



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO



IGOR SILVA DA HORA

A influência da hidratação descontínua de sementes e dos ciclos de rega em mudas no comportamento germinativo e no potencial alelopático de espécies exóticas invasoras da Caatinga

São Cristóvão
Sergipe
2025

IGOR SILVA DA HORA

A influência da hidratação descontínua de sementes e dos ciclos de rega em mudas no comportamento germinativo e no potencial alelopático de espécies exóticas invasoras da Caatinga

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Universidade Federal de Sergipe como requisito para obtenção do título de Doutor em Ecologia e Conservação.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Vinicius Meiado.

São Cristóvão

Sergipe - Brasil

2025

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

H811i Hora, Igor Silva da.
A influência da hidratação descontínua de sementes e dos ciclos de rega em mudas no comportamento germinativo e no potencial alelopático de espécies exóticas invasoras da Caatinga / Igor Silva da Hora; orientador Marcos Vinicius Meiado. – São Cristóvão, SE, 2025.
169 f.; il.

Tese (doutorado em Ecologia e Conservação) – Universidade Federal de Sergipe, 2025.

1. Ecologia. 2. Algaroba. 3. Leucena. 4. Alelopatia. 5. Biodiversidade. I. Meiado, Marcos Vinicius, orient. II. Título.

CDU 582.736.1

TERMO DE APROVAÇÃO

A influência da hidratação descontínua de sementes e dos ciclos de rega em mudas no comportamento germinativo e no potencial alelopático de espécies exóticas invasoras da Caatinga

IGOR SILVA DA HORA

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Universidade Federal de Sergipe, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Doutor em Ecologia e Conservação.

APROVADO pela banca examinadora composta por:

Documento assinado digitalmente
 **MARCOS VINICIUS MEIADO**
Data: 09/06/2026 20:23:32-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. MARCOS VINICIUS MEIADO (Orientador)
Universidade Federal de Sergipe

Documento assinado digitalmente
 **DENISE GARCIA DE SANTANA**
Data: 10/06/2026 09:06:20-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. DENISE GARCIA DE SANTANA
Universidade Federal de Uberlândia

Documento assinado digitalmente
 **JESSYCA ADELLE SILVA SANTOS**
Data: 09/06/2026 21:13:23-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. JESSYCA ADELLE SILVA SANTOS
Instituto de Pesquisa Jardim Botânico do Rio de Janeiro

Documento assinado digitalmente
 **LUIZ PALHARES NETO**
Data: 06/06/2026 20:33:26-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. LUIZ PALHARES NETO
Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Documento assinado digitalmente
 **RAPHAELA AGUIAR DE CASTRO**
Data: 09/06/2026 19:40:08-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. RAPHAELA AGUIAR DE CASTRO
Universidade Federal do Vale do São Francisco

São Cristóvão/SE, 19 de dezembro de 2025

Ao meu orientador, amigo e pai científico

Dr. Marcos Vinicius Meiado

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Entendo que a gratidão é um dos sentimentos mais nobres que o ser humano possui. Ser grato é lembrar todo o processo e perceber que durante a caminhada você não estava só. E é com esse sentimento que encerro mais um ciclo da minha trajetória acadêmica.

Agradeço à minha noiva Bela pelo apoio imensurável nesta trajetória. Ao longo deste tempo tivemos muitas conversas, nas quais meu cansaço pesava muito e você, com as melhores palavras, sabia como me incentivar e me colocar de volta ao foco de que eu precisava naquele momento. Obrigado pelo seu amor demonstrado de tantas formas: desde vir comigo aos domingos para avaliar experimentos e mexer com solo até compreender minha ausência em vários momentos. Te amo!

Agradeço aos meus pais e à minha tia Maria por todo o incentivo ao longo desses anos. Agradeço até mesmo pela compreensão naqueles momentos em que ia visitá-los, mas me isolava em um canto para corrigir algo e não lhes dava tanta atenção. Obrigado por esse apoio, por mais que muitas das vezes vocês não entendam de fato o que estou fazendo. Também estendo meus agradecimentos à minha sogra Cátia por todo o apoio que me deu ao longo desse processo.

Ao meu orientador e amigo Marcos Vinicius Meiado, você foi o pilar desta trajetória. Sou extremamente grato pela sua compreensão e pelo seu incentivo ao longo de toda minha vida acadêmica, desde o dia em que você me aceitou em seu laboratório. Agradeço muito pela fé depositada em mim, que muitas vezes nem eu mesmo tinha, e pela escuta ao longo deste doutorado, pois conciliar dois mundos, a escola e a pesquisa acadêmica, só foi possível porque tive você neste processo.

Aos amigos que fiz no LAFISE e que me acompanharam nesta trajetória, deixo minha sincera gratidão. A Adson, Éveli, Guilherme, Sibaldo e Thieres, muito obrigado pela ajuda em tantos momentos em que precisei. A Bianca, Cris e Diogo, vocês foram essenciais para tornar meu doutorado mais leve, sou extremamente grato pela ajuda de vocês e pelas nossas conversas, desde as mais banais e descontraídas até aquelas completas de conhecimento científico em alto nível. A Bruno, que tanto me ajudou e motivou durante a execução desta tese, apesar de reclamar muito, estava lá, sempre disposto a me auxiliar nos momentos em que mais precisava. A Riclecia, que sempre me ouviu e me entendeu nos momentos difíceis da vida universitária. Agradeço sua alegria e seu apoio de sempre, na maioria das vezes acompanhados de muitos risos, choros,

estresses e muito café. Por fim, aos meus dois orientandos, Emerson e Adilson, saibam que sou grato pela força que me deram, muitas vezes sem que vocês soubessem o quanto eu precisava. Vocês contribuíram para a minha maturidade científica de formas que jamais imaginei. Emerson, em particular, saiba que você foi peça-chave na execução deste trabalho.

Aos meus amigos que, mesmo com a minha intensa correria com trabalho, experimentos e escrita da tese, não hesitaram em me apoiar e motivar. Obrigado por entenderem minhas ausências. Saibam que agradeço a todos vocês em nome de Arthur, Gabi, Jamile, Jeff, Rayane e Vania.

Aos gestores dos colégios (CEAXSS, CETEP e UAB) pelos quais passei nesses últimos anos, vocês foram extremamente compreensíveis comigo e agradeço muito por isso na minha trajetória.

Aos doutores Denise Santana, Jessyca Adelle, Juliano Fabricante, Luiz Palhares Neto e Raphaela Aguiar por aceitarem fazer parte das minhas bancas de qualificação e defesa e contribuir com meu trabalho. Ao Dr. Rony Almeida por me ajudar a compreender melhor as análises multivariadas.

À portaria CAPES nº 133 (2023) que me autorizou a receber a bolsa de pesquisa na reta final do doutoramento, ao Núcleo de Ecologia e Monitoramento Ambiental (NEMA) pela doação de sementes e à Universidade Federal de Sergipe pela logística de espaços e transportes.

Mas eu sei que vai

Que o sonho te traz coisas que te faz prosseguir

Então levanta e anda

(Levanta e anda – Emicida)

RESUMO

A invasão biológica é uma das maiores causas de perda de biodiversidade no mundo. Algumas características podem aumentar a invasividade, como a presença de memória de hidratação nas sementes e o potencial alelopático da planta. Este é a capacidade de liberar aleloquímicos que afetam o desenvolvimento de espécies-alvo no ambiente, a qual pode ser influenciada por condições ambientais, como a hidratação descontínua de sementes e ciclos de rega em mudas. A presente tese possui como objetivo geral entender a influência que essas condições ambientais possuem no comportamento germinativo e no potencial alelopático de espécies exóticas invasoras da Caatinga. Nesse sentido, este trabalho possui três capítulos, sendo que o primeiro verificou se sementes da espécie invasora, *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* tem sua germinação favorecida em situações de déficit hídrico ao passar por hidratação descontínua. Dentre os resultados, observou-se que o comportamento germinativo da espécie, através dos parâmetros mensurados, foi alterado por conta da passagem por ciclos de hidratação e desidratação (HD) das sementes. Deste modo, em condições de déficit hídrico durante o processo de invasão, a espécie beneficia-se da memória de hidratação das sementes, sendo assim, um caráter de invasividade. Nos segundo e terceiro capítulos foi analisado como a passagem por ciclos de HD e ciclos de rega nas mudas de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae) e *N. juliflora* influencia a alelopatia durante a germinação e desenvolvimento inicial de uma espécie modelo (em laboratório) e espécie nativa (em laboratório e casa de vegetação), respectivamente. No segundo capítulo notou-se que a alelopatia da *L. leucocephala* foi favorecida pela passagem por esses ciclos prévios enquanto a *N. juliflora* não apresentou alterações em sua alelopatia. Por fim, o terceiro capítulo mostrou que, apesar da espécie nativa ser tolerante a estresses alelopáticos, os extratos de *L. leucocephala* nos experimentos em laboratório influenciaram o tempo de germinação do lote enquanto na casa de vegetação, os efeitos ocorreram de formas diversas, como diminuição na emergência das plântulas e no comprimento da parte subterrânea. Esta tese demonstra que a presença de memória de hidratação das sementes de *N. juliflora* e *L. leucocephala* ao passar pela hidratação descontínua pode ser um caráter de invasividade. Além disso, a alelopatia é um processo dinâmico influenciado por condições prévias, de modo que seu potencial invasor pode aumentar em ambientes que passam naturalmente por situações semelhantes à hidratação descontínua e ciclos de rega.

Palavras-chave: Invasividade; Invasão biológica; Algaroba; Leucena; Alelopatia.

ABSTRACT

Biological invasion is one of the main causes of biodiversity loss worldwide. Certain characteristics can increase invasiveness, such as the presence of hydration memory in seeds and the allelopathic potential of the plant. This is the ability to release allelochemicals that affect the development of target species in the environment and can be influenced by environmental conditions such as discontinuous seed hydration and irrigation cycles in seedlings. This thesis aims to understand the influence of these environmental conditions on the germination behavior and allelopathic potential of invasive exotic species in the Caatinga biome. In this sense, this work has three chapters, the first of which is dedicated to verifying whether the germination of seeds of the invasive species *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* is favored in situations of water deficit when subjected to discontinuous hydration. Among the results, I observed that the germination behavior of the species, through the measured parameters, was altered due to the passage through hydration and dehydration (HD) cycles of the seeds. Thus, the species benefits from the hydration memory of the seeds under water deficit conditions during the invasion process, demonstrating an invasive characteristic. In the second and third chapters, I analyzed how the passage through water deficit cycles and irrigation cycles in seedlings of *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae) and *N. juliflora* influences allelopathy during germination and initial development of a model species (in the laboratory) and a native species (in the laboratory and in a greenhouse), respectively. In the second chapter, I observed that the allelopathy of *L. leucocephala* was favored by the passage through these previous cycles, while *N. juliflora* did not show alterations in its allelopathy. Finally, the third chapter showed that, despite the native species being tolerant to allelopathic stresses, extracts of *L. leucocephala* in laboratory experiments influenced the germination time of the batch, while in the greenhouse, the effects occurred in various ways, such as a decrease in seedling emergence and the length of the roots. This thesis demonstrates that the presence of hydration memory in seeds of *N. juliflora* and *L. leucocephala*, when subjected to discontinuous hydration, can be a characteristic of invasiveness. Furthermore, allelopathy is a dynamic process influenced by previous conditions, so its invasive potential can increase in environments that naturally present situations similar to discontinuous hydration and irrigation cycles.

Keywords: Invasiveness; Biological invasion; Prosopis; Leucaena; Allelopathy.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1. A hidratação descontínua de sementes aumenta a tolerância ao déficit hídrico e favorece a invasão biológica de *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora*

Figura 1. A) Local de coleta das sementes de *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* B) Um dos indivíduos adultos que foi matriz de coleta das sementes. C) Fruto da espécie. D) Sementes da espécie. E) Folhas compostas de plântulas em crescimento 52

Figura 2. Curvas de embebição (A) e desidratação (B) de sementes de *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* com a quantidade de água ao longo do tempo em horas.....53

Figura 3. Efeito dos ciclos de hidratação e desidratação (0C, 1C, 2C e 3C) nas sementes de *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* nos parâmetros germinativos sob influência de diferentes potenciais osmóticos (0, -0,2 MPa, -0,4 MPa, -0,6 MPa, -0,8 MPa e -1,0 MPa). A) Germinabilidade (%). B) t_{50} (tempo para germinação de 50% do lote - dias), V (Velocidade Média de Germinação - dias⁻¹), CVt (Coeficiente de Variação do Tempo de Germinação - %), U (incerteza da germinação - bits) e Z (índice de sincronização) 54

CAPÍTULO 2. Influência da hidratação descontínua em sementes e dos ciclos de rega em plântulas no potencial alelopático de duas espécies exóticas invasoras na Caatinga

Figura 1. A) Áreas de coleta do material vegetal de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae) e *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* (Fabaceae). B) Aspectos morfológicos da espécie *L. leucocephala* . C) Aspectos morfológicos de *N. juliflora* 86

Figura 2. Desenho experimental dos ciclos de hidratação e desidratação (HD) nas sementes e de rega nas plântulas das duas espécies exóticas estudadas. A) Sementes sendo

submetidas aos ciclos de HD e transplantadas para o posterior desenvolvimento. B) Sementes que não passaram pelos ciclos de HD são transplantadas da mesma forma que as submetidas aos ciclos. C) Plântulas após a aclimação, sendo um grupo com ciclo de rega e outro sem ciclo de rega, recebendo água diariamente87

Figura 3. Efeito dos diferentes modos de extração alelopática foliar (lixiviados, fresco e seco) de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae) em diferentes concentrações (25%, 50% e 100%) nos parâmetros germinativos das sementes de *Lactuca sativa* L. (Asteraceae). A) Germinabilidade (%). B) t50 (dias). Letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento em diferentes concentrações, enquanto letras minúsculas comparam a mesma concentração em diferentes tratamentos88

Figura 4. Efeito dos diferentes modos de extração alelopática foliar (lixiviados, fresco e seco) de *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* (Fabaceae) em diferentes concentrações (25%, 50% e 100%) na germinabilidade (%) das sementes de *Lactuca sativa* L. (Asteraceae). Letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento em diferentes concentrações, enquanto letras minúsculas comparam a mesma concentração em diferentes tratamentos 89

Figura 5. Efeito dos ciclos nas sementes (CC) e ciclos de rega (CR) no extrato alelopático de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae) em diferentes concentrações (25%, 50% e 100%) em parâmetros germinativos da *Lactuca sativa* L. (Asteraceae). RD: rega diária; SC: sem ciclo nas sementes. A) Germinabilidade (%). B) t50 (tempo para germinação de 50% do lote - dias). C) V (Velocidade Média de Germinação - dias⁻¹). D) Z (índice de sincronização). Letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento em diferentes concentrações, enquanto letras minúsculas comparam a mesma concentração em diferentes tratamentos 90

Figura 6. Efeito dos ciclos nas sementes (CC) e ciclos de rega (CR) no extrato alelopático de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae) em diferentes concentrações (25%, 50% e 100%) no desenvolvimento inicial da *Lactuca sativa* L. (Asteraceae). RD: rega diária; SC: sem ciclo nas sementes. A) Comprimento da Parte aérea (PA - %). B) Comprimento da parte subterrânea (PS - %). Letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento em diferentes concentrações, enquanto letras minúsculas comparam a mesma

concentração em diferentes tratamentos91

Figura 7. Efeito dos ciclos nas sementes (CC) e ciclos de rega (CR) no extrato alelopático de *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* (Fabaceae) em diferentes concentrações (25%, 50% e 100%) no desenvolvimento inicial da *Lactuca sativa* L. (Asteraceae). RD: rega diária; SC: sem ciclo nas sementes. A) Germinabilidade (%). B) t₅₀ (tempo para germinação de 50% do lote - dias). C) V (Velocidade Média de Germinação - dias⁻¹). D) Z (índice de sincronização). Letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento em diferentes concentrações, enquanto letras minúsculas comparam a mesma concentração em diferentes tratamentos92

Figura 8. Efeito dos ciclos nas sementes (CC) e ciclos de rega (CR) no extrato alelopático de *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* (Fabaceae) em diferentes concentrações (25%, 50% e 100%) no desenvolvimento inicial da *Lactuca sativa* L. (Asteraceae). RD: rega diária; SC: sem ciclo nas sementes. A) Comprimento da Parte aérea (PA - %). B) Comprimento da parte subterrânea (PS - %). Letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento em diferentes concentrações, enquanto letras minúsculas comparam a mesma concentração em diferentes tratamentos93

Figura 9. Análises de Componente Principal (PCAs) dos parâmetros germinativos e de desenvolvimento inicial de *Lactuca sativa* L. (Asteraceae) sobre o efeito dos A) ciclos nas sementes (CC), B) ciclos de rega (CR) e C) concentrações (Cont – 0%, A- 25%, B- 50% e C- 100%) nos extratos alelopáticos de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae) 94

Figura 10. Análises de Componente Principal (PCAs) dos parâmetros germinativos e de desenvolvimento inicial de *Lactuca sativa* L. (Asteraceae) sobre o efeito dos A) ciclos nas sementes (CC), B) ciclos de rega (CR) e C) concentrações (Cont – 0%, A- 25%, B- 50% e C- 100%) nos extratos alelopáticos de *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* (Fabaceae)95

Figura Suplementar 1. Comparação dos parâmetros germinativos: A) Germinabilidade - G, B) Tempo para germinação de 50% do lote – t₅₀ e C) Índice de sincronização – Z de *Lactuca sativa* L. (Asteraceae) submetida ao controle (água destilada), extrato alelopático

foliar seco de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae) e solução osmótica de polietilenoglicol (PEG 6000), além do controle (água destilada), extrato alelopático foliar lixiviado de *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., var. *juliflora* (Fabaceae) e solução osmótica de PEG 6000 com os mesmos parâmetros: D) Germinabilidade, E) Tempo para germinação de 50% do lote e F) Índice de sincronização. Letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre os tratamentos96

Figura complementar 2. Contribuições de cada parâmetro para a formação dos eixos 1 (A) e 2 (B) na construção da Análise de Componente Principal (PCA) dos parâmetros germinativos e de desenvolvimento inicial de *Lactuca sativa* L. (Asteraceae) sobre o efeito dos ciclos nas sementes, ciclos de rega e concentrações nos extratos alelopáticos de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae).97

Figura Suplementar 3. Contribuições de cada parâmetro para a formação dos eixos 1 (A) e 2 (B) na construção da Análise de Componente Principal (PCA) dos parâmetros germinativos e de desenvolvimento inicial de *Lactuca sativa* L. (Asteraceae) sobre o efeito dos A) ciclos nas sementes (CC), B) ciclos de rega (CR) e C) concentrações (Cont – 0%, A- 25%, B- 50% e C- 100%) nos extratos alelopáticos de *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* (Fabaceae).98

CAPÍTULO 3. A hidratação descontínua e os ciclos de rega afetam o efeito alelopático de plantas exóticas invasoras na germinação e no desenvolvimento inicial de uma espécie nativa da Caatinga?

Figura 1. Aspectos morfológicos das três espécies estudadas. A) Indivíduo adulto de *Cenostigma pyramidale* (Tul.) Gagnon & G.P.Lewis (Fabaceae). B) Flores de *C. pyramidale*. C) Sementes de *C. pyramidale*. D) Indivíduo adulto de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae). E) Inflorescências de *L. leucocephala*. F) Sementes de *L. leucocephala*. G) Indivíduo adulto de *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* (Fabaceae). H) Inflorescências de *N. juliflora*. I) Sementes de *N. juliflora* 148

Figura 2. Efeito dos ciclos nas sementes (CC) e ciclos de rega (CR) no extrato alelopático de *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* (Fabaceae) em diferentes

concentrações (25%, 50% e 100%) em parâmetros germinativos de *Cenostigma pyramidale* (Fabaceae). RD: rega diária; SC: sem ciclo nas sementes. A) Germinabilidade (%). B) t50 (tempo para germinação de 50% do lote - dias). C) V (Velocidade Média de Germinação - dias⁻¹). D) Z (índice de sincronização). Letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento em diferentes concentrações, enquanto letras minúsculas comparam a mesma concentração em diferentes tratamentos 149

Figura 3. Efeito dos ciclos nas sementes (CC) e ciclos de rega (CR) no extrato alelopático de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae) em diferentes concentrações (25%, 50% e 100%) em parâmetros germinativos de *Cenostigma pyramidale* (Fabaceae). RD: rega diária; SC: sem ciclo nas sementes. A) Germinabilidade (%). B) t50 (tempo para germinação de 50% do lote - dias). C) V (Velocidade Média de Germinação - dias⁻¹). D) Z (índice de sincronização). Letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento em diferentes concentrações, enquanto letras minúsculas comparam a mesma concentração em diferentes tratamentos 150

Figura 4. Efeito dos ciclos nas sementes (CC) e ciclos de rega (CR) no extrato alelopático de *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* (Fabaceae) em parâmetros germinativos de *Cenostigma pyramidale* (Fabaceae). RD: rega diária; SC: sem ciclo nas sementes. A) Germinabilidade (%). B) t50 (tempo para germinação de 50% do lote - dias). C) V (Velocidade Média de Germinação - dias⁻¹). D) PA (Comprimento da parte aérea - cm). E) PS (Comprimento da parte subterrânea - cm). F) NF (Número de folhas). G) BC (Biomassa da parte aérea - g). H) BR (Biomassa da raiz - g). I) DC (Diâmetro do caule - mm). As letras minúsculas comparam os diferentes tratamentos avaliados 151

Figura 5. Efeito dos ciclos nas sementes (CC) e ciclos de rega (CR) no extrato alelopático de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae) em parâmetros germinativos de *Cenostigma pyramidale* (Fabaceae). RD: rega diária; SC: sem ciclo nas sementes. A) Germinabilidade (%). B) t50 (tempo para germinação de 50% do lote - dias). C) V (Velocidade Média de Germinação - dias⁻¹). D) PA (Comprimento da parte aérea - cm). E) PS (Comprimento da parte subterrânea - cm). F) NF (Número de folhas). G) BC (Biomassa da parte aérea - g). H) BR (Biomassa da raiz - g). I) DC (Diâmetro do caule - mm). As letras minúsculas comparam os diferentes tratamentos avaliados 152

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1. A hidratação descontínua de sementes aumenta a tolerância ao déficit hídrico e favorece a invasão biológica de *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora*

Tabela 1. Valores estatísticos de F, grau de liberdade (gl) e valor de p da Análise de Variância (ANOVA) ao analisar os fatores ciclos de hidratação e desidratação (HD) e os potenciais osmóticos (0,0 MPa, -0,2 MPa, -0,4 MPa, -0,6 MPa, -0,8 MPa e -1,0 MPa) nos parâmetros germinativos de *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* 55

CAPÍTULO 2. Influência da hidratação descontínua em sementes e dos ciclos de rega em plântulas no potencial alelopático de duas espécies exóticas invasoras na Caatinga

Tabela 1. Efeito dos diferentes modos de extração alelopática foliar (lixiviados, fresco e seco) de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae) em diferentes concentrações (25%, 50% e 100%) nos parâmetros germinativos das sementes de *Lactuca sativa* L. (Asteraceae). Letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento em diferentes concentrações, enquanto letras minúsculas comparam a mesma concentração em diferentes tratamentos 99

Tabela 2. Efeito dos diferentes modos de extração alelopática foliar (lixiviados, fresco e seco) de *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* (Fabaceae) em diferentes concentrações (25%, 50% e 100%) nos parâmetros germinativos das sementes de *Lactuca sativa* L. (Asteraceae). Letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento em diferentes concentrações, enquanto letras minúsculas comparam a mesma concentração em diferentes tratamentos 100

Tabela 3. Efeito dos ciclos nas sementes (CC) e ciclos de rega (CR) no extrato alelopático de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae) em diferentes concentrações (25%, 50% e 100%) em parâmetros germinativos da *Lactuca sativa* L. (Asteraceae). RD: rega diária; SC: sem ciclo nas sementes. Letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento em

diferentes concentrações, enquanto letras minúsculas comparam a mesma concentração em diferentes tratamentos 101

Tabela 4. Efeito dos ciclos nas sementes (CC) e ciclos de rega (CR) no extrato alelopático de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae) em diferentes concentrações (25%, 50% e 100%) na inibição do crescimento (%) da parte aérea (IPA) e da parte subterrânea (IPS) das plântulas de *Lactuca sativa* L. (Asteraceae). RD: rega diária; SC: sem ciclo nas sementes. Letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento em diferentes concentrações, enquanto letras minúsculas comparam a mesma concentração em diferentes tratamentos 102

Tabela 5. Efeito dos ciclos nas sementes (CC) e ciclos de rega (CR) no extrato de *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* (Fabaceae) em diferentes concentrações (25%, 50% e 100%) em parâmetros germinativos da *Lactuca sativa* L. (Asteraceae). RD: rega diária; SC: sem ciclo nas sementes. Letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento em diferentes concentrações, enquanto letras minúsculas comparam a mesma concentração em diferentes tratamentos 103

Tabela 6. Efeito dos ciclos nas sementes (CC) e ciclos de rega (CR) no extrato alelopático de *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* (Fabaceae) em diferentes concentrações (25%, 50% e 100%) na inibição do crescimento (%) da parte aérea (IPA) e da parte subterrânea (IPS) das plântulas de *Lactuca sativa* L. (Asteraceae). RD: rega diária; SC: sem ciclo nas sementes. Letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento em diferentes concentrações, enquanto letras minúsculas comparam a mesma concentração em diferentes tratamentos 104

Tabela 7. Valores dos resultados obtidos na Análise Multivariada Permutacional de Variância (PERMANOVA) ao comparar os agrupamentos obtidos nas PCAS dos parâmetros germinativos e de desenvolvimento inicial de *Lactuca sativa* L. (Asteraceae) com os tratamentos: ciclo nas sementes (CC), ciclo nas mudas (CR) e concentração (Cont – 0%, A- 25%, B- 50% e C-100%) nos extratos alelopáticos de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae) e *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* (Fabaceae) 105

Tabela Suplementar 1. Valores dos resultados obtidos na Análise Multivariada Permutacional de Variância (PERMANOVA) como teste a posteriori para comparar as diferenças entre os níveis dentro do tratamento de concentração (Cont – 0%, A- 25%, B- 50% e C- 100%) nos extratos alelopáticos de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae) e *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* (Fabaceae) 106

Tabela Suplementar 2. Valores estatísticos apresentados pelos modelos lineares generalizados (GLMs) ao analisar o efeito dos diferentes modos de extração alelopática foliar (lixiviados, fresco e seco) de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae) em diferentes concentrações (A- 25%, B- 50% e C- 100%) nos parâmetros germinativos das sementes de *Lactuca sativa* L. (Asteraceae)..... 107

Tabela Suplementar 3. Valores estatísticos apresentados pelos modelos lineares generalizados (GLMs) ao comparar parâmetros germinativos de *Lactuca sativa* L. (Asteraceae) influenciados pelo controle (água destilada), extrato alelopático foliar seco de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae) e solução osmótica com polietilenoglicol (PEG) 6000. 110

Tabela suplementar 4. Valores estatísticos apresentados pelos modelos lineares generalizados (GLMs) ao analisar o efeito dos diferentes modos de extração alelopática foliar (lixiviados, fresco e seco) de *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* (Fabaceae) em diferentes concentrações (A- 25%, B- 50% e C- 100%) nos parâmetros germinativos das sementes de *Lactuca sativa* L. (Asteraceae) 111

Tabela suplementar 5. Valores estatísticos apresentados pelos modelos lineares generalizados (GLMs) ao comparar parâmetros germinativos de *Lactuca sativa* L. (Asteraceae) influenciados pelo controle (água destilada), extrato alelopático foliar seco de *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* (Fabaceae) e solução osmótica com polietilenoglicol (PEG) 6000 114

Tabela suplementar 6. Valores estatísticos apresentados pelos modelos lineares generalizados (GLMs) ao analisar o efeito dos ciclos nas sementes (CC) e ciclos de rega (CR) no extrato alelopático de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae) em diferentes concentrações (A- 25%, B- 50% e C- 100%) em parâmetros germinativos da

Lactuca sativa L. (Asteraceae). RD: rega diária; SC: sem ciclo nas sementes 115

Tabela suplementar 7. Valores estatísticos apresentados pelos modelos lineares generalizados (GLMs) ao analisar o efeito dos ciclos nas sementes (CC) e ciclos de rega (CR) no extrato alelopático de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae) em diferentes concentrações (A- 25%, B- 50% e C- 100%) no comprimento da parte aérea (PA), comprimento da parte subterrânea (PS), na inibição do crescimento da parte aérea (IPA) e subterrânea (IPS) da *Lactuca sativa* L. (Asteraceae). RD: rega diária; SC: sem ciclo nas sementes 118

Tabela suplementar 8. Valores estatísticos apresentados pelos modelos lineares generalizados (GLMs) ao analisar o efeito dos ciclos nas sementes (CC) e ciclos de rega (CR) no extrato alelopático de *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* (Fabaceae) em diferentes concentrações (A- 25%, B- 50% e C- 100%) em parâmetros germinativos da *Lactuca sativa* L. (Asteraceae). RD: rega diária; SC: sem ciclo nas sementes 120

Tabela suplementar 9. Valores estatísticos apresentados pelos modelos lineares generalizados (GLMs) ao analisar o efeito dos ciclos nas sementes (CC) e ciclos de rega (CR) no extrato alelopático de *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* (Fabaceae) em diferentes concentrações (A- 25%, B- 50% e C- 100%) no comprimento da parte aérea (PA), comprimento da parte subterrânea (PS), na inibição do crescimento da parte aérea (IPA) e subterrânea (IPS) da *Lactuca sativa* L. (Asteraceae). RD: rega diária; SC: sem ciclo nas sementes 123

CAPÍTULO 3. A hidratação descontínua e os ciclos de rega afetam o efeito alelopático de plantas exóticas invasoras na germinação e no desenvolvimento inicial de uma espécie nativa da Caatinga?

Tabela 1. Efeito dos ciclos nas sementes (CC) e ciclos de rega (CR) no extrato alelopático de *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* (Fabaceae) e *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae) em diferentes concentrações (25%, 50% e 50%) em parâmetros germinativos de *Cenostigma pyramidale* (Tul.) Gagnon & G.P.Lewis (Fabaceae). RD: rega diária; SC: sem ciclo nas sementes. Letras maiúsculas comparam o

mesmo tratamento em diferentes concentrações, enquanto letras minúsculas comparam a mesma concentração em diferentes tratamentos 153

Tabela Suplementar 1. Valores estatísticos apresentados pelos modelos lineares generalizados (GLMs) ao analisar o efeito alelopático em bioensaios de germinação no laboratório em diferentes concentrações no comportamento germinativo de *Cenostigma pyramidale* (Tul.) Gagnon & G.P.Lewis promovido pela *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* ao passar por ciclos nas sementes e ciclos de rega 154

Tabela Suplementar 2. Valores estatísticos apresentados pelos modelos lineares generalizados (GLMs) ao analisar o efeito alelopático em bioensaios de germinação no laboratório em diferentes concentrações no comportamento germinativo de *Cenostigma pyramidale* (Tul.) Gagnon & G.P.Lewis promovido pela *Leucena leucocephala* (Lam.) de Wit ao passar por ciclos nas sementes e ciclos de rega 158

Tabela Suplementar 3. Valores estatísticos apresentados pelos modelos lineares generalizados (GLMs) ao analisar o efeito alelopático em experimento na casa de vegetação nos parâmetros relacionados à emergência das plântulas e ao desenvolvimento inicial de *Cenostigma pyramidale* (Tul.) Gagnon & G.P.Lewis promovido pela *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* ao passar por ciclos nas sementes e ciclos de rega..... 162

Tabela Suplementar 4. Valores estatísticos apresentados pelos modelos lineares generalizados (GLMs) ao analisar o efeito alelopático em experimento na casa de vegetação nos parâmetros relacionados à emergência das plântulas e ao desenvolvimento inicial de *Cenostigma pyramidale* (Tul.) Gagnon & G.P.Lewis promovido pela *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit ao passar por ciclos nas sementes e ciclos de rega 165

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO GERAL	22
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	25
A hidratação descontínua de sementes estimula a memória de hidratação e aumenta a tolerância ao déficit hídrico de <i>Neltuma juliflora</i> (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. <i>juliflora</i>.....	37
Efeitos da hidratação descontínua e ciclos de rega na alelopatia de espécies exóticas invasoras da caatinga.....	57
A hidratação descontínua e os ciclos de rega afetam o efeito alelopático de plantas exóticas invasoras na germinação e no desenvolvimento inicial de uma espécie nativa da Caatinga?	126
CONCLUSÃO GERAL.....	168
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	169

APRESENTAÇÃO GERAL

A Caatinga é um ecossistema que apresenta características como as altas temperaturas e a irregularidade das chuvas, localizado majoritariamente na região Nordeste do Brasil (Dombroski et al. 2011; Lima e Meiado 2017; Fernandes e Queiroz, 2018). Devido a esse contexto, as espécies que ocorrem nesses ambientes devem lidar com condições hídricas instáveis, o que influencia diretamente o ciclo de vida vegetal, especialmente a germinação e o desenvolvimento inicial dessas espécies (Meiado et al. 2010; Dantas et al. 2020; Ferreira et al. 2023).

