDRICKS e FRANKNELAND, 1983). As sementes germinadas foram contadas diariamente, seguindo o critério botânico, que considera como germinadas aquelas que apresentaram emissão de raiz primária com comprimento maior ou igual a 2,0 mm (BRASIL, 2009).

3.5 Efeito da alta temperatura no potencial fisiológico das sementes

Para avaliar o efeito do calor no potencial fisiológico, sementes intactas e escarificadas em ácido sulfúrico por 25 minutos (CHAVANTE, 2023), as sementes foram submetidas a ação do calor, por cinco minutos (adaptado de Asgapour et al., 2020), sob as temperaturas de 80 °C, 120 °C, 140 °C, 180 °C, 200 °C e 240 °C. O teste foi realizado em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 7x2 (temperatura x quebra de dormência) com 25 sementes cada. Após cada período de exposição, as sementes foram colocadas para germinar nas mesmas condições estabelecidas anteriormente, sob temperatura constante de 30 °C e fotoperíodo de oito horas, durante 14 dias.

3.6 Influência do alumínio na germinação

Para determinar o efeito do alumínio (Al^{3+}) na germinação, sementes recém-colhidas foram postas para germinar sob diferentes concentrações de (Al^{3+}) (0; 1,5; 3,0; 4,5; e 6,0 mmolc.dm⁻³), (adaptado Machado et al., 2015). O teste de germinação foi conduzido nas mesmas condições descritas anteriormente para assepsia, escarificação, temperatura constante de 30°C e fotoperíodo de oito horas, durante 14 dias.

Para garantir a exposição constante ao íon, os substratos (papel mata-borrão), esterilizados foram trocados a cada dia, renovando a solução nas mesmas concentrações mencionadas, a fim de manter constantes os potenciais osmóticos e as concentrações de (Al^{3+}).

3.7 Influência do teor de cálcio na germinação

Para determinar o efeito do cálcio, as soluções foram preparadas a partir de Cloreto de Cálcio (CaCl_2), nas concentrações de 0,0; 1,5; 3,0; 4,5; e 6,0 cmolc.dm⁻³ de Ca^{2+} (adaptado Zhou, 2010). Para garantir a exposição constante ao cálcio, os substratos (papel mata-borrão) esterilizados, foram trocados diariamente e as sementes foram irrigadas com suas respectivas soluções.

As sementes foram colocadas para germinar dentro das condições especificadas anteriormente com utilização da assepsia, escarificação, em câmara de germinação sob a temperatura constante de 30°C e fotoperíodo de oito horas, durante 14 dias.

3.8 Estresse hídrico

As sementes foram colocadas para germinar dentro das condições especificadas anteriormente sob delineamento inteiramente casualizado (DIC), com utilização da assepsia e escarificação. Utilizou-se o polietilenoglicol 6000 (PEG) nas concentrações de 0,0; -0,3; -0,6; -0,9; -1,2; -1,5 MPa, na proporção de 2,5 vezes o peso do papel seco (RICHARDS, (1980); VILELA et al., (1991); BRASIL, (2009). As soluções osmóticas e o papel mata-borrão esterilizado foram renovados a cada dois dias desde o início do teste, para manter estabilizados os potenciais osmóticos de cada tratamento (Ribeiro et al., 2014). Foram feitas quatro repetições com 25 sementes cada, acondicionadas em caixas transparentes do tipo gerbox, mantidos a 30 °C e com fotoperíodo de oito horas, durante 14 dias (Ribeiro et al., 2014).

3.9 Variáveis analisadas

O potencial fisiológico das sementes foi avaliado pela:

Germinabilidade: $gi = (\sum ki = 1ni / N) \times 100$, onde ni é o número de sementes germinadas no tempo i e N é o número total de sementes colocadas para germinar (LABOURIAU, 1983 e Carvalho et al., 2005), cujo critério de germinação adotado foi o de plântulas apresentando todas as estruturas essenciais (Brasil, 2009).

Índice de velocidade de germinação: $IVG = G1 / N1 + G2 / N2 + \dots + Gn / Nn$, em que $G1$, $G2$ e Gn são os números de sementes germinadas na primeira, segunda e última contagem; e $N1$, $N2$ e Nn são o número de dias de semeadura na primeira, segunda e última contagem (Maguire, 1962).

Tempo Médio de germinação: $TMG = t = \sum ki = 1 (niti) / \sum ki = 1ni$, onde ti é o tempo desde o início do experimento até a i -ésima observação (dias ou horas); ni é o número de sementes germinadas no tempo i (número correspondente - i -ésima observação); e k é o último dia de germinação (Czabator, 1962).

Velocidade média de germinação: $VMG = v = 1 / t$, onde t é o tempo médio de germinação (Ranal e Santana, 2006).

Frequência relativa de germinação: $Fi = ni / \sum ki = 1ni$, onde ni é o número de sementes germinadas por dia e $\sum ni$ é o número total de sementes germinadas (Labouriau e Valadares, 1976).

Índice de sincronia: $Z = \sum Cn1,2 / N \approx Cn1,2 = ni(ni-1) / 2$; $N = \sum ni(\sum ni-1) / 2$, sendo $Cn1,2$ a combinação das sementes germinadas no i -ésimo tempo e ni o número de sementes germinadas no tempo i .

Comprimento da parte aérea de plântula: no final do teste de germinação, mediu-se o comprimento (desde o colo até a gema apical da parte aérea) com o auxílio de uma régua graduada.

Comprimento de raiz: no final do teste de germinação, mediu-se o comprimento (abaixo do colo até o final da raiz) com o auxílio de uma régua graduada.

Massa seca de plântulas: após as medições, as plântulas foram acondicionadas em sacos de papel Kraft, e submetidas à secagem em estufa com circulação forçada de ar regulada a 80 °C, até que atingisse massa constante (24 horas), sendo sua massa seca pesada em balança analítica de precisão de 0,0001 g.

Massa seca de raiz: após as medições, as raízes foram acondicionadas em sacos de papel Kraft, e submetidas à secagem em estufa com circulação forçada de ar regulada a 80 °C, até que

atingisse massa constante (24 horas), sendo sua massa seca pesada em balança analítica de precisão de 0,0001 g.

3.10 Análise Estatística

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e quando significativa, as médias foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade para caráter qualitativo e a análise de regressão para caráter quantitativo (Ferreira, 2018). Foi utilizado o software SISVAR 5.6.

4. Resultados e Discussão

4.1 Efeito da temperatura e luz na germinação de sementes *Tephrosia noctiflora*.

Houve interação significativa entre os fatores temperatura e a presença ou ausência de luz na porcentagem, índice de velocidade, tempo médio e velocidade média de germinação (Tabela 1), evidenciando a interdependência entre os dois fatores estudados.

Na condição de luz, verificou-se que os maiores valores de porcentagem de germinação foram obtidos nas temperaturas constantes de 20 °C e 30 °C, e alternada 20-30 °C, sendo estatisticamente superiores às demais temperaturas estudadas (Tabela 1), com destaque para a temperatura de 30 °C que proporcionou maior velocidade de germinação (IVG e VMG), sendo estatisticamente superior às demais temperaturas estudadas. Esta temperatura também proporcionou redução no tempo médio de germinação, não diferindo por sua vez das temperaturas constantes de 25 °C, 30 °C e a alternada de 20-30 °C (Tabela 1).

Na condição de escuro, verificou-se que as sementes desta espécie germinam em todos os ambientes de temperatura, tendo os maiores valores de porcentagem nas temperaturas constantes de 20 e 30 °C e na alternada de 20-30 °C, não apresentando diferenças estatísticas significativas entre elas e sendo superiores as demais (Tabela 1). Podemos observar o melhor IVG e VMG, na temperatura constante de 30 °C e na alternada de 20-30 °C, sendo estatisticamente superior às demais temperaturas estudadas (Tabela 1). No entanto, em relação ao tempo médio de germinação (TMG), a temperatura alternada de 20-30 °C inferiu no melhor resultado, quando comparadas às demais temperaturas, sendo estatisticamente superior as demais (Tabela 1).

Os resultados deste estudo demonstram que, as demais temperaturas testadas promoveram a germinação das sementes, independente da presença ou ausência de luz (Tabela 1). Embora todas as temperaturas testadas tenham promovido a germinação das sementes de *Tephrosia noctiflora*, houve variações significativas na eficácia de cada temperatura. Especificamente, a temperatura de 30 °C e a alternada de 20-30 °C que se destacaram, proporcionando as maiores porcentagens de germinação, e, evidenciando condições ideais para promover melhores valores de germinação de sementes da espécie em estudo em testes conduzidos em laboratório. Além disso, observou-se que a temperatura de 20 °C, apesar de favorecer uma boa taxa de germinação, resultou em baixa velocidade de germinação, consequentemente, inferindo no maior tempo médio (TMG). Esses dados sugerem que, enquanto essa temperatura pode ser eficaz para a germinação, o processo é mais lento, o que pode ser um fator a considerar em contextos agrícolas ou de conservação onde o tempo de

emergência das plântulas é crítico. Temperaturas extremas, como 35 °C, proporcionaram a menor velocidade de germinação, indicando que, apesar de possibilitarem a germinação, já provocam danos no metabolismo germinativo das mesmas.

Tabela 1. Porcentagem (G%), Índice de Velocidade (IVG), Tempo Médio (TMG) e Velocidade Média de Germinação (VMG) de sementes de *Tephrosia noctiflora* em função da temperatura e luz.

TEMPERATURAS ° C	G %		IVG		TMG		VMG	
	Regime de luz		Regime de luz		Regime de luz		Regime de luz	
	Claro	Escuro	Claro	Escuro	Claro	Escuro	Claro	Escuro
20	57,34 aAB	54,14 aA	1,74 aC	1,65 aAB	8,8 aB	10,1 aC	0,126 aC	0,099 aB
25	50,93 aB	22,27 bB	3,59 aBC	0,53 bB	4,2 aA	10,0 bC	0,241 aB	0,145 bAB
30	73,26 aA	57,22 bA	11,93 aA	4,17 bA	2,5 aA	4,7 aAB	0,409 aA	0,22 bA
35	22,81 bC	38,52 aAB	0,61 aC	1,57 aB	8,1 aB	7,9 aBC	0,098 aC	0,129 aB
20-30	71,70 aA	50,27 bA	6,00 aB	4,45 aA	4,5 aA	4,5 aA	0,218 aBC	0,223 aA
Valor de "F" para Temperatura (T)	19,92**		22,21**		16,73**		19,18**	
Valor de "F" para Luz (L)	12,16**		17,70**		11,75**		13,58**	
Valor de "F" para Interação (T x L)	6,4**		7,54**		4,21**		4,9**	
Coeficiente de Variação (%)	19,46		48,26		25,40		26,96	

Médias seguidas da mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste *Tukey* ($p \leq 0,05$). (**) Significativo pelo teste "F" ($p \leq 0,01$).

Tabela 2. Coeficiente de Assimetria (g1), Medida de Achatamento ou Curtose (g2), nas diferentes temperaturas e condições de luz com sementes de *Tephrosia noctiflora*.

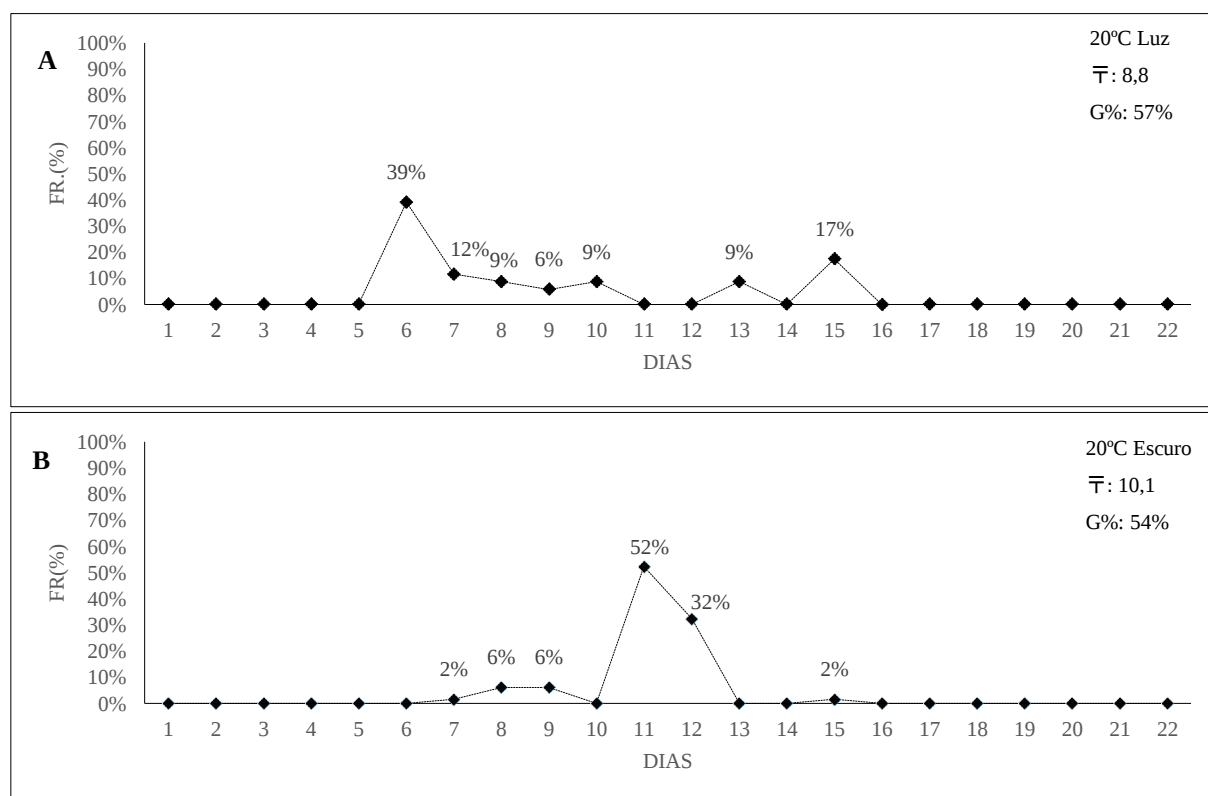
Temperaturas	Condição de Luz	Assimetria		Curtose	
		g1	(g1)	g2	(g2)
20°C	Claro	33,23	A. positiva à direita	6,51	Delgada
20°C	Escuro	2,12	A. positiva à direita	-1,21	Achatada
25°C	Claro	16,5	A. positiva à direita	3,61	Delgada
25°C	Escuro	1,8	A. positiva à direita	7,19	Delgada
30°C	Claro	61,64	A. positiva à direita	1,54	Achatada
30°C	Escuro	8,68	A. positiva à direita	0,49	Achatada
35°C	Claro	0,93	A. positiva à direita	9	Delgada
35°C	Escuro	0,72	A. positiva à direita	0,4	Achatada
20-30°C	Claro	5,64	A. positiva à direita	3,46	Delgada
20-30°C	Escuro	1,06	A. positiva à direita	-0,79	Achatada

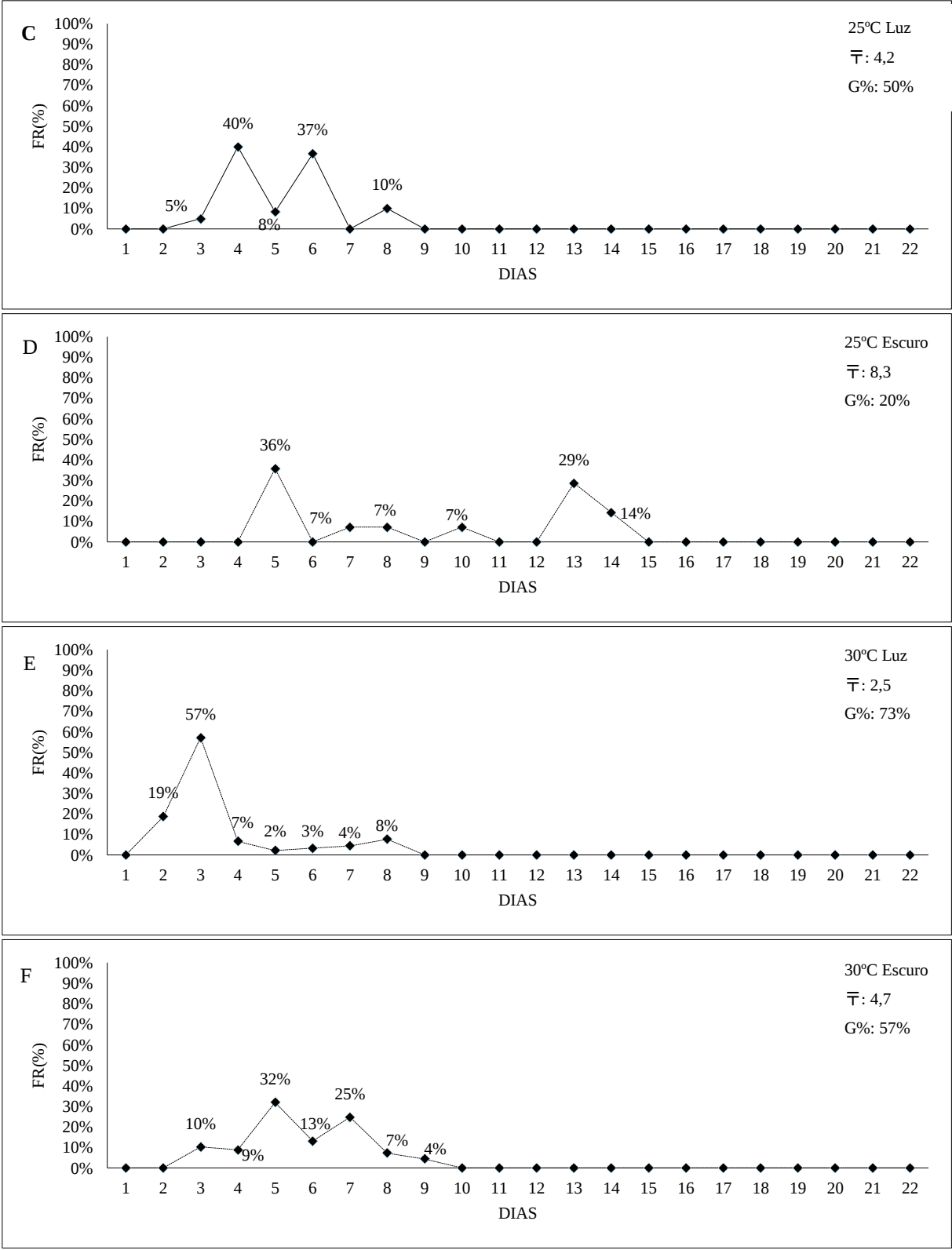
Analisando os coeficientes de assimetria (g1) tanto na condição de luz quanto na de escuro, em diferentes temperaturas, observou-se que a assimetria da distribuição é positiva. Isso indica que a maioria dos valores está concentrado à esquerda do gráfico, próximo ao pico, enquanto a cauda longa se estende à direita (Tabela 2).

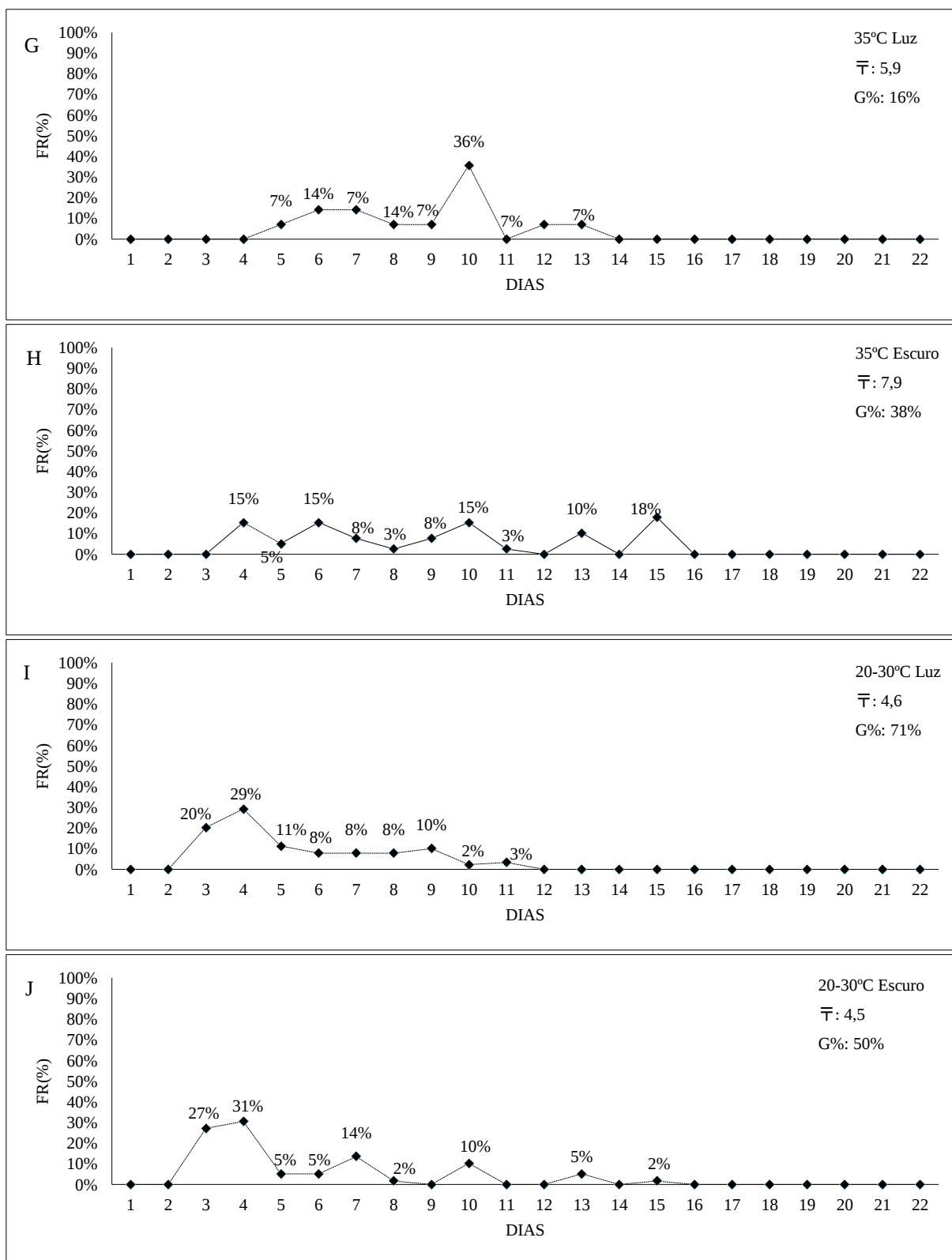
Sob a condição de luz, as sementes de *Tephrosia noctiflora* a 30 °C apresentaram uma distribuição unimodal de germinação, caracterizada por um único pico, e 57% das sementes germinaram de forma mais rápida, a partir do terceiro dia, sugerindo que, nessas condições, a germinação tende a ser mais concentrada no tempo. Entretanto, nas demais temperaturas, a distribuição foi polimodal, com mais de dois picos (Figura 3). Além disso, somente a 30 °C a distribuição mostrou-se mais achatada, com menor concentração ao redor da média e caudas mais leves. Nas outras temperaturas, a distribuição foi mais estreita, com maior concentração em torno da média e caudas mais pesadas (Tabela 2).

Na condição de ausência de luz, a temperatura de 20°C apresenta uma distribuição bimodal, com apenas dois picos, enquanto nas demais temperaturas a distribuição é polimodal, com mais de dois picos (Figura 3). Ademais, nas temperaturas de 20°C, 30°C e 35°C foram observadas distribuições do tipo achatada, classificadas como platicúrtica, enquanto nas temperaturas de 25°C e 20-30°C as distribuições foram do tipo delgada, classificadas como leptocúrtica (Tabela 2).

Figura 3. Frequência relativa da germinação em dias das sementes de *Tephrosia noctiflora* nas temperaturas de 20°C, 25 °C, 30 °C, 35 °C e alternada de 20-30°C, na luz e na ausência de luz.







Nota. $\bar{T}$ - Tempo Médio de Germinação (Dias); G% - Porcentagem Média de Germinação;

Uma das formas empregadas para avaliar a qualidade das sementes é por meio do teste de germinação (Bewley et al., 2013). Portanto, compreender as condições adequadas para a

germinação das sementes é essencial, especialmente devido às respostas variadas decorrentes de fatores como, luminosidade e temperatura, (Dousseau et al., 2011).

Normalmente, sementes de plantas subtropicais e tropicais têm uma germinação mais eficaz quando colocadas para germinar em temperaturas constantes de 20 e 30°C (Oliveira et al., 2016) semelhantemente ao observado no presente estudo com sementes de *Tephrosia noctiflora*.

A quebra de dormência possibilita uma condução mais uniforme dos testes, assegurando que todas as sementes tenham a chance de germinar e que os resultados sejam comparáveis entre diferentes amostras e estudos (Baskin, 2001). Além disso, durante as avaliações, foram observadas que as sementes são duras, um mecanismo de dormência comum em plantas da família Fabaceae (Marcos-Filho, 2015), e por isso para facilitar a germinação foi utilizado a técnica de quebra de dormência com a aplicação de ácido sulfúrico.

Em estudos realizados com a espécie *Tephrosia egrégia* (Ribeiro et al., 2023), foi observado que, a uma temperatura de 30 °C, as sementes iniciaram o processo de germinação no terceiro dia após a semeadura, o que foi mais rápido em comparação com as temperaturas de 20 °C, 25 °C e temperatura alternada de 20-30 °C onde o processo levou 11, 7 e 6 dias, respectivamente. Os resultados obtidos neste estudo para a *Tephrosia noctiflora*, a uma temperatura de 30 °C, assemelham-se aos resultados mencionados anteriormente. (Tabela 1). Ao analisar os dados em sua totalidade, observa-se que as sementes de *Tephrosia noctiflora* demonstram uma maior velocidade média de germinação e tolerância a temperaturas mais altas (superiores a 25 °C) e alternada 20-30°C em comparação com temperaturas mais baixas (abaixo de 25 °C, como 20 °C).

A temperatura exerce influência direta tanto na velocidade quanto no percentual de germinação das sementes, pois afeta a taxa de absorção de água e as reações bioquímicas e enzimáticas, as quais requerem condições térmicas específicas para ocorrerem de forma adequada (Bewley et al., 2012). Em temperaturas mais baixas, ocorre uma redução na embebição, na atividade enzimática e no metabolismo das sementes, resultando em uma diminuição tanto na velocidade quanto na porcentagem de germinação (Marcos-Filho, 2015). Por outro lado, em temperaturas mais elevadas, os processos bioquímicos e fisiológicos se aceleram, promovendo uma germinação mais rápida. No entanto, altas temperaturas podem levar à desnaturação de enzimas cruciais para o metabolismo e para os sistemas antioxidantes, aumentando o número de plântulas com desenvolvimento anormal (Ataíde et al., 2016).

De acordo com as diretrizes das Normas para Análise de Sementes Brasil, (2009), para *T. candida*, é sugerido o uso da temperatura alternada de 20-30 °C, ou na constante a temperatura

de 30 °C, o que está em consonância com as descobertas deste estudo com *Tephrosia noctiflora*. Entretanto, é importante salientar que, nos testes de germinação realizados em laboratório, sempre que possível, é mais indicado optar por temperaturas constantes em vez de alternadas, para simplificar a condução dos testes. O uso de temperaturas alternadas é recomendado apenas quando a espécie apresenta dificuldades de germinação sob temperaturas constantes, especialmente devido à dormência (Baskin, 2001).