Além das condições hídricas irregulares, a Caatinga pode sofrer com problemas ambientais intensificados pela antropização, como, por exemplo, a introdução de espécies exóticas (Ribeiro et al. 2015; Pinto et al. 2020). Estas podem se tornar invasoras e causar a invasão biológica, processo que atualmente é uma das maiores causas de perda de biodiversidade no planeta (Ziller 2000; 2001; Jaureguiberry et al. 2022; Csákvári et al. 2023). Logo, a invasão dessas plantas em ambientes semiáridos torna os ecossistemas ainda mais vulneráveis (Ribeiro et al. 2015; Pinto et al. 2020). Nesse cenário, a invasão biológica na Caatinga pode alterar drasticamente o equilíbrio ecológico por meio de mudanças na comunidade vegetal e nas funções do ecossistema (Cavalcante e Major 2006; Ehrenfeld 2010; Simberloff et al. 2013)

Nesses ecossistemas, as espécies exóticas invasoras tolerantes ao déficit hídrico podem ter maior sucesso na invasão biológica (Oliveira et al. 2014; Nascimento et al. 2020). Situações de baixa disponibilidade hídrica podem afetar o ciclo de vida das plantas ao modificar a germinação, como, por exemplo, reduzir a quantidade de sementes germinadas, diminuir a velocidade ou a sincronia da germinação (Meiado et al. 2010; Dantas et al. 2020).

Sementes e plântulas de espécies nativas e exóticas estão sujeitas a ciclos naturais de hidratação e desidratação (HD) e ciclos de rega descontínua na Caatinga, devido às características como evaporação rápida e chuvas irregulares (Meiado 2013; Oliveira et al. 2021; delaFuente et al. 2023; deCastro et al. 2024; Pereira-da-Silva et al. 2024; Lima et al. 2025). Esses processos estão diretamente relacionados aos regimes hídricos no solo, nos quais as chuvas são curtas e a água é perdida rapidamente (Meiado et al. 2012; Menezes et al. 2012). Desta forma, a passagem por ciclos de HD e de rega pode estimular o aumento da tolerância a estresses ambientais por meio de alterações bioquímicas e metabólicas (Nascimento et al. 2021; Sadhuklan et al. 2022; Lima et al. 2025). Assim, um aumento da tolerância promovido por processos ocorridos no ambiente pode indicar maior sucesso na invasão biológica.

Além disso, a alelopatia é outro processo que pode ser crucial para o sucesso invasivo, o qual também é influenciado diretamente pelas condições ambientais (Gobbo-Neto e Lopes 2007; Gatti et al. 2014). A alelopatia é definida como a capacidade de uma planta produzir e disponibilizar compostos químicos (aleloquímicos) no ambiente, os quais podem inibir o desenvolvimento de espécies-alvo no entorno da espécie doadora (Khaliq et al. 2011; Aslam et al. 2017; Hashoum et al. 2021; Hierro e Callaway 2021; Alvim et al. 2023). Desse modo, a liberação desses compostos pode diminuir o estabelecimento de espécies nativas, provocando alterações na estrutura e no funcionamento do ecossistema.

Duas das principais espécies exóticas invasoras do mundo invadem a Caatinga: a *Prosopis juliflora* (Sw). DC. (Fabaceae) e a *Leucaena leucocephala* (Fabaceae), sendo ambas identificadas como alelopáticas (Pegado et al. 2006; Alves et al. 2014; Damasceno et al. 2017; Kato-noguchi e Kurniadie 2022). Embora já se saiba sobre os benefícios de tolerância a estresses abióticos associados aos ciclos de HD na *L. leucocephala*, persiste

uma lacuna de conhecimento: como a interação entre a hidratação descontínua de sementes e os ciclos de rega em mudas pode modular o potencial alelopático dessas espécies, visto que a alelopatia é influenciada diretamente pelo local e pelas características das espécies.

Diante disso, a presente tese foi organizada em três capítulos para entender como as situações descritas anteriormente podem ser relevantes para compreender o sucesso da invasão biológica de duas das espécies exóticas mais agressivas do mundo. No primeiro capítulo foi verificado como a hidratação descontínua de sementes de *N. juliflora* influenciam na germinação da espécie em situações de déficit hídrico; no segundo capítulo foi avaliada a influência da hidratação descontínua e dos ciclos de rega em plântulas no potencial alelopático das duas espécies exóticas; e, por fim, o terceiro capítulo analisou como a passagem pela hidratação descontínua e ciclos de rega impacta o efeito alelopático das invasoras na germinação e no desenvolvimento inicial de uma espécie nativa da Caatinga, a *Cenostigma pyramidale* (Tul.) E. Gagnon & G.P. Lewis (Fabaceae), em testes feitos em laboratório e em casa de vegetação.

A partir da execução desses capítulos, a tese apresentou resultados que ampliam o conhecimento sobre a relação entre condições ambientais típicas da Caatinga e a invasividade (características que favorecem a invasão) de espécies exóticas, como a tolerância ao déficit hídrico e o potencial alelopático, sendo essas características fundamentais para o estabelecimento e a expansão dessas plantas no ambiente semiárido.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1. Invasão biológica

A invasão biológica ocorre com a introdução de espécies que o ser humano transporta de seu local de origem para locais onde não ocorrem naturalmente, sendo, assim, espécies exóticas (Richardson et al. 2000; Sagoff 2018). Geralmente, essa introdução no novo ambiente pode ocorrer intencionalmente, como, por exemplo, na alimentação animal e na recuperação de áreas degradadas, ou acidentalmente (Chengxu et al. 2011). Esse processo se consolida quando a espécie exótica supera os filtros ambientais, consegue reproduzir-se de forma autônoma, aumentar sua abundância e manter-se nos locais introduzidos (Richardson et al. 2000; Valery et al. 2008; Vries 2025).

Nesses locais, as espécies nativas que não tinham contato com as exóticas podem ser impactadas por elas, de modo a afetar comunidades e ecossistemas (Vilá et al. 2011; Sagoff 2018). Além disso, o ser humano pode tornar ambientes mais propensos à invasão através de processos de urbanização como construção de estradas, alterações do solo etc. (Mack et al. 2000; Cavalcante e Major 2006; Alves e Fabricante 2019). Desta forma, a invasão é classificada como uma das maiores ameaças à biodiversidade mundial (Richardson et al. 2000; Ziller 2000; Sagoff 2018; Jaureguiberry et al. 2022; Csákvári et al. 2023).

A entrada de exóticas invasoras e o consequente sucesso da invasão biológica podem ser atribuídos à invasibilidade, ou seja, às condições ambientais que favorecem o estabelecimento dessas espécies, como a antropização da área, ausência de competidores e predadores naturais e disponibilidade de nichos (Keane e Crawley 2002; Richardson e Pyšek 2006; Guo et al. 2022; Vries 2025). Além dos fatores intrínsecos à espécie, que também explicam esse sucesso, como a alta produção de sementes, alta velocidade de

germinação e de desenvolvimento inicial, dispersão facilitada e presença de potencial alelopático, sendo, assim, bons competidores (Cavalcante e Major 2006; Chengxu et al. 2011; Fabricante 2013; Gioria et al. 2023; deCastro et al. 2024).

Sabe-se que a presença de uma espécie já apresenta efeitos e alterações em um ambiente, desde alterações microecológicas até macroecológicas (Fabricante e Siqueira-Filho 2012). Desta forma, as espécies exóticas invasoras são entendidas como problema, não apenas por serem de outros locais, mas pelos efeitos negativos que promovem no ambiente, os quais são totalmente diferentes dos promovidos pelas espécies nativas (Simberloff, 2013; Sagoff, 2018).

Dentre os efeitos que as espécies exóticas podem apresentar em um meio, tem-se: a diminuição da riqueza, equitabilidade e diversidade; alterações no fluxo de energia, de água e nutrientes; alterações na quantidade de luz e temperatura; diminuição dos serviços ecossistêmicos, como polinização, controle biológico e extinção de espécies; além de aumento da competição (Cavalcante e Major 2006; Ehrenfeld 2010; Simberloff et al. 2013).

Em estudos com a espécie exótica invasora da Caatinga *Neltuma juliflora* var. *juliflora* (Fabaceae) [anteriormente nomeada como *Prosopis juliflora* (Sw.) DC.], Fabricante et al. (2010) observaram que ela altera o ambiente em que invade, reduzindo em 80% a abundância das espécies do local invadido. Andrade et al. (2010) observaram que os atributos estruturais de uma comunidade invadida por *N. juliflora*, comparada com uma não invadida, tiveram poucas diferenças, o que indica que a espécie invasora estaria substituindo as nativas em todos os seus atributos durante o processo de invasão.

Diante disso, é evidente que os impactos ecológicos trazidos pelas espécies invasoras promovem custos econômicos, visto que impactam áreas de floresta, o que levaria a grandes custos na tentativa de gerir e erradicar essas invasões (Schühli et al. 2016;

Guimarães et al. 2017; Adelino et al. 2021). Além disso, os maiores impactos negativos das invasões biológicas são atribuídos à menor quantidade de espécies nativas no ambiente (Valery et al. 2008). Com isso, a melhor estratégia para minimizar o problema e reduzir os custos seria evitar que a invasão ocorresse, por meio da preservação e restauração das áreas mais vulneráveis (Andrade et al. 2010).

2. Alelopatia

Muitas espécies invasoras apresentam alelopatia e essa característica auxilia na introdução e invasão dessas espécies (Chen et al. 2017). A ‘hipótese da nova arma’ afirma que a alelopatia seria um dos fatores que levam as espécies invasoras a obter sucesso na invasão, visto que os compostos químicos liberados pelas espécies exóticas seriam desconhecidos ao longo do contexto de vida da espécie nativa, o que dificultaria o estabelecimento das espécies locais (Callaway e Ridenour 2004; Oduor et al. 2020; Kumar e Garkoti 2022; Yu et al. 2023).

O termo alelopatia foi proposto como mecanismo de invasão biológica por Molisch no ano de 1937. Porém, desde então o termo já ganhou várias reformulações. Entende-se atualmente a alelopatia como uma interação ecológica entre plantas não baseada em recursos, que pode ser estimulante ou inibitória, sendo mediada por compostos químicos especializados liberados no solo, onde a planta-doadora produz os aleloquímicos e a planta-alvo é afetada por eles (Dayan et al. 2000; Khaliq et al. 2011; Aslam et al. 2017; Chen et al. 2017; Patnaik et al. 2017; Hashoum et al. 2021; Hierro e Callaway 2021; Kalisz et al. 2021; Alvim et al. 2023). A liberação desses compostos pode ser via partes mortas em decomposição contidas no solo ou de partes ainda vivas da planta (Dayan et al. 2000; Khaliq et al. 2011; Aslam et al. 2017).

As plantas invasoras que secretam essas substâncias aleloquímicas podem interferir negativamente no desenvolvimento das espécies nativas e, assim, crescer mais rápido,

adquirindo uma vantagem competitiva maior (Duke 2010; Aslam 2017; Lee et al. 2021; Li et al. 2021; Kumar e Garkoti 2022). Essa vantagem é evidenciada ao observar que a germinação e o desenvolvimento inicial são os momentos de vida mais afetados pelos aleloquímicos, como, por exemplo, na redução do tempo de germinação e no comprimento da estrutura aérea das plântulas (Weir et al. 2004; Fay e Schultz 2009; Ishak e Sahid 2014; Guimarães et al. 2023).

Tais compostos podem ser produzidos em todos os órgãos vegetais e são oriundos do metabolismo secundário (Chengxu et al. 2011). Eles podem ser liberados para o ambiente através da lixiviação e volatilização das folhas, exsudação radicular ou pela decomposição das partes do vegetal (Roberts e Anderson 2001; Inderjit et al. 2011; Aslam 2017). Além disso, eles podem ser classificados em diferentes classes químicas, sendo os principais: carboidratos, proteínas, vitaminas, compostos fenólicos, ácidos orgânicos, álcoois, flavonoides, taninos, terpenoides, dentre outros (Chengxu et al. 2011; Kong et al. 2019).

Esses aleloquímicos podem ser citotóxicos e afetar diferentes processos bioquímicos e fisiológicos das espécies, como, por exemplo, a absorção de íons, alteração do potencial hídrico das folhas, alteração na fotossíntese e na abertura estomática, além de alterar a divisão e respiração celular, síntese proteica e atividade enzimática, consequentemente, todas essas modificações podem reduzir o crescimento da planta, como na diminuição da protrusão e crescimento radicular, por exemplo (Akemo et al. 2000; Weir et al. 2004; Scherer et al. 2005; Gniazdowska e Bogatek 2005; Bertin et al. 2007; Sheteawi e Tawfik 2007; Sánchez-Moreiras et al. 2008; Li et al. 2010; Alvim et al. 2023; Li et al. 2025).

Para observar os impactos da alelopatia, geralmente são realizados bioensaios de germinação com espécies-alvo, sendo que a *Lactuca sativa* L. é uma das mais utilizadas nesse tipo de experimento por conta da sua sensibilidade a tais compostos (Ferreira e

Aquila 2000; Ullah et al. 2021; Sahrir et al. 2023). Com isso, é possível observar o impacto de diferentes formas de extração, como, por exemplo, através de extratos aquosos de órgãos secos ou frescos, ou a influência da concentração dos aleloquímicos (Pires et al. 2001; Ahmed et al. 2008; Hussain et al. 2021; Alvim et al. 2023; Sahrir et al. 2023; Khatri et al. 2025). A partir das respostas na germinação e no desenvolvimento das plântulas da espécie-alvo, compreendem-se diferentes contextos da alelopatia, além de se entender como a espécie age e impacta outras em uma região (Alvim et al. 2023).

Diante disso, o potencial alelopático seria vantajoso para uma espécie exótica, pois assim, ela conseguiria se estabelecer de modo eficaz no meio, principalmente em habitats com intensa competição interespecífica, graças aos aleloquímicos ainda desconhecidos pelas espécies nativas daquele meio invadido (Callaway e Ridenour, 2004; Uesugi et al. 2019). Assim, a liberação desses compostos seria benéfica em condições de limitação de recursos, pois a espécie circunvizinha teria seu crescimento diminuído e a espécie exótica conseguiria aproveitar melhor os recursos (Song et al. 2008; Uesugi et al. 2019). Com isso, a alelopatia diminuiria o estabelecimento das espécies nativas e alteraria a estrutura do ecossistema.

Fatores ambientais como disponibilidade hídrica, luz e temperatura podem afetar a alelopatia das espécies exóticas, de modo a aumentar ou diminuir o efeito alelopático e a produção dos compostos aleloquímicos, devido às alterações no metabolismo secundário (Gobbo-Neto e Lopes 2007; Gatti et al. 2014). De modo geral, estresses bióticos e abióticos, principalmente estresses hídricos e salinos, podem melhorar o potencial alelopático das espécies alterando a quantidade e o tipo de compostos liberados (Gross 2003; Pedrol et al. 2006; Gatti et al. 2014; Wang et al. 2016; Wu et al. 2021; Shan et al. 2023; Zhong et al. 2023; Yu et al. 2023). Situações de déficit hídrico, por exemplo, estimulam a produção de compostos como fenóis, alcaloides e terpenos, que, quando

liberados, são aleloquímicos (Ahuja et al. 2012; Gatti et al. 2014; Medina Vilar et al. 2020; Wu et al. 2021). Logo, os contextos ecofisiológicos podem influenciar diretamente o efeito dos aleloquímicos e sua compreensão aumenta o entendimento do sucesso invasivo das espécies invasoras (Gobbo-Neto e Lopes 2007; Gatti et al. 2014).

Em ambientes semiáridos, por exemplo, os aleloquímicos das plantas permaneceriam no solo por mais tempo, o que levaria a um aumento do tempo de contato com as espécies-alvo, além da intensificação do efeito. Dessa forma, a alelopatia nesses ambientes seria um mecanismo muito utilizado pelas plantas invasoras, pois aumentaria suas chances de sucesso na invasão e poderia ser utilizada como defesa contra eventuais competidores (Einhellig 1999; Gatti et al. 2014).

3. Caatinga

No Brasil, ambientes semiáridos podem ser encontrados, como, por exemplo, a Caatinga. Esse ecossistema possui altas temperaturas e irregularidade na distribuição das chuvas, o que garante seu clima semiárido (Dombroski et al. 2011; Lima e Meiado 2017; Fernandes e Queiroz 2018). Sua localização é na porção leste do país, abrangendo os nove estados do Nordeste e parte do estado de Minas Gerais, com uma extensão de cerca de 800.000 km² e a ocorrência de milhares de plantas nativas (Cavalcante e Major 2006; Fabricante 2013; MMA 2025).

Apesar de ter características únicas e uma flora bastante especializada, a Caatinga é um ecossistema que tem sofrido enorme degradação por ação humana, de modo que mais da metade de sua área está antropizada, principalmente pelo uso agrícola e pecuário (Cavalcante e Major 2006; Andrade et al. 2009; Almeida et al. 2015). Unida a esse uso da terra, ocorre a introdução de espécies exóticas, geralmente, de modo intencional com o intuito de otimizar as atividades econômicas, o que leva a um domínio do ambiente pelas espécies exóticas invasoras (Cavalcante e Major 2006; Fabricante 2013;

Nascimento et al. 2014; Ribeiro et al. 2015; Pinto et al. 2020).

De acordo com Almeida et al. (2015), a maioria das espécies exóticas da Caatinga pertence às famílias Poaceae e Fabaceae, sendo que 57% delas vieram de regiões tropicais do planeta. Dentre a família Fabaceae, *N. juliflora* e *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae) são duas exóticas invasoras da Caatinga do estado de Sergipe (Fabricante et al., 2021). Ambas foram introduzidas, principalmente, com o intuito de servir como forrageamento e reflorestamento de áreas degradadas, porém, essa introdução trouxe duas espécies que estão entre as principais invasoras globais, segundo a União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN). Ambas são extremamente agressivas à Caatinga devido ao seu potencial alelopático e ao fato de serem excelentes competidoras (Lowe et al. 2000; Rodrigues et al. 2004; Evangelista et al. 2005; Cavalcante e Major 2006; Nascimento et al. 2014; Alves e Fabricante 2019).

Além disso, espécies exóticas que apresentem uma maior tolerância ao déficit hídrico, como é o caso da *N. juliflora* e *L. leucocephala*, podem ter um maior sucesso invasivo, visto que a baixa disponibilidade hídrica afeta o ciclo de vida vegetal ao alterar, por exemplo, a germinação da espécie (Oliveira et al. 2014; Meiado et al. 2010; Dantas et al. 2020; Nascimento et al. 2020). Desta forma, a invasão biológica no contexto da Caatinga pode tornar o ecossistema ainda mais vulnerável, devido à alteração da comunidade vegetal e das funções ecossistêmicas (Cavalcante e Major 2006; Ehrenfeld 2010; Simberloff et al. 2013; Ribeiro et al. 2015; Pinto et al. 2020).

4. Ciclos de hidratação e desidratação nas sementes e de rega nas mudas

As espécies que ocorrem em ambientes como o da Caatinga geralmente passam por situações hídricas descontínuas devido às características do ecossistema. Neste, a precipitação ocorre de forma irregular e esparsa e, devido às altas temperaturas, a água

nas camadas superficiais do solo evapora rapidamente (Meiado et al. 2012; Silva et al. 2017; Shivanna 2018; deCastro et al. 2024). Por conta disso, os indivíduos que ocorrem nesses locais lidam com uma condição ambiental que afeta diretamente seu ciclo de vida, principalmente nos estágios críticos de seu estabelecimento, a germinação e o desenvolvimento inicial (Meiado et al. 2010; Dantas et al. 2020; Ferreira et al. 2023).

Nessas condições, as sementes e plântulas passam por um processo de hidratação descontinuada, com sucessivos ciclos de hidratação e desidratação (HD) das sementes e ciclos de rega nas plantas jovens (Dubrovsky 1996; 1998; Meiado 2013; Lima e Meiado 2018; Oliveira et al. 2021; delaFuente et al. 2023; deCastro et al. 2024). Dessa forma, durante a germinação, algumas espécies continuam o processo sem graves danos, pois as sementes iniciam a embebição quando há água disponível e interrompem, momentaneamente, perdendo-a por conta da evaporação (Dubrovsky 1998; Meiado et al. 2012; Meiado 2013; Lima e Meiado 2018).

Logo, a passagem por essas condições poderia ser referida como um “*priming natural*”, visto que ao submeter-se a esses ciclos haveria consequências metabólicas e fisiológicas nas espécies, como, por exemplo, aumento da atividade de enzimas antioxidantes, aumento de proteínas e açúcares solúveis, além da síntese de proteínas de abundância embriogênica tardia (LEA), as quais aumentam a tolerância de plântulas a situações de dessecação e estresse futuro. Sendo assim, tais ciclos podem promover uma maior tolerância ao ambiente (Gonzalez-Zertuche et al. 2001; Yan 2017; Oliveira 2022).

As espécies que vivem nesses ecossistemas e passam naturalmente por ciclos de HD adaptaram-se a essas condições e desenvolveram respostas a elas; uma dessas é a memória de hidratação das sementes (Dubrovsky 1996; 1998; Salinas-Zavala et al. 2002; Meiado 2013; López-Urrutia et al. 2014). Esta é a capacidade que as sementes possuem de interromper seu processo de embebição, durante a germinação, e continuá-lo após uma

nova hidratação, mesmo passando por uma desidratação, porém essa continuidade seguiria a partir das mobilizações bioquímicas e fisiológicas prévias que a espécie realizou no momento da hidratação anterior (Dubrovsky 1996; 1998; López-Urrutia et al. 2014; Contreras-Quiroz et al. 2016; Lima et al. 2018).

Desse modo, entende-se que a hidratação descontínua é o processo pelo qual as sementes passam no ambiente e a memória de hidratação é uma resposta que algumas espécies apresentam em sua germinação e estabelecimento ao passar por esse tipo de hidratação (Dubrovsky 1996;1998). A passagem pelos ciclos e a resposta da memória promoveriam alterações metabólicas no embrião, as quais se mantêm, logo beneficiam tanto a germinação quanto o desenvolvimento inicial de espécies (Dubrovsky, 1996; Sanchez-soto *et al.*, 2005). Assim, a memória nas sementes seria uma vantagem nesses ambientes (Salinas-Zavala et al., 2002; López-Urrutia et al., 2014).

No que diz respeito à germinação, os benefícios da passagem pelos ciclos são aumento da germinabilidade, redução no tempo médio, aumento na velocidade e uniformidade da germinação. Além do aumento na tolerância aos estresses abióticos e diminuição da deterioração das sementes de algumas espécies (Dubrovsky 1996; 1998; Sánchez-Soto et al. 2005; Kaya et al. 2006; Rito et al. 2009; Ghassemi-Golezani e Hosseinzadeh-Mahootchi 2013; López et al. 2014; Gebreegziabher e Qufa 2017; Lima e Meiado 2017; Lima et al. 2018; Silva et al. 2019). Enquanto no desenvolvimento inicial tem-se o aumento na biomassa das mudas, no diâmetro do caule e no número de folhas, crescimento da parte aérea e radicular, formação de plântulas mais vigorosas e, por fim, um aumento na tolerância aos estresses (Hora e Meiado 2016; Hora et al. 2018; Lima e Meiado 2018; Jisha e Puthur 2018).

Esses benefícios também podem ser um mecanismo aproveitado pelas espécies exóticas invasoras existentes na Caatinga para aumentar sua invasividade (Hui et al. 2023;

deCastro et al. 2024), ao adquirirem um aumento na tolerância aos estresses abióticos, por exemplo (Dubrovsky 1996, 1998; Alvarado-López et al. 2014; Hora et al. 2018; Lima e Meiado 2017, 2018a, b; DaHora e Meiado 2024). DeCastro et al. (2024) observaram que a espécie exótica invasora *L. leucocephala* apresentou efeitos positivos após a passagem pela hidratação descontínua, o que pode aumentar sua capacidade invasiva.

Além dos ciclos nas sementes, os ciclos de rega nas plântulas também trazem benefícios, como foi evidenciado no trabalho de Oliveira (2022) ao observar que a *Cenostigma pyramidale* (Tul.) Gagnon & G.P.Lewis (Fabaceae) aumentou sua tolerância ao déficit hídrico mesmo com reduções em seu crescimento. Logo, em situações futuras de estresse hídrico, por exemplo, que a planta sofresse, poderiam ser atenuadas pela mobilização prévia realizada enquanto semente e plântula, graças aos sistemas bioquímicos e fisiológicos estimulados (Chen e Arora 2012; Ventura et al. 2012; Oliveira 2022).

Desse modo, além dos efeitos individuais dos ciclos de HD e de rega na tolerância a estresses e situações adversas, também influencia a população, no que diz respeito aos ganhos reprodutivos, e na comunidade, ao se levar em conta as relações intra e interespecíficas, tais como a competição e alelopatia (Nascimento e Meiado 2021; Nascimento et al. 2021). Além disso, esses eventos prévios podem provocar alterações metabólicas diretas na síntese de compostos químicos de tolerância e na produção dos aleloquímicos (Yan 2017; Hashoum et al. 2021; Wu et al. 2021; Zhong et al. 2023).

Portanto, a passagem das plantas por momentos de estresse hídrico poderia promover mudanças no metabolismo secundário, o que alteraria a produção dos compostos alelopáticos (Hashoum et al. 2021; Wu et al. 2021; Zhong et al. 2023). Com isso, nota-se uma lacuna sobre qual é o impacto que os ciclos de HD e de rega em espécies invasoras proporcionariam no potencial alelopático, visto que essa alteração hídrica está

diretamente relacionada com modificações bioquímicas nas sementes e mudas (Yan 2017; Zhong et al. 2023).

Por fim, entende-se que a invasão biológica na Caatinga é uma grande problemática (Miranda et al. 2014). E, com isso, faz-se necessário aumentar o conhecimento sobre os mecanismos de invasão que essas espécies exóticas apresentam nesse ecossistema, como, por exemplo, no que diz respeito ao efeito dos ciclos de HD nas características intrínsecas, como a germinação, além das relações ecológicas que elas desempenham no meio, tais como alelopatia.

Capítulo 1.

A hidratação descontínua de sementes estimula a memória de hidratação e aumenta a tolerância ao déficit hídrico de *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva

Tellur. var. *juliflora*

Artigo a ser submetido à revista Plant Ecology

**A hidratação descontínua de sementes estimula a memória de hidratação e
aumenta a tolerância ao déficit hídrico de *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva
Tellur. var. *juliflora***

Igor Silva da Hora ^{1,2,*} e Marcos Vinicius Meiado ^{1,2}

¹Laboratório de Fisiologia de Sementes, Departamento de Biociências, Universidade Federal de Sergipe. Av. Vereador Olímpio Grande, Campus Professor Alberto Carvalho, Itabaiana, SE, Brasil.

²Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, Universidade Federal de Sergipe. Av. Marechal Rondon, Rosa Elze, São Cristóvão, SE, Brasil.

*E-mail para correspondência: shigorbio@gmail.com

RESUMO

Espécies exóticas e nativas da Caatinga passam por ciclos de hidratação e desidratação (HD), o que pode promover benefícios no comportamento germinativo, aumento na tolerância a estresses etc. Objetivou-se avaliar se a passagem de sementes de *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* pela hidratação descontínua aumenta a tolerância das sementes em situações de déficit hídrico. As sementes foram submetidas a ciclos de Hidratação e Desidratação (HD) (0 – controle, 1 ciclo, 2 ciclos e 3 ciclos), sendo H: cinco horas e D: dez horas, obtidos através da curva de embebição e desidratação. As sementes foram colocadas em placas de Petri nos seguintes tratamentos osmóticos: 0,0 MPa - controle, -0,2 MPa, -0,4 MPa, -0,6 MPa, -0,8 MPa e -1,0 MPa. A germinação foi avaliada através da protrusão radicular durante 14 dias e foram avaliados a G (germinabilidade - %), t_{50} (tempo para germinação de 50% do lote - dias), V (Taxa Média de Germinação - dias^{-1}), CVt (Coeficiente de Variação do Tempo de Germinação - %), U (incerteza da germinação - bits) e Z (índice de sincronização). Os parâmetros germinativos foram influenciados pelo estresse hídrico como a G no tratamento 0C que reduziu pela metade ao comparar o 0,0 MPa com -1,0 MPa, sendo 80% e 40% respectivamente. A passagem por ciclos de HD favoreceu a tolerância da espécie ao promover melhorias na germinação, como a redução do t_{50} e U e o aumento na G, V, CVt e Z. A hidratação descontínua estimulou a memória de hidratação das sementes da espécie estudada ao aumentar sua tolerância ao estresse hídrico de *N. juliflora*, sendo assim uma característica que pode aumentar as possibilidades de tolerar condições ambientais dos locais invadidos na Caatinga.

Palavras-chave: Ciclos de HD; Exóticas; Caatinga; Invasividade.

ABSTRACT

Exotic and native species of the Caatinga undergo hydration–dehydration (HD) cycles, which may promote benefits in germination behavior and increase tolerance to stress. This study aimed to evaluate whether discontinuous hydration of *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* seeds increase their tolerance to water deficit conditions. Seeds were subjected to HD cycles (0 – control, 1 cycle, 2 cycles, and 3 cycles), with H: five hours and D: ten hours, determined from the imbibition and dehydration curves. The seeds were placed in Petri dishes under the following osmotic potentials: 0.0 MPa (control), –0.2 MPa, –0.4 MPa, –0.6 MPa, –0.8 MPa, and –1.0 MPa. Germination was assessed by radicle protrusion over 14 days, and the following parameters were evaluated: G (germination percentage), t_{50} (time to 50% germination), V (Mean Germination Rate), CVt (Coefficient of Variation of Germination Time), U (germination uncertainty), and Z (synchrony index). Germination parameters were influenced by water stress, demonstrated by the control group (0 cycle treatment), where G decreased by half when comparing 0.0 MPa to –1.0 MPa (80% and 40%, respectively). The passage through HD cycles increased the species' tolerance by improving germination, including reductions in t_{50} and U and increases in G, V, CVt, and Z. Discontinuous hydration stimulated the hydration memory of the seeds of the studied species, increasing their tolerance to water stress in *N. juliflora*, being a characteristic that can expand the possibilities of tolerance to environmental conditions in invaded areas in the Caatinga.

Keywords: HD cycles; Exotic species; Caatinga; Invasiveness.

1. Introdução

A invasão biológica consiste no transporte de espécies não nativas de sua região de ocorrência natural para outra em que não ocorrem naturalmente, promovido pela atividade antrópica (Richardson et al. 2000; Sagoff, 2018). A partir disso, quando uma espécie exótica supera os filtros ambientais do ecossistema, como a presença de predadores, estabelece-se e se reproduz, caracterizando-se como espécie exótica invasora (Richardson et al. 2000; Vries, 2025).

Assim, a invasão se consolida quando uma espécie apresenta vantagem competitiva, dispersa-se rapidamente e atinge dominância na área (Valery et al. 2008). Com isso, espécies nativas que antes não tinham contato com essas exóticas são impactadas pela introdução, sendo as comunidades e o ecossistema afetados (Vilá et al., 2011; Sagoff, 2018). Portanto, a invasão biológica é atualmente uma das maiores ameaças à biodiversidade mundial (Ziller, 2000; 2001; Jaureguiberry et al., 2022; Csákvári et al., 2023).

O sucesso da invasão por uma exótica pode estar relacionado à invasibilidade, ou seja, às condições do ambiente que favorecem o estabelecimento dessas espécies, como, por exemplo, a antropização da área e a ausência de competidores naturais (Keane e Crawley 2002; Richardson e Pyšek 2006; Guo et al. 2022). Além disso, a invasividade é extremamente importante para o estabelecimento das espécies e depende de características intrínsecas dos indivíduos, tais como a produção elevada de sementes, potencial alelopático e a tolerância a estresses ambientais (Gioria et al. 2023).

Em ambientes como a Caatinga, chuvas irregulares, altas temperaturas e elevada evapotranspiração estabelecem condições hídricas estressantes para as espécies que ocorrem na área (Dombroski et al. 2011; Lima e Meiado 2017). Dessa forma, durante a embebição, as sementes passam por ciclos naturais de hidratação e desidratação (ciclos

de HD), sendo assim, uma hidratação descontínua (Meiado 2013; Nascimento e Meiado 2021). Em estudos com espécies nativas desses ecossistemas, observou-se que a passagem por ciclos de HD altera o comportamento germinativo, com aumento da germinabilidade e diminuição do tempo de germinação, e aumenta o crescimento e o diâmetro da parte aérea durante o desenvolvimento inicial das plântulas, além de promover um aumento na tolerância a estresses ambientais (Sanchez-soto et al. 2005; Nascimento et al. 2021).

Nesse contexto, espécies exóticas invasoras amplamente distribuídas na Caatinga são submetidas a essas condições e podem se beneficiar assim como uma espécie nativa, como pôde ser observado no estudo com a *Leucaena leucocephala*, no qual os pesquisadores notaram um aumento da tolerância ao estresse hídrico após a passagem por ciclos de HD (deCastro et al. 2024). Esses benefícios estão relacionados à expressão de uma característica amplamente estudada em espécies nativas, a memória de hidratação das sementes (Dubrovsky 1996; 1998; Meiado 2013). Esta é a capacidade que as sementes possuem de manter a mobilização bioquímica iniciada na hidratação e interrompida após uma desidratação, de modo a retomar a germinação a partir das alterações bioquímicas e fisiológicas ocorridas antes da interrupção (Dubrovsky 1996, 1998; López-Urrutia et al. 2014; Contreras-Quiroz et al. 2016; Lima et al. 2018; Nascimento e Meiado 2021).