Semelhantemente a este estudo com *T. noctiflora*, pesquisas realizadas com sementes de outras espécies do gênero *Tephrosia*, como *T. bracteolata* Guill. & Perr., *T. candida* DC. e *T. linearis* (Willd.) Pers (Babayemi et al., 2003), além de *T. apollinea* (Delile) DC. (Al-Ansari e Ksiksi, 2016), também identificaram diferentes níveis de dormência. Para superar essa dormência, foram adotados tratamentos como imersão das sementes em água quente por 30 segundos (Babayemi et al., 2003) e/ou uso de ácido sulfúrico por 40-60 minutos (Al-Ansari e Ksiksi, 2016).

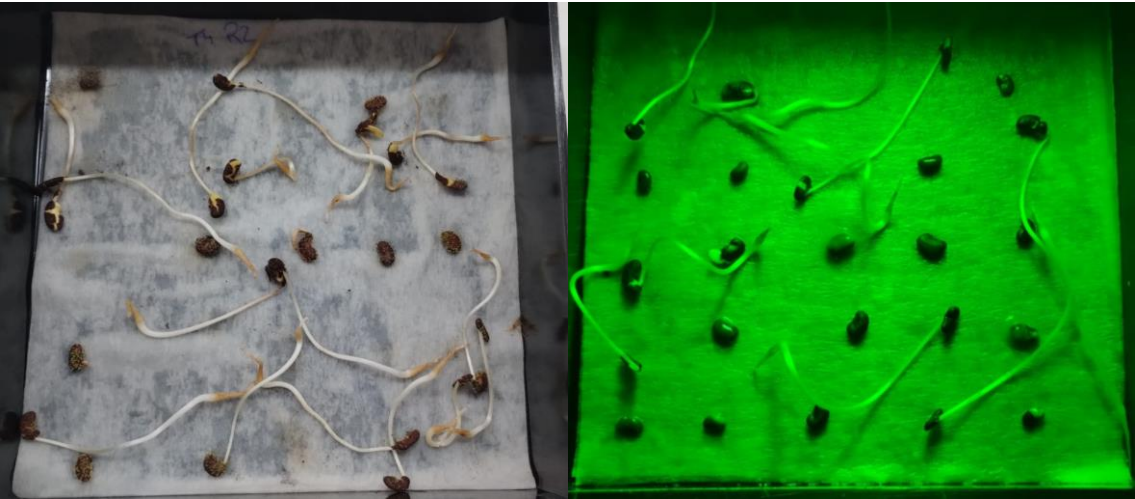
Nos resultados desse estudo, a germinação das sementes de *Tephrosia noctiflora*, sob as condições de iluminação (claro e escuro) associada as diferentes temperaturas, foi estimulada (Tabela 1). A germinação pode acontecer na ausência de luz em algumas espécies, porém as plântulas resultantes terão uma aparência diferente daquelas expostas à luz, ou seja, plântulas com característica de estiolamento, pois se tornam finas e alongadas. Mas, segundo Evert e Eichhorn, (2014), tais plântulas com estiolamento, quando novamente expostas à luz, retomam seu crescimento e desenvolvimento normais.

Com base nos resultados, observamos que as sementes de *Tephrosia noctiflora* exibem um padrão de fotoblastismo preferencial. De acordo com (Baskin e Baskin 2001), o fotoblastismo preferencial indica que certas sementes têm uma condição de luz ideal sob a qual germinam de forma mais eficaz. As sementes que apresentam fotoblastismo preferencial evoluíram para germinar sob condições específicas de luz que são mais favoráveis à sua sobrevivência e crescimento. Esta característica é particularmente significativa para a compreensão das adaptações ecológicas e evolutivas das plantas aos seus ambientes. Os autores afirmam que as sementes de diferentes espécies respondem a variadas condições de luz, e que essas respostas contribuem para suas estratégias de dormência e germinação.

No experimento, as plântulas que cresceram na ausência de luz, a síntese de clorofila não se desenvolveu, como resultado, as folhas das plântulas germinadas no escuro mostraram uma coloração esbranquiçada (Figura 4). Em um estudo similar realizado com *Chamaecrysta rotundifolia* Lima, (2019), plântulas que germinaram na ausência de luz exibiram estiolamento e uma coloração esbranquiçada, e isso ocorre devido à estimulação da produção de clorofila

quando os fitocromos estão em sua forma ativa (Fve).

Figura 4 – Plântulas de *Tephrosia noctiflora* submetidas a tratamento no escuro.



Fonte: Autora, 2024.

4.2 Efeito da alta temperatura no potencial fisiológico das sementes.

Houve interação significativa entre os fatores estudados na porcentagem, índice de velocidade, tempo médio e velocidade média de germinação (Tabela 3), evidenciando a interdependência entre esses fatores. Constatou-se que as sementes de *Tephrosia noctiflora* são bastante sensíveis à ação do calor, uma vez que o potencial fisiológico das mesmas foi severamente afetado na porcentagem e velocidade de germinação (Tabela 3 e Figura 5) quando submetidas a 80 °C por cinco minutos, nas duas condições estudadas (escarificadas e não escarificadas).

Para as sementes não escarificadas, observa-se que a ação do calor de 80 °C por cinco minutos proporcionou um aumento na germinação, comparado ao tratamento de quebra de dormência (Tabela 3). Isto pode evidenciar que o estoque de sementes presente no banco é consideravelmente diminuído após uma elevação de temperatura ocasionada pela ação do fogo.

Tabela 3. Porcentagem (G%), Índice de Velocidade (IVG), Tempo Médio (TMG) Velocidade Média de Germinação (VMG) de sementes de *Tephrosia noctiflora* em função de pré-tratamento com altas temperaturas e ácido sulfúrico para quebra de dormência.

TEMPERATURA	G%		IVG		TMG		VMG	
	Tratamento		Tratamento		Tratamento		Tratamento	
	Acido	Sem ácido	Acido	Sem ácido	Acido	Sem ácido	Acido	Sem ácido
Controle	72,57 aA	6,99 bB	8,08 aA	0,2 bB	3,13 aA	2,5 aA	0,33 aA	0,11 bB
80	29 aB	35,03 aA	3,36 aB	2,92 aA	2,29 aA	3,81 bA	0,46 aA	0,26 bA
120	0 aC	0 aB	0 aC	0 aB	0 aB	0 aB	0 aB	0 aB

160	0 aC	0 aB	0 aC	0 aB	0 aB	0 aB	0 aB	0 aB
200	0 aC	0 aB	0 aC	0 aB	0 aB	0 aB	0 aB	0 aB
240	0 aC	0 aB	0 aC	0 aB	0 aB	0 aB	0 aB	0 aB
"F" para Temperatura (T)	132,65**		29,12**		17,84**		48,01**	
"F" para escarificação (E)	56,04**		23,12**		0,25**		13,08**	
"F" para Interação (T x E)	71,05**		20,32**		0,99**		5,24**	
CV%	38,38		57,48		103,86		65,9	

Médias seguidas da mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste *Tukey* ($p \leq 0,05$). (**) Significativo pelo teste "F" ($p \leq 0,01$).

Ao tentar simular o impacto do fogo sobre mudas *Dalbergia miscolobium*, uma leguminosa arbórea típica dos cerrados do Planalto Central, Franco et al. (1996) observaram que o fogo é um fator de mortalidade para as plântulas no primeiro ano de vida, entretanto, após esse período, elas apresentaram uma alta taxa de sobrevivência. Por outro lado, em condições de campo, o fogo em intensidade moderada pode estimular o surgimento de novas plântulas, atuando como um agente de escarificação natural. O fogo causa abrasão ou enfraquecimento da casca dura das sementes, facilitando a absorção de água e aumentando a disponibilidade de luz e nutrientes Franco et al. (1996).

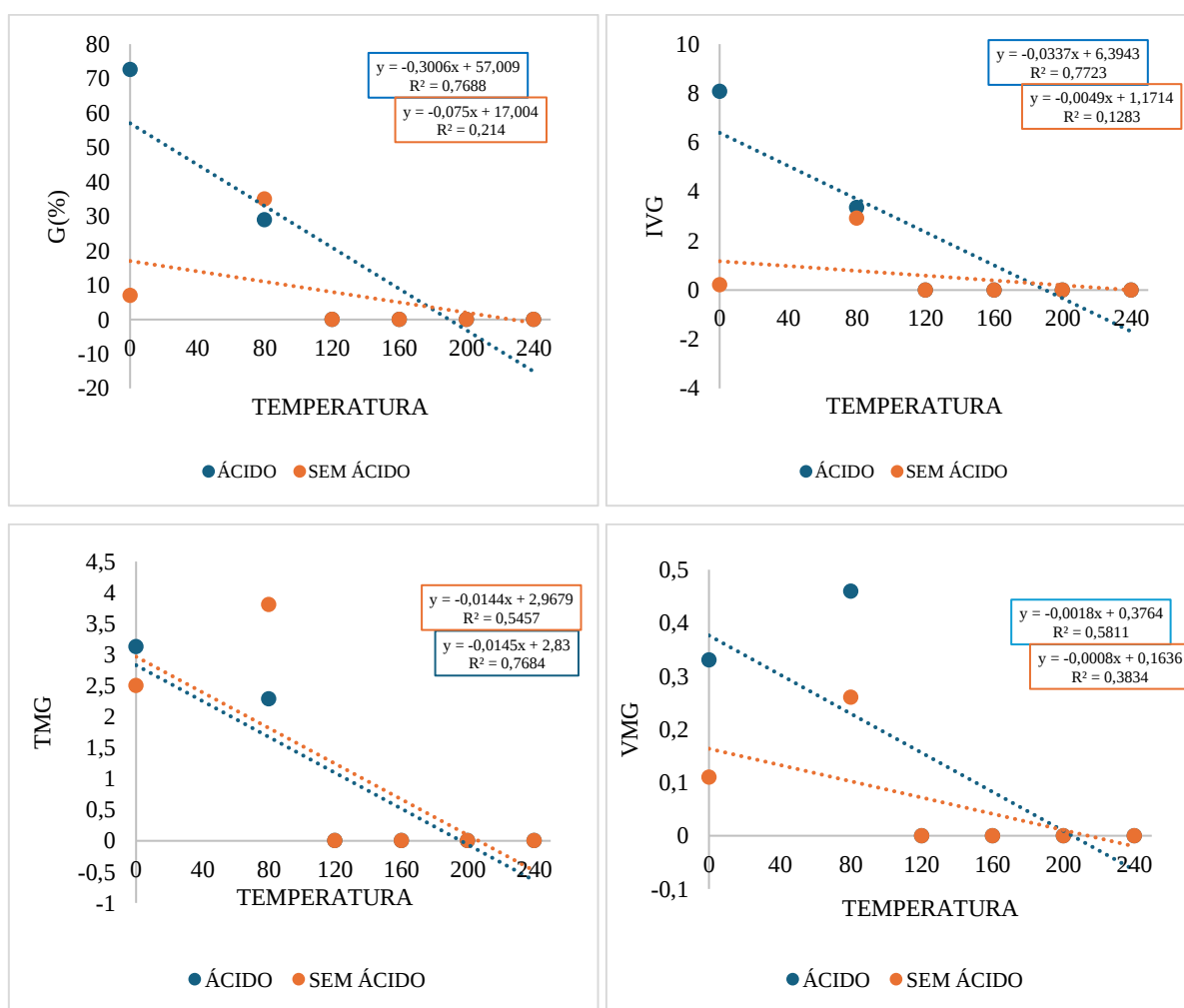
Em um estudo com duas espécies de plantas daninhas, *Chamaesyce maculata* e *Euphorbia heterophylla*, Asgarpour et al. (2020) testaram o efeito do pré-tratamento em estufa de secagem com altas temperaturas na germinação de sementes, utilizando quatro faixas de temperatura: 80 °C, 100 °C, 120 °C e 140 °C, com durações de 1 e 5 minutos. Eles observaram que a germinação dessas duas espécies apresentou uma tendência decrescente com o aumento das temperaturas, onde a germinação de *E. heterophylla* e *C. maculata* foram de 97% e 53% a 80 °C, 93% e 22% a 100 °C, 83% e 0% a 120 °C e, por fim, 4,4% e 0% a 140 °C por 5 minutos, respectivamente. Também concluíram que as sementes de *C. maculata* e *E. heterophylla* são altamente suscetíveis à exposição a temperaturas acima de 100 °C e 120 °C, respectivamente por um determinado período, para a germinação. Diferentemente dessas, as sementes de *Tephrosia noctiflora* se mostraram suscetíveis à exposição até a temperaturas de 80 °C por um período de 5 minutos, uma vez que, a partir dessa temperatura, a germinação foi nula.

A exposição a altas temperaturas sugere que as sementes de *Tephrosia noctiflora* podem não sobreviver e germinar após a exposição a temperaturas superiores a 80 °C, indicando que, em condições de campo, elas não resistiriam à passagem do fogo. Experimentos realizados em campos do Jalapão mostraram que o tempo em que a vegetação permanece sob altas temperaturas é curto (menos de 60 segundos) e que, mesmo durante a passagem do fogo, as temperaturas em alguns locais podem não ultrapassar 200 °C (Schmidt e Ticktin, 2012).

Na análise de regressão, observou-se significância no modelo linear, assim essas funções descreveram bem a relação entre altas temperaturas e a porcentagem de germinação, IVG e TMG (Figura 5).

Na (Figura 5) fica evidente que as sementes da espécie em estudo foram severamente afetadas pelo uso da alta temperatura, cuja germinabilidade das sementes chegou a zero quando as mesmas foram submetidas a 120 °C (Figura 5).

Figura 5. Porcentagem (G%), Índice de Velocidade (IVG), Tempo Médio (TMG) e Velocidade Média de Germinação (VMG) de sementes de *Tephrosia noctiflora*, em função de pré-tratamento com altas temperaturas e ácido sulfúrico para quebra de dormência.



** Equações lineares significativas pelo teste “F” ($p < 0,05$).

Fonte. Autor, 2024.

Em estudo com as espécies *Chamaesyce maculata* e *Euphorbia heterophylla*, Asgarpour et al. (2020) observaram que modelos sigmóides descreveram adequadamente a relação entre

altas temperaturas e a porcentagem de germinação. Os modelos indicaram que a exposição das sementes de *Chamaesyce maculata* e *Euphorbia heterophylla* a 139 °C e 95 °C, respectivamente, reduziria a germinação a 50% do máximo.

4.3 Influência do alumínio na germinação de sementes de *Tephrosia noctiflora*.

Com relação ao alumínio, constatou-se que a porcentagem de germinação das sementes de *Tephrosia noctiflora* foi afetada a partir de 1,5 mmolc.dm³ de Al₂(SO₄)₃, havendo um decréscimo significativo em função dos níveis de alumínio estudados (Tabela 4 e Figura 6). As doses de 1,5 e 3,0 mmolc.dm³ proporcionaram germinações intermediárias, com 73,25% e 67,25%, respectivamente, enquanto as doses de 4,5 e 6,0 mmolc.dm³ resultaram nas menores porcentagens de germinação, com 62,00% e 58,50%, respectivamente (Tabela 4).

Quanto às variáveis que medem a velocidade de germinação (IVG, VMG), pode-se constatar que, as concentrações a partir de 1,5 mmolc.dm³ acarretaram danos ao metabolismo germinativo, com reduções significativas comparada aos dados da testemunha (sementes sem o efeito do alumínio (Tabela 4 e Figura 6).

Comportamento semelhante foi observado para o tempo médio de germinação (TMG), que foi aumentado com as concentrações de alumínio, onde as doses de 3,0 e 6,0 mmolc.dm³ proporcionaram TMG intermediários, com 4,67 e 4,92 dias, respectivamente, enquanto as doses de 1,5 e 4,5 mmolc.dm³ tiveram os maiores TMG, com 5,09 e 5,72 dias, respectivamente (Tabela 4).

Com relação ao índice que mede a sincronia do processo germinativo, não houve diferenças entre os tratamentos estudados (Tabela 4).

Tabela 4. Porcentagem (G%), Índice de Velocidade (IVG), Tempo Médio (TMG), Velocidade Média (VMG) e Sincronia de Germinação (Z) de sementes de *Tephrosia noctiflora* submetidas a diferentes concentrações de Alumínio Al₂(SO₄)₃.

CONCENTRAÇÕES	G (%)	IVG	TMG	VMG	Z
0,0 mmolc.dm ³	88,25 a	8,08 a	3,13 a	0,331 a	0,345
1,5 mmolc.dm ³	73,25 ab	4,13 b	5,09 bc	0,196 b	0,281
3,0 mmolc.dm ³	67,25 ab	3,58 b	4,67 b	0,214 b	0,157
4,5 mmolc.dm ³	62,00 b	3,07 b	5,72 c	0,174 b	0,175
6,0 mmolc.dm ³	58,50 b	3,43 b	4,92 bc	0,203 b	0,191
Valor de F	5,84**	11,75**	21,94**	12,90**	3,24 ns
Coeficiente de Variação (%)	13,86	26,95	8,74	15,33	38,64

*Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). (**) Significativo pelo teste "F" ($p \leq 0,01$). (ns) Não significativo.

A interferência do alumínio na germinação das sementes em estudo pode estar relacionada a um aumento na permeabilidade da membrana celular, resultando em um maior fluxo de solutos do interior das sementes, levando à peroxidação lipídica e à degradação de proteínas conforme relatado por Simonovicová et al., (2004); Meriño-Gergichevich et al., (2010); Gordin et al., (2013) em seus estudos com outras sementes. Outro indicativo de que o alumínio pode influenciar a germinação das sementes, segundo Riaz et al. (2018), decorre de sua interferência nos mecanismos do metabolismo celular, abrangendo processos como a síntese de proteínas, capacidade de retenção de água, mobilização de lipídios, reprodução celular e formação da parede celular. Como consequência, o potencial fisiológico e bioquímico das sementes é reduzido, afetando negativamente os indicadores de germinação.

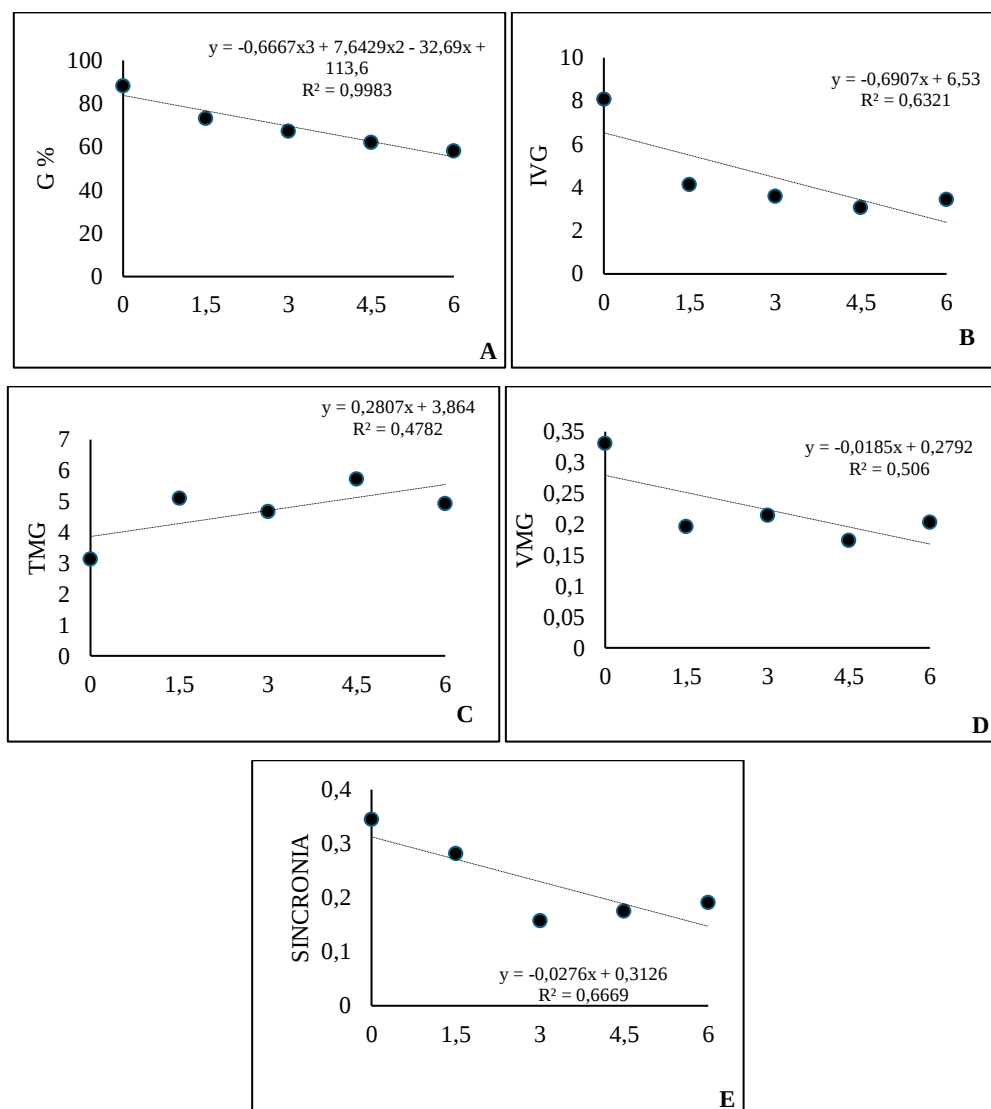
No processo de germinação, o alumínio também pode limitar a produção de clorofila, causando danos ao material genético e afetando proteínas que regulam o ciclo celular (Mohan et al., 2013; Ribeiro et al., 2015).

Nas raízes, a ação do alumínio afetando a divisão celular nos pontos de crescimento, resultam na redução do alongamento radicular e na restrição da área explorada, consequentemente diminuindo o volume da raiz (Beutler et al., 2001; Kopittke et al., 2015; Sade et al., 2016). Na parte aérea, o alumínio é transportado em quantidades reduzidas, mas ainda assim provoca a redução da área foliar devido à inibição da absorção, translocação e transporte de nutrientes e água (Beutler et al., 2001; Steiner et al., 2012). Devido a esses efeitos do alumínio, a eficiência na absorção de água e outros nutrientes pelas raízes é comprometida, principalmente nas camadas mais profundas do solo (Mendonça et al., 2003).

Entretanto, plantas submetidas à alta toxicidade de alumínio desenvolvem mecanismos de defesa para mitigar seus efeitos. Um dos principais é a exclusão do alumínio pela liberação de ânions ácidos na rizosfera, evitando a absorção do Al pelas raízes. A desintoxicação interna do alumínio ocorre por meio da quelação citosólica com ânions ácidos ou compostos fenólicos, seguida pela compartimentação do Al em vacúolos. Além disso, a eliminação é facilitada pela atividade da membrana plasmática de ROS e H⁺-ATPase (Zhang et al., 2017).

Na análise de regressão, observou-se significância no modelo linear. A relação entre as doses de alumínio e as variáveis germinação, IVG, VMG e sincronia das sementes é linear, evidenciando um aumento inicial seguido por uma diminuição acentuada com o incremento das doses de alumínio (Figura 6- A, B, D e E). Por outro lado, o TMG apresenta uma tendência de elevação com o aumento das doses de alumínio, indicando que doses mais altas retardam a germinação (Figura 6-C).

Figura 6. Porcentagem (G%), Índice de Velocidade (IVG), Tempo Médio (TMG), Velocidade Média (VMG) e Sincronia de Germinação (Z) de sementes de *Tephrosia noctiflora* submetidas a diferentes concentrações de Alumínio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.



** Equações lineares significativas pelo teste “F” ($p < 0,05$).

Fonte. Autor, 2024.

Assim, apesar da diminuição na germinação devido à toxicidade do alumínio, resultados com *Tephrosia noctiflora* ainda foram consideravelmente altos (acima de 50%), indicando que sementes desta espécie possuem potencial para germinação em ambiente com altos valores de alumínio (Figura 6-A). Observações semelhantes foram obtidas para *Conyza bonariensis* e *C. canadensis* (Custódio, 2011), evidenciando a influência das diferentes concentrações de alumínio na germinação, resultando em uma redução de 24% na germinação de *C. canadensis* e 30% em *C. bonariensis* na concentração $1,5 \text{ cmolc dm}^{-3}$, quando comparadas às sementes

controle. Na concentração mais elevada ($2,0 \text{ cmolc dm}^{-3}$), as reduções foram ainda mais expressivas, atingindo 35% e 60% para *C. canadensis* e *C. bonariensis*, respectivamente.

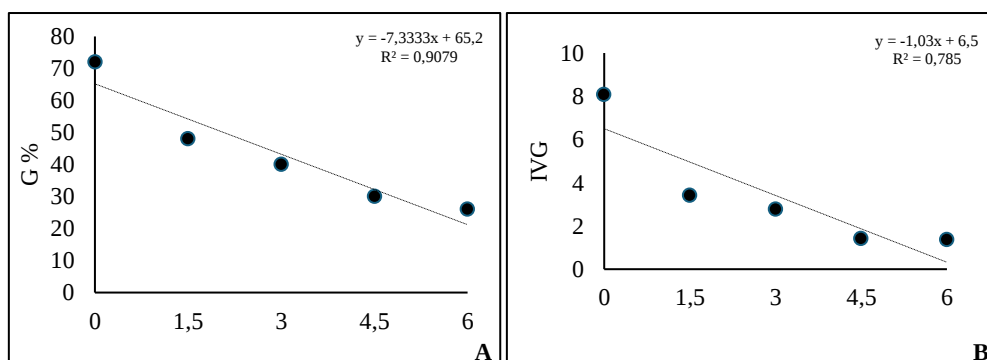
À medida que a concentração de Al^{3+} aumentava, observou-se uma diminuição na VMG (Figura 6-D), sendo a maior redução identificada nos tratamentos expostos à concentração de $4,5 \text{ cmolc.dm}^{-3}$. Isso evidencia que o alumínio, mesmo em concentrações mais baixas, contribuiu para a diminuição da VMG. Assim, é possível inferir que a acidificação do meio, causada pela presença de alumínio na solução de embebição, pode ter intensificado a redução na capacidade germinativa das sementes de *Tephrosia*, impactando diretamente sua velocidade média de germinação.

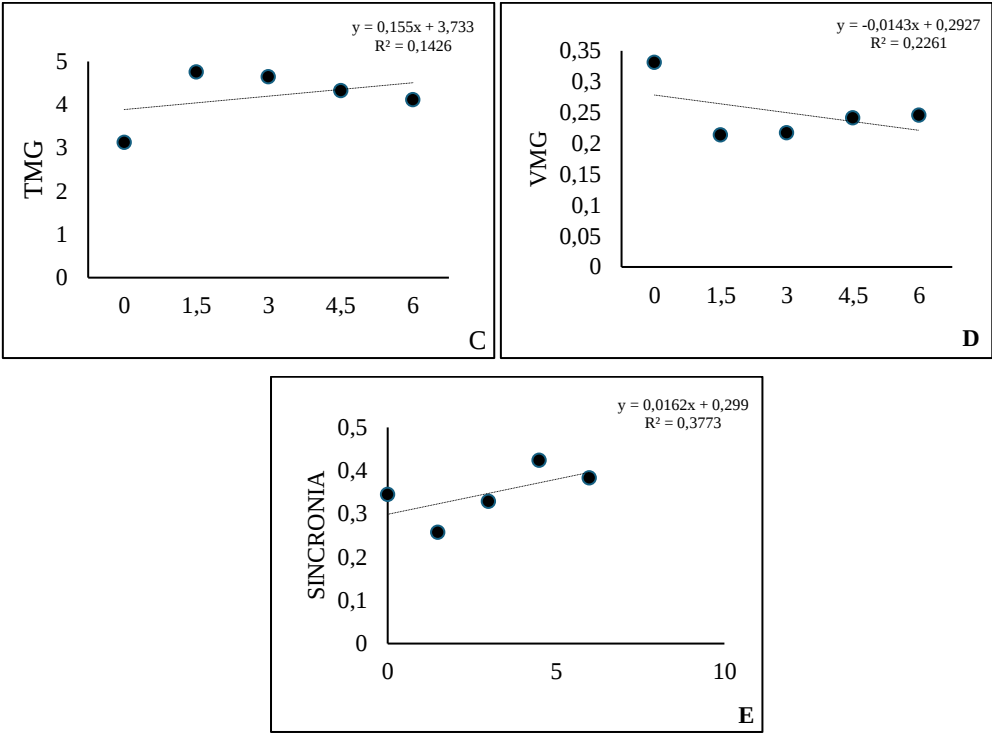
4.4 Influência do cálcio na germinação de sementes de *Tephrosia noctiflora*.