Os benefícios ecofisiológicos proporcionados pela memória de hidratação podem ser um mecanismo aproveitado por espécies exóticas invasoras da Caatinga para aumentar a sua invasividade (Hui et al. 2023; deCastro et al. 2024), visto que dentre os benefícios se destaca a tolerância a estresses abióticos (Dubrovsky 1996, 1998; Alvarado-López et al. 2014; Hora et al. 2018; Lima e Meiado 2017, 2018a, b; DaHora e Meiado 2024). Logo, a tolerância a estresses abióticos garante o estabelecimento, rápido crescimento e maior sucesso competitivo das espécies invasoras da Caatinga (Oliveira et

al. 2014; Nascimento et al. 2020). Dessa forma, um aumento na capacidade invasiva de uma espécie traz sérios problemas para a conservação e manutenção de um ecossistema (Krokaitė et al. 2022; deCastro et al. 2024).

Embora a memória de hidratação seja evidenciada em espécies nativas, pouco se sabe sobre sua presença e influência em espécies invasoras da Caatinga. Diante disso, entender como as espécies exóticas invasoras podem alterar sua tolerância a estresses abióticos por meio de um processo que ocorre naturalmente no ambiente pode contribuir para a compreensão do potencial invasivo e auxiliar estratégias de manejo e conservação da Caatinga. Assim, o presente estudo busca verificar se sementes de *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* (Fabaceae), uma das principais invasoras da Caatinga, apresenta um favorecimento da sua germinação ao passar por hidratação descontínua, durante uma situação de estresse por déficit hídrico.

A partir disso, têm-se duas hipóteses para este trabalho: (i) O comportamento germinativo difere nas sementes que passam pela hidratação descontínua, indicando a expressão da memória de hidratação; e (ii) a hidratação descontínua das sementes contribui com a invasividade da espécie ao aumentar a tolerância da germinação em condições de déficit hídrico através de parâmetros germinativos da espécie.

2. Material e métodos

2.1. Descrição da espécie e local de coleta

A *N. juliflora* é uma espécie nativa das Américas que ocorre do México ao norte da América do Sul. A espécie é considerada como uma das piores espécies exóticas invasoras do mundo e foi introduzida em diferentes locais para auxiliar no combate à desertificação, porém tornou-se extremamente prejudicial às áreas, sendo um fator de degradação dos solos (Nascimento et al. 2014; Hussain et al. 2021; Kishoin et al. 2024).

No Brasil, ela foi introduzida com o intuito de recuperar áreas degradadas, contudo, se tornou uma invasora agressiva na Caatinga (Oliveira e Queiroz 2020). A espécie sobrevive em condições de baixa precipitação, sendo bastante tolerante a longos períodos de estiagem e solos salinos, possui um potencial alelopático e forma grandes povoamentos quando invade uma área (Pasiecznik et al. 2001; Nascimento 2008; Fabricante 2013; Turyasingura et al. 2023; Kishoin et al. 2024).

Frutos da espécie foram coletados em diferentes matrizes em uma área de Caatinga, localizada no município de Carira, no estado de Sergipe (10°21'01.8"S 37°42'05.7"W) (Fig. 1). Conforme a classificação de Köppen e Geiger, o município apresenta um clima BSh com temperatura média anual de 24,6°C e pluviosidade média anual de 490 mm, concentrada em um período específico do ano (Climate-data 2025). Após a coleta, os frutos foram levados para o Campus Professor Alberto Carvalho da Universidade Federal de Sergipe, em Itabaiana. No laboratório, os frutos foram beneficiados para obtenção das sementes da espécie.

2.2. Determinação da curva de embebição e desidratação das sementes

Para superar a dormência física e evitar que ela comprometa a hidratação descontínua das sementes, estas foram submetidas à escarificação química por imersão em ácido sulfúrico (H₂SO₄) concentrado durante 30 minutos. Esse processo foi realizado antes da utilização das sementes nos experimentos (Pasiecznik et al. 1998).

Para a determinação da curva de embebição da *N. juliflora* foi seguida a metodologia definida por Lima et al. (2018), onde foram utilizadas quatro repetições de 25 sementes, sendo cada repetição pesada inicialmente em balança analítica. Após isso, as sementes foram colocadas em placas de Petri de 9 cm, com duas camadas de papel filtro umedecidas com água destilada. As placas foram mantidas em temperatura

ambiente ($25 \pm 1^\circ\text{C}$) com fotoperíodo de 12 horas. A cada 60 minutos, as amostras foram pesadas até o momento da protrusão radicular.

Diante disso, a embebição foi estimada através da variação da biomassa das sementes nos diferentes intervalos avaliados. Assim, com a curva de embebição estabelecida, foi selecionado o ponto X na curva, o qual corresponde a 50% da fase I da embebição (Lima et al. 2018). Este tempo foi o escolhido para a realização de 3 ciclos de hidratação e desidratação (HD), pois é o tempo que mais se assemelharia com o ambiente, visto que os intervalos entre a hidratação e a desidratação são mais curtos, além de informações na literatura apontarem para os benefícios deste tempo e quantidade de ciclos (Lima et al. 2018; deCastro et al. 2024).

Para determinar o tempo de desidratação, as sementes tiveram sua biomassa antes da hidratação aferida e foram colocadas para embeber em placas de Petri com água destilada, a 25°C , durante o tempo X encontrado neste trabalho, ou seja, 50% da fase I da embebição (Lima et al. 2018). Em seguida, as sementes foram colocadas em bandejas para secar em estufa de circulação forçada de ar a 40°C e tiveram sua biomassa aferida a cada 60 minutos até que a biomassa ficasse igual à das sementes antes de passarem pela hidratação.

Com isso, foram obtidos as curvas e os respectivos tempos que foram utilizados na realização dos ciclos de hidratação e desidratação (HD) na *N. juliflora*.

2.3. Hidratação descontínua das sementes através dos ciclos de HD

A partir dos tempos definidos pela curva de embebição e desidratação, as sementes da espécie passaram por tratamentos de ciclos de HD (0 – controle, 1 ciclo, 2 ciclos e 3 ciclos) para simular a hidratação descontínua.

Durante a hidratação, as sementes foram postas para hidratar em placas de Petri

de 15cm, com duas folhas de papel filtro umedecidas com água destilada até atingir a saturação do papel a 25°C. Para a desidratação, as mesmas sementes eram retiradas e colocadas em outras placas com papel filtro seco e mantidas na estufa de circulação de ar a 40°C. Essa passagem por hidratação e desidratação ocorreu de acordo com a quantidade de ciclos que o tratamento representava. Os tempos utilizados para a hidratação e desidratação basearam-se nas curvas encontradas neste trabalho.

2.4. Passagem das sementes pelo estresse hídrico

Após a passagem das sementes pelos ciclos, elas foram separadas em diferentes potenciais osmóticos (0,0 MPa – controle, -0,2 MPa, -0,4 MPa, -0,6 MPa, -0,8 MPa e -1,0 MPa) para simular o estresse hídrico. Este foi simulado através de soluções aquosas de polietileno glicol 6000 (PEG) (Villela et al. 1991). Em cada potencial, as sementes foram separadas em quatro repetições com 25 sementes, sendo semeadas em placas de Petri de 9 cm com duas camadas de papel-filtro umedecidas com 12 mL da solução correspondente ao estresse.

A germinação foi avaliada diariamente por 14 dias e o critério utilizado para considerar a semente germinada foi a protrusão radicular. As placas foram mantidas em laboratório a 25 °C sob fotoperíodo de 12 h.

2.5. Parâmetros avaliados e análises estatísticas

Para compreender as alterações promovidas no comportamento germinativo da espécie, foram mensurados os seguintes parâmetros: Germinabilidade (G ; %), T_{50} (dias), Coeficiente de velocidade de germinação (CVt ; %), Taxa média de germinação (V ; dias⁻¹), Incerteza da germinação (U ; Bits) e Índice de sincronização (Z) (Ranal e Santana 2006; Lima et al. 2025). A obtenção desses parâmetros foi realizada com bases nos dados

obtidos neste estudo com auxílio do pacote ‘*germinationmetrics package*’ no ‘*software*’ R (Aravind et al. 2025).

A G indica a porcentagem de sementes germinadas (Lima et al. 2025), o T_{50} indica o tempo necessário para que 50% do lote germine (Farooq et al. 2005), CVt corresponde à uniformidade da germinação (Ranal e Santana 2006; Lima et al. 2025), V indica a velocidade de germinação (Ranal e Santana 2006), U indica a incerteza do processo germinativo (Ranal e Santana 2006; Lima et al. 2025) e Z corresponde ao quão sincronizada é a germinação (Ranal e Santana 2006; Lima et al. 2025).

A partir dos resultados obtidos, foram realizados testes de homogeneidade dos dados e variância dos resíduos através dos testes de Shapiro-wilk e Levene. Após confirmados esses pré-requisitos, foi realizada uma Análise de Variância (ANOVA) dois fatores (Ciclos de HD e Potencial osmótico) e para comparar as médias foi utilizado o teste *a posteriori* de Tukey. Todas as análises estatísticas foram realizadas no *software* STATISTICA 13, com significância de 5%.

3. Resultados

O tempo total para a germinação da espécie encontrado na curva de embebição foi de dezesseis horas (Fig. 2A), enquanto o tempo para a desidratação das sementes foi um total de trinta e duas horas (Fig. 2B). A partir disso, o tempo X foi encontrado e correspondeu a cinco horas e o tempo para a desidratação nos ciclos foi de dez horas.

Quanto ao comportamento germinativo das sementes da espécie, notou-se que todos os parâmetros avaliados foram afetados pelo potencial osmótico e pelos ciclos de HD (Tab. 1), de modo que a germinação diferiu entre as sementes que passaram pela hidratação descontínua e aquelas que não passaram (Fig. 3).

Apesar da diminuição do potencial osmótico e consequente déficit hídrico, a

espécie ainda manteve uma germinabilidade (G) de 40% no potencial de -1,0 MPa na ausência de ciclos de HD (Fig. 3A). No tratamento 0,0 MPa a espécie apresentou 80% de G, de modo que houve uma redução pela metade ao comparar esses dois potenciais (Fig. 3A). Além disso, a passagem pela hidratação descontínua nas sementes promoveu aumento nesse parâmetro nas condições de déficit hídrico, como por exemplo o incremento de 25% na quantidade de sementes germinadas no potencial -1,0 MPa ao comparar 3 ciclos com 0 ciclos (Fig. 3A).

Esses ciclos também apresentaram efeito significativo no t_{50} (Tabela 1), visto que promoveram uma redução bastante evidente na passagem por 3 ciclos (Figura 3B). Ao comparar o tempo necessário em 0 ciclos com o de 3 ciclos, por exemplo, notou-se uma diminuição de cerca de 2 dias (Figura 3B). Por outro lado, mesmo após os diferentes ciclos, houve um aumento no tempo necessário para a germinação conforme o potencial osmótico diminuiu (Figura 3B).

A hidratação descontínua promoveu aumento na V ao comparar as sementes que passaram por três ciclos de HD com as que não passaram (Figura 3C). No 0,0 MPa, as sementes tiveram velocidades semelhantes, mas, à medida que o potencial osmótico diminuía, a velocidade também diminuiu, com exceção do tratamento dos três ciclos (Figura 3C).

O CVt foi influenciado pela hidratação descontínua e pelo estresse hídrico (Tabela 1). O CVt apresentou diminuição em todos os tratamentos de ciclos de HD graças ao aumento do estresse, ou seja, houve aumento na uniformidade da germinação (Figura 3D). Entretanto, o aumento na quantidade de ciclos promoveu uma elevação no CVt, principalmente nos 3 ciclos, de forma a evidenciar uma germinação com menor uniformidade.

Os tratamentos de ciclos de HD promoveram uma redução na U (Figura 3E;

Tabela 1). Além disso, o estresse hídrico também influenciou esse parâmetro com uma redução da incerteza à medida que o potencial osmótico se tornava mais estressante. O tratamento de 3 ciclos foi uma exceção, visto que manteve uma incerteza constante nos diferentes potenciais (Figura 2E). Os ciclos de HD aumentaram a Z da espécie (Figura 2F; Tabela 1). No entanto, os diferentes potenciais osmóticos também influenciaram esse parâmetro, resultando em um aumento de Z à medida que o estresse hídrico se intensificava (Figura 2F; Tabela 1).

4. Discussão

Neste estudo, a passagem das sementes de *N. juliflora* por ciclos de hidratação e desidratação favoreceu a capacidade germinativa mesmo em situações de estresse hídrico, visto que a disponibilidade hídrica é um fator extremamente importante para o processo germinativo (Baskin e Baskin 2014). Deste modo, o estímulo promovido por esses ciclos pode revelar-se um mecanismo facilitador da germinação de espécies exóticas, como a deste estudo, em ambientes que promovam condições de hidratação descontínua nas sementes.

O lote de sementes de *N. juliflora* estudado apresentou rápida germinação, evidenciada pela curva de embebição trifásica, com duração inferior a 24 horas. Essa capacidade pode demonstrar uma vantagem competitiva da espécie através do rápido aproveitamento da disponibilidade hídrica do meio (Bajwa et al. 2016; deCastro et al. 2024). Além disso, a espécie possui capacidade de germinar mesmo sob estresse hídrico, apresentando, por exemplo, germinabilidade de 40% em condições estressantes. A manutenção da capacidade de germinar mesmo sob estresse hídrico indica que essa espécie possui atributos que favorecem seu estabelecimento em ambientes com condições hídricas irregulares, como, por exemplo, a Caatinga.

Na Caatinga e em outros ambientes áridos e semiáridos, a irregularidade hídrica e as altas temperaturas podem limitar a ocorrência de espécies invasoras por meio da criação de filtros ambientais à germinação (Meiado et al. 2012; Silva et al. 2025). Nesses locais, a passagem pela hidratação descontínua impacta diretamente a resposta germinativa de espécies nativas e exóticas (Lima e Meiado 2017, 2018a, b; Lima et al. 2018; Nascimento e Meiado 2021; daHora e Meiado 2024; deCastro et al. 2024), como pôde ser observado nos parâmetros germinativos avaliados da *N. juliflora*, os quais foram favorecidos pelos ciclos de hidratação e desidratação, de modo a aumentar ainda mais sua tolerância ao estresse hídrico.

Diante disso, a primeira hipótese do estudo foi corroborada, ao indicar que o comportamento germinativo das sementes difere após hidratação descontínua. Tais mudanças evidenciaram-se pelo aumento de parâmetros como G, V, CVt e Z (Figura 3A, 3C, 3D, 3F) e pela diminuição de t50 e U (Figura 3B, 3E) após a passagem por ciclos de hidratação e desidratação (HD). Logo, essas alterações podem indicar a expressão da memória de hidratação das sementes que foram estimuladas pela passagem por ciclos de HD (Dubrovsky, 1996, 1998; Lima e Meiado, 2017, 2018a, b; Lima et al. 2018), de modo que a espécie se beneficia da condição hídrica irregular do ambiente invadido.

A expressão da memória de hidratação através dos ciclos de HD promove essas alterações devido às mudanças metabólicas estimuladas nas sementes, como, por exemplo, a modificação na expressão proteica e na atividade de enzimas antioxidantes, além da variação nos níveis de açúcares solúveis e de prolina que contribuem para o enfrentamento de situações estressantes ao proteger o aparato celular de danos (López-Urrutia et al. 2014; Crisp et al. 2016). Logo, as sementes apresentam um novo aparato metabólico estimulado pelos ciclos de HD e, consequentemente, apresentaram melhorias germinativas mesmo em condições estressantes (Nascimento e Meiado 2021).

Em um estudo anterior com a *N. juliflora*, notou-se que os ciclos de HD promoveram diminuição da germinabilidade, manutenção da baixa sincronia e uma germinação rápida em condições ótimas de disponibilidade hídrica (Hora et al. 2023). Desse modo, nota-se que os benefícios da hidratação descontínua nesta espécie são evidenciados em situações de déficit hídrico, visto que as condições ambientais dos ecossistemas nos quais os ciclos ocorrem não fornecem suprimento hídrico constante durante o processo germinativo (Meiado et al. 2012).

Diante disso, a segunda hipótese do trabalho também foi corroborada, pois a passagem contribui para o aumento da tolerância ao déficit hídrico na germinação. Esse achado indica uma importância ecofisiológica dessa capacidade, pois indica que a espécie consegue se estabelecer utilizando-se dessa adaptação ao ambiente invadido. Essa estratégia também foi evidenciada em outra espécie exótica invasora, a *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae), que também se beneficia dessas mesmas condições para garantir seu estabelecimento (deCastro et al. 2024). Desta forma, a presença do aumento em parâmetros de desempenho germinativo como *G* e *V* e da diminuição de parâmetros temporais como *t*₅₀ e *U*, além da memória, promove na *N. juliflora* uma vantagem para o início do processo invasivo no meio, o que pode ampliar as chances de seu sucesso na Caatinga.

Embora Nascimento et al. (2020) mostrem que *N. juliflora* apresenta capacidade invasiva dependente da dispersão zoocórica na Caatinga, com germinabilidade menor quando dispersa em solos menos úmidos, devido à dificuldade na entrada de água na semente (Miranda et al. 2014), este estudo demonstra como isso pode ser superado pela espécie. Assim, a passagem por ciclos naturais de HD e expressão da memória de hidratação das sementes podem aumentar a capacidade germinativa em diferentes situações e ampliar as chances de estabelecimento e de invasão (Pišek et al. 2004).

Sendo assim, a hidratação descontínua das sementes funciona como um mecanismo que auxilia a espécie invasora a superar filtros ambientais hídricos da Caatinga, e a memória de hidratação pode ser uma característica-chave para o sucesso invasivo em ecossistemas com irregularidades hídricas. Além disso, esses resultados apontam que, além da necessidade de estratégias de remoção de indivíduos adultos dos locais invadidos, também se deve ater à remoção de bancos de sementes, pois a regeneração dessas espécies pode ocorrer e retomar a invasão do local mesmo em situações de estresse hídrico.

5. Conclusão

A memória de hidratação das sementes de *N. juliflora* em resposta à hidratação descontínua pode representar um caráter que contribui para o sucesso da invasão dessa espécie em ecossistemas áridos e semiáridos, visto que essa condição favorece o comportamento germinativo ao tornar a espécie mais tolerante ao déficit hídrico. Assim, essa capacidade pode indicar uma vantagem competitiva para a espécie estudada na Caatinga.

Dessa forma, foi possível compreender um pouco mais sobre a dinâmica da espécie, o que auxilia no desenvolvimento de estratégias de manejo e controle da germinação, bem como no monitoramento da invasibilidade dessas áreas. Além disso, estudos futuros podem investigar se esse comportamento também ocorre em sementes no ambiente nativo da espécie exótica.

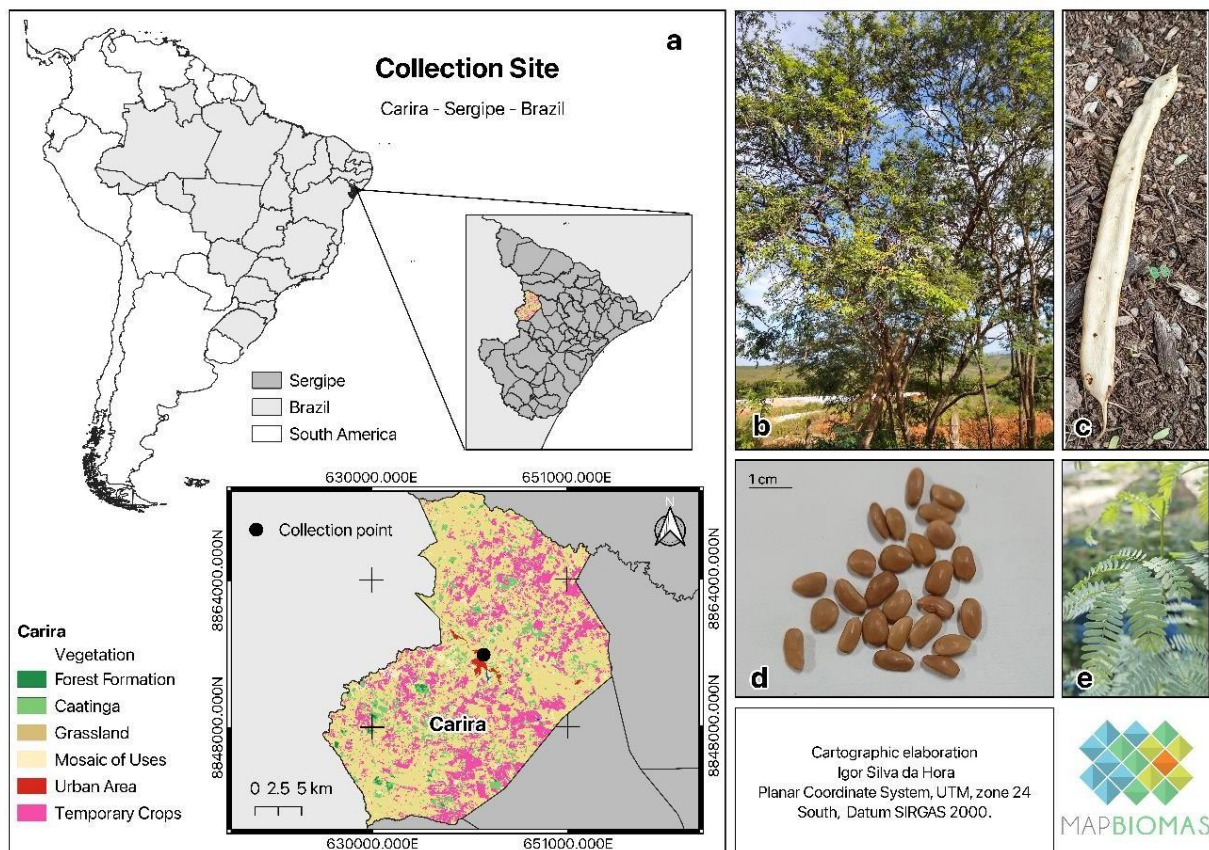


Fig. 1. a) Local de coleta das sementes de *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur.

var. *juliflora* b) Um dos indivíduos adultos que foi matriz de coleta das sementes. c)

Fruto da espécie. d) Sementes da espécie. e) Folhas compostas de plântulas em

crescimento.

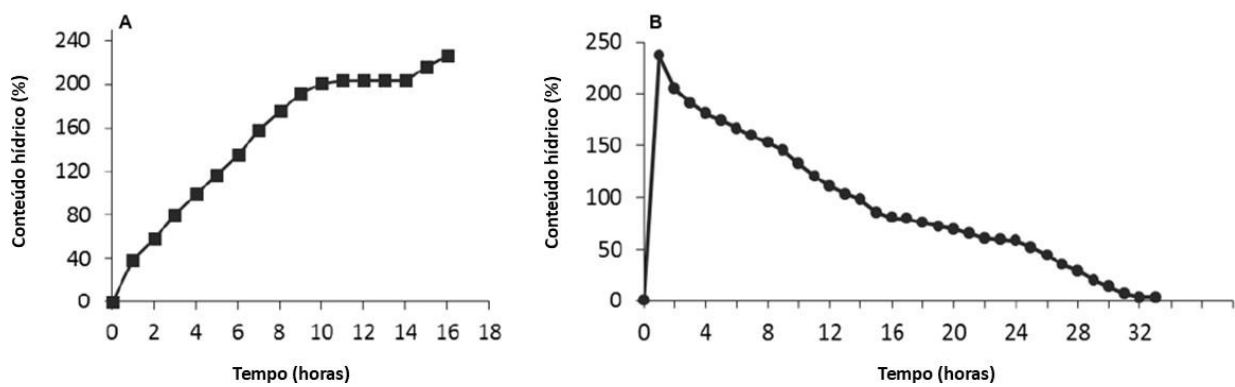


Figura 2. Curvas de embebição (A) e desidratação (B) de sementes de *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* com a quantidade de água ao longo do tempo em horas.

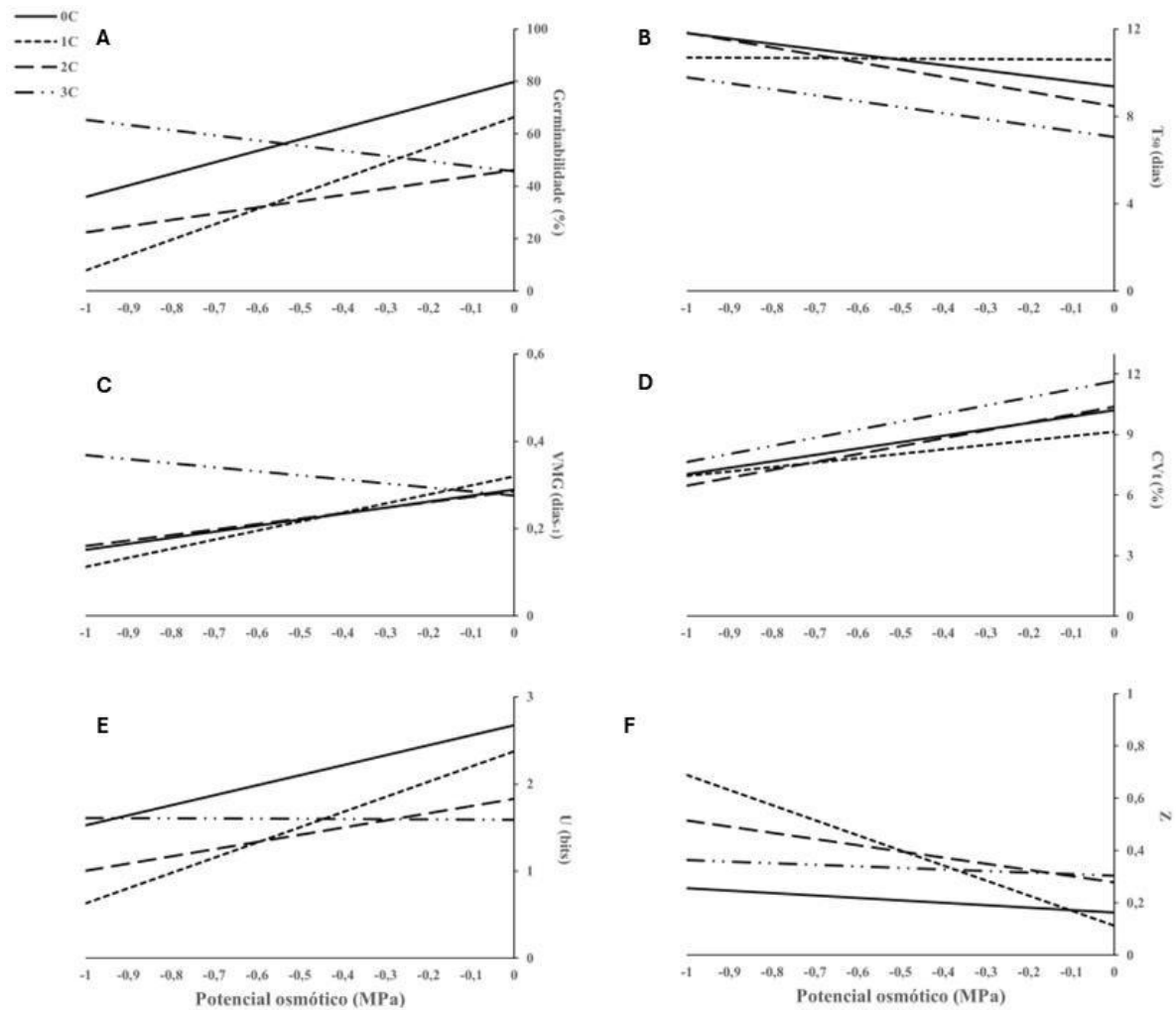


Figura 3. Efeito dos ciclos de hidratação e desidratação (0C, 1C, 2C e 3C) nas sementes de *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* nos parâmetros germinativos sob influência de diferentes potenciais osmóticos (0, -0,2 MPa, -0,4 MPa, -0,6 MPa, -0,8 MPa e -1,0 MPa). A) Germinabilidade (%). B) t_{50} (tempo para germinação de 50% do lote - dias), V (Taxa Média de Germinação - dias⁻¹), CVt (Coeficiente de Variação do Tempo de Germinação - %), U (incerteza da germinação - bits) e Z (índice de sincronização).

Tabela 1. Valores estatísticos de F, grau de liberdade (gl) e valor de p da Análise de Variância (ANOVA) ao analisar os fatores ciclos de hidratação e desidratação (HD) e os potenciais osmóticos (0,0 MPa, -0,2 MPa, -0,4 MPa, -0,6 MPa, -0,8 MPa e -1,0 MPa) nos parâmetros germinativos de *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora*

Germinabilidade (%)			
Fator ou interação de fatores	F	gl	Valor de p
Ciclos HD	17.76	3	< 0.01
Potencial osmótico	9.79	5	< 0.01
Ciclos HD*Potencial osmótico	6.99	15	< 0.01
T₅₀ (dias)			
Fator ou interação de fatores	F	gl	Valor de p
Ciclos HD	11.33	3	< 0.01
Potencial osmótico	7.31	5	< 0.01
Ciclos HD*Potencial osmótico	2.30	15	< 0.01
V (dias⁻¹)			
Fator ou interação de fatores	F	gl	Valor de p
Ciclos HD	7.86	3	< 0.01
Potencial osmótico	4.67	5	< 0.01
Ciclos HD*Potencial osmótico	3.07	15	< 0.01
CVt (%)			
Fator ou interação de fatores	F	gl	Valor de p
Ciclos HD	10.30	3	< 0.01
Potencial osmótico	26.28	5	< 0.01
Ciclos HD*Potencial osmótico	2.51	15	< 0.01
U (bits)			
Fator ou interação de fatores	F	gl	Valor de p
Ciclos HD	7.34	3	< 0.01
Potencial osmótico	7.36	5	< 0.01
Ciclos HD*Potencial osmótico	3.43	15	< 0.01
Z			
Fator ou interação de fatores	F	gl	Valor de p
Ciclos HD	4.47	3	< 0.01
Potencial osmótico	3.78	5	< 0.01
Ciclos HD*Potencial osmótico	2.96	15	< 0.01

Capítulo 2.

Efeitos da hidratação descontínua e ciclos de rega na alelopatia de espécies exóticas invasoras da Caatinga

Artigo a ser submetido na revista Biological Invasions

**Efeitos da hidratação descontínua e ciclos de rega na alelopatia de espécies exóticas
invasoras da caatinga**

Igor Silva da Hora^{1,2,*} e Marcos Vinicius Meiado^{1,2}

¹Laboratório de Fisiologia de Sementes, Departamento de Biociências, Universidade Federal de Sergipe. Av. Vereador Olímpio Grande, Campus Professor Alberto Carvalho, Itabaiana, SE, Brasil.

²Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, Universidade Federal de Sergipe. Av. Marechal Rondon, Rosa Elze, São Cristóvão, SE, Brasil.

*E-mail para correspondência: shigorbio@gmail.com

RESUMO

Espécies exóticas invasoras (EEI) têm sua invasividade favorecida pela alelopatia. Em situações de irregularidades hídricas, como ocorre na Caatinga, a hidratação descontínua de sementes e os ciclos de rega nas mudas podem afetar o efeito alelopático. Nesse trabalho, buscou-se investigar quais os efeitos que a hidratação descontínua de sementes e ciclos de rega nas mudas nas espécies *Leucaena leucocephala* e *Neltuma juliflora* var. *juliflora* apresentam na alelopatia. Inicialmente, foram realizados três tipos de extratos aquosos foliares de ambas as espécies para verificar qual tipo de extração promovia maior efeito alelopático. Em seguida, as sementes das espécies invasoras foram submetidas a 0 e 3 ciclos de HD, semeadas em solo, e as plântulas resultantes receberam ciclos de irrigação diária e a cada 7 dias. Folhas foram coletadas e a extração alelopática de cada grupo foi realizada. Os extratos foram testados na germinação e no desenvolvimento inicial das sementes de *Lactuca sativa* L. (Asteraceae). Os tipos de extratos escolhidos foram o extrato foliar seco para *L. leucocephala* e o extrato dos lixiviados para *N. juliflora*. Em *L. leucocephala*, plântulas formadas a partir de 3 ciclos de HD, independentemente dos ciclos de rega, influenciaram o comportamento germinativo de *L. sativa*. Contudo, a combinação de 3 ciclos de HD com irrigação periódica reduziu o desenvolvimento inicial das plântulas de *L. sativa*. Já na *N. juliflora*, não houve efeito significativo. Esses processos podem favorecer a alelopatia em *L. leucocephala*, enquanto para *N. juliflora*, por conta da sua tolerância ao estresse, não promoveu efeito alelopático. Desta forma, este trabalho demonstra como a alelopatia de EEI pode ser influenciada pela hidratação descontínua nas sementes e pelos ciclos de rega nas mudas. Sendo que essa influência pode variar conforme a espécie que passa por tais condições.

Palavras-chave: Alelopatia; Invasão biológica; Invasividade; Caatinga.