Na presença do cálcio, constatou-se redução na germinabilidade das sementes de *Tephrosia noctiflora* já nas primeiras doses, indicando sensibilidade no metabolismo germinativo das sementes já com as doses iniciais (Figura 7-A), com diferenças significativas em comparação ao tratamento controle.

Na análise de regressão, observou-se significância no modelo linear. Foram observadas nas regressões que a porcentagem (G%), o índice de velocidade (IVG), a velocidade média (VMG) e a sincronia de germinações (Z) (Figuras 7-A, B, D e E) das sementes de *Tephrosia noctiflora* apresentaram declínio gradual com o aumento dos níveis de cálcio, atingindo uma redução estatisticamente significativa na G% e IVG a partir de $1,5 \text{ cmolc.dm}^{-3}$. Constatou-se aumento no tempo médio de germinação à medida do aumento das concentrações de alumínio, (Figura 7-C).

Figura 7. Porcentagem (G%), Índice de Velocidade (IVG), Tempo Médio (TMG), Velocidade Média (VMG) e Sincronia de Germinação (Z) de sementes de *Tephrosia noctiflora*, submetidas a solução de Cloreto de Cálcio (CaCl_2), em diferentes concentrações.





** Equações lineares significativas pelo teste “F” ($p < 0,05$).

Fonte. Autor, 2024.

Tabela 5. Porcentagem (G%), Índice de Velocidade (IVG), Tempo Médio (TMG), Velocidade Média (VMG) e Sincronia de Germinação (Z) de sementes de *Tephrosia noctiflora*, submetidas a solução de Cloreto de Cálcio (CaCl_2), em diferentes concentrações.

CONCENTRAÇÕES	G (%)	IVG	TMG	VMG	Z
0,0	72,57 a	8,08 a	3,13	0,331	0,345
1,5	48,05 b	3,42 b	4,76	0,214	0,257
3	40,91 bc	2,78 b	4,65	0,217	0,329
4,5	30,90 bc	1,41 b	4,33	0,241	0,424
6	26,90 c	1,36 b	4,12	0,246	0,383
Valor de F	20,18**	26,77**	1,51 ns	2,82 ns	0,85 ns
Coefficiente de Variação (%)	18,33	31,22	25,1	24,34	38,88

*Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste *Tukey* ($p \leq 0,05$). (**) Significativo pelo teste “F” ($p \leq 0,05$). (ns) Não significativo.

Apesar de escassos, os estudos disponíveis na literatura indicam que certos cátions, como o Ca^{++} , podem influenciar a germinação de sementes de plantas superiores, embora em menor quantidade, principalmente em plantas daninhas. Esses efeitos podem variar dependendo da espécie vegetal em análise e da concentração dos cátions presentes, conforme observado em pesquisas realizadas por Rumbaugh et al. (1993); Shaikh et al. (2007).

Sementes de *Cyperus difformis* L., *Schoenoplectus mucronatus* (L.) e *Didiscus caerulea*, plantas consideradas invasoras, tiveram a sua germinação estimulada na presença de cálcio, conforme relatado por Lundy et al. (2010). Isso foi observado na germinação de sementes de espécies florestais, *P. massoniana*, *C. lanceolata* e *L. formosana*, na presença do cálcio (Liu et al., 2011).

Em estudos com couve (*B.oleracea* L.var *acephala*), Souza et al. (2022) observaram significância para as características IVG, emergência e velocidade de emergência. No entanto, diferentemente deste, os fatores primeira contagem e germinação não apresentaram significância, ainda que tenham obtido médias de 97%, 82% e 79%, respectivamente (Tabela 5). Para sementes de *Urochloa Brizantha*, Batista et al. (2015) observaram que a germinação não foi afetada pelo $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, não influenciando na emergência e o crescimento inicial das plantas.

O cálcio pode desempenhar um papel na inibição da absorção de Na^+ e, conseqüentemente, na redução dos seus efeitos adversos na germinação de sementes (Ebert et al., 2002; Zehra et al., 2012). Teores elevados e persistentes de Ca^{2+} também podem promover a germinação de sementes, embora essa questão tenha sido menos explorada na literatura (Guan et al., 2009; Parida e Das, 2005).

4.5 Estresse hídrico simulado por Polietileno Glicol 6000 (PEG 6000), em sementes de *Tephrosia noctiflora*.

Com relação ao Polietileno Glicol 6000, constatou-se significância pelo teste "F" ($p>0,05$) em função das diferentes concentrações testadas, interferindo na porcentagem (G%), Índice de Velocidade (IVG), Tempo Médio (TMG) e Velocidade Média de Germinação (VMG) em sementes de *Tephrosia noctiflora*. Constatou-se que a maior porcentagem de germinação ocorreu na condição de $\Psi\pi = 0$ MPa, com 78,23%, sendo significativamente superior às outras condições. À medida que o potencial hídrico diminuiu, houve um decréscimo significativo na germinação, até que na condição de $\Psi\pi = 6$ MPa ocorreu a total inibição da germinação (Tabela 6). O mesmo padrão foi observado no Índice de Velocidade de Germinação (IVG), que foi maior em $\Psi\pi = 0$ MPa, com 8,08, sendo significativamente superior a todas as outras condições. À medida que o potencial hídrico diminuiu, houve um decréscimo significativo nos IVGs (Tabela 6).

No que se refere ao TMG e à VMG, os melhores resultados foram obtidos na condição de $\Psi\pi = 0$ MPa, com 3,13 dias e 0,331, respectivamente, sendo significativamente superior aos valores observados nas outras condições. Nos demais potenciais hídricos, observou-se um

decréscimo, sem diferenças estatísticas entre eles. No entanto, em relação à Sincronia de germinação (Z), não se constatou significância pelo teste "F" ($p > 0,05$) em função das diferentes concentrações testadas, indicando que essa variável não foi influenciada pelos diferentes potenciais hídricos aplicados às sementes de *Tephrosia noctiflora* (Tabela 6).

Tabela 6. Porcentagem (G%), Índice de Velocidade (IVG), Tempo Médio (TMG), Velocidade Média (VMG) e Sincronia de Germinação (Z) de sementes de *Tephrosia noctiflora*, submetidas a solução de Polietileno Glicol 6000 (PEG 6000).

$\Psi\pi$ (MPa)	G (%)	IVG	TMG	VMG	Z
0,0	78,23 a	8,08 a	3,13 a	0,331 a	0,345
-0,3	58,65 ab	6,66 ab	3,52 ab	0,281 ab	0,433
-0,6	55,98 ab	6,63 ab	4,5 b	0,225 b	0,322
-0,9	39,79 b	4,1 bc	4,35 ab	0,228 b	0,341
-1,2	41,45 b	2,47 c	4,4 ab	0,228 b	0,351
-1,5	0	0	0	0	0
Valor de F	8,81**	6,92**	3,88**	4,65**	0,732 ns
Coeficiente de Variação (%)	19,15	30,65	15,65	16,74	27,95

*Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). (**) Significativo pelo teste "F" ($p \leq 0,01$). (ns) Não significativo.

Larcher (2006) destaca em suas pesquisas que quanto mais negativo for o potencial hídrico do sistema, menor será a disponibilidade de água. Assim, a semente só poderá absorver água do ambiente se seu potencial hídrico for ainda mais negativo que o do sistema. Caso contrário, ocorrerá a liberação de água da semente para o ambiente. Segundo Bewley e Black (1994), inicialmente, há uma grande diferença de potencial de água entre a semente seca e o substrato úmido, devido ao alto potencial matricial do tegumento seco, das paredes celulares e das reservas de armazenamento. No entanto, à medida que a umidade da semente aumenta durante a embebição e suas estruturas se hidratam, seu potencial de água se eleva, tornando-se menos negativo, enquanto o do substrato ao redor diminui com a retirada de água.

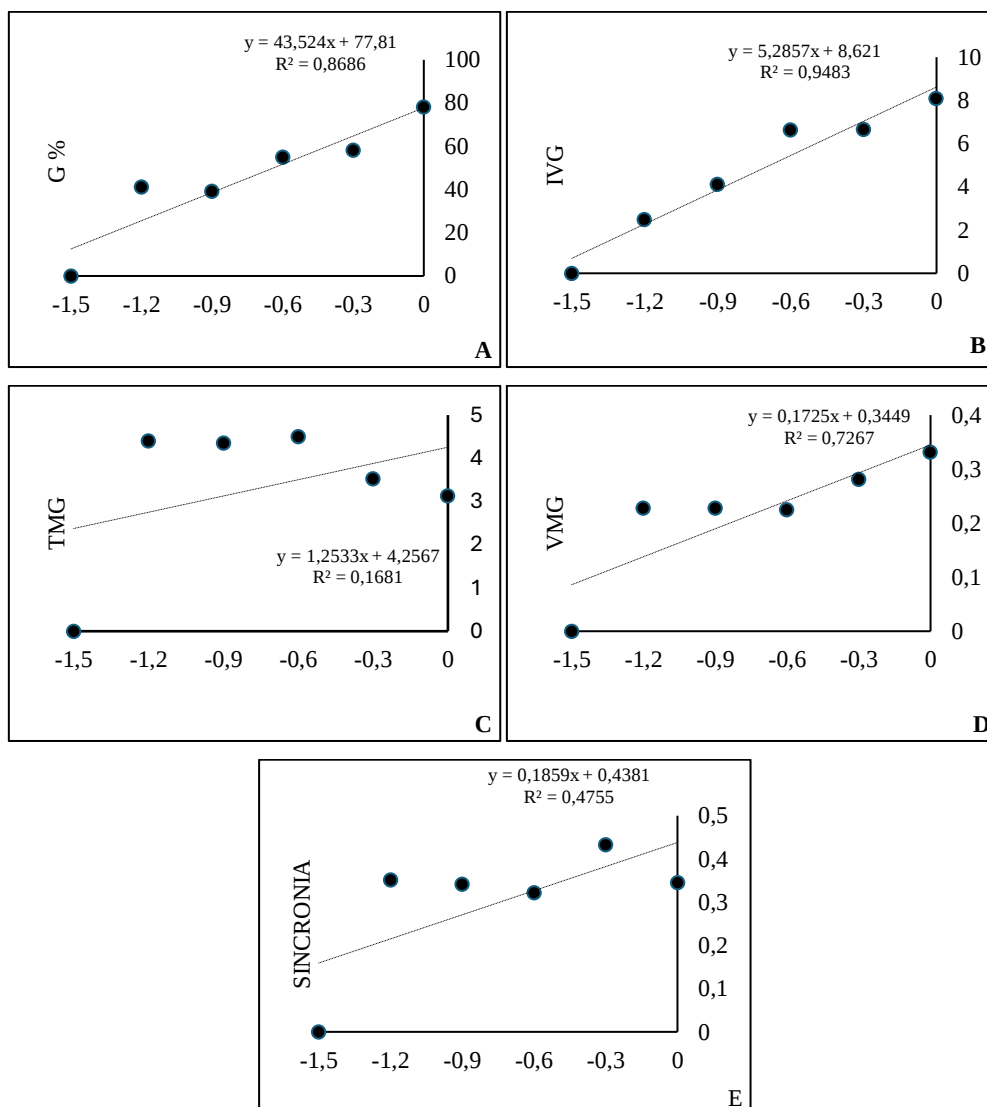
Em um estudo conduzido por Moraes et al. (2023), utilizando polietileno glicol (PEG) em sementes de *Tephrosia egregia*, foi constatada uma redução significativa na germinação entre os potenciais hídricos de -0,2 MPa e -0,4 MPa, onde a germinação se tornou quase inexistente, e nos potenciais de -0,6 e -0,8 MPa, a germinação foi completamente inibida, com uma resposta semelhante observada também para o índice de velocidade de germinação (IVG). Correlativo neste estudo (Tabela 6) com *T. noctiflora*, foi observada que a germinação foi nula em potenciais de -1,5 MPa, e entre o maior e o menor IVG, houve uma redução de 69%.

Os resultados obtidos por Almeida et al. (2014) estudando sementes de cumaru (*Amburana cearenses*) submetidas ao estresse hídrico causado pelo PEG 6000, os resultados mostraram maiores percentuais de germinação nos potenciais hídricos de 0 e -0,2 MPa, no entanto, observou-se uma redução significativa na germinação a partir de -0,6 MPa, com a germinação sendo completamente inibida nos potenciais de -0,8 e -1,0 MPa.

Santos et al. (2016), em seus estudos com *Poincianella pyramidalis*, uma leguminosa, e *Anadenanthera colubrina*, uma Fabaceae, sob condições de restrição hídrica com PEG-6000, observaram que a germinação de *P. pyramidalis* foi afetada nas concentrações de -0,8 e -1,2 MPa (18% e 0%, respectivamente). A germinação de *A. colubrina* foi afetada nos potenciais de -0,4 e -0,8 MPa (75% e 30%, respectivamente), e não houve germinação a partir de -1,2 MPa com PEG-6000. Com relação ao IVG, a partir dos potenciais de -0,4 MPa, houve uma redução de 40% em *P. pyramidalis* e uma queda significativa de 93% em *A. colubrina*. No entanto, a *Tephrosia noctiflora* teve uma redução no seu IVG de 17 % em -0,3 MPa e de 69% em -1,2 MPa. Isso indica que a *T. noctiflora* é mais resistente ao estresse causado pelo PEG-6000 em comparação as espécies *P. pyramidalis* e *A. colubrina*.