ABSTRACT

Invasive exotic species (IES) often have their invasiveness enhanced by allelopathy. Under conditions of irregular water availability, as observed in the Caatinga, discontinuous seed hydration and irrigation cycles in seedlings may affect allelopathic expression. This study aimed to investigate the effects of discontinuous seed hydration and seedling irrigation cycles on the allelopathy of *Leucaena leucocephala* and *Neltuma juliflora* var. *juliflora*. Initially, three types of aqueous leaf extracts were prepared for both species to determine which extraction method produced the strongest allelopathic effect. Subsequently, seeds of the invasive species were subjected to 0 and 3 HD cycles, sown in soil, and the resulting seedlings were exposed to daily irrigation or irrigation every seven days. Leaves were collected, and allelopathic extracts from each group were prepared. The extracts were tested on the germination and early development of *Lactuca sativa* L. (Asteraceae). The types of extracts chosen were dry leaf extract for *L. leucocephala* and leachate extract for *N. juliflora*. In *L. leucocephala*, seedlings formed from 3 HD cycles, regardless of irrigation cycles, influenced the germination behavior of *L. sativa*. However, the combination of 3 HD cycles with periodic irrigation reduced the early development of *L. sativa* seedlings. In contrast, *N. juliflora* showed no significant allelopathic effects. These processes may favor allelopathy in *L. leucocephala*, while in *N. juliflora*, due to its stress tolerance, they did not promote an allelopathic effect. Thus, this work demonstrates that the allelopathy of the EEI can be influenced by discontinuous hydration in seeds and by irrigation cycles in seedlings. This influence may vary depending on the species subjected to such conditions.

Keywords: Allelopathy; Biological invasion; Invasiveness; Caatinga.

1. Introdução

A introdução e o estabelecimento de plantas exóticas invasoras alteram comunidades e ecossistemas, a ponto da invasão biológica ser considerada uma das maiores ameaças à biodiversidade do planeta (Didham et al. 2005; Cavalcante e Major 2006; Ehrenfeld 2010; Simberloff et al. 2013). O sucesso dessas espécies está relacionado às características ambientais e intrínsecas da própria espécie, como, por exemplo, a alelopatia (Gatti et al. 2014). Esta corresponde ao conjunto de interações, geralmente negativas, mediadas por aleloquímicos produzidos e liberados no ambiente por essas espécies (Chen et al. 2017; Patnaik et al. 2017; Kalisz et al. 2021).

Essa liberação no ambiente pode ocorrer por diferentes vias, como a lixiviação foliar e decomposição da serapilheira, por exemplo (Inderjit et al. 2011; Aslam et al. 2017). Com isso, tais compostos podem conferir vantagem competitiva às espécies alelopáticas, visto que os estágios críticos do ciclo de vida das plantas, a germinação e o desenvolvimento inicial, são os mais afetados (Weir et al. 2004; Fay e Schultz 2009). Assim, a partir das respostas de espécies-alvo em bioensaios alelopáticos é possível identificar as implicações das espécies testadas (Alvim et al. 2023).

O efeito dos aleloquímicos pode variar conforme os diferentes contextos ecofisiológicos (Gobbo-Neto e Lopes 2007; Gatti et al. 2014). Em condições ambientais estressantes, por exemplo, o metabolismo secundário é alterado e isso pode afetar a quantidade e o tipo de compostos aleloquímicos produzidos (Pedrol et al. 2006; Shan et al. 2023). Em situações de déficit hídrico, por exemplo, ocorrem estímulos que aumentam a produção de substâncias de defesa, como compostos fenólicos, alcaloides e terpenos (Ahuja et al. 2012; Gatti et al. 2014; Medina Vilar et al. 2020; Wu et al. 2021). Esses mesmos compostos, quando liberados no meio, podem influenciar a alelopatia, pois muitos atuam como aleloquímicos.

Em regiões áridas e semiáridas, como a Caatinga, a irregularidade hídrica leva a situações de seca e reidratação das sementes e das plantas jovens, promovendo hidratação descontínua e ciclos de rega, respectivamente (Meiado, 2013; Oliveira et al., 2021; delaFuente et al. 2023; deCastro et al. 2024). Dessa forma, esses eventos podem desencadear alterações metabólicas, como, por exemplo, a memória de hidratação das sementes e a memória ao estresse, promovendo a síntese de compostos químicos que podem ser aleloquímicos quando liberados no ambiente (Yan 2017; Hashoum et al. 2021; Wu et al. 2021; Zhong et al. 2023).

Duas das espécies invasoras mais agressivas do mundo foram identificadas como espécies alelopáticas, sendo elas: *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae) e *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* (Fabaceae) (Ahmed et al. 2008; Pasiecznik 2017; Alvim et al. 2023; Bakewell-Stone 2023; Musalami et al. 2023). Apesar de muitos trabalhos investigarem o efeito alelopático dessas espécies, ainda há uma lacuna no entendimento sobre como a alelopatia é influenciada por condições de déficit hídrico associadas à hidratação descontínua nas sementes e aos ciclos de rega nas plântulas.

Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo geral avaliar a influência da hidratação descontínua nas sementes e dos ciclos de rega em plântulas de *N. juliflora* e *L. leucocephala* sobre o potencial alelopático dessas espécies exóticas invasoras. Logo, as hipóteses que norteiam este trabalho são que (I) a alelopatia das espécies exóticas afetará negativamente o estabelecimento inicial da espécie-alvo, enquanto o modo e a intensidade desses efeitos variarão em função dos extratos produzidos sob as condições testadas; (II) Os extratos alelopáticos das plantas que passaram por ciclos apresentarão um efeito dose-dependente sobre a germinação e desenvolvimento inicial da *L. sativa*; e (III) A passagem das espécies exóticas por ciclos nas sementes e nas mudas prejudicará o comportamento

germinativo e o desenvolvimento inicial da espécie-alvo, por meio de atrasos na germinação e redução do crescimento. Além disso, a combinação desses ciclos e da concentração intensificará esses efeitos negativos na germinação e no desenvolvimento.

2. Material e métodos

2.1 Coleta de material e espécies estudadas

As sementes das espécies exóticas utilizadas foram coletadas em diferentes áreas de Caatinga no Estado de Sergipe. As sementes de *N. juliflora* foram coletadas no município de Carira, enquanto as sementes de *L. leucocephala* foram coletadas em Nossa Senhora da Glória nas coordenadas 10°20'58.2"S 37°42'03.3"W e 10°08'16.8"S 37°31'52.8"W, respectivamente (Figura 1). Conforme a classificação de Köppen e Geiger, os municípios apresentam um clima BSh com temperatura média anual de 24,6 e 25,1°C e sua pluviosidade média anual de 490 e 563 mm, respectivamente, concentrada em um período específico do ano (Climate-Data 2025). Nessas mesmas matrizes, também foram coletadas folhas verdes ainda contidas na planta para os testes alelopáticos iniciais.

As espécies escolhidas para este estudo, *N. juliflora* e *L. leucocephala*, fazem parte da lista de piores espécies invasoras do mundo, além de serem invasoras de ambientes da Caatinga (Fabricante 2013; Alves et al. 2014; deCastro et al. 2024; GISD 2025a,b). Ambas foram introduzidas no ambiente com um viés econômico, porém observou-se que elas se espalham e promovem prejuízos ambientais e ecossistêmicos nas áreas invadidas (Pometti et al. 2007; Mishra et al. 2023).

A *L. leucocephala* faz parte da família Fabaceae e é nativa de regiões da América Central; entretanto características como rápido crescimento vegetativo, produção contínua de sementes e flores, capacidade de fixação do nitrogênio, estabelecimento de populações densas e um potencial alelopático fazem com que esta espécie tenha se tornado uma invasora agressiva (Ahmed et al. 2008; Fabricante 2013; Kato-Noguchi e

Kurniadie 2022; Oliveira et al. 2023; GISD 2025a). Na Caatinga, geralmente essa espécie ocupa áreas degradadas, como matas ciliares, pastagens, entornos de estradas (Fabricante 2013).

A *N. juliflora*, popularmente conhecida como algaroba, também é da família Fabaceae, sendo nativa do continente americano, ocorrendo desde o México ao norte da América do Sul (Oliveira e Queiroz 2020). Ela foi introduzida no Brasil para recuperar áreas degradadas, servir de forrageio para o gado, além da utilização da sua madeira, porém, espalhou-se pela Caatinga, principalmente em áreas degradadas com perturbação antrópica, como, por exemplo, margens de rios (Pometti et al. 2007; Nascimento et al. 2014; Oliveira e Queiroz 2020). Nesses locais, a espécie promove grandes povoamentos, o que pode estar atrelado à sua capacidade competitiva e potencial alelopático (Nakano et al. 2002; Nascimento et al. 2020).

A espécie-alvo escolhida para testar os efeitos alelopáticos das espécies invasoras foi a *L. sativa*, visto que é considerada modelo para estudos de alelopatia em laboratório por apresentar uma germinação rápida e homogênea, além de ser pouco sensível a variações de pH e bastante sensível a aleloquímicos, mesmo se estiverem em baixas concentrações (Macías et al. 2000; Scrivanti 2010; Frescura et al. 2013; Grisi et al. 2013; Reigosa et al. 2013).

2.2. Testes iniciais dos diferentes extratos alelopáticos

Para avaliar os efeitos alelopáticos, a partir das folhas coletadas de indivíduos adultos das espécies invasoras, foi realizada a confecção de três soluções com diferentes métodos de extração foliar aquosa: lixiviados, fresco e seco. Este foi produzido a partir de 10 g das folhas, pesadas com auxílio da balança analítica (0,0001 g), as quais foram trituradas por 1 min em um triturador mecânico (Cruz-Silva et al. 2015). O soluto triturado foi adicionado a 200 mL de água destilada para diluição; em seguida, a solução

foi filtrada com auxílio de papel filtro, obtendo uma proporção de 1:20.

Para o extrato seco, as folhas coletadas foram postas para desidratar em estufa de circulação forçada de ar a uma temperatura constante de 70 °C durante 24h. Após isso, o material foi triturado por 1 min em triturador mecânico. Em seguida, pesou-se 10 g do soluto triturado, adicionou-se 200 mL de água destilada e a solução foi filtrada com auxílio de papel filtro, obtendo a proporção de 1:20 (Wakjira et al. 2005).

Por fim, no extrato dos lixiviados, foram adicionados 10g de folhas frescas em 200 mL de água destilada em um béquer, obtendo a proporção de 1:20. Em seguida, o béquer foi vedado e as folhas ficaram submersas por 24h. Após isso, as folhas foram retiradas da solução com o auxílio de uma peneira, de modo a obter apenas a solução com os lixiviados (Cruz-Silva et al. 2015).

As concentrações de 50% e 25% foram obtidas por meio de diluições aquosas da solução inicial com a concentração de 100%. Para garantir que o efeito provocado pelos extratos era alelopático e não osmótico, foram produzidas soluções padrão de polietilenoglicol 6000 (PEG) com a mesma osmolaridade dos extratos de 100%. A osmolaridade foi calculada a partir da condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a 25 °C) (Grisi et al. 2013; dos Santos et al. 2019).

A partir das soluções alelopáticas produzidas, foram realizados os testes iniciais para a escolha do método de extração utilizado posteriormente no teste dos efeitos dos ciclos nas sementes e mudas. Para isso, foram utilizadas 5 placas de Petri de 9 cm com 20 sementes de *L. sativa* cada, contendo duas folhas de papel-filtro umedecidas com 10 mL das soluções de cada tratamento (25, 50 e 100%). O experimento foi mantido em sala de germinação a 25°C, com fotoperíodo de 12h, avaliado diariamente por 10 dias e o critério de germinação foi a protrusão radicular. Além disso, o tratamento controle foi realizado da mesma forma, porém as folhas de papel filtro eram umedecidas apenas com

175 água destilada.

177 **2.3. Hidratação descontínua e ciclos de rega nas mudas**

178 As sementes das espécies invasoras passaram por 0 e 3 ciclos de Hidratação-
179 Desidratação (HD). Os tempos foram 5h de hidratação e 6h de desidratação para a *P.*
180 *juliflora* (ver capítulo 1) e 6h de hidratação e 5h15min de desidratação para a *L.*
181 *leucocephala* (deCastro et al. 2024). As sementes das duas espécies exóticas passaram
182 pelo processo de escarificação química com ácido sulfúrico concentrado durante 30 min
183 para superar a dormência física e evitar que essa característica interferisse na embebição.

184 As sementes submetidas à hidratação descontínua passaram pela hidratação em
185 placas de Petri de 15 cm com duas folhas de papel toalha umedecidas com água destilada,
186 até atingir a saturação do papel, a 25 °C. Durante a desidratação, as sementes foram
187 colocadas em placas com papel seco e mantidas na estufa de circulação de ar a 40 °C.
188 Após a realização dos três ciclos de HD, as sementes foram distribuídas em dez placas
189 com três sementes para cada tratamento. As sementes ficaram na sala de germinação por
190 10 dias e tiveram sua germinação acompanhada diariamente (Figura 2A). A cada 2 dias
191 de uma semente germinada, esta era transplantada para potes de 7 L, contendo solo
192 comercial e esterco numa proporção de 1:1. Após 10 dias do período germinativo, todas
193 as plântulas nos potes iniciaram o período de aclimação por um mês, com suprimento
194 hídrico diário, segundo a saturação máxima do solo. As sementes que não passaram por
195 ciclos de HD foram semeadas nos potes, seguindo a mesma metodologia descrita
196 anteriormente (Figura 2B).

197 Após isso, os potes com sementes que passaram (CC) e não passaram por ciclos
198 de HD (SC) foram divididos em dois grupos: plântulas submetidas a ciclos de regas (CR)
199 e plântulas que receberam água diariamente (RD). Os ciclos de rega foram de 7 dias, com

as plântulas recebendo água uma vez por semana durante 45 dias (Figura 2C). O desenho experimental foi: CCCR (Ciclos de HD nas sementes + ciclo de rega), SCCR (sem ciclos de HD + ciclo de rega), CCRD (Ciclos nas sementes + rega diária) e SCRD (sem ciclos de HD + rega diária), sendo 10 repetições com uma plântula em cada pote. Na presença de mais de uma plântula no pote, ela foi retirada após a aclimação para evitar uma competição intraespecífica. Esse procedimento foi realizado com as duas espécies invasoras.

2.4. Produção dos extratos alelopáticos das mudas, bioensaios de germinação e desenvolvimento das plântulas

A partir dos resultados encontrados nos testes iniciais, a técnica que apresentou um potencial efeito alelopático foi selecionada e, a partir disso, realizou-se a produção de novos extratos aquosos foliares com o material biológico dos quatro tratamentos realizados (CCCR, SCCR, CCRD e SCRD) nas três diferentes concentrações (25, 50 e 100%).

A escolha das folhas para a produção dos extratos foi feita de modo aleatório, sendo coletadas de todos os indivíduos e, posteriormente, misturadas para homogeneizar as amostras dos indivíduos de mesmo tratamento. O delineamento experimental para o bioensaio de germinação seguiu a metodologia já descrita no tópico anterior.

Para a análise do desenvolvimento inicial das plântulas, as sementes que germinaram ao longo do período de avaliação da germinação foram mantidas nas placas por mais 10 dias em contato com a solução alelopática testada. Após isso, todas as plântulas desenvolvidas em cada repetição foram retiradas das placas e tiveram o comprimento da parte aérea (PA) e subterrânea (PS) mensurado com o auxílio de uma régua graduada (cm).

2.5. Parâmetros avaliados e análises estatísticas

Para verificar os efeitos alelopáticos iniciais e escolher o melhor método de extração das espécies estudadas, foram avaliados: Germinabilidade (G ; %), o T₅₀ (dias) e o Índice de Sincronização (Z).

A G corresponde a germinabilidade, ou seja, a porcentagem de sementes germinadas (Lima et al. 2025), o T₅₀ representa o tempo necessário para que 50% do lote germine (Farooq et al. 2005) e Z corresponde ao quão sincronizada é a germinação (Ranal e Santana 2006; Lima et al. 2025).

Para analisar como os ciclos de HD e de rega influenciam o efeito alelopático além dos três parâmetros descritos anteriormente, também foram avaliados: Coeficiente de velocidade de germinação (CVt ; %), Taxa média de germinação (V ; dias⁻¹), Incerteza da germinação (U ; Bits) (Ranal e Santana 2006; Lima et al. 2025). O CVt corresponde à uniformidade da germinação (Ranal & Santana, 2006; Lima et al., 2025), V indica a velocidade de germinação (Ranal & Santana, 2006) e U é a incerteza do processo germinativo (Ranal e Santana 2006; Lima et al. 2025). Todos os parâmetros germinativos foram calculados com auxílio do pacote '*germinationmetrics package*' no '*software*' R (Aravind et al. 2025).

Além das medidas de PA e PS das plântulas, também foi calculada a inibição alelopática do crescimento na parte aérea (% - IPA) e da parte subterrânea (% - IPS), seguindo uma adaptação da fórmula de Khatun et al. (2023):

$$Inibição (\%) = \left(1 - \frac{\text{comprimento da PA ou PS no tratamento alelopático}}{\text{comprimento da PA ou PS no tratamento controle}}\right) \times 100$$

A partir dos resultados encontrados, foram analisadas a normalidade dos resíduos e a homoscedasticidade através dos testes de Shapiro-wilk e Levene, respectivamente. Modelos lineares generalizados (GLMs) foram realizados para a análise dos resultados e

comparações entre os diferentes tratamentos dos testes iniciais (Tipo de extrato e concentrações, além das comparações com as soluções de mesmo potencial osmótico); e para a análise dos efeitos dos ciclos de HD e ciclos de rega nas concentrações testadas.

Os dados de G foram verificados por um GLM com distribuição binomial e função de ligação logit, os dados dos parâmetros que atenderam à normalidade e homogeneidade tiveram seu modelo ajustado com distribuição Gaussiana e função de ligação identidade, enquanto os dados que não atenderam a esses requisitos foram ajustados com distribuição Gamma e função de ligação log. Além disso, nas análises de IPA e IPS foram utilizados modelos ajustados com distribuição gaussiana. Após os ajustes dos modelos, foram realizadas comparações entre pares de médias, para os GLM gaussianos as comparações foram realizadas com o ajuste de Tukey, enquanto para os GLMs de distribuição binomial ou Gamma foi utilizado o ajuste de Holm.

Além disso, foram realizadas análises exploratórias multivariadas através de uma Análise de Componentes Principais (PCA) com os parâmetros germinativos e de desenvolvimento inicial da *L. sativa* e as variáveis categóricas: ciclos nas sementes, ciclo de rega nas mudas e concentrações dos extratos para verificar como tais variáveis dependentes se comportam conjuntamente.

Para a PCA foi utilizada a função “prcomp”, sendo que os dados foram padronizados. Ao comparar os grupos e testar as diferenças multivariadas, utilizou-se uma Análise Permutacional de Variância (PERMANOVA), através da função “adonis2” do pacote vegan (Oksanen et al. 2024). A matriz de distância empregada foi euclidiana e as permutações foram fixadas em 9999. Por fim, as figuras foram produzidas no R utilizando o pacote ggplot2 (Wickham 2016) e para compor e organizar as múltiplas figuras utilizou-se o pacote cowplot (Wilke 2020).

Todas as análises e modelos estatísticos foram realizados no *software* R (R Core

Team, 2023), com a significância de 5%. Com o intuito de tornar o texto mais fluido e amparar a compreensão dos resultados, as comparações estatísticas dos GLMs realizados foram adicionadas às tabelas suplementares do texto.

3. Resultados

3.1. Testes iniciais do efeito alelopático dos extratos aquosos foliar da *L. leucocephala*

No tratamento controle, a germinação de *L. sativa* apresenta alta germinabilidade (100%), curto tempo de germinação e alta velocidade, além de uma germinação uniforme e síncrona (Figura 3A, 3B, Tabela 1). Porém, quando exposta aos extratos alelopáticos da *L. leucocephala*, o comportamento germinativo da espécie foi alterado, principalmente sob a influência dos extratos lixiviado e seco.

A germinabilidade (G) foi o único parâmetro em que não houve efeito significativo do tipo de extrato alelopático, da concentração ou até mesmo da interação entre eles ($p>0,05$), visto que o valor médio de G foi de 100% independentemente dos tratamentos analisados (Figura 3A). Quanto ao tempo necessário para que 50% do lote germine (t_{50}) (Figura 3B), os extratos fresco e lixiviado não influenciaram neste parâmetro ($p>0,05$); entretanto, o extrato seco promoveu alterações à medida que a concentração aumentava ($p<0,01$). Na concentração C do extrato seco, por exemplo, houve um aumento no tempo em comparação ao tratamento controle, sendo que o tempo passou de 0,5, no controle, para 1,7 dias ($p<0,05$) (Figura 3B).

Os parâmetros coeficiente de velocidade de germinação (CVt) e incerteza da germinação (U) não foram influenciados pelo extrato fresco em nenhuma das concentrações testadas ($p>0,05$), porém tais parâmetros foram influenciados pelos outros dois extratos analisados, principalmente na maior concentração testada (Tabela 1). Ambos os parâmetros tiveram aumentos proporcionados pelo extrato alelopático na

respectiva concentração; além disso, a concentração B também teve um efeito significativo demonstrado pela interação com o extrato na U ($p < 0,05$; Tabela 1).

Quanto a velocidade de germinação (V) e índice de sincronização (Z), os extratos alelopáticos lixiviado e seco influenciaram significativamente tanto pelo aumento da concentração quanto pelo tipo de extrato (Tabela 1). O extrato seco na concentração C promoveu uma germinação mais lenta, visto que reduziu a velocidade de $1,0 \text{ dias}^{-1}$, no controle, para $0,5 \text{ dias}^{-1}$ nesse tratamento (Tabela 1). Com base nos parâmetros germinativos avaliados (Figura 3A e B, Tabela 1), compreende-se que o extrato seco apresentou alterações importantes no comportamento germinativo de *L. sativa*, como por exemplo, diminuição da uniformidade e sincronia. Portanto, esse método de extração foi definido para as análises da alelopatia foliar das sementes e mudas de *L. leucocephala* submetidas aos ciclos de HD e de rega.

Para garantir que os efeitos dos extratos da *L. leucocephala* eram alelopáticos e não osmóticos, observou-se que a G não apresentou diferença ($p > 0,05$) entre os tratamentos controle, extrato alelopático seco e extrato osmótico (PEG 6000). Enquanto que no t_{50} e Z o extrato seco promoveu um aumento nesses parâmetros ($p < 0,05$), diferentemente da solução osmótica (Figura 4A, B, C)

3.2. Testes iniciais do efeito alelopático dos extratos aquosos foliar da *N. juliflora*

O lote de sementes de *L. sativa* testado apresenta uma G alta com cerca de 80% no tratamento controle, porém ao ser submetido aos extratos alelopáticos todos reduziram significativamente esse parâmetro ($P < 0,05$; Figura 5).

O extrato seco ($p < 0,05$) causou a maior redução na G, com o aumento da concentração, até atingir 0% na concentração de 100% (Figura 5). O extrato fresco ($p < 0,05$) apresentou um efeito semelhante ao seco, com G de 30% nas concentrações de

25 e 50% e 4% na maior concentração (100%) (Figura 5). Apesar das concentrações do extrato dos lixiviados não apresentarem diferenças significativas entre elas ($p>0,05$), na maior concentração houve uma redução na G de 80% no controle para 40% (Figura 4).

Por conta da baixa e ausência de G na concentração 100% dos extratos fresco e seco, respectivamente, o T_{50} não foi considerado para esses tratamentos. Na concentração mais baixa, o T_{50} não apresentou diferenças significativas ($p>0,05$) entre os extratos e o controle (Tabela 2). O tratamento dos lixiviados na concentração 100% promoveu um aumento médio de 2 dias em comparação ao controle, com o maior tempo (7,8 dias) entre os tratamentos (Tabela 2).

Com relação ao CVt, o controle apresentou um alto índice (28%), de modo que o lote avaliado possui uma germinação desuniforme (Tabela 2). O tratamento dos lixiviados manteve valores elevados de CVt com 31,7% e 29,8% nas concentrações 25 e 100%, respectivamente (Tabela 2). Além disso, os extratos fresco e seco apresentaram valores menores em comparação com o controle e o lixiviado, com 9,0% na concentração 100% do extrato fresco. Quanto à U, o maior valor também foi encontrado no lixiviado na maior concentração (2,21 bit), apesar de as concentrações 25 e 50% não diferirem significativamente dos outros tratamentos ($p>0,05$) (Tabela 2).

Por fim, com relação à V o efeito alelopático foi influenciado significativamente pelo tipo de extrato ($p<0,05$). Nota-se que houve uma diminuição desse parâmetro ao comparar os tratamentos alelopáticos com o controle, como o lixiviado na concentração 100% em que o valor passou de 0,16 dias⁻¹ no controle para 0,11 dias⁻¹ (Tabela 2). Quanto à Z, nota-se que a menor sincronia foi observada no lixiviado na concentração de 100%, com uma redução de 0,29 em comparação com o controle. Em concentrações mais baixas, não houve diferenças significativas entre os tratamentos ($p>0,05$; Tabela 2).

O efeito alelopático da *N. juliflora* nas sementes de *L. sativa* foi evidenciado pelos

três métodos de extração. Apesar da modificação na G promovida pelos extratos fresco e seco, o extrato dos lixiviados foi escolhido para análise quanto aos ciclos de HD e de rega devido às alterações no comportamento germinativo na totalidade (redução na G, aumento no $t_{(50\%)}$ dias, CVt e U, e diminuição da V e Z) (Tabela 2).

Para verificar se o efeito dos extratos da *N. juliflora* foi alelopático e não apenas osmótico, observou-se que, na G da *L. sativa*, houve uma diminuição provocada pelo extrato dos lixiviados ($p<0,05$), que não foi observada no tratamento com PEG 6000 (Figura 5A). Nos demais parâmetros analisados, observou-se aumento do $t(50\%)$ dias e diminuição do Z ($p<0,05$), diferentemente da solução com PEG 6000 (Figura 6B, C).

3.3. Influência da hidratação descontínua de sementes e dos ciclos de rega em plântulas no efeito alelopático de *L. leucocephala*

O lote de sementes de *L. sativa* avaliado apresentou uma G alta, com valores médios de 100% em quase todos os tratamentos e concentrações testados (Figura 7A), sem diferenças estatísticas significativas entre eles ($p>0,90$).

No tratamento controle, o $t_{(50)}$ médio das sementes testadas foi de 0,5 dias (Figura 5B). Na concentração de 25%, todos os tempos não diferiram do controle ($p>0,05$). Na concentração de 50%, todos os tratamentos alelopáticos testados foram significativamente superiores ao controle ($p<0,01$); os tratamentos SCRD e CCRD promoveram um maior aumento no T_{50} , atingindo cerca de 1,5 dias. Por fim, na concentração em 100%, o CCRD atingiu um valor médio de 1,7 dias, o qual diferiu significativamente dos demais ($p<0,05$). Notou-se que nas maiores concentrações o T_{50} aumenta em relação ao controle (Figura 7B).

A V do lote testado foi alta, com valor médio de $1,0 \text{ dias}^{-1}$, no tratamento controle (Figura 7C). Na menor concentração, todos os tratamentos alelopáticos mantiveram os

resultados semelhantes ao controle ($p>0,50$; Figura 6C). Com o aumento da concentração, todos apresentaram uma redução significativa em relação ao controle ($p<0,01$). Na concentração de 50%, a maioria dos tratamentos reduziu a V pela metade ($0,5 \text{ dias}^{-1}$), com exceção do SCRD, que manteve uma velocidade de $0,7 \text{ dias}^{-1}$. Na maior concentração, o comportamento foi semelhante, com o menor valor encontrado no tratamento CCRD ($0,4 \text{ dias}^{-1}$).

O lote de sementes apresentava uma Z alta com valor médio de 1,0 no controle (Figura 7D). Na concentração mais baixa (25%) não houve diferenças significativas entre os tratamentos e o controle ($p>0,10$). Na concentração de 50%, o Z diminuiu em SCCR e SCRD, sendo 0,6 e 0,55, respectivamente. Tais resultados diferem tanto do controle quanto dos próprios tratamentos na concentração A ($p<0,05$). Na maior concentração (100%), a maioria dos tratamentos não diferiu significativamente do controle ($p>0,30$), porém o tratamento CCRD manteve um Z médio de 0,5 (Figura 7D).

O lote de sementes estudado apresentou uma germinação uniforme no tratamento controle, como observado no CVt igual a 0,0% (Tabela 3). Na concentração de 25%, os demais tratamentos não apresentaram diferenças significativas, exceto o tratamento CCRD que promoveu um aumento no CVt (22,29%) (Tabela 3). Na concentração de 50%, os tratamentos SCCR, CCRD e SCRD apresentaram os maiores valores (26,98%, 19,82% e 35,54%, respectivamente), os quais diferem do controle ($p < 0,05$). Na maior concentração (100%) o CCRD apresentou o maior CVt (40,57%). Além disso, os tratamentos alelopáticos não diferiram significativamente entre si, mesmo com o aumento da concentração (Tabela 3).

Com base na U medida, observou-se que a germinação do lote não apresentou incerteza, com o valor de U igual a zero (Tabela 3). Na concentração mais baixa, não houve diferenças significativas entre os tratamentos alelopáticos e o controle. Com o

aumento da concentração para 50%, os tratamentos SCCR, CCRD e SCR D apresentaram uma elevação significativa nos valores de U, sendo 0,94 bits. Na maior concentração, o tratamento CCRD apresentou o maior valor, sendo 1,23 bits, diferindo significativamente do controle ($p < 0,05$).

Após o período de desenvolvimento avaliado, as plântulas de *L. sativa* atingiram uma PA média de 3,0 cm no tratamento controle (Figura 8A). Houve uma diminuição da PA quando as plântulas eram submetidas aos tratamentos alelopáticos, porém o efeito dos extratos alelopáticos se manteve, independentemente da concentração avaliada. Em todas as concentrações, o tratamento CCCR foi o que promoveu a menor PA, com um valor médio de 1,7 cm (Figura 8A).

Na PS, o comprimento médio foi de 3,5 cm nas plântulas do tratamento controle (Figura 8B). Os tratamentos alelopáticos promoveram uma diminuição na PS das plântulas, exceto o SCR D, que manteve o valor médio de 4,0 cm todas as concentrações testadas, sem diferir do controle ($p > 0,20$; Figura 8B). Quanto aos outros tratamentos, observou-se que na concentração de 25%, o CCCR aumentou a PS em 2,5 em comparação ao controle, obtendo um valor médio de 5,5 cm, mas na maior concentração houve uma redução, atingindo, por exemplo, 1 cm. O CCRD diminuiu PS em todas as concentrações com um valor médio de 1,5 cm. O SCCR, na maior concentração, promoveu o efeito mais drástico na PS, atingindo um valor médio de 0,5 cm, diferindo estatisticamente do controle ($p < 0,01$) e do mesmo tratamento nas concentrações mais baixas.

De modo geral, apesar do tratamento SCR D na concentração de 50% ter promovido um efeito estimulatório, o qual não diferiu significativamente em relação ao mesmo tratamento nas demais concentrações ($p > 0,05$), nota-se que todos os tratamentos alelopáticos promoveram uma IPA positiva, ou seja, um efeito inibitório (Tabela 4). O CCCR foi o tratamento que teve a maior IPA, apresentando valores médios de 43,13%,

40,06% e 41,92% nas respectivas concentrações (25, 50 e 100%).

Quanto à IPS, o SCRD promoveu um estímulo, sem diferença significativa entre as concentrações testadas ($p < 0,01$). Os tratamentos CCCR e SCCR foram os que promoveram uma maior IPS, 73% e 87%, respectivamente, na concentração de 100%. Em uma concentração baixa (25%), o CCCR estimulou o crescimento radicular (-63,77%).

3.4. Influência da hidratação descontínua de sementes e ciclos de rega em plântulas sobre o efeito alelopático de *N. juliflora*

Ao avaliar o efeito dos extratos alelopáticos de *N. juliflora* que passaram por ciclos nas sementes e nas mudas, os parâmetros germinativos não foram influenciados pelos tratamentos avaliados, de modo que o comportamento germinativo foi semelhante entre o controle e os demais tratamentos. O lote de sementes testado apresentou uma porcentagem de germinação de 100% independentemente das variáveis analisadas ($p > 0,05$; Figura 9A).

Quanto ao T_{50} (Figura 9B), as sementes apresentaram um tempo médio de 0,5 dias, sem diferenças significativas entre os tratamentos alelopáticos e o controle ($p > 0,05$). A V encontrada nos tratamentos foi um valor médio de 1,0 dias⁻¹ com algumas reduções observadas em SCRD na concentração de 25%, SSCR na de 50% e CCCR e CCRD na de 100%, porém sem diferir significativamente em relação ao controle e demais tratamentos ($p > 0,05$; (Figura 9C).

A germinação do lote testado foi bastante síncrona, sendo o valor médio de Z encontrado 1,0 (Figura 9D). O único tratamento que teve uma alteração significativa em relação ao controle e aos demais tratamentos alelopáticos, na mesma concentração, foi SCRD na concentração de 25% ($p < 0,01$), com uma diminuição de 0,1 na sincronia.

Porém, com o aumento da concentração, a germinação voltou a se tornar síncrona em todas as variáveis testadas.

A germinação do lote avaliado apresentou uma alta uniformidade, com um CVt de 0%. Apenas o tratamento SCRD na concentração de 25% foi significativamente diferente do controle e dos demais tratamentos, com valor de 17% ($p < 0,01$; Tabela 5). Com o aumento da concentração, o mesmo tratamento retornou a 0% ($p > 0,05$). A incerteza da germinação (U) exibiu padrão semelhante ao CVt, pois não evidenciou diferenças significativas entre os tratamentos ($p > 0,05$; Tabela 6), exceto o SCRD na concentração de 25%, o qual diferiu significativamente, com um valor de 0,23 bit.