Pela análise de regressão, se constatou a significância no modelo linear (Figura 8). As regressões indicam que a porcentagem de germinação (G%), o índice de velocidade de germinação (IVG), a velocidade média de germinação (VMG) e a sincronia (Z) (Figura 8-A, B, D e E) das sementes de *Tephrosia noctiflora* apresentaram declínio gradual quando os potenciais hídricos vão se tornando mais negativos, atingindo uma redução estatisticamente significativa na G%, no IVG e TMG a partir de -0,3 Mpa, que pode ser explicado pela redução na disponibilidade de água, essencial para o processo de germinação. No entanto, em relação ao tempo médio de germinação (TMG), foi observada uma leve relação positiva, ou seja, com o aumento dos níveis de PEG 6000, o TMG também aumentou (Figura 8-C).

Figura 8. Porcentagem (G%), Índice de Velocidade (IVG), Tempo Médio (TMG), Velocidade Média (VMG) e Sincronia de Germinação (Z) de sementes de *Tephrosia noctiflora* submetidos a diferentes potenciais osmóticos de Polietileno Glicol 6000 (PEG 6000) - com diferentes concentrações.



** Equações lineares significativas pelo teste “F” ($p < 0,05$).

Fonte. Autor, 2024.

Em estudos com sementes de *Tephrosia egrégia*, Moraes et al. (2023) apresentaram que a velocidade de germinação das sementes se comporta sob diferentes potenciais osmóticos com uma correlação inversa entre o índice de velocidade de germinação (IVG), mostrando que, quanto mais dias são necessários para a germinação, mais lento é o processo. À medida que o potencial osmótico se torna mais negativo, a velocidade de germinação diminui, indicando maior tempo de germinação observado no potencial de -1,2 Mpa. O mesmo pode ser observado neste estudo, as (Figuras 8-B e D), à medida que os potenciais vão ficando mais negativos tanto o IVG como a VMG tiveram um decréscimo para o estresse com o polietinol glicol.

Em um estudo com sementes de *Samanea tubulosa* uma Fabaceae, Santos Junior (2020) observou que, à medida que os potenciais osmóticos diminuía, houve alterações na germinação, sendo registrada uma redução de 81% na germinação com a concentração de -0,3

MPa e, a partir de -0,6 MPa, nenhuma semente germinou. Em comparação com a *Tephrosia noctiflora* a redução na germinação entre a concentração de -0,3 Mpa e -1,2 Mpa foi de 29,32%, e a concentração de -1,5 MPa não permitiu qualquer germinação.

Após esta etapa inicial, foram analisadas as variáveis (Tabela 7), constatando-se significância pelo teste "F" ($p < 0,05$) em função das diferentes concentrações testadas, que interferiram na parte aérea, no comprimento da plântula, e na massa fresca da parte aérea e da raiz das plântulas de *Tephrosia noctiflora* formadas em cada potencial osmótico (Tabela 7). Observou-se que a altura das plântulas e a massa fresca da parte aérea diminuíram significativamente com a redução dos potenciais osmóticos, sugerindo uma adaptação ou resistência das plântulas a esses níveis de estresse hídrico. No entanto, o comprimento da raiz e sua massa seca aumentaram à medida que os potenciais diminuíram, sugerindo uma realocação de recursos para o sistema radicular sob condições de estresse hídrico. Quanto à massa seca da parte aérea e do sistema radicular, não se constatou significância pelo teste "F" ($p > 0,05$) em função dos diferentes potenciais testados, indicando que esses parâmetros não foram influenciados pelos potenciais hídricos aplicados às sementes de *Tephrosia noctiflora* (Tabela 7).

Tabela 7. Comprimento de parte Aérea (PA), Comprimento de Raiz (CR), Massa fresca da parte aérea (MF.PA), Massa seca da parte aérea (MS.PA), Massa fresca da raiz (MF. R), Massa seca da raiz (MS. R), de plântulas *Tephrosia noctiflora* sob diferentes potenciais osmóticos, aos 14 dias após a instalação do experimento. As concentrações ausentes da tabela não desenvolveram plântulas normais após germinação.

$\Psi\pi$ (MPa)	PA (cm)	CR (cm)	MF.PA (g)	MS. PA (g)	MF. R (g)	MS. R (g)
0,0 MPa	1,90 a	0,99 c	0,657 a	0,146	0,007 c	0,005
-0,3 MPa	1,64 ab	1,04 bc	0,466 ab	0,152	0,012 bc	0,010
-0,6 Mpa	1,17 bc	1,36 b	0,278 b	0,108	0,015 b	0,017
-0,9 Mpa	0,84 cd	1,34 b	0,457 b	0,095	0,020 b	0,018
-1,2 Mpa	0,44 d	1,88 a	0,270 b	0,101	0,031a	0,031
Valor de F	20,23**	19,91**	12,67**	1,80 ns	20,99**	1,25ns

Fonte: Autor (2024)

*Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste *Tukey* ($p \leq 0,05$). (**) Significativo pelo teste "F" ($p \leq 0,01$). (ns) Não significativo.

De maneira geral, as plântulas mostraram uma capacidade potencial de adaptação a diversas condições de estresse hídrico, apresentando respostas variadas conforme os potenciais hídricos utilizados. O estresse hídrico afetou mais significativamente comprimento da parte

aérea e a sua massa fresca a partir de -0,3 MPa, indicando um impacto inicial deste nível de estresse sobre o crescimento da plântula. O aumento da massa fresca da raiz em -1,2 MPa sugere uma realocação de recursos para o sistema radicular como uma estratégia de sobrevivência sob condições de estresse hídrico. Larcher (2006) aponta que o estresse interfere em vários processos fisiológicos, exigindo um investimento extra em metabólitos para reparar os danos. Dessa forma, as plantas priorizam a sobrevivência em detrimento da produção, buscando um equilíbrio entre resistência e rendimento, o que resulta na redução da produção de biomassa. Neste caso, os recursos que seriam usados para crescimento e desenvolvimento são redirecionados para mecanismos de defesa e reparação. Isso indica que o estresse afeta diversos processos fisiológicos nas plantas, exigindo que elas gastem mais energia e recursos para reparar os danos causados. Como resultado, as plantas priorizam sua sobrevivência em vez de focar na produção, buscando um equilíbrio entre ser resistente ao estresse e manter seu rendimento.

O crescimento radicular (CR) revela um aumento progressivo, começando com 0,99 cm e alcançando o valor máximo de 1,88 cm (Tabela 7). Essa variação sugere um crescimento gradual do comprimento da raiz à medida que as condições hídricas se tornam mais estressantes. Bacon (2004) menciona que, sob condições de estresse hídrico, as raízes tendem a se alongar, demonstrando um geotropismo mais pronunciado, no qual as raízes crescem mais rapidamente e de forma mais direta para baixo, em relação à parte aérea. O mesmo foi observado no presente estudo com *T. noctiflora*. E, a parte aérea das plântulas analisadas neste estudo apresentou uma tendência decrescente na linearidade estatística em diferentes concentrações de PEG-6000. Essa redução no crescimento, conforme Taiz e Zeiger (2013), pode ser atribuída à diminuição da expansão celular, que necessita de turgor apropriado. Assim, essa redução pode ser representada de forma linear, como visto no presente estudo, indicando uma relação direta e negativa entre o aumento do estresse hídrico (PEG 6000) e a taxa de crescimento da planta.

5. CONCLUSÕES

A *Tephrosia noctiflora* germina em ambientes com ampla faixa de temperatura e luminosidade. Em condições de laboratório, as maiores taxas germinativas ocorrem em temperaturas constantes de 20 °C e 30 °C, e alternada 20-30 °C na condição de luz e escuro.

As sementes desta espécie apresentam alta suscetibilidade à exposição as altas temperaturas.

Tephrosia noctiflora apresenta tolerância moderada ao alumínio.

A presença de cálcio no substrato de germinação afeta negativamente o processo de germinação.

A espécie apresenta sensibilidade ao estresse hídrico, e como meio de sobrevivência apresentam crescimento do sistema radicular e redução da parte aérea.

6. REFERENCIAS

AL-ANSARI, F.; KSIKSI, T. **Uma avaliação quantitativa dos parâmetros de germinação: O caso de *Crotalaria persica* e *Tephrosia apollinea*.** *The Open Ecology Journal* , v. 13-21, 2016.

ALI, AS; ELOZEIRI, AA. **Processos metabólicos durante a germinação de sementes.** In: **LOPEZJIMENEZ, JC (Org.).** *Advances in Seed Biology*, v. 8, p. 142-166, 2017. DOI: 10.5772/intechopen.70653.

ALMEIDA, A. V. D. L.; MUNIZ, M. F. S.; NORONHA, M. A.; SOUZA, R. C.; MOURA FILHO, G.; FARIAS, S. P. ***Scutellonema bradys* e *Pratylenchus spp.* associada a ervas daninhas em campos de inhame.** *Nematologia*, v. 21, pág. 805-811, 2019.

ALMEIDA, et. al. **Estresse hídrico e massa de sementes na germinação e crescimento de plântulas de *Amburana cearensis* (Allemão) AC Smith.** *Revista Ciência Agronômica*, v. 4, pág. 777-787, 2014.

AMARO, H. T. R.; DAVID, A. M. S. S.; ASSIS, M. O.; RODRIGUES, B. R. A.; CANGUSSÚ, L. V. S.; OLIVEIRA, M. B. **Testes de vigor para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de feijoeiro.** *Revista de Ciências Agrárias*, v. 3, pág. 383-389, 2015.

ANTONIO-DOMINGUES, H. et al. **Morfologia e ultraestrutura do pólen de *Tephrosia Pers.* (Leguminosae - Papilionoideae - Millettieae): uma abordagem taxonômica para espécies nativas e cultivadas no Brasil.** *Grana*, v. 58, n. 3, p. 159–173, 2019.

ASGARPOUR, R.; GHORBANI R.; KHAJEH-HOSSEINI M.; GOLZARDI F.; ILKAE M.N. **Seed longevity of *Spotted spurge* and wild *Poinsettia* under diverse environmental conditions.** *Planta Daninha*, v38, 2020. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582020380100002>

ATAÍDE, G.D.M., BORGES E.E.L. & FLORES A.V. **Atividade enzimática em sementes de braúna submetidas a estresse térmico.** *Ciência Rural*, v. 46, pág. 1044-1049, 2016.

AVELINO, J. I. et al. **Métodos de quebra de dormência em sementes de jucá (*Caesalpinia ferrea* Mart. ex Tul. var. *ferrea*)**. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 1, pág. 102–106, 2012.

BABAYEMI, JO; DANIEL, IO; BAMIKOLE, MA; OGUNGBESAN, A.; ODUGUWA, BO. **Estudos preliminares sobre espécies de *Tephrosia*: Efeito dos tratamentos de sementes na germinação**. *Jornal Nigeriano de Produção Animal*, v. 209-216, 2003.

BACON, MA. **Eficiência do uso da água em biologia vegetal**. Oxford: Blackwell, 2004. p. 397.

BAES, OP; VIANA, ML; LARENAS, G.; SARAVIA, M. **Germinación de semillas de *Caesalpinia paraguariensis* (Fabaceae): agentes escarificadores e efeito do ganado**. *Revista de Biología Tropical*, v. 301-304, 2001.

BAJWA, AA; MAHAJAN, G.; CHAUHAN, BS. **Estratégias não convencionais de manejo de ervas daninhas para agricultura moderna**. *Weed Science*, v. 63, p. 723–747, 2015.

BANDEIRA, SB; OLIVEIRA, AS; RAMOS, NS; DOTTO, MC; ERASMO, EAL. **Influência de fatores abióticos na resposta de sementes de *Mimosa pudica* à germinação**. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, v. 2, pág. 78-86, 2019.

BARBOSA, FPS et al. **Dermatopatia causada por intoxicação por *Tephrosia noctiflora* em bovinos**. *Toxicon*, v. 206, p. 21–27, 2022.

BASKIN, CC; BASKIN, JM. **Sementes: Ecologia, biogeografia e evolução da dormência e germinação**. 1. ed. San Diego: Academic Press, 2001. p. 666.

BATISTA, TB; CARTÃOOSO, ED; BINOTTI, FFS; SÁ, MEU; HAGA, KI. **Nutrientes e giberelina no condicionamento fisiológico de sementes de braquiária**. *Revista de Agricultura Neotropical*, v. 1, pág. 10-16, 2015.

BENINNI, ERY; TAKAHASHI, HW; NEVES, CSVJ. **Manejo do cálcio em alface de cultivo hidropônico**. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 4, pág. 605-610, 2003.

BEWLEY, D. J.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. Nova York; Londres: [sn], p. 445, 1994.

BEWLEY, J. D., BRADFORD, K., & HILHORST, H. **Seeds: physiology of development, germination and dormancy**. New York: Springer Science & Business Media, 2012.

BEWLEY, J. D; BRADFORD, K; & HILHORST, H. **Sementes: Fisiologia do Desenvolvimento, Germinação e Dormência**. 3.ed. Nova York: Springer, 2013.

BEUTLER, A.N.; FERNANDES, L.A.; FAQUIN, V. **Efeito do alumínio sobre o crescimento de duas espécies florestais**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.25, p. 923-928, 2001

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

BONILLA, I., EL-HAMDAOUI, A., BOLANOS, L. **Boro e cálcio aumentam a germinação de sementes de *Pisum sativum* e o desenvolvimento de mudas sob estresse salino**. *Plant and Soil*, v. 267, p. 97–107, 2004.

CÁRCAMO, MP et al. **Estresse de alumínio afeta diferencialmente o desempenho fisiológico e compostos metabólicos em cultivares de *Mirtilo highbush***. *Scientific Reports*, v. 9, p. 1-13, 2019.

CARDOSO, ED; MESMO; HAGA, KI; SILVA, FFB; NOGUEIRA, DC; VERIANO, VFW. **Desempenho fisiológico e superação de dormência em sementes de *Brachiaria brizantha* submetidos a tratamento químico e envelhecimento artificial**. *Semina-Ciências Agrárias*, Londrina: Univ Estadual Londrina, v. 1, pág. 21-37, 2014.