Quanto ao desenvolvimento inicial das plântulas, a PA exibiu um valor médio de 2,6 cm no controle, e, apesar das reduções causadas pelos tratamentos alelopáticos e pela concentração, nenhum deles teve efeito significativo em comparação ao controle ($p > 0,05$; Figura 10A).

A média de PS no controle foi 2,5 cm (Figura 10B). O aumento da concentração não alterou os efeitos dos tratamentos alelopáticos, sendo que não houve diferenças significativas entre eles nas três concentrações avaliadas ($p = 1,00$). Os extratos alelopáticos causaram efeitos significativos em relação ao controle. Os tratamentos CCCR e CCRD (na concentração de 25%) e SCRD (na concentração de 100%) promoveram um aumento de 1,0 cm, enquanto o maior aumento promovido foi de 1,5 cm no tratamento SCCR na concentração de 50% (Tabela 9).

Os tratamentos avaliados causaram efeito inibitório ao ser analisada a IPA (Tabela 6). O tratamento CCCR apresentou os maiores valores em todas as concentrações analisadas, sendo 15,97% (na concentração de 25%) o maior, porém os tratamentos não diferiram estatisticamente ($p > 0,05$).

Com relação ao IPS, observou-se que os tratamentos alelopáticos estimularam o

crescimento das raízes das plântulas testadas (Tabela 6). Na maior concentração, o tratamento SCRD promoveu um valor de IPS de -53,07%. Apesar dos diferentes valores de IPS, notou-se que não houve diferenças significativas entre eles ($p>0,05$).

Influência da hidratação descontínua na alelopatia de espécies invasoras sobre *L. sativa*

3.5. Influência conjunta da hidratação descontínua, ciclos de rega e concentração nos efeitos alelopáticos de espécies invasoras sobre *L. sativa*

A Análise dos Componentes Principais (PCA) dos extratos alelopáticos da *L. leucocephala* para os parâmetros sob influência do ciclo nas sementes, ciclo nas mudas e concentração do extrato teve, em seus dois primeiros eixos, um total de 71,7% da variação total dos dados (Eixo I: 54,1% e Eixo II: 17,6%) (Figura 11). As variáveis que mais contribuíram para a formação do primeiro eixo foram U, Z, t50, CVt e V (Figura Suplementar 1A), sendo elas associadas ao comportamento germinativo, enquanto o segundo teve a maior contribuição de PA e PS, sendo assim, associadas ao desenvolvimento inicial (Figura Suplementar 1B).

Na figura 10A, observa-se que os pontos foram organizados pelos polígonos de agrupamento representados em azul claro as sementes que passaram por ciclo (CC) e em azul escuro as que não passaram (SC). Nota-se que os grupos não são totalmente sobrepostos e ao realizar a PERMANOVA para conferir a diferença significativa entre os grupos, observou-se que houve influência (Tabela 7). Assim, apesar de haver uma sobreposição das elipses (Figura 11A), evidencia-se que o fator ciclo nas sementes explica apenas 4% da variação total no conjunto das variáveis analisadas.

Na figura 11B, observa-se que os pontos marrons representam as plântulas que passaram por ciclos de rega (CR) e os verdes, as plântulas que não passaram (RD). Neste gráfico, foi possível verificar que também houve uma sobreposição parcial nos agrupamentos. Com a PERMANOVA, observou-se que há uma diferença significativa

entre os grupos (Tabela 7), porém esse fator explica apenas 2% da variação total entre os grupos.

Na figura 11C, ao agrupar os pontos de acordo com a concentração, nota-se que a concentração A (pontos verdes) e o controle (pontos amarelos) estão próximos e mais à direita do gráfico apontando para V, PA e PS. A concentração B (pontos azuis) está mais deslocada para a esquerda, indicando uma maior associação com t_{50} , U e CVt. Por fim, a concentração C (pontos roxos) ficou mais espalhada com uma ampla dispersão, porém tendeu a ficar na região superior com uma maior associação com Z e t_{50} . De modo geral, os agrupamentos se sobrepõem, porém vários pontos encontram-se bastante distribuídos sem sobreposição, como por exemplo a concentração B e o controle, indicando uma diferença significativa entre os grupos (Tabela 7), sendo que este fator explica 39% da organização dos grupos. Ao comparar os tratamentos entre si (Tabela suplementar 1), observou-se que apenas as concentrações B e C não são significativamente diferentes.

Para *N. juliflora*, a Análise dos Componentes Principais (PCA), considerando os fatores ciclo nas sementes, ciclo nas mudas e concentração do extrato, indicou que os dois primeiros eixos explicaram 76,7% da variação total dos dados (Eixo I: 60,5% e Eixo II: 16,2%) (Figura 12). Assim como observado para *L. leucocephala*, as variáveis U, Z, t_{50} , CVt e V apresentaram maior contribuição para a formação do Eixo I, enquanto PA e G foram as principais responsáveis pela variação associada ao Eixo II.

No que diz respeito às contribuições na organização das PCAs, notou-se que PA e G contribuem de mesmo modo apontando na mesma direção, sendo opostas à contribuição da PS. CVt, U e t_{50} contribuem do mesmo modo e estão praticamente opostas a V e Z (Figura 12). Na figura 11A, os pontos foram organizados pelos polígonos de agrupamento, sendo que a maior parte dos pontos azuis claros (CC) e azuis escuros (SC) estava bastante agrupada no lado esquerdo do gráfico na região que V e Z apontam. Os

grupos são bem sobrepostos e ao realizar a PERMANOVA confirmou-se que não houve diferença significativa entre esses agrupamentos (Tabela 7). Na figura 12B foi possível verificar que, assim como na figura 12A, os agrupamentos ficaram sobrepostos e ao realizar a PERMANOVA, percebeu-se que também não houve diferenças significativas entre esses grupos (Tabela 7).

Por fim, na figura 12C observa-se que todos os pontos, com exceção dos amarelos (grupo controle), também se posicionaram no sentido dos vetores de t50, U e CVt. Dentre os três fatores avaliados nas PCAs da *N. juliflora*, observou-se que a concentração foi a única a explicar a organização dos dados com um valor acima de 10% (Tabela 7). De modo geral, no lado esquerdo do gráfico, todos os agrupamentos se sobrepõem, porém o grupo controle não se sobrepõe aos demais no lado direito, o que confirma a diferença significativa entre esses grupos encontrada na PERMANOVA (Tabela 7). Ao analisar a comparação entre esses níveis do tratamento de concentração, observou-se que a diferença está entre o controle e as outras concentrações (Tabela suplementar 1).

4. Discussão

A capacidade de interagir com o meio ao passar por situações ambientais prévias e através dessa interação ser capaz de liberar aleloquímicos por diferentes métodos para dificultar o estabelecimento de outras espécies faz com que o potencial alelopático seja uma característica que aumenta a invasividade de espécies invasoras como a *L. leucocephala* e *N. juliflora*, de modo a elevar sua capacidade competitiva e tolerância ao ambiente invadido (Callaway e Ridenour 2004; Ahmed et al. 2008; Patnaik et al. 2017; Sahrir et al. 2023; Yu et al. 2023; Alvim et al. 2023; Musalami et al. 2023; Shan et al. 2023; Li et al. 2025).

Os resultados deste trabalho corroboram a primeira hipótese, uma vez que houve

diferenças na resposta alelopática observadas nas sementes de *L. sativa*. Apesar dos extratos de *L. leucocephala* não alterarem a G, todos os outros parâmetros foram afetados, principalmente pelos lixiviados e extratos das folhas secas, sendo que este promoveu um maior aumento no tempo necessário para a germinação. Quanto aos testes iniciais com a *N. juliflora*, ficou perceptível que ela apresenta efeitos em todos os métodos de extração demonstrados na germinação da espécie-alvo. Contudo, apenas o extrato dos lixiviados possibilitou uma relativa quantidade de sementes germinadas na maior concentração mantendo as alterações nos demais parâmetros.

A liberação dos aleloquímicos ocorre de diferentes maneiras no ambiente, como pôde ser observado nos resultados de Kato-noguchi e Kurniadie (2022) ao perceber que a *L. leucocephala* pode produzir e liberar seus aleloquímicos através de três formas: lixiviados pela chuva, decomposição e exsudação radicular, sendo assim a forma de extração dos compostos deve se relacionar a essas formas de liberá-los (Sahrir et al. 2023). Estudos com a *N. juliflora*, por exemplo, demonstram que a extração por lixiviado foliar seria uma forma que se assemelharia ao processo de precipitação, o qual carregaria compostos presentes nas folhas (Nakano et al. 2003).

O fato de as espécies apresentarem um efeito intenso na maioria das formas de extração evidencia a facilidade com que os aleloquímicos podem ser disponibilizados para o ambiente, o que pode ser uma das características que justificam a ampla ocorrência delas em locais invadidos (Pasiecznik 2017; Hussain et al. 2021; Balah et al. 2024). Logo, a “hipótese das novas armas” enfatiza que quando as espécies invasoras invadem um local, elas apresentam aleloquímicos desconhecidos pela história evolutiva das espécies nativas (Callaway e Aschehoug 2000; Callaway e Ridenour 2004). Dessa forma, a alteração do comportamento germinativo promovido por espécies exóticas invasoras evidencia-se como uma estratégia importante para a ocupação de novos nichos e, como

consequência, aumento do sucesso da invasão (Kalisz et al. 2021).

Ambientes com características hídricas irregulares, como a Caatinga, podem promover hidratação descontínua nas sementes e ciclos de rega das espécies exóticas invasoras durante os estádios mais críticos do desenvolvimento dessas plantas (Fay e Schultz 2009; Oliveira et al. 2021; deCastro et al. 2024; Pereira-da-Silva et al. 2024; Lima et al. 2025). Sendo assim, tais situações poderiam se assemelhar a situações estressantes e aumentar a alelopatia desses indivíduos, pois promoveria a alocação dos carbonos utilizados no crescimento vegetal para a produção de compostos químicos de tolerância ao estresse e defesa, como por exemplo flavonoides, fenóis, taninos e alcaloides, os quais também são alelopáticos ao entrar em contato com outros indivíduos quando extraídos (Pedrol et al. 2006; Skoneczny et al. 2019; Medina Vilar et al. 2020; Shan et al. 2023; Li et al. 2025).

Ao analisar a influência da hidratação descontínua e ciclos de rega no efeito alelopático da *L. leucocephala*, foi percebido que, assim como nos testes iniciais, a quantidade de sementes germinadas não é afetada, porém os demais parâmetros são, como observado nas análises univariadas e agrupamento nas multivariadas. Através dos efeitos promovidos no comportamento germinativo e desenvolvimento inicial, os tratamentos CCRD e CCCR tiveram maior destaque. Apesar de que este teve uma maior influência no estabelecimento das plântulas, levando em consideração PA e PS, mesmo que na concentração A tenha estimulado a parte radicular da espécie.

Como mostrado em outros estudos, esse efeito estimulatório de substâncias aleloquímicas em baixas concentrações dos extratos pode estar relacionado ao efeito hormético, tornando-se inibitório apenas quando aplicado em altas concentrações (Perveen, 2021; Wang et al. 2022). Assim, a segunda hipótese foi corroborada na *L. leucocephala*, pois o estresse duplo promovido no CCCR ocasiona uma redução no

desenvolvimento das plântulas e, conseqüentemente, impede o estabelecimento das espécies.

Com relação à *N. juliflora*, notou-se que a segunda hipótese foi refutada, visto que, nos parâmetros germinativos e de PA nas análises univariadas e multivariadas não houve um efeito alelopático significativo que diferenciasse os tratamentos alelopáticos do controle. Contudo, no comprimento radicular todos os tratamentos estimularam o crescimento, como evidenciado pelos valores negativos no IPS.

Em bioensaios de germinação como o desenvolvido neste trabalho, as raízes são órgãos vegetais mais expostos aos aleloquímicos, sendo assim, o efeito alelopático da *N. juliflora* foi mais evidenciado na porção radicular (Musalami et al. 2023; Bibi et al. 2023). Logo, em um contexto ecológico, as espécies-alvo da planta invasora promoveriam o crescimento radicular como uma estratégia de fuga, pois ao perceberem as substâncias alelopáticas, redirecionariam suas raízes para áreas menos afetadas por aleloquímicos para evitar o contato e assim garantir seu estabelecimento no meio (Wang et al. 2022).

Apesar de bastante utilizado em testes alelopáticos, o método de extração dos lixiviados pode não ser o mais indicado para verificar o efeito da hidratação descontínua e dos ciclos na *N. juliflora* (Zhang et al. 2020), pois os aleloquímicos hidrossolúveis promovidos por essas situações estressantes prévias na planta doadora podem não ter sido totalmente extraídos através do processo de lixiviação.

Na análise conjunta notou-se que parâmetros, como, por exemplo, o t50 e V, ficaram opostos indicando uma contribuição oposta na organização dos resultados promovida pela resposta alelopática das duas espécies. Essa relação é bastante evidenciada na literatura, visto que quando a alelopatia promove um aumento no tempo da germinação, há uma conseqüente redução na velocidade (Pedrol et al. 2006). Especificamente no caso da *N. juliflora*, houve um aumento da PA sendo oposto à PS,

enquanto na *L. leucocephala* esses parâmetros contribuíam da mesma forma, indicando como o efeito alelopático dessas duas espécies se manifestou de formas diferentes no desenvolvimento da espécie-alvo (Figura 9; 10).

A terceira hipótese foi confirmada através das análises univariadas e multivariadas, principalmente nas análises da *L. leucocephala*. Ao avaliar a PCA do fator concentração da *L. leucocephala*, por exemplo, observou-se que a alelopatia apresentava uma dose-dependência, promovendo um retardo na germinação, aumentando a incerteza e variabilidade da germinação com uma consequente diminuição em atributos do desenvolvimento das plântulas afetadas. Além disso, na literatura também podem ser observados outros trabalhos que demonstram a relação da concentração com o efeito alelopático da *L. leucocephala* e até da *N. juliflora* (Costa e Freire 2018; Alvim et al. 2023).

O aumento dos aleloquímicos no ambiente poderia estar relacionado com a intensificação da produção mediante situações passadas pelas plantas-doadoras, liberação no ambiente e promoção do contato dessas substâncias com as espécies-alvo (Pedrol et al. 2006; Honda e Borthakur 2019). Essa alta concentração pode provocar alterações semelhantes às observadas no presente trabalho, visto que a atividade enzimática e a divisão celular podem ser afetadas durante o início da germinação, por exemplo (Pedrol et al. 2006).

Dentre os aleloquímicos presentes na *L. leucocephala* destacam-se os ácidos fenólicos, flavonoides e mimosina (Ahmed et al. 2008; Alvim et al. 2023), sendo que esta, como observado nos estudos de Honda e Borthakur (2019) e Rodrigues-Corrêa et al. (2019), pode aumentar sua concentração quando a planta-doadora passa por situações estressantes. No caso da *N. juliflora*, em estudos com o lixiviado, já foram encontrados aleloquímicos como siringina, (-)-lariciresinol e o L-triptofano (Nakano et al. 2001;

Nakano et al. 2002).

Por fim, a hidratação descontínua que estimula a memória de hidratação das sementes de *L. leucocephala* e os ciclos de rega podem favorecer o efeito alelopático, de modo a otimizar o processo de invasão biológica desta espécie (deCastro et al. 2024). Apesar da *N. juliflora* apresentar a memória de hidratação nas suas sementes (Hora e Meiado 2025 - dados ainda não publicados), notou-se que o método de extração não favoreceu a percepção das alterações provocadas pelos ciclos. Porém, entende-se que ao passar pelas situações prévias das irregularidades hídricas, *N. juliflora* pode ter adquirido uma maior tolerância ao estresse de forma que não intensificou seu efeito alelopático, indicando uma possível memória ao estresse das suas mudas (Sadhukhan et al. 2022).

Além disso, cada espécie vegetal apresenta variações espaciais e temporais na produção, na intensidade e até mesmo na liberação de aleloquímicos (Macel et al. 2010). Sendo assim, a idade dos indivíduos também pode ser um fator que influencia o potencial alelopático, visto que a *L. leucocephala* apresenta um ciclo de vida rápido, conseguindo reproduzir-se em 4-6 meses a partir da germinação (Parrota 1992), enquanto a *N. juliflora*, por apresentar um ciclo mais lento, pode não ter um aparato metabólico totalmente desenvolvido em indivíduos mais jovens.

Desta forma, entende-se que a alelopatia é um processo dinâmico que pode ser alterado por condições prévias às quais as plantas-doadoras são submetidas, além de condições intrínsecas da espécie também influenciarem. Portanto, ciclos de hidratação e desidratação de sementes e ciclos de rega nas mudas nas plantas alelopáticas podem intensificar o efeito alelopático em espécies, como, por exemplo, a *L. leucocephala*.

5. Conclusão

Os resultados deste artigo são pioneiros em demonstrar como os ciclos prévios afetam o efeito alelopático dessas espécies, modulando possivelmente a liberação e

expressão dos aleloquímicos. Desta forma, sugere-se que o modo como a espécie exótica invasora passa por estresses prévios e estimula a alelopatia pode indicar uma adaptação das espécies para suportar as situações dos novos ambientes invadidos e ainda assim conquistar novos nichos através do potencial alelopático.

Apesar de experimentos em laboratório não serem totalmente fiéis ao comportamento no ambiente natural, este trabalho propõe novas perspectivas para a compreensão da ecologia da alelopatia e invasão biológica. Novos estudos podem analisar, por exemplo, o efeito em espécies-alvo nativas, o efeito alelopático no solo ou até mesmo promover uma análise metabolômica do perfil químico dos compostos que são liberados e alterados na passagem dos estresses prévios. Assim, este trabalho ressalta que a alelopatia mediada por estresses prévios pode ser a chave para o entendimento parcial do sucesso invasivo dessas espécies, com possíveis implicações no manejo de exóticas e em projetos de recuperação ambiental.

Área de coleta das espécies exóticas, Sergipe

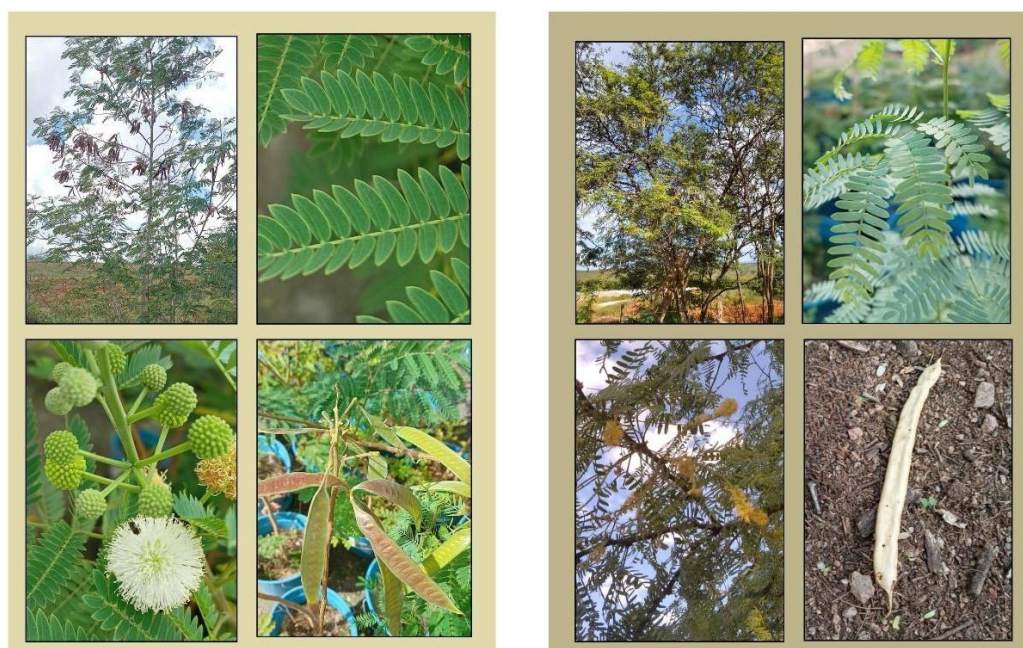
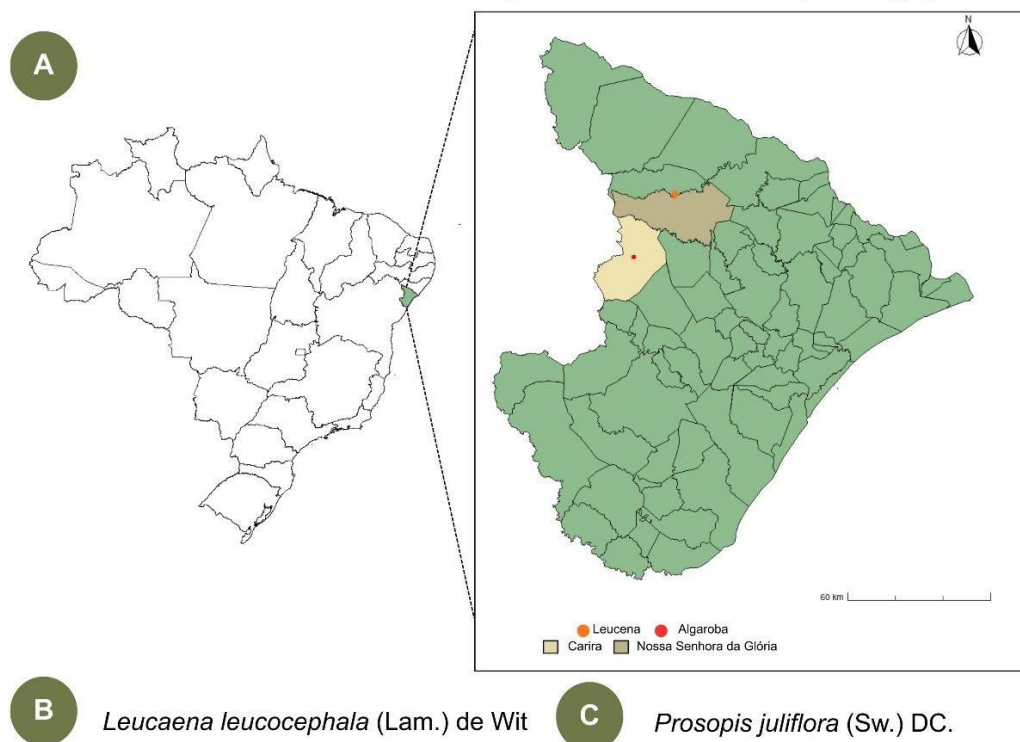


Figura 1. A) Áreas de coleta do material vegetal de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae) e *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* (Fabaceae). B) Aspectos morfológicos da espécie *L. leucocephala*. C) Aspectos morfológicos de *N. juliflora*.

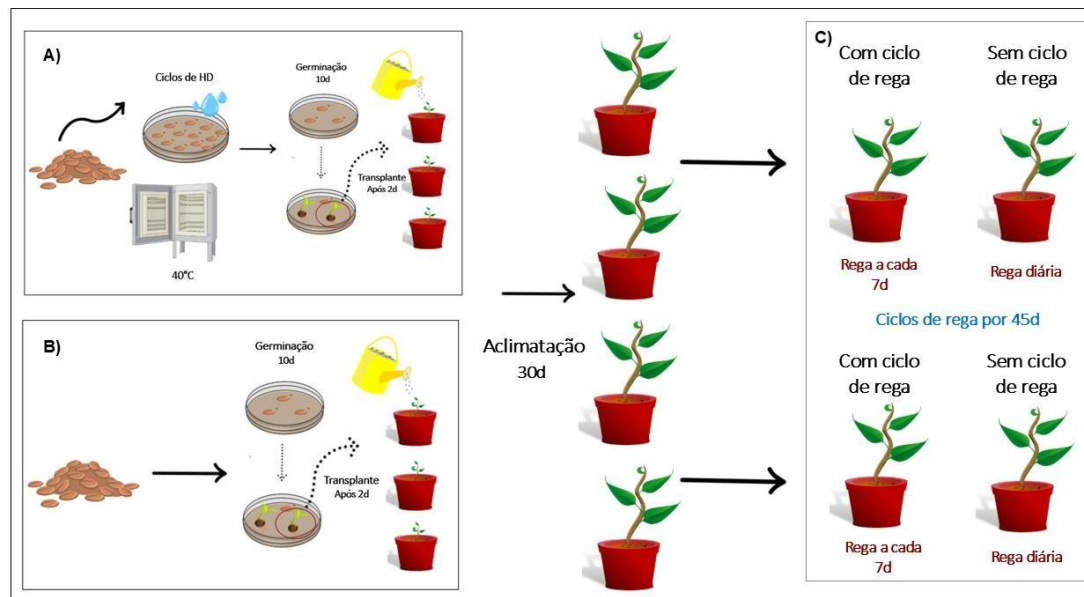


Figura 2. Desenho experimental dos ciclos de hidratação e desidratação (HD) nas sementes e de rega nas plântulas das duas espécies exóticas estudadas. A) Sementes sendo submetidas aos ciclos de HD e transplantadas para o posterior desenvolvimento. B) Sementes que não passaram pelos ciclos de HD são transplantadas da mesma forma que as submetidas aos ciclos. C) Plântulas após a aclimação, sendo um grupo com ciclo de rega e outro sem ciclo de rega, recebendo água diariamente.

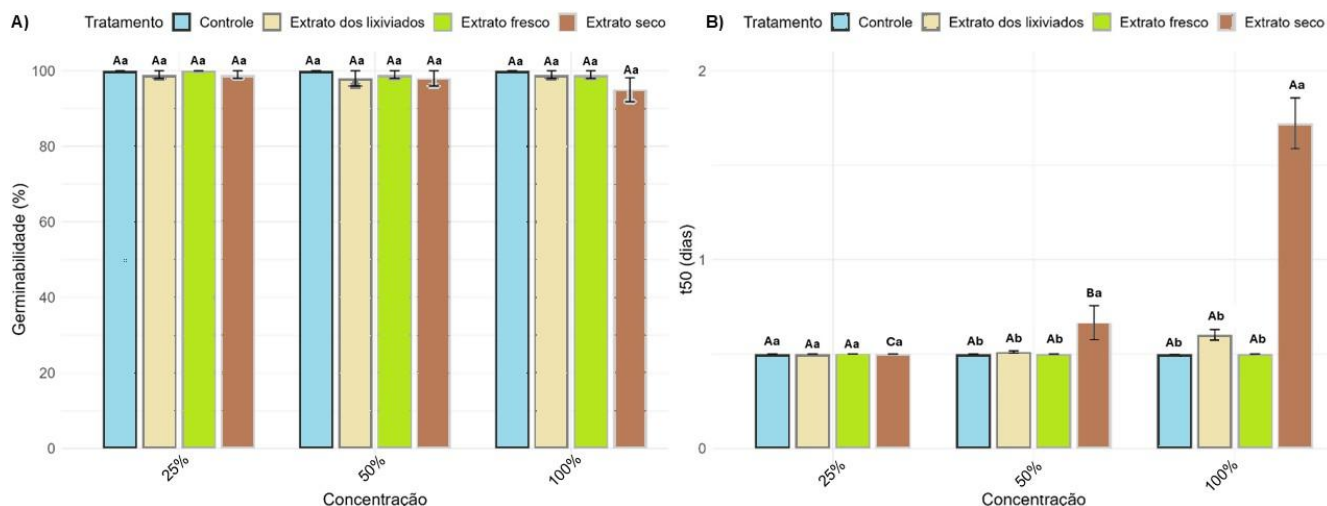


Figura 3. Efeito dos diferentes modos de extração alelopática foliar (lixiviados, fresco e seco) de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae) em diferentes concentrações (25%, 50% e 100%) nos parâmetros germinativos das sementes de *Lactuca sativa* L. (Asteraceae). A) Germinabilidade (%). B) t50 (dias). Letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento em diferentes concentrações, enquanto letras minúsculas comparam a mesma concentração em diferentes tratamentos.

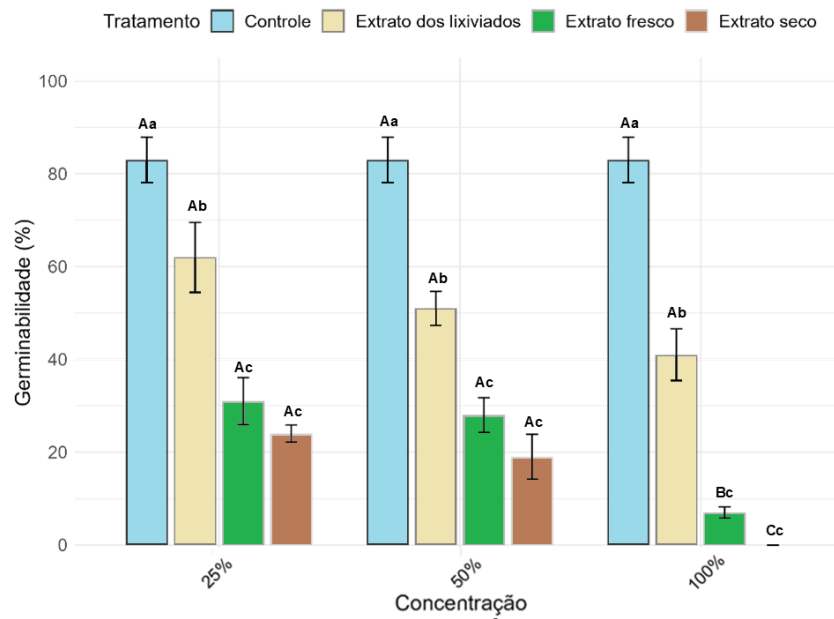


Figura 4. Efeito dos diferentes modos de extração alelopática foliar (lixiviados, fresco e seco) de *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* (Fabaceae) em diferentes concentrações (25%, 50% e 100%) na germinabilidade (%) das sementes de *Lactuca sativa* L. (Asteraceae). Letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento em diferentes concentrações, enquanto letras minúsculas comparam a mesma concentração em diferentes tratamentos.

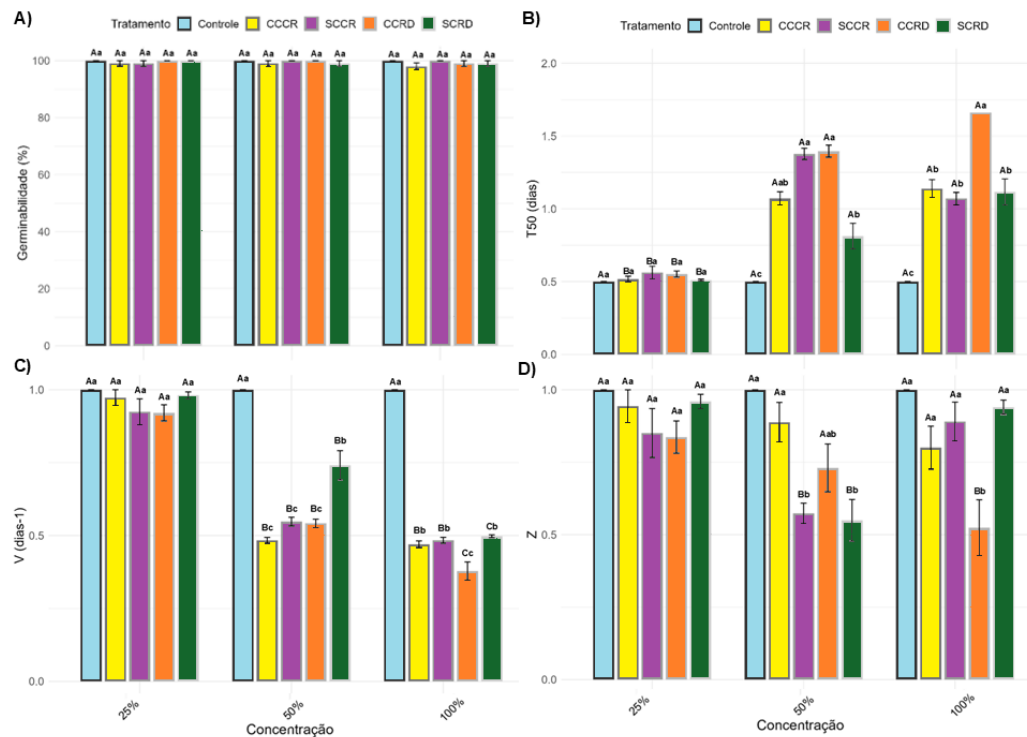


Figura 5. Efeito dos ciclos nas sementes (CC) e ciclos de rega (CR) no extrato alelopático de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae) em diferentes concentrações (25%, 50% e 100%) em parâmetros germinativos da *Lactuca sativa* L. (Asteraceae). RD: rega diária; SC: sem ciclo nas sementes. A) Germinabilidade (%). B) t50 (tempo para germinação de 50% do lote - dias). C) V (Velocidade Média de Germinação - dias⁻¹). D) Z (índice de sincronização). Letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento em diferentes concentrações, enquanto letras minúsculas comparam a mesma concentração em diferentes tratamentos.