CARVALHO, M. P.; SANTANA, D. G.; RANAL, M. A. **Emergência de plântulas de *Anacardium humile* A. St.-Hil. (*Anacardiaceae*) avaliada por meio de amostras pequenas**. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 28, n. 3, p. 627-633, 2005.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Germinação de sementes**. In: Ciência, Tecnologia e Produção. 5. ed. Jaboticabal: Funep, 2012. p. 128-164.

CASTRO, P. et al. **Avaliação da Eficiência de Diferentes Agentes Assépticos para a Descontaminação de Sementes de *Gossypium* sp. para Manipulação In Vitro**. [s.l: s.n.]. 15º Seminário Jovens Talentos – Resumos. 2021

CHAVANTE, B. Caracterização biomorfológica de sementes e ecofisiologia da germinação da semente de *Tephrosia noctiflora* Bojer ex Baker. Dissertação. Campus de Engenharias e Ciências Agrárias- UFAL. Rio Largo. p. 10-33, 2023.

CHAUHAN, B. S. AND JOHNSON, D.E. **The role of seed ecology in improving weed management strategies in the tropics**. Adv. Agron. V. 105, p. 221-262, 2010.

CHAUHAN, D.K. et al. **Aluminum toxicity and aluminum stress-induced physiological tolerance responses in higher plants**. *Critical Reviews in Biotechnology*, v. 41, n. 5, p. 715-730, 2021.

CHAUHAN, B. S. **Seed germination response of a noxious agricultural weed *Echium plantagineum* to temperature, light, pH, drought stress, salinity, heat and smoke**. *Crop and Pasture Science*, v. 69, n. 1, p. 326-333, 2018.

CUSTÓDIO, C. C. et al. **Germinação de sementes de *Conyza canadensis* e *C. bonariensis* em função da presença de alumínio no substrato**. *Ciencia Rural*, v.41, n.4, abr. 2011.

CZABATOR, F. J. **Germination value: an index combining speed and completeness of pine ' seed germination**. *Fores! Science*, v. 8, pag. 386-396. 1962.

DADDARIO, J. F. F. et al. Fatores ambientais que afetam a germinação de sementes de cardos comuns (*Dipsacus fullonum*). *Planta Daninha*, v. 35, 2017. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582017350100065>

DAN, L. G. M. et al. **Qualidade Fisiológica de Sementes de Soja Tratadas Sob Efeito do Armazenamento**. *Revista Brasileira de Sementes*, Londrina, v. 32, n. 2, p. 131-139, 2010

DANTAS, S. A. G. et al. **Strategy for selection of soybean genotypes tolerant to drought during germination.** *Genetics and Molecular Research*, v. 16, n. 2, 2017.

DAOWEI, Z., MOXIN, X. **Specific ion effects on the seed germination of sunflower.** *Journal of Plant Nutrition*, v. 33, 255–266, 2010.

DARKÓ, É.; AMBRUS, H.; STEFANOVITS-BÁNYAI, É.; FODOR, J.; BAKOS, F.; BARNABÁS, B. **Aluminum toxicity, Al tolerance and oxidative stress in an Al-sensitive wheat genotype and in Al-tolerant lines developed by in vitro microspore selection.** *Plant Sci* v. 166, p. 583–591, 2004.

DITOMASO, J. M; BROOKS, M.L.; ALLEN, E.B; MINNICH, R., RICE, P.M. E KYSER, G.B. **Controle de ervas daninhas invasoras com queima prescrita.** Editor: Cambridge University Press *Tecnologia de ervas daninhas*. v. 20, ed. 2, p. 535–548, 2017. doi:10.1614/WT-05-086R1.1

DOUSSEAU, S., ALVARENGA, A. A. D., ALVES, E., CHAVES, I. D. S., SOUZA, E. D. S., & ALVES, J. D. S. **Physiological, morphological and biochemical characteristics of the sexual propagation of *Piper aduncum* (Piperaceae).** *Brazilian Journal of Botany*, v. 34, n.3, p.297-305. 2011.

EBERT, G.; EBERELE, J.; ALI-DINAR, H.; LUDDERS, P. **Ameliorating effects of $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ on growth, mineral uptake and photosynthesis of NaCl-stressed guava seedlings (*Psidium guajava* L.)** *Scientific Horticulture*, v. 93 p. 125-135. 2002.

EVERT, R. F. EICHHORN, Susan E. **Raven | Biologia vegetal.** Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, ed.8, p.1637. 2014

FENG, Q. et al. **Physiological and TMT-based quantitative proteomic responses of barley to aluminium stress under phosphorus-Piriformospora indica interaction.** *Plant Physiology and Biochemistry*, 2023.

FERREIRA, P. V. **Estatística Experimental Aplicada as Ciências Agrárias**. Viçosa, MG: UFV, 2018. Ed 1ª. 588p.

FERREIRA COSTA, S. et al. **Emergência e crescimento inicial de timbó (*tephrosia toxicaria* pers.)-(fabaceae) em função dos níveis de salinidade**. [s.l: s.n.]. VIII Inovagri International Meeting e XXXII CONIRD, p. 5-9, 2023.

FIGLIOLIA, M.B. **Teste de germinação: Sementes florestais tropicais: da ecologia à produção**. Londrina: ABRATES, p. 325-343. 2015

FLORES, J. et al. **The combined effect of water stress and temperature on seed germination of Chihuahuan Desert species**. Journal of Arid Environments, v. 146, p. 95-98, 2017.

FRANCO, A.C., SOUZA, M.P. e NARDOTO, G.B.. **Estabelecimento e crescimento de *Dalbergia miscolobium* Benth. em áreas de campo sujo e cerrado no DF, in: Impactos de queimadas em áreas de cerrado e restinga**. Brasília, DF, p.84-92. 1996

GEESINK R. **A survey of the genera of the tribe Millettieae (Leguminosae, Papilionoideae)**. Scala millettiearum. E.J. Brill/Leiden University Press, Leiden. p. 131. 1984

GORDIN, C. R. B.; MARQUES, R. F.; ROSA, R. J. M.; SANTOS, A. M.; SCALON, S. P. Q. **Emergência de plântulas e crescimento do pinhão manso exposto a alumínio**. Semina: Ciências Agrárias, v. 34, n. 1, p. 147-156. 2013.

GOVINDARAJ, J. et al. **Simple, rapid and cos effective screening method for drought resistant breeding in pearl millet**. Electronic Journal of Plant Breeding, v. 1, p. 590-599, 2010.

PIÑA, V. M.; DEMATTE, M. E. S. P.; GRAZIANO, T. T. **Germination of seeds of *Caesalpinia leiostachya* (Benth) Ducke and *Cassia javanica* subject to treatments for breaking their dormancy**. [Part of thesis]. Revista Brasileira de Sementes, 1984.

GRZYBOWSKI, C. R. S.; VIEIRA, R. D.; PANOBIANCO, M. **Testes de estresse na avaliação do vigor de sementes de milho**. Revista Ciência Agronômica, v. 46, n. 3, p. 590-596, 2015.

GUL, B., KHAN, M.A. **Role of calcium in alleviating salinity effects in coastal halophytes**. In: Khan, M.A., Weber, D.J. (Eds.), Ecophysiology of High Salinity Tolerant Plants. Springer, The Netherlands. 2006.

PARIDA, B., D. ZHOUB, H.; ZHANGC, Y.; TIANC, W.; JAPHET AND WANG, P. **Germination responses of Medicago ruthenica seeds to salinity, alkalinity, and temperature**. J. Arid Environ. V. 73, n. 1, p. 135-138, 2009.

HELVIG, E.O. et al. **Interference Periods of Weeds in Maize in No-Tillage and Conventional Systems at High Altitudes**. Planta daninha, Viçosa, v. 38, e020198681, 2020.

HOFFMANN, A. F.; RIZZARDI, M.; VARGAS, L., JENSEN, P. K. **Como água e temperatura afetam a germinação de plantas daninhas poáceas de verão**. In: Congresso da Ciência das Plantas Daninhas. Curitiba: SBCPD, v. 30, 2016.

HUANG, D.; GONG, Z.; CHEN, X.; WANG, H.; TAN, R.; MAO, Y. **Transcriptomic responses to aluminum stress in tea plant leaves**. Scientific reports, 11(1), 5800. 2021. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-85393-1>

KAR, D.; PRADHAN, A. A.; DATTA, S. **The role of solute transporters in aluminum toxicity and tolerance**. Physiologia Plantarum, 171(4), 638–652. 2021. <http://dx.doi.org/10.1111/ppl.13214>

KENDRICKS, R. E.; FRANKNELAND, B. **Phytocrome and plant**. In: ARNOLD, E. (Ed.). Southamptobn. [S.l.]: Camelot, 1983.

KHODARAHMPOUR, Z. **Effect of drought stress induced by polyethylene glycol (PEG) on germination indices in corn (Zea mays L.) hybrids**. African Journal of Biotechnology, v. 10(79), p. 18222-18227, 2011.

KOCHIAN, L. V.; PIÑEROS, M. A.; HOEKENGA, O.A. **The physiology, genetics and molecular biology of plant aluminum resistance and toxicity**. Plant Soil, v.274, p.175-195, 2005.

KOŁODZIEJEK, J., & PATYKOWSKI, J. **The Effect of Temperature, Light and Calcium Carbonate on Seed Germination and Radicle Growth of the Polycarpic Perennial Galium cracoviense (Rubiaceae), a Narrow Endemic Species From Southern Poland**. Acta Biologica Cracoviensia S. Botanica, v. 57, n. 1, p. 70–81 KUMAR, 2015

KOPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlagcondicionadas. Justus Perthes. 1928. n.p.

KOPITTKE, P. M. et al. **Identification of the primary lesion of toxic aluminum in plant roots**. Plant Physiology, v. 167, n. 4, p.1402-1411. 2015

KUMAR A, SHARMA S, AND MISHRA S. **Effect of alkalinity on growth performance of Jatropha curcas inoculated with PGPR and AM fungi**. Journal of Phytology v. 3, p. 177–184, 2009.

LABOURIAU, L. G. **A germinação de sementes**. Washington, Secretaria Geral da OEA, 174p. 1983.

LABOURIAU, L. G.; VALADARES, M. E. B. **On the germination of seeds of Calotropis procera (Ait.) Ait. f. An Acad Bras Ciênc**. V. 48, n. 2, p. 263-284, 1976.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: Rima, p. 550. 2006.

LARHER, F. et al. **Effectors for the osmoinduced proline response in higher plants**. Plant Physiology and Biochemistry, v. 31, p. 911-922, 1993.

LIMA, MARIANA PEREIRA. **Superação de dormência e qualidade da luz na germinação de sementes de Chamaecrysta rotundifolia (Pers.) greene**. Trabalho de conclusão de curso, Paragominas, PA, p. 32-33. 2019.

LIU, T. W. et al. **Effects of calcium on seed germination, seedling growth and photosynthesis of six forest tree species under simulated acid rain.** Tree Physiology, v. 31, n. 4, p. 402–413, abr. 2011. doi:10.1093/treephys/tpr019

LI-YUN, L., MING-YOU, W. **Effect of CaCl₂ on germination of wheat seeds under salt stress.** Journal of Henan Agricultural Sciences. CNKI:SUN: HNNY.0.2010-01-000, 2010.

LUNDY, M. E., FISCHER, A. J., VAN KESSEL, C., HILL, J. E., RUARK, M. D., & LINQUIST, B. A. **Surface-Applied Calcium Phosphate Stimulates Weed Emergence in Flooded Rice.** Weed Technology, 24(03), 295–302. 2010.

MA, B., WAN, J. & SHEN, Z. **H₂O₂ production and antioxidant responses in seeds and early seedlings of two different rice varieties exposed to aluminum.** Plant Growth Regul 52, p. 91–100. 2007

MACHADO, J. S.; STEINER, F.; ZOZ, F.; HONDA, G. B.; OLIVEIRA, B. L. N. **Effects of aluminum on seed germination and initial growth of physic nut seedlings.** Revista de Agricultura Neotropical, Cassilândia-MS, v. 2, n. 1, p. 24-31, jan./mar. 2015.

MACKAY, W. A, DAVIS, T. D, SANKHLA, D., RIMENSCHNEIDER, D. E. **Fatores que influenciam a germinação de sementes de tremoço perennis.** Jornal de Horticultura Ambiental. v. 14, p.167-169, 1996.

MAGUIRE, J. D. **Seed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor.** Crop Sci. V. 2, n. 2, p. 176-177, 1962.

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

MEDEIROS, J. X. D. **Senna cana (Nees & Mart.) H.S. Irwin & Barneby: Morfologia de frutos, sementes, plântulas, plantas jovens e ecofisiologia da germinação.** Tese (Doutorado)—Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2019.

MENDONÇA, R. J. et al. **Efeito do alumínio na absorção e na utilização de macronutrientes em duas cultivares de arroz.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, DF, v. 38, n. 7, p. 843-846, 2003.

MERIÑO-GERGICHEVICH, C.; ALBERDI, M.; IVANOC, A. G.; REYES-DIAZ, M. **Al³⁺ - Ca²⁺ interaction in plants growing in acid soils: Al-phytotoxicity response to calcareous amendments.** Journal of Soil Science and Plant Nutrition. V. 10, n. 3, p. 217-243, 2010.

MESCHEDE, D.K.; SALES, J.G.C.; BRACCINI, A.L.; SCAPIM, C.A.; SCHUAB, S.R.P. **Tratamentos Para Superação Da Dormência Das Sementes De Capim braquiária Cultivar Marandu.** Revista Brasileira de Sementes, vol. 26, nº 2, p.76-81, 2004.

MOHAN, V. M. et al. **Calcium channel blockers protect against aluminium-induced DNA damage and block adaptive response to genotoxic stress in plant cells.** Mutation Research, v. 751, n. 2, p.130-138, 2013

MORAES, P. J., RIBEIRO, J.P.O., SILVA, M.M., DIAS, D.C.F.S., CECOM, P.R., SANTOS, J.V. **Germinação de sementes em Tephrosia egregia Sandwith (Fabaceae), espécie nativa da ecorregião da Caatinga brasileira com potencial para recuperação de áreas degradadas.** Hoehnea 50: e292022, 2023. <https://doi.org/10.1590/2236-8906e292022>

MUNNS, R. **Comparative physiology of salt and water stress.** Plant, Cell Environ v. 25, n. 2, p. 239–250, 2002.