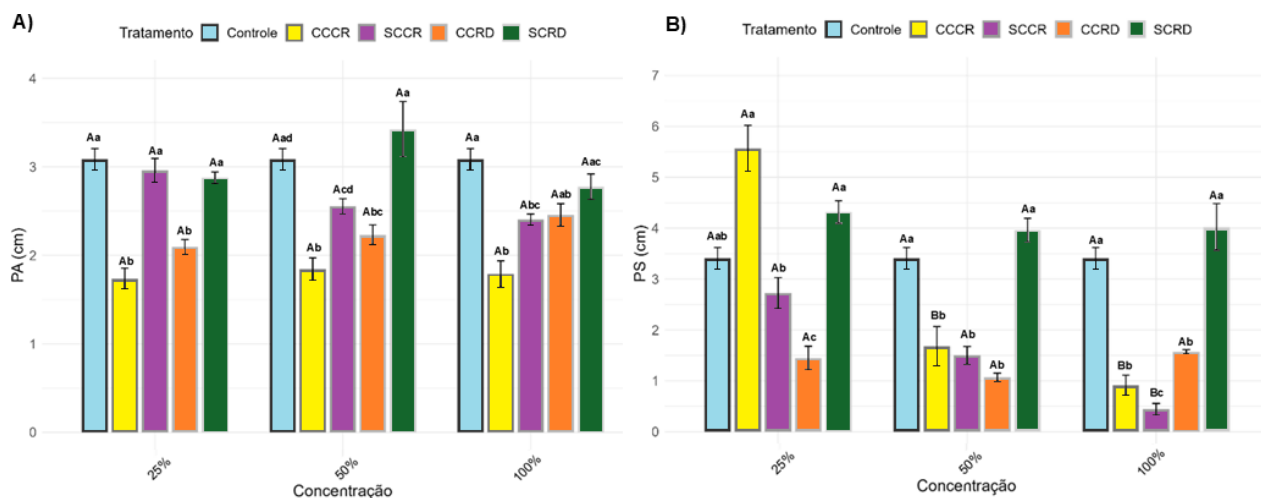


Figura 6. Efeito dos ciclos nas sementes (CC) e ciclos de rega (CR) no extrato alelopático de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae) em diferentes concentrações (25%, 50% e 100%) no desenvolvimento inicial da *Lactuca sativa* L. (Asteraceae). RD: rega diária; SC: sem ciclo nas sementes. A) Comprimento da Parte aérea (PA - %). B) Comprimento da parte subterrânea (PS - %). Letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento em diferentes concentrações, enquanto letras minúsculas comparam a mesma concentração em diferentes tratamentos.

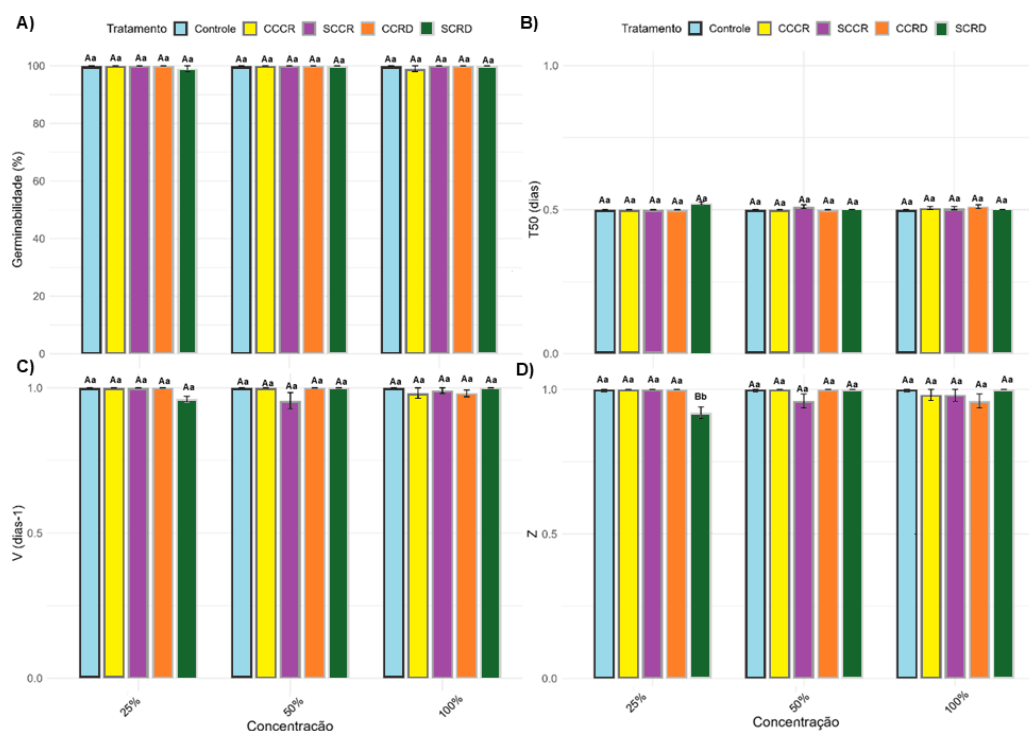


Figura 7. Efeito dos ciclos nas sementes (CC) e ciclos de rega (CR) no extrato alelopático de *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* (Fabaceae) em diferentes concentrações (25%, 50% e 100%) no desenvolvimento inicial da *Lactuca sativa* L. (Asteraceae). RD: rega diária; SC: sem ciclo nas sementes. A) Germinabilidade (%). B) t50 (tempo para germinação de 50% do lote - dias). C) V (Velocidade Média de Germinação - dias⁻¹). D) Z (índice de sincronização). Letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento em diferentes concentrações, enquanto letras minúsculas comparam a mesma concentração em diferentes tratamentos.

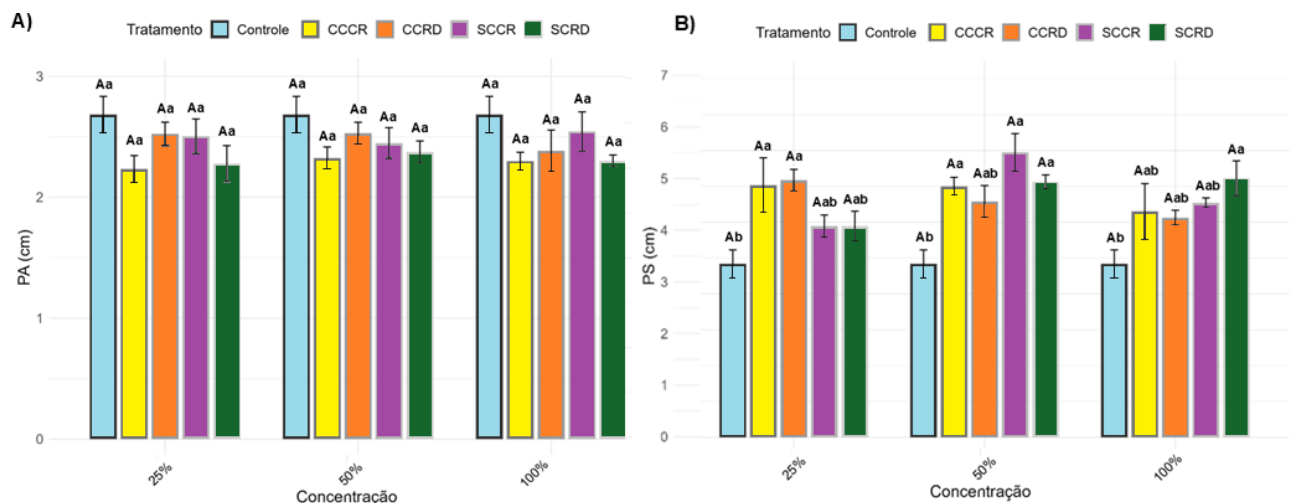
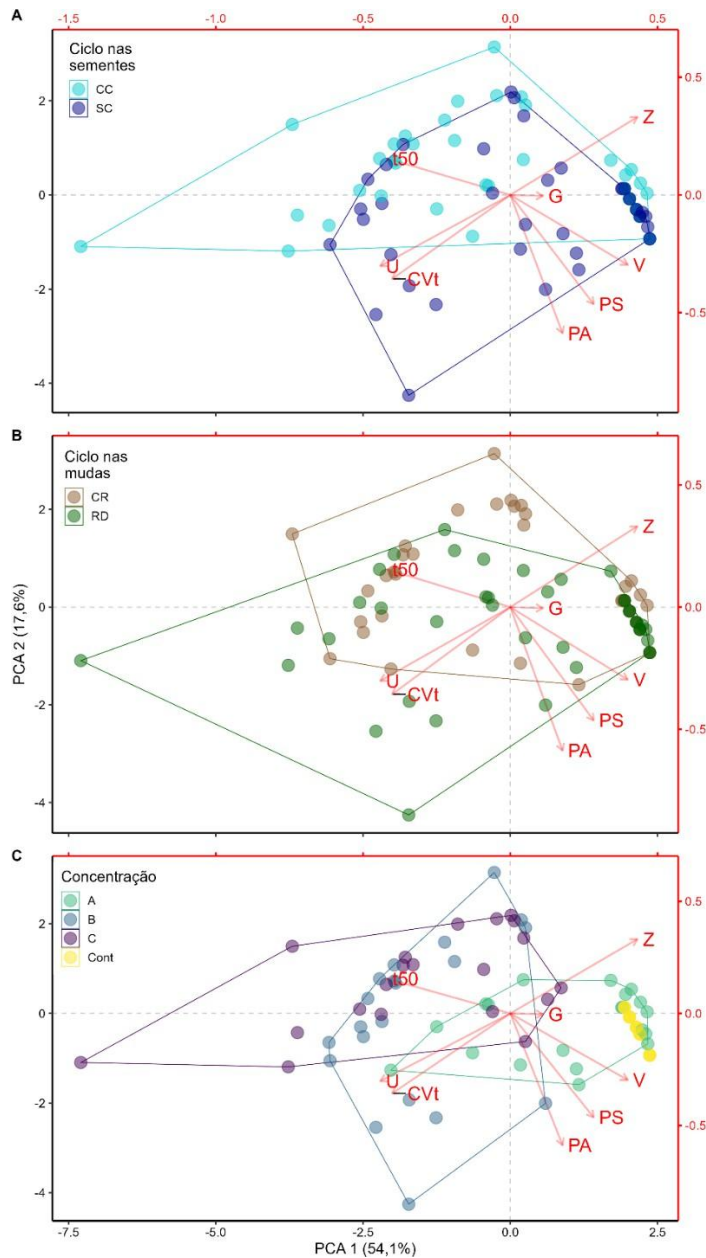


Figura 8. Efeito dos ciclos nas sementes (CC) e ciclos de rega (CR) no extrato alelopático de *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* (Fabaceae) em diferentes concentrações (25%, 50% e 100%) no desenvolvimento inicial da *Lactuca sativa* L. (Asteraceae). RD: rega diária; SC: sem ciclo nas sementes. A) Comprimento da Parte aérea (PA - %). B) Comprimento da parte subterrânea (PS - %). Letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento em diferentes concentrações, enquanto letras minúsculas comparam a mesma concentração em diferentes tratamentos.



762

763

764

765

766

767

768

769

770

Figura 9. Análises de Componente Principal (PCAs) dos parâmetros germinativos (G: germinabilidade, t_{50} : tempo necessário para que 50% do lote germine, V: taxa média de germinação, CVt: coeficiente de velocidade de germinação, U: incerteza da germinação e Z: índice de sincronização) e de desenvolvimento inicial (PA: comprimento da parte aérea e PS: comprimento da parte subterrânea) de *Lactuca sativa* L. (Asteraceae) sobre o efeito dos A) ciclos nas sementes (CC), B) ciclos de rega (CR) e C) concentrações (Cont – 0%, A- 25%, B- 50% e C- 100%) nos extratos alelopáticos de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae).

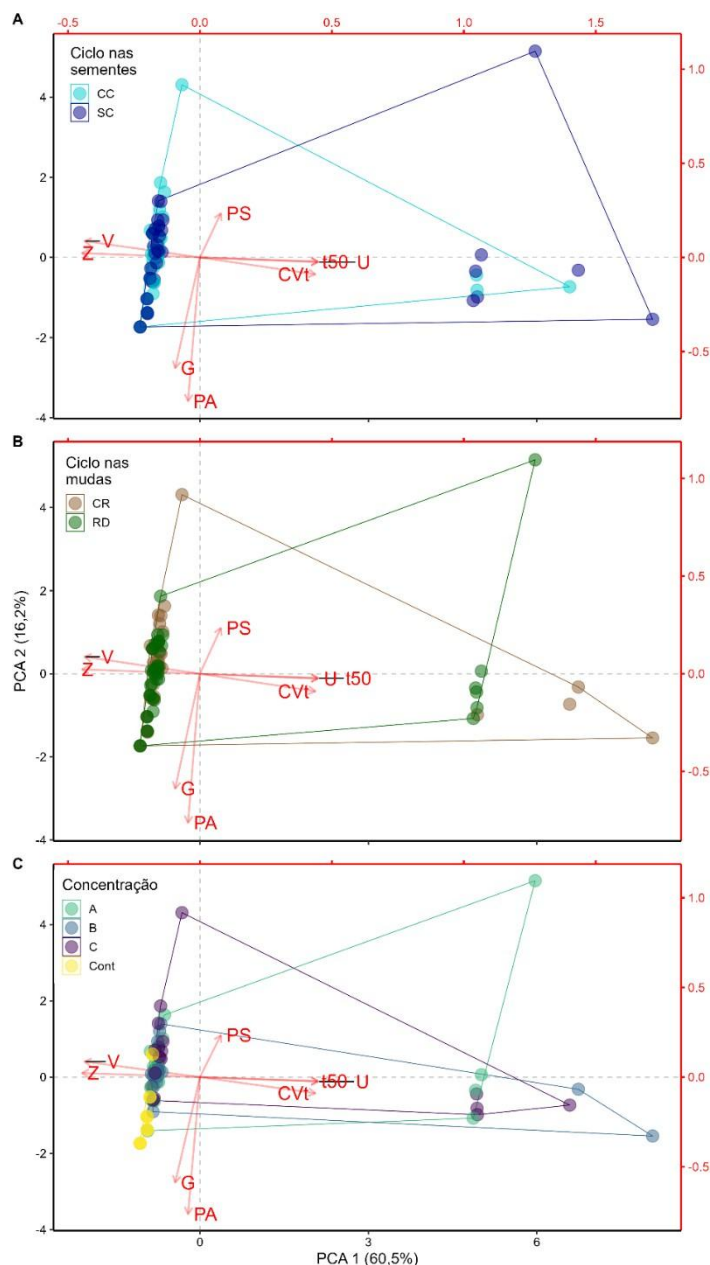


Figura 10. Análises de Componente Principal (PCAs) dos parâmetros germinativos (G: germinabilidade, t₅₀: tempo necessário para que 50% do lote germine, V: taxa média de germinação, CVt: coeficiente de velocidade de germinação, U: incerteza da germinação e Z: índice de sincronização) e de desenvolvimento inicial (PA: comprimento da parte aérea e PS: comprimento da parte subterrânea) de *Lactuca sativa* L. (Asteraceae) sobre o efeito dos A) ciclos nas sementes (CC), B) ciclos de rega (CR) e C) concentrações (Cont – 0%, A- 25%, B- 50% e C- 100%) nos extratos alelopáticos de *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* (Fabaceae).

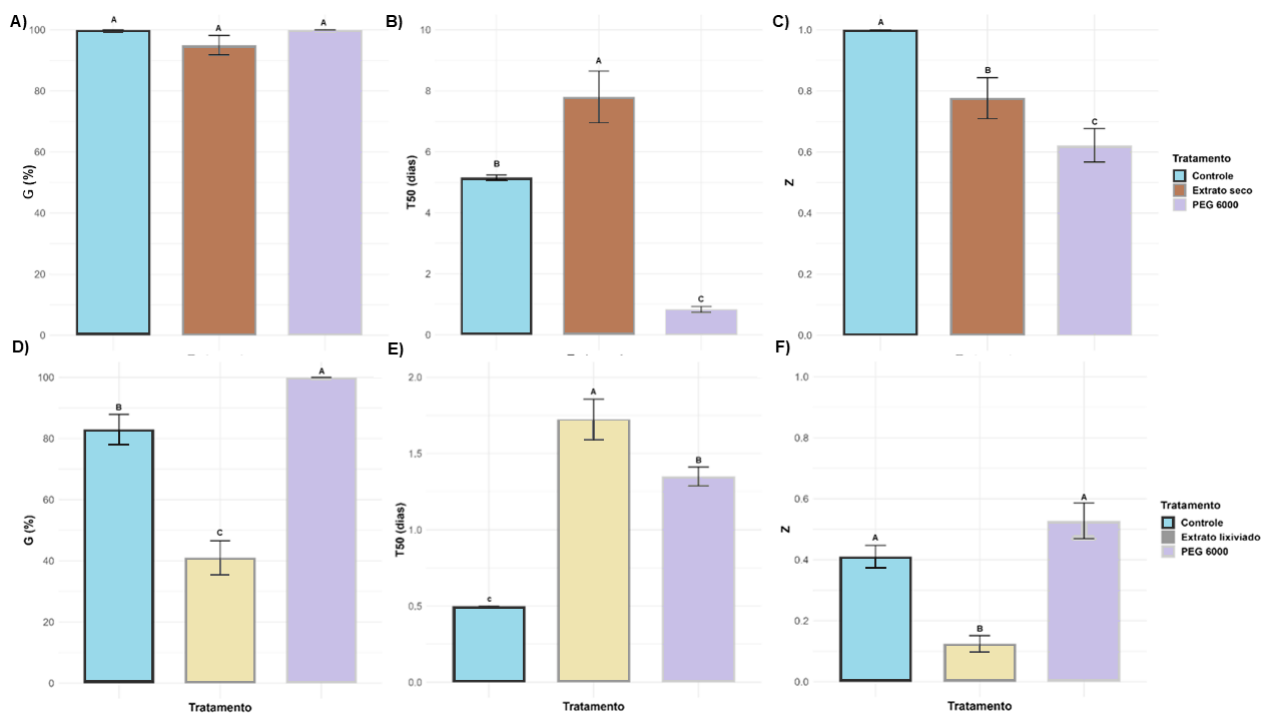


Figura Suplementar 1. Comparação dos parâmetros germinativos: A) Germinabilidade - G, B) Tempo para germinação de 50% do lote – t₅₀ e C) Índice de sincronização – Z de *Lactuca sativa* L. (Asteraceae) submetida ao controle (água destilada), extrato alelopático foliar seco de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae) e solução osmótica de polietilenoglicol (PEG 6000), além do controle (água destilada), extrato alelopático foliar lixiviado de *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., var. *juliflora* (Fabaceae) e solução osmótica de PEG 6000 com os mesmos parâmetros: D) Germinabilidade, E) Tempo para germinação de 50% do lote e F) Índice de sincronização. Letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre os tratamentos.

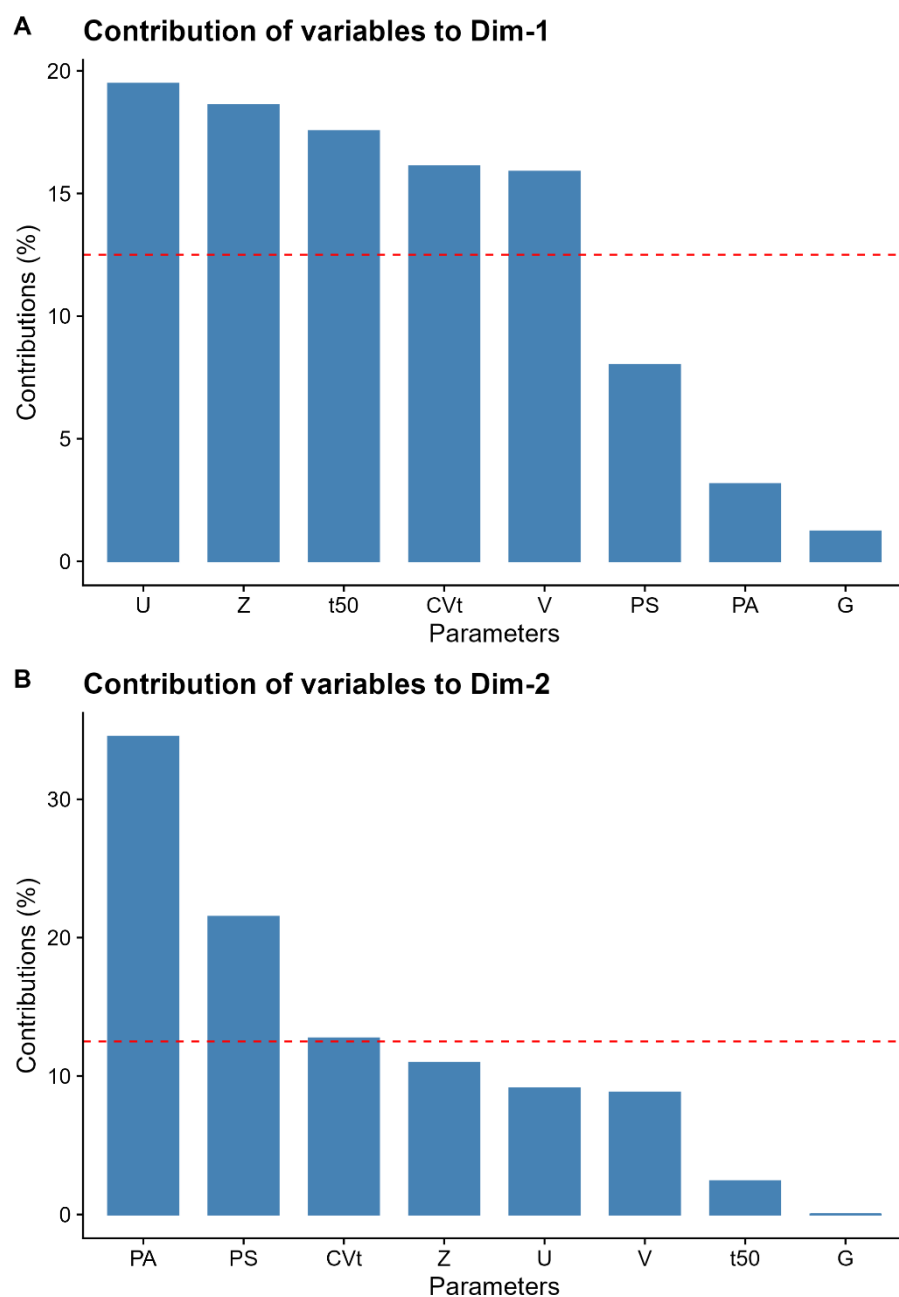
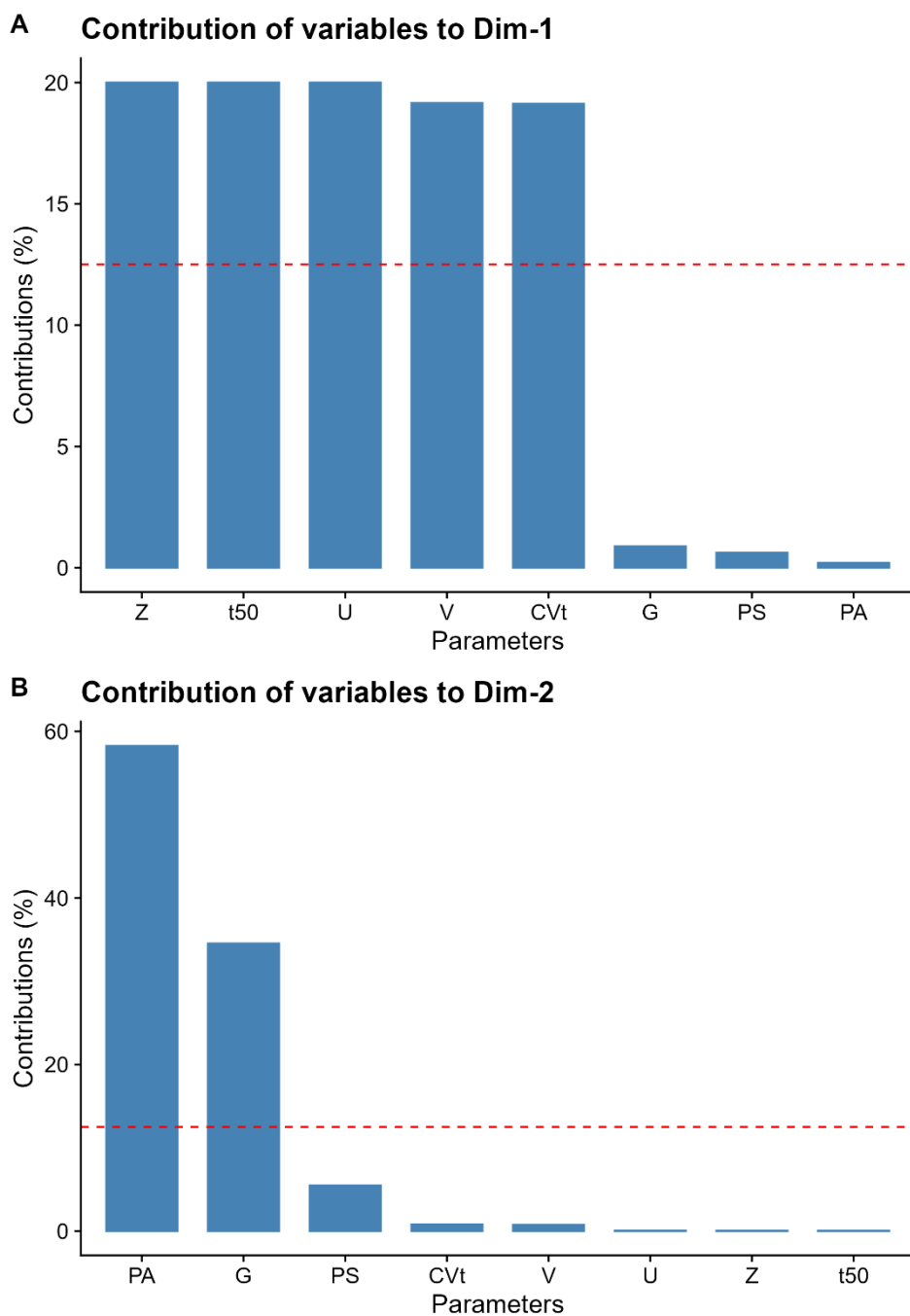


Figura Suplementar 2. Contribuições de cada parâmetro para a formação dos eixos 1 (A) e 2 (B) na construção da Análise de Componente Principal (PCA) dos parâmetros germinativos e de desenvolvimento inicial de *Lactuca sativa* L. (Asteraceae) sobre o efeito dos ciclos nas sementes, ciclos de rega e concentrações nos extratos alelopáticos de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae).



889

Figura Suplementar 3. Contribuições de cada parâmetro para a formação dos eixos 1 (A) e 2 (B) na construção da Análise de Componente Principal (PCA) dos parâmetros germinativos e de desenvolvimento inicial de *Lactuca sativa* L. (Asteraceae) sobre o efeito dos ciclos nas sementes, ciclos de rega e concentrações nos extratos alelopáticos de *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., *Sylva Tellur. var. juliflora* (Fabaceae).

895

Tabela 1. Efeito dos diferentes modos de extração alelopática foliar (lixiviados, fresco e seco) de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae) em diferentes concentrações (25%, 50% e 100%) nos parâmetros germinativos das sementes de *Lactuca sativa* L. (Asteraceae). Letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento em diferentes concentrações, enquanto letras minúsculas comparam a mesma concentração em diferentes tratamentos.

CVt (%)	25%	50%	100%
Controle	0,00 ± 0,00 Aa	0,00 ± 0,00 Aa	0,00 ± 0,00 Ab
Extrato lixiviado	0,00 ± 0,00 Ba	8,51 ± 5,21 ABa	29,22 ± 7,57 Aa
Extrato fresco	0,00 ± 0,00 Aa	0,00 ± 0,00 Aa	0,00 ± 0,00 Ab
Extrato seco	0,00 ± 0,00 Aa	8,72 ± 5,34 ABa	16,17 ± 4,36 Ba
V (dias ⁻¹)	25%	50%	100%
Controle	1,00 ± 0,00 Aa	1,00 ± 0,00 Aa	1,00 ± 0,00 Aa
Extrato lixiviado	1,00 ± 0,00 Aa	0,98 ± 0,01 ABa	0,85 ± 0,03 Bb
Extrato fresco	1,00 ± 0,00 Aa	1,00 ± 0,00 Aa	1,00 ± 0,00 Aa
Extrato seco	1,00 ± 0,00 Aa	0,97 ± 0,01 ABa	0,53 ± 0,01 Bb
Z	25%	50%	100%
Controle	1,00 ± 0,00 Aa	1,00 ± 0,00 Aa	1,00 ± 0,00 Aa
Extrato lixiviado	1,00 ± 0,00 Aa	0,96 ± 0,02 Aa	0,72 ± 0,07 Bb
Extrato fresco	1,00 ± 0,00 Aa	1,00 ± 0,00 Aa	1,00 ± 0,00 Aa
Extrato seco	1,00 ± 0,00 Aa	0,95 ± 0,02 Aa	0,77 ± 0,06 Bb
U (Bit)	25%	50%	100%
Controle	0,00 ± 0,00 Aa	0,00 ± 0,00 Ab	0,00 ± 0,00 Ab
Extrato lixiviado	0,00 ± 0,00 Ca	0,11 ± 0,07 Ba	0,60 ± 0,15 Aa
Extrato fresco	0,00 ± 0,00 Aa	0,00 ± 0,00 Ab	0,00 ± 0,00 Ab
Extrato seco	0,00 ± 0,00 Ca	0,11 ± 0,07 Ba	0,49 ± 0,13 Aa

Tabela 2. Efeito dos diferentes modos de extração alelopática foliar (lixiviados, fresco e seco) de *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* (Fabaceae) em diferentes concentrações (25%, 50% e 100%) nos parâmetros germinativos das sementes de *Lactuca sativa* L. (Asteraceae). Letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento em diferentes concentrações, enquanto letras minúsculas comparam a mesma concentração em diferentes tratamentos.

T ₅₀ (dias)	25%	50%	100%
Controle	5,15 ± 0,07 Aa	5,15 ± 0,07 Ab	5,15 ± 0,07 Ab
Extrato lixiviado	5,69 ± 0,12 Ba	6,06 ± 0,37 ABab	7,80 ± 0,56 Aa
Extrato fresco	6,04 ± 0,27 Aa	7,19 ± 1,01 Aa	6,40 ± 0,24 Aab
Extrato seco	5,38 ± 0,11 Aa	5,64 ± 0,29 Aab	-
CVt (%)	25%	50%	100%
Controle	28,51 ± 6,77 Aa	28,51 ± 6,77 Aa	28,51 ± 6,77 Ab
Extrato lixiviado	31,71 ± 4,62 Aa	30,21 ± 3,86 ABab	29,84 ± 1,63 Ba
Extrato fresco	18,71 ± 7,87 Aa	17,87 ± 5,44 Ab	9,08 ± 0,08 Aab
Extrato seco	15,97 ± 9,81 Aa	15,10 ± 0,75 Aab	-
V (dias ⁻¹)	25%	50%	100%
Controle	0,16 ± 0,00 Aa	0,16 ± 0,00 Aa	0,16 ± 0,00 Aa
Extrato lixiviado	0,13 ± 0,00 Aa	0,13 ± 0,00 Ab	0,11 ± 0,00 Ab
Extrato fresco	0,14 ± 0,00 Aa	0,12 ± 0,00 Ab	0,12 ± 0,00 Ab
Extrato seco	0,14 ± 0,00 Aa	0,15 ± 0,00 Aab	-
Z	25%	50%	100%
Controle	0,41 ± 0,03 Aa	0,41 ± 0,03 Ab	0,41 ± 0,03 Aa
Extrato lixiviado	0,25 ± 0,03 Aa	0,31 ± 0,07 ABab	0,12 ± 0,01 Bb
Extrato fresco	0,47 ± 0,15 Aa	0,47 ± 0,17 Aa	0,00 ± 0,00 Aab
Extrato seco	0,78 ± 0,14 Aa	0,35 ± 0,04 Aab	-
U (Bit)	25%	50%	100%
Controle	1,34 ± 0,14 Aab	1,34 ± 0,14 Aa	1,34 ± 0,14 Aab
Extrato lixiviado	1,92 ± 0,15 Aa	1,77 ± 0,23 Aa	2,21 ± 0,13 Aa
Extrato fresco	1,13 ± 0,33 Aab	1,10 ± 0,38 Aa	0,40 ± 0,24 Ab
Extrato seco	0,41 ± 0,27 Ab	0,82 ± 0,24 Aa	-

Tabela 3. Efeito dos ciclos nas sementes (CC) e ciclos de rega (CR) no extrato alelopático de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae) em diferentes concentrações (25%, 50% e 100%) em parâmetros germinativos da *Lactuca sativa* L. (Asteraceae). RD: rega diária; SC: sem ciclo nas sementes. Letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento em diferentes concentrações, enquanto letras minúsculas comparam a mesma concentração em diferentes tratamentos.

CVt (%)			
Tratamento	25%	50%	100%
Controle	0,00 ± 0,00 Aab	0,00 ± 0,00 Ab	0,00 ± 0,00 Ab
CCCR	6,47 ± 6,47 Aab	8,22 ± 5,13 Aab	15,17 ± 4,52 Aab
SCCR	17,11 ± 7,37 Aab	26,98 ± 1,63 Aa	8,16 ± 5,11 Aab
CCRD	22,29 ± 5,93 Aa	19,82 ± 4,11 Aa	40,57 ± 5,18 Aa
SCRD	8,51 ± 5,21 Aab	35,54 ± 2,01 Aa	6,65 ± 2,71 Aab
U (bit)			
Tratamento	25%	50%	100%
Controle	0,00 ± 0,00 Aa	0,00 ± 0,00 Ab	0,00 ± 0,00 Ab
CCCR	0,12 ± 0,12 Aa	0,27 ± 0,16 Aab	0,49 ± 0,17 Aab
SCCR	0,33 ± 0,16 Aa	0,98 ± 0,06 Aa	0,27 ± 0,16 Aab
CCRD	0,38 ± 0,11 Aa	0,61 ± 0,16 Aa	1,23 ± 0,30 Aa
SCRD	0,11 ± 0,07 Aa	0,94 ± 0,14 Aa	0,17 ± 0,07 Aab

Tabela 4. Efeito dos ciclos nas sementes (CC) e ciclos de rega (CR) no extrato alelopático de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae) em diferentes concentrações (25%, 50% e 100%) na inibição do crescimento (%) da parte aérea (IPA) e da parte subterrânea (IPS) das plântulas de *Lactuca sativa* L. (Asteraceae). RD: rega diária; SC: sem ciclo nas sementes. Letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento em diferentes concentrações, enquanto letras minúsculas comparam a mesma concentração em diferentes tratamentos.

IPA (%)			
Tratamento	25%	50%	100%
CCCR	43,13 ± 5,07 Aa	40,06 ± 4,19 Aa	41,92 ± 4,94 Aa
SCCR	4,07 ± 1,57 Ab	16,59 ± 4,67 Aa	21,68 ± 3,07 Aab
CCRD	31,45 ± 4,67 Aa	26,97 ± 5,34 Aa	19,55 ± 6,00 Aab
SCRD	6,17 ± 4,23 Ab	- 12,16 ± 12,02 Ab	9,75 ± 5,04 Ab
IPS (%)			
Tratamento	25%	50%	100%
CCCR	-63,77 ± 10,64 Bb	48,48 ± 13,40 Aa	73,81 ± 5,59 Aa
SCCR	20,18 ± 6,42 Ba	56,13 ± 3,64 ABa	87,37 ± 2,96 Aa
CCRD	57,55 ± 6,26 Aa	68,20 ± 3,13 Aa	53,01 ± 3,49 Aa
SCRD	-27,31 ± 5,04 Ab	-19,13 ± 12,88 Ab	-17,56 ± 11,62 Ab

Tabela 5. Efeito dos ciclos nas sementes (CC) e ciclos de rega (CR) no extrato de *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* (Fabaceae) em diferentes concentrações (25%, 50% e 100%) em parâmetros germinativos da *Lactuca sativa* L. (Asteraceae). RD: rega diária; SC: sem ciclo nas sementes. Letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento em diferentes concentrações, enquanto letras minúsculas comparam a mesma concentração em diferentes tratamentos.

CVt (%)			
Tratamento	25%	50%	100%
Controle	0,00 ± 0,00 Ab	0,00 ± 0,00 Aa	0,00 ± 0,00 Aa
CCCR	0,00 ± 0,00 Ab	0,00 ± 0,00 Aa	8,00 ± 8,00 Aa
SCCR	0,00 ± 0,00 Ab	19,00 ± 12,00 Aa	4,00 ± 4,00 Aa
CCRD	0,00 ± 0,00 Ab	0,00 ± 0,00 Aa	8,00 ± 5,00 Aa
SCRD	17,00 ± 4,00 Aa	0,00 ± 0,00 Ba	0,00 ± 0,00 Ba
U (bit)			
Tratamento	25%	50%	100%
Controle	0,00 ± 0,00 Ab	0,00 ± 0,00 Aa	0,00 ± 0,00 Aa
CCCR	0,00 ± 0,00 Ab	0,00 ± 0,00 Aa	0,05 ± 0,05 Aa
SCCR	0,00 ± 0,00 Ab	0,11 ± 0,07 Aa	0,05 ± 0,05 Aa
CCRD	0,00 ± 0,00 Ab	0,00 ± 0,00 Aa	0,11 ± 0,07 Aa
SCRD	0,23 ± 0,05 Aa	0,00 ± 0,00 Ba	0,00 ± 0,00 Ba

Tabela 6. Efeito dos ciclos nas sementes (CC) e ciclos de rega (CR) no extrato alelopático de *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* (Fabaceae) em diferentes concentrações (25%, 50% e 100%) na inibição do crescimento (%) da parte aérea (IPA) e da parte subterrânea (IPS) das plântulas de *Lactuca sativa* L. (Asteraceae). RD: rega diária; SC: sem ciclo nas sementes. Letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento em diferentes concentrações, enquanto letras minúsculas comparam a mesma concentração em diferentes tratamentos.

IPA (%)			
Tratamento	25%	50%	100%
CCCR	15,97 ± 5,09 Aa	11,81 ± 7,56 Aa	13,28 ± 5,47 Aa
SCCR	5,37 ± 7,70 Aa	7,07 ± 8,54 Aa	3,20 ± 10,11 Aa
CCRD	3,92 ± 9,34 Aa	4,93 ± 4,36 Aa	8,83 ± 11,18 Aa
SCRD	13,14 ± 10,07 Aa	10,58 ± 5,18 Aa	12,98 ± 6,16 Aa
IPS (%)			
Tratamento	25%	50%	100%
CCCR	- 53,04 ± 26,96 Aa	- 49,22 ± 14,80 Aa	-29,09 ± 10,55 Aa
SCCR	-28,44 ± 20,98 Aa	-72,95 ± 28,25 Aa	-39,69 ± 14,50 Aa
CCRD	-54,02 ± 19,08 Aa	-42,26 ± 21,62 Aa	-29,79 ± 10,61 Aa
SCRD	-24,32 ± 10,61 Aa	-52,69 ± 17,39 Aa	-53,07 ± 14,52 Aa

Tabela 7. Valores dos resultados obtidos na Análise Multivariada Permutacional de Variância (PERMANOVA) ao comparar os agrupamentos obtidos nas PCAS dos parâmetros germinativos e de desenvolvimento inicial de *Lactuca sativa* L. (Asteraceae) com os tratamentos: ciclo nas sementes (CC), ciclo nas mudas (CR) e concentração (Cont – 0%, A- 25%, B- 50% e C- 100%) nos extratos alelopáticos de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae) e *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* (Fabaceae).

L. leucocephala

Tratamentos	Grau de liberdade	Soma dos quadrados	R ²	F	P
Concentração	3	248,83	0,39	17,99	<0,01
Ciclo sementes	1	27,12	0,04	5,88	<0,01
Ciclo nas mudas	1	14,88	0,02	3,22	0,02
Resíduos	74	341,17	0,53		
Total	79	632,00	1,00		

N. juliflora

Tratamentos	Grau de liberdade	Soma dos quadrados	R ²	F	P
Concentração	3	72,19	0,11	3,24	<0,01
Ciclo sementes	1	8,98	0,01	1,20	0,28
Ciclo nas mudas	1	1,71	0,00	0,23	0,92
Resíduos	74	549,12	0,86		
Total	79	632,00	1,00		

Tabela Suplementar 1. Valores dos resultados obtidos na Análise Multivariada Permutacional de Variância (PERMANOVA) como teste a posteriori para comparar as diferenças entre os níveis dentro do tratamento de concentração (Cont – 0%, A- 25%, B- 50% e C- 100%) nos extratos alelopáticos de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae) e *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* (Fabaceae).

L. leucocephala

Comparação	Grau de liberdade	Soma dos quadrados	R ²	Pseudo-F	P ajustado
A x B	1	78,55	0,26	13,84	<0,01
A x C	1	90,05	0,25	13,17	<0,01
A x Cont	1	27,89	0,21	10,37	<0,01
B x C	1	10,06	0,03	1,36	1,00
B x Cont	1	142,10	0,53	43,77	<0,01
C x Cont	1	149,02	0,47	33,80	<0,01

N. juliflora

Comparação	Grau de liberdade	Soma dos quadrados	R ²	Pseudo-F	P ajustado
A x B	1	6,60	0,01	0,75	1,00
A x C	1	0,17	0,00	0,02	1,00
A x Cont	1	41,34	0,16	7,37	<0,01
B x C	1	6,07	0,01	0,66	1,00
B x Cont	1	46,36	0,20	9,97	<0,01
C x Cont	1	43,85	0,16	7,44	<0,01

Tabela Suplementar 2. Valores estatísticos apresentados pelos modelos lineares generalizados (GLMs) ao analisar o efeito dos diferentes modos de extração alelopática foliar (lixiviados, fresco e seco) de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae) em diferentes concentrações (A- 25%, B- 50% e C- 100%) nos parâmetros germinativos das sementes de *Lactuca sativa* L. (Asteraceae).

G			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	22,75	5,28 ⁺⁰³	0,99
Extrato dos lixiviados	-18,16	5,28 ⁺⁰³	0,99
Extrato fresco	5,44 ⁻¹⁰	7,47 ⁺⁰³	1,00
Extrato seco	-18,16	5,28 ⁺⁰³	0,99
Conc B	1,25 ⁻⁰⁹	7,47 ⁺⁰³	1,00
Conc C	1,22 ⁻⁰⁹	7,47 ⁺⁰³	1,00
Extrato dos lixiviados x Conc B	-0,70	7,47 ⁺⁰³	1,00
Extrato fresco x Conc B	-18,16	9,16 ⁺⁰³	0,99
Extrato seco x Conc B	-0,70	7,47 ⁺⁰³	1,00
Extrato dos lixiviados x Conc C	-1,22 ⁻⁰⁹	7,47 ⁺⁰³	1,00
Extrato fresco x Conc C	-18,16	9,16 ⁺⁰³	0,99
Extrato seco x Conc C	-1,65	7,47 ⁺⁰³	1,00
t50			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	-0,69	0,04	<0,01
Extrato dos lixiviados	9,91 ⁻¹⁶	0,06	1,00
Extrato fresco	9,65 ⁻¹⁶	0,06	1,00
Extrato seco	1,14 ⁻¹⁵	0,06	1,00
Conc B	5,46 ⁻¹⁶	0,06	1,00
Conc C	1,22 ⁻⁰⁹	7,47 ⁺⁰³	1,00
Extrato dos lixiviados x Conc B	0,02	0,09	0,82
Extrato fresco x Conc B	-8,75 ⁻¹⁶	0,09	1,00
Extrato seco x Conc B	0,28	0,09	<0,01
Extrato dos lixiviados x Conc C	0,18	0,09	0,05
Extrato fresco x Conc C	-1,20 ⁻¹⁵	0,09	1,00
Extrato seco x Conc C	1,23	0,09	<0,01
V			
	Est.	EP	p-valor

Intercepto	-6,90	0,70	<0,01
Extrato dos lixiviados	-6,29 ⁻¹⁵	0,99	1,00
Extrato fresco	-6,14 ⁻¹⁵	0,99	1,00
Extrato seco	-5,20 ⁻¹⁵	0,99	1,00
Conc B	-9,26 ⁻¹⁵	0,99	1,00
Conc C	-1,11 ⁻¹⁴	0,99	1,00
Extrato dos lixiviados x Conc B	2,14	1,41	0,13
Extrato fresco x Conc B	8,19 ⁻¹⁵	1,41	1,00
Extrato seco x Conc B	2,15	1,41	<0,01
Extrato dos lixiviados x Conc C	4,71	1,41	0,13
Extrato fresco x Conc C	8,94 ⁻¹⁵	1,41	1,00
Extrato seco x Conc C	4,23	1,41	<0,01

CVt			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	-6,90	0,70	<0,01
Extrato dos lixiviados	-6,29 ⁻¹⁵	0,99	1,00
Extrato fresco	-6,14 ⁻¹⁵	0,99	1,00
Extrato seco	-5,20 ⁻¹⁵	0,99	1,00
Conc B	-9,62 ⁻¹⁵	0,99	1,00
Conc C	-1,11 ⁻¹⁴	0,99	1,00
Extrato dos lixiviados x Conc B	2,14	1,41	0,13
Extrato fresco x Conc B	8,19 ⁻¹⁵	1,41	1,00
Extrato seco x Conc B	2,15	1,41	0,13
Extrato dos lixiviados x Conc C	4,71	1,41	<0,01
Extrato fresco x Conc C	8,94 ⁻¹⁵	1,41	1,00
Extrato seco x Conc C	4,23	1,41	<0,01

Z			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	-5,19 ⁻¹⁸	0,03	1,00
Extrato dos lixiviados	-8,86 ⁻¹⁷	0,05	1,00
Extrato fresco	-5,11 ⁻¹⁷	0,05	1,00
Extrato seco	-5,95 ⁻¹⁷	0,05	1,00
Conc B	-2,33 ⁻¹⁷	0,05	1,00
Conc C	6,47 ⁻¹⁷	0,05	1,00
Extrato dos lixiviados x Conc B	0,04	0,07	0,60
Extrato fresco x Conc B	1,67 ⁻¹⁶	0,07	1,00
Extrato seco x Conc B	0,04	0,07	0,58
Extrato dos lixiviados x Conc C	0,03	0,07	<0,01

Extrato fresco x Conc C	4,30 ⁻¹⁷	0,07	1,00
Extrato seco x Conc C	0,25	0,07	<0,01
U			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	-6,90	0,27	<0,01
Extrato dos lixiviados	-1,54 ⁻¹⁵	0,38	1,00
Extrato fresco	-3,55 ⁻¹⁵	0,38	1,00
Extrato seco	2,08 ⁻¹⁵	0,38	1,00
Conc B	-6,21 ⁻¹⁵	0,38	1,00
Conc C	-7,56 ⁻¹⁵	0,38	1,00
Extrato dos lixiviados x Conc B	4,75	0,54	<0,01
Extrato fresco x Conc B	4,76 ⁻¹⁵	0,54	1,00
Extrato seco x Conc B	4,78	0,54	<0,01
Extrato dos lixiviados x Conc C	6,41	0,54	<0,01
Extrato fresco x Conc C	6,19 ⁻¹⁵	0,54	1,00
Extrato seco x Conc C	6,20	0,54	<0,01

976

977

Tabela Suplementar 3. Valores estatísticos apresentados pelos modelos lineares generalizados (GLMs) ao comparar parâmetros germinativos de *Lactuca sativa* L. (Asteraceae) influenciados pelo controle (água destilada), extrato alelopático foliar seco de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae) e solução osmótica com polietilenoglicol (PEG) 6000.

G			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	0,22	5,28 ⁺⁰³	0,99
Extrato seco	-0,19	5,28 ⁺⁰³	0,99
PEG 6000	2,54 ⁻¹⁰	7,47 ⁺⁰³	1,00
t50			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	-0,69	0,05 ⁻¹³	<0,01
Extrato seco	1,23	0,07	<0,01
PEG 6000	0,99	0,07	<0,01
Z			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	7,16 ⁻¹⁷	0,07	1,00
Extrato seco	-0,25	0,10	0,02
PEG 6000	-0,47	0,10	<0,01

Tabela Suplementar 4. Valores estatísticos apresentados pelos modelos lineares generalizados (GLMs) ao analisar o efeito dos diferentes modos de extração alelopática foliar (lixiviados, fresco e seco) de *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* (Fabaceae) em diferentes concentrações (A- 25%, B- 50% e C- 100%) nos parâmetros germinativos das sementes de *Lactuca sativa* L. (Asteraceae).

G			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	1,58	0,26	<0,01
Extrato dos lixiviados	-1,09	0,33	<0,01
Extrato fresco	-2,38	0,34	<0,01
Extrato seco	-2,73	0,35	<0,01
Conc B	-1,34 ⁻¹⁵	0,37	1,00
Conc C	-1,15 ⁻¹⁵	0,37	1,00
Extrato dos lixiviados x Conc B	-0,44	0,47	0,34
Extrato fresco x Conc B	-0,14	0,48	0,76
Extrato seco x Conc B	-0,29	0,51	0,56
Extrato dos lixiviados x Conc C	-0,85	0,47	0,07
Extrato fresco x Conc C	-1,78	0,58	<0,01
Extrato seco x Conc C	-19,60	1,94 ⁺⁰³	0,99
t50			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	1,64	0,62	<0,01
Extrato dos lixiviados	0,98	0,88	0,27
Extrato fresco	0,15	0,88	0,08
Extrato seco	0,42	0,88	0,63
Conc B	1,82 ⁻¹⁶	0,88	1,00
Conc C	1,71 ⁻¹⁶	0,88	1,00
Extrato dos lixiviados x Conc B	0,62	0,12	0,62
Extrato fresco x Conc B	0,17	0,12	0,17
Extrato seco x Conc B	0,47	0,12	0,70
Extrato dos lixiviados x Conc C	0,31	0,12	0,01
Extrato fresco x Conc C	0,57	0,12	0,64
Extrato seco x Conc C	-	-	-
V			
	Est.	EP	p-valor

Intercepto	0,16	6,56 ⁻⁰³	<0,01
Extrato dos lixiviados	-0,02	9,28 ⁻⁰³	<0,01
Extrato fresco	-0,02	9,28 ⁻⁰³	0,01
Extrato seco	-0,02	9,28 ⁻⁰³	0,02
Conc B	-2,24 ⁻¹⁷	9,28 ⁻⁰³	1,00
Conc C	-1,21 ⁻¹⁷	9,28 ⁻⁰³	1,00
Extrato dos lixiviados x Conc B	-6,28 ⁻⁰³	0,01	0,63
Extrato fresco x Conc B	-0,01	0,01	0,15
Extrato seco x Conc B	9,85 ⁻⁰³	0,01	0,45
Extrato dos lixiviados x Conc C	-0,02	0,01	0,06
Extrato fresco x Conc C	-0,01	0,01	0,30
Extrato seco x Conc C	-	-	-

CVt

	Est.	EP	p-valor
Intercepto	1,64	0,67	<0,01
Extrato dos lixiviados	0,98	0,94	0,10
Extrato fresco	0,15	0,94	0,10
Extrato seco	0,42	0,94	0,65
Conc B	5,44 ⁻¹⁶	0,94	1,00
Conc C	4,87 ⁻¹⁶	0,94	1,00
Extrato dos lixiviados x Conc B	0,62	0,13	0,64
Extrato fresco x Conc B	0,17	0,13	0,19
Extrato seco x Conc B	0,47	0,13	0,72
Extrato dos lixiviados x Conc C	0,31	0,12	0,01
Extrato fresco x Conc C	0,57	0,13	0,66
Extrato seco x Conc C	-	-	-

Z

	Est.	EP	p-valor
Intercepto	1,64	0,06	<0,01
Extrato dos lixiviados	0,09	0,09	0,30
Extrato fresco	0,15	0,09	0,10
Extrato seco	0,04	0,09	0,65
Conc B	5,44 ⁻¹⁶	0,09	1,00
Conc C	4,87 ⁻¹⁶	0,09	1,00
Extrato dos lixiviados x Conc B	0,06	0,13	0,64
Extrato fresco x Conc B	0,17	0,13	0,19
Extrato seco x Conc B	0,04	0,13	0,72
Extrato dos lixiviados x Conc C	0,31	0,12	0,01

Extrato fresco x Conc C	0,05	0,13	0,66
Extrato seco x Conc C	-	-	-
U			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	0,30	0,30	0,32
Extrato dos lixiviados	0,35	0,43	0,41
Extrato fresco	-0,16	0,43	0,70
Extrato seco	-1,14	0,43	0,01
Conc B	-6,17 ⁻¹⁶	0,43	1,00
Conc C	-7,94 ⁻¹⁶	0,43	1,00
Extrato dos lixiviados x Conc B	-0,07	0,61	0,89
Extrato fresco x Conc B	-0,02	0,61	0,97
Extrato seco x Conc B	0,66	0,61	0,28
Extrato dos lixiviados x Conc C	0,14	0,57	0,80
Extrato fresco x Conc C	-1,02	0,61	0,09
Extrato seco x Conc C	-	-	-

992

993

Tabela suplementar 5. Valores estatísticos apresentados pelos modelos lineares generalizados (GLMs) ao comparar parâmetros germinativos de *Lactuca sativa* L. (Asteraceae) influenciados pelo controle (água destilada), extrato alelopático foliar seco de *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* (Fabaceae) e solução osmótica com polietilenoglicol (PEG) 6000.

G			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	1,56	0,26	<0,01
Extrato dos lixiviados	-1,92	0,33	<0,01
PEG 6000	3,74	1,44	<0,01
t50			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	5,15	0,49	<0,01
Extrato dos lixiviados	2,64	0,69	<0,01
PEG 6000	-4,32	0,69	<0,01
Z			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	0,41	0,04	<0,01
Extrato dos lixiviados	-0,28	0,06	<0,01
PEG 6000	0,11	0,06	0,07

1001 **Tabela Suplementar 6.** Valores estatísticos apresentados pelos modelos lineares
 1002 generalizados (GLMs) ao analisar o efeito dos ciclos nas sementes (CC) e ciclos de rega
 1003 (CR) no extrato alelopático de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae) em
 1004 diferentes concentrações (A- 25%, B- 50% e C- 100%) em parâmetros germinativos da
 1005 *Lactuca sativa* L. (Asteraceae). RD: rega diária; SC: sem ciclo nas sementes.

G			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	23,75	8,71 ⁺⁰³	0,99
CCCR	-19,16	8,71 ⁺⁰³	1,00
CCRD	6,05 ⁻¹⁰	1,23 ⁺⁰⁴	1,00
SCCR	-19,16	8,71 ⁺⁰³	0,99
SCRD	9,37 ⁻¹⁰	1,23 ⁺⁰⁴	1,00
Conc B	9,55 ⁻¹⁰	1,23 ⁺⁰⁴	1,00
Conc C	2,45 ⁻¹⁰	1,23 ⁺⁰⁴	1,00
CCCR x Conc B	-9,55 ⁻¹⁰	1,23 ⁺⁰⁴	1,00
CCRD x Conc B	-1,08 ⁻⁰⁹	1,74 ⁺⁰⁴	1,00
SCCR x Conc B	19,16	1,51 ⁺⁰⁴	0,99
SCRD x Conc B	-19,16	1,51 ⁺⁰⁴	0,99
CCCR x Conc C	-0,70	1,23 ⁺⁰⁴	1,00
CCRD x Conc C	-19,16	1,51 ⁺⁰⁴	0,99
SCCR x Conc C	19,16	1,51 ⁺⁰⁴	0,99
SCRD x Conc C	-19,16	1,51 ⁺⁰⁴	0,99
t50			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	-0,69	0,07	<0,01
CCCR	0,03	0,10	0,71
CCRD	0,09	0,10	0,32
SCCR	0,11	0,10	0,24
SCRD	0,02	0,10	0,83
Conc B	-1,16 ⁻¹⁵	0,10	1,00
Conc C	-1,84 ⁻¹⁵	0,10	1,00
CCCR x Conc B	0,72	0,14	<0,01
CCRD x Conc B	0,92	0,14	<0,01
SCCR x Conc B	0,89	0,14	<0,01
SCRD x Conc B	0,46	0,14	<0,01

CCCR x Conc C	0,78	0,14	<0,01
CCRD x Conc C	1,10	0,14	<0,01
SCCR x Conc C	0,64	0,14	<0,01
SCRD x Conc C	0,78	0,14	<0,01
V			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	-1,64 ⁻¹⁶	0,03	1,00
CCCR	-0,02	0,04	0,57
CCRD	-0,08	0,04	0,10
SCCR	-0,07	0,04	0,11
SCRD	-0,01	0,04	0,69
Conc B	5,50 ⁻¹⁶	0,04	1,00
Conc C	5,50 ⁻¹⁶	0,04	1,00
CCCR x Conc B	-0,69	0,07	<0,01
CCRD x Conc B	-0,53	0,07	<0,01
SCCR x Conc B	-0,52	0,07	<0,01
SCRD x Conc B	-0,28	0,07	<0,01
CCCR x Conc C	-0,72	0,07	<0,01
CCRD x Conc C	-0,88	0,07	<0,01
SCCR x Conc C	-0,64	0,07	<0,01
SCRD x Conc C	-0,67	0,07	<0,01
CVt			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	-9,21	1,28	<0,01
CCCR	1,61	1,81	0,37
CCRD	6,33	1,81	<0,01
SCCR	4,76	1,81	0,01
SCRD	3,06	1,81	0,09
Conc B	-3,98 ⁻¹⁵	1,81	1,00
Conc C	-7,52 ⁻¹⁵	1,81	1,00
CCCR x Conc B	1,43	2,56	0,57
CCRD x Conc B	1,17	2,56	0,64
SCCR x Conc B	3,13	2,56	0,22
SCRD x Conc B	5,10	2,56	0,05
CCCR x Conc C	4,38	2,56	0,09
CCRD x Conc C	1,92	2,56	0,45
SCCR x Conc C	-1,71	2,56	0,50
SCRD x Conc C	1,14	2,56	0,65

Z			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	-4,96 ⁻¹⁷	0,08	1,00
CCCR	-0,05	0,11	0,14
CCRD	-0,17	0,11	0,18
SCCR	-0,16	0,11	0,18
SCRD	-0,40	0,11	0,73
Conc B	-2,51 ⁻¹⁶	0,11	1,00
Conc C	1,82 ⁻¹⁶	0,11	1,00
CCCR x Conc B	-0,06	0,16	0,71
CCRD x Conc B	-0,13	0,16	0,42
SCCR x Conc B	-0,39	0,16	0,02
SCRD x Conc B	-0,55	0,16	<0,01
CCCR x Conc C	-0,16	0,16	0,33
CCRD x Conc C	-0,46	0,16	<0,01
SCCR x Conc C	0,04	0,16	0,78
SCRD x Conc C	-0,02	0,16	0,90
U			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	-9,21	1,42	<0,01
CCCR	1,74	2,01	0,38
CCRD	6,75	2,01	<0,01
SCCR	5,10	2,01	0,01
SCRD	3,18	2,01	0,11
Conc B	-6,97 ⁻¹⁵	2,01	1,00
Conc C	-1,16 ⁻¹⁴	2,01	1,00
CCCR x Conc B	1,78	2,85	0,53
CCRD x Conc B	1,83	2,85	0,52
SCCR x Conc B	4,08	2,85	0,15
SCRD x Conc B	5,91	2,85	0,04
CCCR x Conc C	5,16	2,85	0,07
CCRD x Conc C	2,54	2,85	0,37
SCCR x Conc C	-1,57	2,85	0,58
SCRD x Conc C	1,59	2,85	0,57

1006

1007

1008 **Tabela Suplementar 7.** Valores estatísticos apresentados pelos modelos lineares
 1009 generalizados (GLMs) ao analisar o efeito dos ciclos nas sementes (CC) e ciclos de rega
 1010 (CR) no extrato alelopático de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae) em
 1011 diferentes concentrações (A- 25%, B- 50% e C- 100%) no comprimento da parte aérea
 1012 (PA), comprimento da parte subterrânea (PS), na inibição do crescimento da parte aérea
 1013 (IPA) e subterrânea (IPS) da *Lactuca sativa* L. (Asteraceae). RD: rega diária; SC: sem
 1014 ciclo nas sementes.

PA			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	3,08	0,13	<0,01
CCCR	-1,34	0,19	<0,01
CCRD	-0,99	0,19	<0,01
SCCR	-0,12	0,19	0,52
SCRD	-0,20	0,19	0,28
Conc B	1,34 ⁻¹⁵	0,19	1,00
Conc C	8,40 ⁻¹⁶	0,19	1,00
CCCR x Conc B	0,10	0,27	0,70
CCRD x Conc B	0,13	0,27	0,61
SCCR x Conc B	-0,40	0,27	0,14
SCRD x Conc B	0,54	0,27	0,05
CCCR x Conc C	0,05	0,27	0,85
CCRD x Conc C	0,36	0,27	0,19
SCCR x Conc C	-0,55	0,27	0,04
SCRD x Conc C	-0,10	0,27	0,71
PS			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	1,22	0,13	<0,01
CCCR	0,49	0,18	0,01
CCRD	-0,85	0,18	<0,01
SCCR	-0,22	0,18	0,23
SCRD	0,23	0,18	0,20
Conc B	-2,81 ⁻¹⁶	0,18	1,00
Conc C	1,44 ⁻¹⁶	0,18	1,00
CCCR x Conc B	-1,19	0,26	<0,01

CCRD x Conc B	-0,30	0,26	0,25
SCCR x Conc B	-0,59	0,26	0,02
SCRD x Conc B	-0,08	0,26	0,74
CCCR x Conc C	-1,80	0,26	<0,01
CCRD x Conc C	0,08	0,26	0,75
SCCR x Conc C	-1,81	0,26	<0,01
SCRD x Conc C	-0,06	0,26	0,79

IPA

	Est.	EP	p-valor
Intercepto	43,1	5,59	<0,01
CCRD	-11,68	7,91	0,14
SCCR	-39,06	7,91	<0,01
SCRD	-36,95	7,91	<0,01
Conc B	-3,07	7,91	0,69
Conc C	-1,21	7,91	0,87
CCRD x Conc B	-1,40	11,19	0,90
SCCR x Conc B	15,59	11,19	0,17
SCRD x Conc B	-15,27	11,19	0,17
CCRD x Conc C	-10,68	11,19	0,34
SCCR x Conc C	18,82	11,19	0,09
SCRD x Conc C	4,79	11,19	0,67

IPS

	Est.	EP	p-valor
Intercepto	-63,77	8,04	<0,01
CCRD	121,33	11,37	<0,01
SCCR	83,96	11,37	<0,01
SCRD	36,46	11,37	<0,01
Conc B	112,26	11,37	<0,01
Conc C	137,59	11,37	<0,01
CCRD x Conc B	-101,61	16,08	<0,01
SCCR x Conc B	-76,31	16,08	<0,01
SCRD x Conc B	-104,07	16,08	<0,01
CCRD x Conc C	-142,13	16,08	<0,01
SCCR x Conc C	-70,40	16,08	<0,01
SCRD x Conc C	-127,83	16,08	<0,01

1015

1016

Tabela suplementar 8. Valores estatísticos apresentados pelos modelos lineares generalizados (GLMs) ao analisar o efeito dos ciclos nas sementes (CC) e ciclos de rega (CR) no extrato alelopático de *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* (Fabaceae) em diferentes concentrações (A- 25%, B- 50% e C- 100%) em parâmetros germinativos da *Lactuca sativa* L. (Asteraceae). RD: rega diária; SC: sem ciclo nas sementes.