NAIFF, A.P.M. **Crescimento, Composição Mineral e Sintomas Visuais de Deficiências de Macronutrientes em Plantas de Alpinia Purpurata Cv. Jungle King.** Tese de Mestrado. Universidade Federal Rural Da Amazônia. Belém, p.77, 2007.

NEUWINGER, HD. **Plantas usadas para pesca com veneno na África tropical.** Tóxico 44, 417–430. 2004: Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2004.05.014>.

OLIVEIRA, F.N.; FRANÇA, F.D.; TORRES, S.B.; NOGUEIRA, N.W.; FREITAS, R.M.O. **Temperaturas e substratos na germinação de sementes de pereiro-vermelho (Simira**

gardneriana M.R. Barbosa & Peixoto). Revista Ciência Agronômica, v.47, n.4, p.658-666, 2016.

PARIDA, A. K. AND DAS, A. B. **Salt tolerance and salinity effects on plants: A review.** Ecotoxicology and Environmental Safety 60, p. 324–349, 2005.

PASSOS; A. R.; SILVA; S. A.; HARTWIG, I.; HAWERROTH, M. C.; SANTOS; K. S.; SOUZA, C. M. M. **Avaliação de cultivares de mamoneira para tolerância ao alumínio tóxico e insensibilidade ao ácido giberélico.** Magistra, Cruz das Almas – BA, v. 27, n.1, p. 73 - 81, Jan./Mar. 2015.

PELEGRINI, L.L; BORCIONI, E.; NOGUEIRA, A.C; KOEHLER, H.S & QUOIRIN, M.G.G. **Efeito do estresse hídrico simulado com NaCl, manitol e PEG (6000) na germinação de sementes de Erythrina falcata Benth.** Ciência Florestal v. 23, p. 511-519, 2013.

PEÑA, J. E., BRAVO, M. M. **The Role of the Internal Structure of Fabaceae Seeds in the Processes of Dormancy and Germination.** IntechOpen. 2023. doi: 10.5772/intechopen.109627

PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; MARTINS, R. B. **Dormência: Conceito, tipos e formas de superação.** Em: MARTINS, R. B. (Ed.). Sementes florestais: Guia para germinação de 100 espécies nativas. Instituto Refloresta, São Paulo, ed. 1, p. 83, 2012.

QUEIROZ, R.T. **Revisão taxonômica das espécies do gênero Tephrosia Pers.** (Leguminosae, Papilionoideae, Millettieae) ocorrentes na América do Sul. Tese (Doutorado). Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, p. 244-252. 2012

QUEIROZ, R.T. **Tephrosia in Flora do Brasil.** Jardim Botânico do Rio de Janeiro, p 30-33, 2020. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB23204>.

RANAL, M. A.; SANTANA, D. G. **How and why to measure the germination process** Rev Bras Bot. V. 29, n. 1, p. 1-11, 2006

RAO, A. Y. S. P. et al. **Uma abrangente revisão sobre etnomedicina, fitoquímica, farmacologia e toxicidade de *Tephrosia purpurea* (L.) Pers.** *Phyther*, v. 34, p. 1902–1925. 2020.

RIAZ, M.; YAN, L.; WU, X. HUSSAIN, S.; AZIZ, O.; WANG, Y.; JIANG, C. **Boron alleviates the aluminum toxicity in trifoliate orange by regulating antioxidant defense system and reducing root cell injury.** *Journal of Environmental Management*, v. 208, p. 149–158, 2018.

RIBEIRO, E. S. et al. **Relações da anatomia radicular na absorção, no acúmulo e na tolerância ao chumbo em *Echinodorus grandiflorus*.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 19, n. 6, p. 605-612, 2015

RIBEIRO, J. et al. **Seed germination in *Tephrosia egregia* Sandwith (Fabaceae), a species native to the brazilian Caatinga ecoregion with potential for recovery of degraded areas.** 2023.

RIBEIRO, RC; MATIAS, JR; PELACANI, CR; DANTAS, BF. **Atividade de enzimas antioxidantes e acúmulo de prolina em *Erythrina velutina* Willd.** sementes submetidas a estresses abióticos durante a germinação. *Journal of Seed Science*, v.36, p.231-239, 2014. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v32n2956>

RICHARDS, K. D.; SCHOTT, E. J.; SHARMA, Y. K.; DAVIS, K. R.; GARDNER, R. C. **Aluminum induces oxidative stress genes in *Arabidopsis thaliana*.** *Plant Physiol* v. 116, p. 409–418, 1998.

RICHARDS, L. A. **Solos salinos e sódicos.** México, Instituto Nacional de Pesquisa Agrícola, 1980.

RUMBAUGH, M.D.; JOHNSON, D.A.; PENDERY, B.M. **Germination inhibition of alfafa by two component salt mixture.** *Crop Sci.*, v.33, n.5, p.1046-1050. 1993.

SADE, H. et al. **Toxicity and tolerance of aluminum in plants: tailoring plants to suit to acid soils.** *Biomaterials*, v.29, p.187-210, 2016.

Sanders, D.; Brownlee C.; Harper, J. F. **Comunicando-se com cálcio**. *Célula Vegetal* v. 11, p. 691–706, 1999.

SANTANA, M. G. et al. **Uso de herbicida no controle de plantas daninhas em pastagem**. [s.l: s.n.]. Faculdade de Ciências Sociais Aplicadas do Vale do São Lourenço, 2021.

SANTOS J.C.A., RIET-CORREA F., DANTAS A.F.M., BARROS S.S., MOLYNEUX R.J., MEDEIROS R.M.T., SILVA D.M.; OLIVEIRA O.F. **Toxic hepatopathy in sheep associated with the ingestion of the legume *Tephrosia cinerea***. *J. Vet. Diagn. Invest.* p. 690-694. 2007.

SANTOS, C. A. dos et al. Germinação de sementes de duas espécies da caatinga sob déficit hídrico e salinidade. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, v. 36, n. 87, p. 219-224. 2016.

SANTOS JUNIOR, R. N.; DA SILVA, A. G. **Osmotic stress in the germination of *samanea tubulosa* (Benth.) barneby & J. W. Grimes seeds**. *Ciencia Florestal* Universidade Federal de Santa Maria, v. 30, n. 4, p. 971-979. 2020. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509830946>

SCHRIRE, D. **A synopsis of *Tephrosia* subgenus *Barbistyla* (Fabaceae) in southern Africa**. *Bothalia* v. 17, p. 7-15. 2005

SENA, E. M. N. et. al. Germination niche of a neotropical dry forest species: seed osmotic stress and recovery . *Journal of Seed Science*, v.45, e202345028, 2023. doi.org/10.1590/2317-1545v45272288

SHAIKH, F.; GUL, B.; LI, W.; LIU, X.; and KHAN, M. A. **Effect of calcium and light on the germination of *Urochondra setulosa* under different salt**. *Journal of Zhejiang University Science*, v. 8, p. 20–26. 2007.

SHAMIM, F. et al. **Screening and selection of tomato genotypes/cultivars for drought tolerance using multivariate analysis**. *Pakistan Journal of Botany*, v. 46, p. 1165-1178. 2014.

SHOMER, I.; NOVACKY, A. J.; PIKE, S. M.; YERMIYAHU, U.; KINRAIDE, T. B. **Electrical potentials of plant cell walls in response to the ionic environment**. *Plant Physiology*, 133: 411-422. 2003.

SILVA, G. C. **Extratos de *Tephrosia toxicaria* (Sw.) Pers.: prospecção de atividades Anti-*Aedes*, antioxidante, antimicrobiana e leishmanicida, e biossegurança.** Tese (Doutorado em Bioquímica e Biologia Molecular) - Centro de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, p. 39-45. 2022.

SILVA, J.; CUNHA, J. L. X. L.; OLIVEIRA, F. S.; SILVA, R. G. S.; GOMES, C. B.; CARVALHO, A. P. V.; SILVA JUNIOR, A. B.; SILVA, C. A.. **Composição do banco de sementes em diferentes profundidades de uma área cultivada com capim Aruana.** Revista Agrarian, Dourados, v.11, n.40, p.140-149, 2018.

DOI: <https://doi.org/10.30612/agrarian.v11i40.5274>

SILVA, M. R. M.; COSTA, E. A.; MARQUES, L. J. P.; CORRÊA, M. J. P.. **Banco de sementes de plantas daninhas em áreas de cultivo de arroz de sequeiro na Pré-Amazônia Maranhense.** Revista de Ciências Agrárias Amazônia, Belém, v.57, n.4, p.351-357, 2014.
DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/rca.1297>

SIMONOVICOVÁ, M.; TAMAS, L.; HUTTOVÁ, J.; MISTRIK, I. **Effect of aluminium on oxidative stress related enzymes activities in barley roots.** Biologia Plantarum, v. 48, n. 2, p. 261 – 266, 2004.

SILVEIRA, A. M.; MOREIRA, É. C. M.; VAZ, F.; LORENZO, C.; DRIEMEIER D.; FURLAN, F.; DANTAS, A. F.M.; RIET-CORREA F. **Periacinar liver fibrosis caused by *Tephrosia cinerea* in sheep.** Res. Vet. Sci. v. 95, n. 1, p.200-203. 2018.

SOUZA, P. E; PICCOLI, M. M; BUCCIARELLI, B. **Calcium sources and doses in the treatment of broccoli seeds.** Research, Society and Development, v. 11, n. 7, e4211729684, 2022

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal.** 5. ed. Artmed, Porto Alegre, p. 918. 2013.

THOMPSON, K. et. al. **Um estudo comparativo das concentrações de nutrientes nas folhas em uma flora herbácea regional.** Novo Fitol. p. 136:679–689,1997.

TOBE, K., ZHANG, L., OMASA, K. **Alleviatory effects of calcium on the toxicity of sodium, potassium and magnesium chlorides to seed germination in three non-halophytes.** Seed Science Research v.13, p.47–54, 2003.

TOBE, K., LI, X., OMASA, K. **Effect of five different salts on seed germination and seedling growth of *Haloxylon ammodendron* (Chenopodiaceae).** Seed Science Research v.14, p.345–353, 2004.

TORRES, I. C. **Presença e tipos de dormência em sementes de espécies arbóreas da Floresta Ombrófila Densa.** Dissertação (Mestrado)—Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 2008.

TURKMEN, O., DURSUN, A., TURAN, M., ERDINC, C. **Calcium and humic acid affect seed germination, growth and nutrient content of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) seedlings under saline soil conditions.** Acta Agriculturae Scandinavica v. 54, p.168–174, 2004.

VERMEIRE, L.T.; RINELLA M. J. **O fogo altera o surgimento de espécies de plantas invasoras a partir de sementes depositadas na superfície do solo.** Editor: Cambridge University Press. Ciência das Ervas Daninhas; v.57, n. 3, p. 304-310, 2017. doi:10.1614/WS-08-170.1

VILLELA, F.A.; FILHO, L.D.; SEQUEIRA, E.L. **Tabela de potencial osmótico em função da concentração de polietilenoglicol 6000 e temperatura.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.26, n.11, 1991.

VITORELLO, V. A.; CAPALDI, F. R.; STEFANUTO, V. A. **Recent advances in aluminium toxicity and resistance in higher plants.** Brazilian Journal of Plant Physiology, 17: 129-143. 2005.

YANG, C. W.; CHONG, J.; KIM, C.; LI, C. Y.; SHI, D. C.; and WANG, D. L. **Osmotic adjustment and ion balance traits of an alkali resistant halophyte *Kochia sieversiana* during adaptation to salt and alkali conditions.** Plant and Soil v. 294, p. 263–276, 2007.

YAMAMOTO, Y.; KOBAYASHI, Y.; DEVI, S. R.; RIKIISHI, S.; MATSUMOTO, H. **Aluminum toxicity is associated with mitochondrial dysfunction and the production of reactive oxygen species in plant cells.** *Plant Physiol* v. 128, p. 63–72, 2002.

YAMASHITA, O. M; GUIMARÃES, S. C. **Germinação de sementes de *Conyza canadensis* e *C. bonariensis* em função da presença de alumínio no substrato.** *Ciência Rural*, Santa Maria, v.41, n.4, p.599-601, 2011.

YAO, S., CHEN, S., ZHAO, J., XU, D., LAN, H., ZHANG, F. **Effect of three salts on germination and seedling survival of dimorphic seeds of *Chenopodium album*.** *Botany* n.88, p.821–828, 2010.

YU, Y., ZHOU, W., LIANG, X., ZHOU, K., & LIN, X. **Increased bound putrescine accumulation contributes to the maintenance of antioxidant enzymes and higher aluminum tolerance in wheat.** *Environmental pollution*, n. 252, p. 941-949, 2019.

YUAN, X., & WEN, B. **Seed germination response to high temperature and water stress in three invasive Asteraceae weeds from Xishuangbanna, SW China.** *PLOS ONE*, v. 13, n. 1, e0191710, 2018.

ZHAO, N., LI, Q., GUO, W., ZHANG, L., GE, L. E WANG, J. **Efeito de fatores ambientais na germinação e emergência do rabo-de-raposa (*Alopecurus aequalis*).** *Ciência de Ervas Daninhas*, 66(1), 47-56. 2017

ZHANG, P., QIN, D., CHEN, J., ZHANG, Z. **Plantas do gênero tephrosia: recursos valiosos para inseticidas botânicos.** *Insetos* v. 11, p. 1–18. 2020.

ZHAO, X. et al. **A água rica em hidrogênio induz uma tolerância ao brilho nas mudas de milho, aumentando as capacidades antioxidantes e a homeostase dos nutrientes.** *Ecotoxicologia e Segurança Ambiental*, v. 144, n. 6, pág. 369-379. 2017.

ZHOU, D.; & XIAO, M. **Specific ion effects on the seed germination of sunflower.** *Journal of Plant Nutrition*, v. 33, n. 2, p. 255–266, 2010.

ZIMDAHL, R.L. **Fundamentals of weed Science**. Elsevier, ed. 3, 2007.