G			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	25,75	23,70 ⁺⁰³	0,99
CCCR	5,47 ⁻⁰⁹	33,50 ⁺⁰³	1,00
CCRD	5,86 ⁻⁰⁹	33,52 ⁺⁰³	1,00
SCCR	6,38 ⁻⁰⁹	33,52 ⁺⁰³	1,00
SCRD	-21,16	23,70 ⁺⁰³	0,99
Conc B	8,95 ⁻⁰⁹	33,52 ⁺⁰³	1,00
Conc C	-4,61 ⁻⁰⁶	33,52 ⁺⁰³	1,00
CCCR x Conc B	-9,44 ⁻⁰⁹	47,40 ⁺⁰³	1,00
CCRD x Conc B	-9,24 ⁻⁰⁹	47,40 ⁺⁰³	1,00
SCCR x Conc B	-1,09 ⁻⁰⁸	47,40 ⁺⁰³	1,00
SCRD x Conc B	21,16	41,05 ⁺⁰³	1,00
CCCR x Conc C	-21,16	41,05 ⁺⁰³	1,00
CCRD x Conc C	4,61 ⁻⁰⁶	47,40 ⁺⁰³	1,00
SCCR x Conc C	4,61 ⁻⁰⁶	47,40 ⁺⁰³	1,00
SCRD x Conc C	21,16	41,05 ⁺⁰³	1,00
t50			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	-0,69	6,53 ⁻⁰³	<0,01
CCCR	6,89 ⁻¹⁶	9,24 ⁻⁰³	1,00
CCRD	6,59 ⁻¹⁶	9,24 ⁻⁰³	1,00
SCCR	6,62 ⁻¹⁶	9,24 ⁻⁰³	1,00
SCRD	4,18 ⁻⁰²	9,24 ⁻⁰³	<0,01
Conc B	6,66 ⁻¹⁶	9,24 ⁻⁰³	1,00
Conc C	6,72 ⁻¹⁶	9,24 ⁻⁰³	1,00
CCCR x Conc B	-6,65 ⁻¹⁶	1,30 ⁻⁰²	1,00
CCRD x Conc B	-6,48 ⁻¹⁶	1,30 ⁻⁰²	1,00
SCCR x Conc B	2,08 ⁻⁰²	1,30 ⁻⁰²	0,11

SCRD x Conc B	-4,18 ⁻⁰²	1,30 ⁻⁰²	<0,01
CCCR x Conc C	1,04 ⁻⁰²	1,30 ⁻⁰²	0,42
CCRD x Conc C	2,08 ⁻⁰²	1,30 ⁻⁰²	0,11
SCCR x Conc C	1,04 ⁻⁰²	1,30 ⁻⁰²	0,42
SCRD x Conc C	-4,18 ⁻⁰²	1,30 ⁻⁰²	<0,01

V

	Est.	EP	p-valor
Intercepto	5,57 ⁻¹⁸	0,01	1,00
CCCR	7,24 ⁻¹⁸	0,01	1,00
CCRD	4,46 ⁻¹⁷	0,01	1,00
SCCR	9,65 ⁻¹⁷	0,01	1,00
SCRD	-0,03	0,01	<0,01
Conc B	5,68 ⁻¹⁸	0,01	1,00
Conc C	4,18 ⁻¹⁷	0,01	1,00
CCCR x Conc B	-1,53 ⁻¹⁷	0,02	1,00
CCRD x Conc B	6,58 ⁻¹⁸	0,02	1,00
SCCR x Conc B	-0,04	0,02	0,02
SCRD x Conc B	0,03	0,02	0,05
CCCR x Conc C	-0,01	0,02	0,36
CCRD x Conc C	-0,01	0,02	0,34
SCCR x Conc C	-9,56 ⁻⁰³	0,02	0,63
SCRD x Conc C	0,03	0,02	0,05

CVt

	Est.	EP	p-valor
Intercepto	-9,21	1,01	<0,01
CCCR	-8,85 ⁻¹⁵	1,42	1,00
CCRD	-1,22 ⁻¹⁴	1,42	1,00
SCCR	-1,29 ⁻¹⁴	1,42	1,00
SCRD	6,13	1,42	<0,01
Conc B	-8,00 ⁻¹⁵	1,42	1,00
Conc C	-8,08 ⁻¹⁵	1,42	1,00
CCCR x Conc B	7,76 ⁻¹⁵	2,02	1,00
CCRD x Conc B	1,03 ⁻¹⁴	2,02	1,00
SCCR x Conc B	3,39	2,02	0,09
SCRD x Conc B	-6,13	2,02	<0,01
CCCR x Conc C	1,66	2,02	0,41
CCRD x Conc C	3,06	2,02	0,13
SCCR x Conc C	1,53	2,02	0,45

SCRD x Conc C	-6,13	2,02	<0,01
Z			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	5,93 ⁻¹⁷	0,01	1,00
CCCR	-3,68 ⁻¹⁷	0,01	1,00
CCRD	5,16 ⁻¹⁷	0,01	1,00
SCCR	1,05 ⁻¹⁶	0,01	1,00
SCRD	-0,08	0,01	<0,01
Conc B	1,84 ⁻¹⁷	0,01	1,00
Conc C	6,73 ⁻¹⁷	0,01	1,00
CCCR x Conc B	-2,90 ⁻¹⁷	0,02	1,00
CCRD x Conc B	-3,95 ⁻¹⁷	0,02	1,00
SCCR x Conc B	-0,04	0,02	0,12
SCRD x Conc B	0,08	0,02	<0,01
CCCR x Conc C	-0,02	0,02	0,44
CCRD x Conc C	-0,04	0,02	0,12
SCCR x Conc C	-0,02	0,02	0,44
SCRD x Conc C	0,08	0,02	<0,01
U			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	-9,21	1,00	<0,01
CCCR	-9,93 ⁻¹⁶	1,42	1,00
CCRD	-2,55 ⁻¹⁵	1,42	1,00
SCCR	-4,49 ⁻¹⁵	1,42	1,00
SCRD	6,37	1,42	<0,01
Conc B	-5,57 ⁻¹⁶	1,42	1,00
Conc C	-1,56 ⁻¹⁵	1,42	1,00
CCCR x Conc B	-8,91 ⁻¹⁸	2,01	1,00
CCRD x Conc B	-1,12 ⁻¹⁵	2,01	1,00
SCCR x Conc B	3,18	2,01	0,11
SCRD x Conc B	-6,37	2,01	<0,01
CCCR x Conc C	1,59	2,01	0,43
CCRD x Conc C	3,18	2,01	0,11
SCCR x Conc C	1,59	2,01	0,43
SCRD x Conc C	-6,37	2,01	<0,01

1023

1024

Tabela suplementar 9. Valores estatísticos apresentados pelos modelos lineares generalizados (GLMs) ao analisar o efeito dos ciclos nas sementes (CC) e ciclos de rega (CR) no extrato alelopático de *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* (Fabaceae) em diferentes concentrações (A- 25%, B- 50% e C- 100%) no comprimento da parte aérea (PA), comprimento da parte subterrânea (PS), na inibição do crescimento da parte aérea (IPA) e subterrânea (IPS) da *Lactuca sativa* L. (Asteraceae). RD: rega diária; SC: sem ciclo nas sementes.

PA			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	2,68	0,12	<0,01
CCCR	-0,45	0,17	0,01
CCRD	-0,16	0,17	0,36
SCCR	-0,18	0,17	0,31
SCRD	-0,40	0,17	0,02
Conc B	1,68 ⁻¹⁵	0,17	1,00
Conc C	1,57 ⁻¹⁵	0,17	1,00
CCCR x Conc B	0,09	0,25	0,72
CCRD x Conc B	6,00 ⁻⁰³	0,25	0,98
SCCR x Conc B	-0,05	0,25	0,82
SCRD x Conc B	0,09	0,25	0,70
CCCR x Conc C	0,06	0,25	0,79
CCRD x Conc C	-0,14	0,25	0,57
SCCR x Conc C	0,04	0,25	0,87
SCRD x Conc C	0,02	0,25	0,93
PS			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	2,42	0,21	<0,01
CCCR	1,09	0,30	<0,01
CCRD	1,16	0,30	<0,01
SCCR	0,52	0,30	0,09
SCRD	0,52	0,30	0,09
Conc B	1,39 ⁻¹⁵	0,30	1,00
Conc C	1,79 ⁻¹⁵	0,30	1,00
CCCR x Conc B	-0,01	0,43	0,97

CCRD x Conc B	-0,30	0,43	0,49
SCCR x Conc B	1,02	0,43	0,02
SCRD x Conc B	0,61	0,43	0,16
CCCR x Conc C	-0,36	0,43	0,40
CCRD x Conc C	-0,52	0,43	0,23
SCCR x Conc C	0,32	0,43	0,46
SCRD x Conc C	0,66	0,43	0,13
IPA			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	15,97	7,88	0,04
CCRD	-12,04	11,14	0,34
SCCR	-10,59	11,14	0,34
SCRD	-2,83	11,14	0,80
Conc B	-4,16	11,14	0,71
Conc C	-2,69	11,14	0,81
CCRD x Conc B	5,17	15,76	0,74
SCCR x Conc B	5,85	15,76	0,71
SCRD x Conc B	1,60	15,76	0,91
CCRD x Conc C	7,60	15,76	0,63
SCCR x Conc C	0,51	15,76	0,97
SCRD x Conc C	2,53	15,76	0,87
IPS			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	-53,04	18,43	<0,01
CCRD	-0,97	26,06	0,97
SCCR	24,60	26,06	0,35
SCRD	28,71	26,06	0,27
Conc B	3,82	26,06	0,88
Conc C	23,94	26,06	0,36
CCRD x Conc B	7,93	36,86	0,83
SCCR x Conc B	-48,33	36,86	0,19
SCRD x Conc B	-32,19	36,86	0,38
CCRD x Conc C	0,27	36,86	0,99
SCCR x Conc C	-35,19	36,86	0,34
SCRD x Conc C	-52,69	36,86	0,15

1032
1033

Capítulo 3.

A hidratação descontínua e os ciclos de rega afetam o efeito alelopático de plantas exóticas invasoras na germinação e no desenvolvimento inicial de uma espécie nativa da Caatinga?

Artigo a ser submetido na revista Plant Ecology

A hidratação descontínua e os ciclos de rega afetam o efeito alelopático de plantas exóticas invasoras na germinação e no desenvolvimento inicial de uma espécie nativa da Caatinga?

Igor Silva da Hora ^{1,2,*} e Marcos Vinicius Meiado ^{1,2}

¹Laboratório de Fisiologia de Sementes, Departamento de Biociências, Universidade Federal de Sergipe. Av. Vereador Olímpio Grande, Campus Professor Alberto Carvalho, Itabaiana, SE, Brasil.

²Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, Universidade Federal de Sergipe. Av. Marechal Rondon, Rosa Elze, São Cristóvão, SE, Brasil.

*E-mail para correspondência: shigorbio@gmail.com

RESUMO

A alelopatia é a capacidade de plantas exóticas invasoras produzirem aleloquímicos que podem inibir a germinação e o desenvolvimento inicial de espécies-alvo. Na Caatinga, as condições hídricas promovem hidratações descontínuas nas sementes e ciclos de rega nas mudas das espécies exóticas que invadem esse ecossistema. Este trabalho objetivou analisar como a hidratação descontínua e ciclos de rega podem impactar o efeito alelopático de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae) e *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* (Fabaceae) na germinação e no desenvolvimento inicial de *Cenostigma pyramidale* (Tul.) E. Gagnon & G.P. Lewis (Fabaceae) em testes em laboratório e em casa de vegetação. As espécies exóticas foram submetidas a ciclos de hidratação e desidratação nas sementes e a ciclos de rega nas mudas. A partir do material vegetal foram preparados extratos alelopáticos aquosos para testes em laboratório e parte desse material foi seca em estufa de circulação forçada de ar para serem misturados no solo para o experimento em casa de vegetação. Os extratos de *N. juliflora* não influenciaram a germinação e os extratos de leucena influenciaram apenas o tempo para germinação de 50% do lote (t_{50}). O material alelopático no solo afetou a emergência e o desenvolvimento inicial de diferentes modos, sendo que a emergência das plântulas e o comprimento da parte subterrânea foram os parâmetros afetados negativamente. Notou-se que a alelopatia é um processo dinâmico, pois condições ambientais simuladas por meio de tratamentos prévios afetam o efeito alelopático das espécies invasoras.

Palavras-chave: alelopatia; ecossistemas semiáridos; invasão biológica; memória de estresse.

ABSTRACT

Allelopathy is the ability of invasive exotic plants to produce allelochemicals that can inhibit the germination and early development of target species. In the Caatinga, water availability fluctuates, leading to discontinuous seed hydration and irrigation cycles in seedlings of the exotic species that invade this ecosystem. This study aimed to analyze how discontinuous hydration and irrigation cycles can impact the allelopathic effect of *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae) and *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* (Fabaceae) on the germination and early development of *Cenostigma pyramidale* (Tul.) E. Gagnon & G.P. Lewis (Fabaceae) in laboratory and greenhouse experiments. The exotic species were subjected to hydration–dehydration cycles in seeds and irrigation cycles in seedlings. Aqueous allelopathic extracts were prepared from plant material for laboratory tests, and part of the material was dried in a forced-air oven to be mixed into the soil for the greenhouse experiment. Extracts of *N. juliflora* did not influence germination, while *L. leucocephala* extracts affected only the time required for 50% of the seeds to germinate (t₅₀). Allelopathic material incorporated into the soil affected emergence and early development in different ways, with seedling emergence and root length being negatively affected. These findings indicate that allelopathy is a dynamic process, as environmental conditions simulated through prior treatments influence the allelopathic effects of invasive species.

Keywords: allelopathy; semi-arid ecosystems; biological invasion; stress memory.

1. Introdução

As espécies exóticas invasoras atualmente são uma das maiores causas de perda de biodiversidade mundial devido à invasão biológica (Didham et al. 2005; Bravo-Monasterio et al. 2016). Ambientes semiáridos, como a Caatinga, têm sofrido bastante com isso, pois a antropização das áreas e o desmatamento têm facilitado a invasão e intensificado a dominância dessas espécies nesses ecossistemas (Ribeiro et al. 2015; Pinto et al. 2020). Dentre as espécies invasoras que se destacam na Caatinga, têm-se a *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae) e *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* (Fabaceae), sendo que ambas apresentam ampla distribuição nesses ambientes, formam monoculturas e possuem um potencial alelopático (Pegado et al. 2006; Alves et al. 2014; Damasceno et al. 2017; Kato-noguchi e Kurniadie 2022), característica muito importante para aumentar a invasividade das espécies.

Uma das características que contribuem para o sucesso invasivo de espécies exóticas invasoras é a alelopatia (Callaway e Ridenour, 2004; Chen et al. 2017; Patnaik et al. 2017; Kalisz et al. 2021). Esta é a capacidade de algumas plantas de produzir compostos metabólicos (aleloquímicos) que, ao serem liberados no ambiente, afetam diretamente a germinação e o desenvolvimento das espécies-alvo (Khaliq et al. 2011; Aslam et al. 2017; Hashoum et al. 2021; Hierro e Callaway 2021; Alvim et al. 2023). A liberação dessas substâncias no meio pode ocorrer de diferentes maneiras, como lixiviação foliar, volatilização, decomposição da serapilheira e exsudação radicular (Roberts e Anderson 2001; Inderjit et al. 2011; Aslam et al. 2017). Entre os principais grupos de aleloquímicos conhecidos, têm-se fenóis, flavonoides e alcaloides, sendo que na *N. juliflora* destacam-se alcaloides como juliflorina, julifloricina e mesquitol e na *L. leucocephala* fenóis e um aminoácido não-proteico conhecido como mimosina (Ahmed et al. 2008; Ahuja et al. 2012; Damasceno et al. 2017).

A liberação de aleloquímicos no meio pelas espécies invasoras influencia o estabelecimento vegetal das espécies-alvo nativas, principalmente nos momentos mais críticos da vida vegetal: a germinação e o desenvolvimento inicial das plântulas (Lara-Núñez et al. 2009; Ishak e Sahid 2014; Zhang et al. 2021; Bibi et al. 2023). Na literatura, é amplamente discutido que esses compostos afetam processos bioquímicos e fisiológicos das espécies, como, por exemplo, a divisão e respiração celular e a atividade de enzimas germinativas, resultando na diminuição da protrusão radicular, atrasos na germinação, menor crescimento das raízes etc (Weir et al. 2004; Scherer et al. 2005; Sánchez-Moreiras et al. 2008; Li et al. 2010; Alvim et al. 2023; Li et al. 2025). Com isso, a inibição do estabelecimento de espécies nativas afeta a estruturação das comunidades vegetais e a regeneração natural (Zhang et al. 2021; Kalisz et al. 2021).

Comunidades vegetais de ambientes com características hídricas irregulares, como a Caatinga, passam por interrupções hídricas durante o estabelecimento no meio, visto que na embebição das sementes ocorre hidratação descontínua e no desenvolvimento inicial ciclos de rega e de seca ocorrem naturalmente (Meiado 2013; Oliveira et al., 2021; delaFuente et al. 2023; deCastro et al. 2024; Pereira-da-Silva et al. 2024; Lima et al. 2025). Tais processos estão relacionados à precipitação irregular, baixa retenção hídrica e altas temperaturas que promovem rápida evaporação da água no solo em ambientes da Caatinga (Meiado et al. 2012; Menezes et al., 2012). Assim, a passagem por esses ciclos promove estresse hídrico nessas plantas e estimula a expressão da memória de hidratação das sementes e da memória ao estresse das mudas (Lima et al. 2017; Sadhuklan et al. 2022; da Hora e Meiado 2024; deCastro et al. 2024; Oliveira et al. 2024; Lima et al. 2025). Essas memórias são expressas por meio da manutenção de ajustes bioquímicos e metabólicos durante esses estresses iniciais, os quais se mantêm e favorecem o estabelecimento das espécies em situações estressantes futuras (Sadhuklan

et al. 2022; Lima et al. 2025).

Nesse cenário, as espécies exóticas invasoras passariam por essas condições naturais de irregularidade hídrica e poderiam se beneficiar da expressão dessas memórias (deCastro et al. 2024). Além disso, a passagem pela situação estressante influencia o metabolismo secundário das espécies e pode alterar e/ou intensificar a produção de aleloquímicos por elas (Gatti et al. 2014; Chaeikar et al. 2020; Yu et al. 2023; Zhong et al. 2023; Li et al. 2025), o que aumentaria ainda mais sua invasividade na Caatinga. Em estudos com *L. leucocephala*, Honda e Borthakur (2021) observaram que a quantidade de mimosina aumentou após a passagem da espécie por situações ambientais de estresse. Apesar disso, ainda há uma escassez de estudos que compreendam como a passagem por hidratação descontínua nas sementes e ciclos de rega nas mudas de espécies exóticas pode afetar o seu efeito alelopático em espécies nativas de ecossistemas semiáridos como a Caatinga.

Dessa forma, entender como essas condições prévias, através de experimentos em laboratório e em casa de vegetação, influenciam a alelopatia dessas espécies invasoras é extremamente necessário. Além da necessidade de compreender como estádios críticos do estabelecimento de espécies nativas, a germinação e o desenvolvimento inicial, são afetados por essas espécies invasoras tão agressivas na Caatinga. Assim, o objetivo geral deste trabalho foi analisar como a passagem por hidratação descontínua e por ciclos de rega podem impactar o efeito alelopático de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae) e *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* (Fabaceae) na germinação e no desenvolvimento inicial de *Cenostigma pyramidale* (Tul.) E. Gagnon & G.P. Lewis (Fabaceae) em testes em laboratório e em casa de vegetação. Nesse contexto, buscou-se (I) verificar a influência da hidratação descontínua de sementes e dos ciclos de rega em plântulas sobre o efeito alelopático na germinação da espécie nativa *C.*

pyramidale em bioensaios de germinação in vitro; (II) compreender como a concentração pode afetar a alelopatia nos experimentos alelopáticos em laboratório; e (III) avaliar como o efeito alelopático, após a passagem da hidratação descontínua das sementes e ciclos de rega das plântulas, afeta parâmetros relacionados à emergência e ao desenvolvimento inicial de plântulas cultivadas em casa de vegetação. Com base nisso, construíram-se as seguintes hipóteses: (I) as espécies exóticas terão seu efeito alelopático influenciado pela hidratação descontínua de suas sementes e pelo ciclo de regas nas mudas, de modo que as plantas que passarem por esses dois processos apresentarão maior alelopatia nos experimentos no laboratório; (II) a alelopatia possui um efeito dose-dependente nos experimentos em laboratório e as maiores concentrações serão mais alelopáticas na germinação das sementes de *C. pyramidale*; e (III) nos experimentos alelopáticos em casa de vegetação, a emergência das plântulas será mais afetada do que o desenvolvimento inicial, sendo que as plantas que passaram por hidratação descontínua e ciclos de rega apresentarão um maior efeito alelopático.

2. Material e métodos

2.1. Coleta de material e espécies estudadas

Foram coletadas sementes das espécies exóticas invasoras em diferentes municípios localizados na Caatinga do estado de Sergipe, sendo que as sementes de *L. leucocephala* foram em Nossa Senhora da Glória enquanto as de *N. juliflora* foram em Carira (Figura 1B e C). Ambos apresentam um clima BSh, de acordo com a classificação de Köppen e Geiger, com temperaturas médias de 25,1 e 24,6°C e uma pluviosidade média anual de 563 e 490mm, respectivamente. As sementes de *C. pyramidale* (Figura 1A) foram coletadas no município pernambucano de Sertânia, o qual possui uma temperatura e pluviosidade médias anuais de 24,9°C e 353mm e a mesma classificação de clima dos municípios citados anteriormente (Climate-data 2025).

A escolha das espécies exóticas invasoras deveu-se ao fato de que elas invadem ambientes da Caatinga e integram a lista das piores espécies invasoras do mundo (Fabricante 2013; Alves et al. 2014; deCastro et al. 2024; GISD 2025a,b). *L. leucocephala*, popularmente conhecida como leucena, é uma espécie nativa da América Central, mas que invade ambientes degradados da Caatinga (Fabricante 2013). Dentre as características que favorecem a capacidade de invasão biológica destacam-se rápido crescimento vegetativo, produção contínua de sementes e flores, capacidade de fixação do nitrogênio, estabelecimento de populações densas e seu potencial alelopático (Ahmed et al. 2008; Fabricante 2013; Kato-Noguchi e Kurniadie 2022; Oliveira et al. 2023; GISD 2025a).

Conhecida popularmente como algaroba, a *N. juliflora* é nativa do continente americano, com uma ocorrência desde o México ao norte da América do Sul (Oliveira e Queiroz 2020). Assim como a leucena, essa espécie se espalhou pela Caatinga, principalmente, em áreas degradadas (Pometti et al. 2007; Nascimento et al. 2014; Oliveira e Queiroz 2020). Nestas, a espécie apresenta grandes povoamentos, de modo a evidenciar a capacidade competitiva da espécie atrelada ao seu potencial alelopático (Nakano et al. 2002; Nascimento et al. 2020).

A espécie-alvo nativa escolhida para os testes alelopáticos foi a *C. pyramidale*, popularmente conhecida como catingueira. Essa espécie arbórea é endêmica da Caatinga e apresenta uma ampla distribuição por todo o ecossistema, ocorrendo desde ambientes conservados até degradados (Silva & Dantas 2016; Pinho-Pessoa et al. 2018, Pompelli et al. 2024). Além disso, é uma espécie decídua muito importante para o ecossistema, sendo pioneira durante o processo de sucessão ecológica (Pinho-Pessoa et al. 2018; Ribeiro et al. 2021; Pompelli et al. 2024).

2.2. Hidratação descontínua e ciclos de rega nas mudas

Todas as sementes utilizadas passaram por um processo de escarificação química

com ácido sulfúrico concentrado durante 30 min para as espécies exóticas e 10 min para a espécie nativa. A hidratação descontínua das sementes das espécies invasoras foi promovida através da passagem por três ciclos de HD (Hidratação e Desidratação), nos quais os tempos para a hidratação e desidratação da algaroba foram de 5 h e 6 h, e para a leucena foram de 6 h e 5 h 15 min, respectivamente (ver capítulo 1, deCastro et al. 2024).

A hidratação ocorreu em placas de Petri de 15 cm com duas folhas de papel-toalha saturadas com água destilada, a 25 °C. Na desidratação, as sementes foram colocadas em placas com papel seco mantidas em estufa de circulação de ar a 40 °C. Em seguida, as sementes foram distribuídas em dez placas com três sementes para cada tratamento. Essas sementes tiveram sua germinação acompanhada diariamente durante 10 dias e a cada 2 dias de uma semente germinada, esta era direcionada para potes de 7 L com solo comercial e esterco, na proporção de 1:1, para que a plântula se desenvolvesse. Após esse período, todas as plântulas nos potes foram aclimatadas por um mês, com suprimento hídrico diário, segundo a saturação máxima do solo. As sementes que não passaram por esses ciclos foram colocadas para se estabelecerem nos potes da mesma forma.

Por fim, os potes com sementes que passaram (CC) e não passaram por ciclos de HD (SC) foram divididos em dois grupos: plântulas submetidas a ciclos de regas (CR) e plântulas que receberão água diariamente (RD). Os ciclos de rega eram de 7 dias, com as plântulas recebendo água uma vez por semana durante 45 dias. Desta forma, os tratamentos obtidos no experimento foram: CCCR (Hidratação descontínua nas sementes + ciclo de rega), SCCR (Sem hidratação descontínua nas sementes + ciclo de rega), CCRD (Hidratação descontínua nas sementes + rega diária) e SCRd (Sem hidratação descontínua nas sementes + rega diária), sendo 10 repetições para cada tratamento com uma plântula para cada pote.

2.3. Produção dos extratos alelopáticos das mudas e bioensaios de germinação em

laboratório

A partir das folhas coletadas dos indivíduos dos quatro tratamentos de hidratação descontínua e ciclos de rega, foi realizada a produção dos extratos alelopáticos, sendo o extrato aquoso foliar das folhas secas para a leucena e o dos lixiviados para a algaroba (Ver capítulo 2).

Para produzir o extrato seco, as folhas foram coletadas e postas para desidratar em estufa de circulação de ar na temperatura constante de 70°C durante 24h. Em seguida, o material seco foi adicionado a um triturador mecânico e triturado por 1 min (Wakjira et al. 2005). Com auxílio de balança analítica, foram pesados 10 g desse material particulado, o qual foi adicionado em 200 mL de água destilada e a solução foi filtrada com auxílio de papel filtro, obtendo a proporção de 1:20. Para obter a mesma proporção no extrato dos lixiviados da algaroba, foram adicionadas em um béquer 10g de folhas frescas em 200 mL de água destilada. O béquer foi vedado e o material ficou submerso durante 24 h. Em seguida, com auxílio de uma peneira, as folhas foram retiradas, restando somente a solução com os lixiviados (Cruz-Silva et al. 2015).

Com as soluções alelopáticas produzidas, os bioensaios de germinação foram realizados. Para cada concentração testada (25% [A], 50% [B] e 100% [C]) em cada tratamento (CCCR, SCCR, CCRD e SCRD) foram utilizadas 5 placas de Petri de 9 cm contendo 20 sementes de *C. pyramidale* cada. Nas placas havia duas folhas de papel filtro que foram umedecidas com 10 mL da solução correspondente. As concentrações de 25 e 50% foram obtidas a partir da diluição do extrato bruto (100%) e o tratamento controle utilizou água destilada durante a umidificação do papel.

As placas foram mantidas em sala de germinação à temperatura de 25°C e fotoperíodo de 12h, sendo avaliadas diariamente por 14 dias através da protrusão radicular como critério germinativo.

2.4. Efeito alelopático na emergência e desenvolvimento inicial de plântulas em casa de vegetação

Para avaliar o efeito alelopático das espécies invasoras nos experimentos em casa de vegetação, as sementes e plântulas dessas espécies passaram por hidratação descontinua e ciclos de rega como descrito anteriormente no tópico 4.2. Após esses tratamentos, as folhas das mudas foram retiradas e colocadas em sacos de papel na estufa de circulação forçada de ar durante 72 h a 40 °C (Grisi et al. 2013). Após isso, o material seco foi triturado no triturador mecânico para obtenção do material vegetal particulado.

Para quantificar o quanto seria incorporado do material ao solo, foi coletada a porção superficial a 1 cm de profundidade em uma área de 30 cm² sob a copa de 5 matrizes das espécies exóticas, e assim mensurou-se a quantidade de solo nessa área e de material da espécie. A partir dos valores médios, foi encontrado que para 1 kg de solo nos sacos de polietileno seriam utilizados 7,68 g de material na superfície. Assim, os sacos para cada tratamento puderam ser preparados para as duas espécies invasoras, sendo os tratamentos: 1- solo com material de sementes e plântulas que passaram por ciclos; 2- solo com material de sementes que passaram por ciclos e plântulas que não passaram; 3- solo com material de sementes que não passaram por ciclos e plântulas que passaram; 4- solo com material de sementes e plântulas que não passaram por ciclos; e 5- solo controle.

Após a preparação dos substratos, as sementes da espécie nativa foram semeadas, sendo 10 sacos com 5 sementes para todos os tratamentos, os quais foram mantidos em casa de vegetação com reposição hídrica diária, de acordo com a saturação máxima do solo. O comportamento germinativo foi mensurado, durante 15 dias, a partir da emergência das plântulas, sendo a germinação considerada quando a parte emergida apresentar um tamanho maior que 1 cm acima do substrato (da Hora et al. 2018).

Ao encerrar o período dos 15 dias, foi mantido no saco apenas um indivíduo para que não houvesse competição interespecífica. As plântulas formadas ficaram por um período de 1 mês recebendo rega diária e, ao final desse período, os parâmetros de desenvolvimento inicial foram mensurados.

2.5. Parâmetros avaliados e análises estatísticas

Para analisar como o efeito alelopático no comportamento germinativo, em laboratório, foi influenciado pelos ciclos de HD e de rega, os seguintes parâmetros foram calculados: Germinabilidade (G; %), o T_{50} (dias), Taxa média de germinação (V; dias^{-1}), Coeficiente de velocidade de germinação (CVt ; %), Incerteza da germinação (U; Bits) e Índice de Sincronização (Z) (Ranal e Santana 2006; Lima et al. 2025). No experimento da casa de vegetação, devido à baixa emergência (< 20%) das plântulas avaliadas, os parâmetros avaliados para compreender o comportamento germinativo foram apenas os três primeiros.

A G equivale a porcentagem de sementes germinadas (Lima et al. 2025), T_{50} representa o tempo para que 50% do lote germine (Farooq et al. 2005), V é a velocidade de germinação, U é a incerteza do processo germinativo (Ranal e Santana 2006; Lima et al. 2025) e Z indica o quão sincronizada é a germinação (Ranal e Santana 2006; Lima et al. 2025). Todos os parâmetros germinativos foram calculados com o pacote ‘*germinationmetrics package*’ no ‘*software*’ R (Aravind et al. 2025).

Para avaliar o desenvolvimento inicial da espécie foram selecionados os seguintes parâmetros: comprimento da parte aérea (PA) e da parte subterrânea (PS), diâmetro do hipocótilo (DC), número de folhas (NF) e biomassa seca do caule (BC) e da raiz (BR), sendo eles mensurados com auxílio de régua (cm), paquímetro (mm) e balança analítica de precisão (g).

A partir dos resultados de todos os parâmetros, foram analisadas a normalidade

dos resíduos e a homoscedasticidade através dos testes de Shapiro-wilk e Levene, respectivamente. Modelos lineares generalizados (GLMs) foram realizados para a análise dos efeitos dos ciclos de HD e ciclos de rega no experimento em laboratório e em solo. Além disso, no experimento de laboratório também foi analisado o efeito da variável concentração.

Nos modelos gerados, os dados de G foram verificados com distribuição binomial e função de ligação logit, os parâmetros de desenvolvimento inicial que atenderam à normalidade e homogeneidade tiveram seu modelo ajustado com família Gaussiana e função de ligação identidade, enquanto os dados de germinação e desenvolvimento que não atenderam a esses requisitos foram ajustados com família Gamma e função de ligação log. Além disso, nas análises de NF, foi utilizada a família quasipoisson. Após os ajustes dos modelos, foram realizadas comparações entre pares de médias, para os GLM gaussianos as comparações foram realizadas com o ajuste de Tukey, enquanto para os GLMs de família binomial, Gamma e quasipoisson foi utilizado o ajuste de Holm. As análises foram desenvolvidas no software R (R Core Team, 2023), com a significância de 5%. Com o intuito de tornar o texto mais fluido e amparar a compreensão dos resultados, as comparações estatísticas dos GLMs realizados foram adicionadas às tabelas suplementares do texto.

3. Resultados

3.1. Testes do efeito alelopático *in vitro* das espécies exóticas invasoras no comportamento germinativo da espécie-alvo nativa

Os extratos alelopáticos testados *in vitro*, após os tratamentos de ciclos nas sementes e ciclos de rega da algaroba, não influenciaram nenhum dos seis parâmetros avaliados do comportamento germinativo de *C. pyramidale* ($p > 0,05$; Figura 2; Tabela 1). No tratamento controle, a espécie-alvo apresentou uma germinabilidade alta, com o valor

médio de 78%, o qual não apresentou diferenças significativas em relação aos demais tratamentos ($p > 0,05$; Figura 2A).

Quanto ao t_{50} da espécie nos tratamentos avaliados, foram encontrados valores que variavam entre 1,5 e 1,8 dias (Figura 2B). Além disso, a velocidade de germinação (V) foi em média de 0,4 dias⁻¹ para todos os tratamentos (Figura 2C). Ambos os parâmetros não apresentam diferenças significativas ao analisar o efeito alelopático ($p > 0,05$).

A Z, o CVt e a U, mesmo após a exposição às soluções alelopáticas nas diferentes concentrações, mantiveram-se estatisticamente similares ao controle ($p > 0,05$), sendo que os valores médios encontrados no controle foram, respectivamente, 0,5, 39,70% e 1,15 bit (Figura 2D; Tabela 1).

No que diz respeito aos resultados do efeito alelopático promovido pela leucena, ressalta-se que o comportamento germinativo no tratamento controle foi o mesmo que o apresentado anteriormente nesta seção. De modo geral, as soluções alelopáticas não apresentaram diferenças significativas, com relação ao controle, nos parâmetros avaliados na germinação da espécie-alvo ($p > 0,05$; Tabela 1; Figura 3), com exceção do t_{50} (Figura 3B).

No t_{50} , notou-se que as menores concentrações dos extratos alelopáticos (A e B) não possuíam diferenças significativas, porém na concentração de 100% o tempo necessário à germinação nos tratamentos CCCR e SCCR aumentou em um dia, passando de 1,5 para 2,5 dias ($p < 0,05$; Figura 3B). Além disso, destaca-se que na U o SCCR apresentou um aumento à medida que a concentração alelopática subia, evidenciado principalmente comparando a menor e a maior concentração ($p = 0,01$).

3.2. Testes do efeito alelopático em casa de vegetação das espécies exóticas invasoras na emergência e desenvolvimento inicial da espécie-alvo nativa

A emergência e o desenvolvimento das plântulas de *C. pyramidale* responderam ao efeito alelopático da *N. juliflora* submetida a ciclos prévios nas sementes e de rega nas mudas (Figura 4). Ao comparar o desenvolvimento no controle com os tratamentos alelopáticos, notou-se que os parâmetros relacionados ao caule (DC, PA, BC) aumentaram, G, NF e PS diminuíram e o t_{50} , V e BR não foram influenciados.

O t_{50} para a emergência (Figura 4B) nos tratamentos avaliados variou entre 4 e 6 dias, sendo que este valor correspondeu ao tratamento SCCR, o qual foi o maior tempo apresentado, porém não houve diferenças significativas entre eles ($p>0,05$). Na V (Figura 4C), notou-se uma velocidade muito semelhante ($p>0,05$), sendo que no controle foi encontrado o valor médio de $0,13 \pm 0,03$ dias⁻¹. A BR (Figura 4G) também não foi influenciada pela alelopatia da algaroba ($p>0,1$).

Os parâmetros relacionados ao caule (PA, BC e DC) foram influenciados pela alelopatia. No PA (Figura 4D), todos os tratamentos promoveram um aumento significativo ($p\leq 0,01$), sendo que o SCCR e o CCCR tiveram os maiores valores encontrados. Ao comparar, por exemplo, o controle que possuía um comprimento do caule de $2,93 \pm 0,67$ cm com o SCCR que tinha o valor de $5,45 \pm 1,77$ cm, notou-se um aumento de cerca de 2,5 cm. Com relação à BC e à DC, notou-se que houve um aumento em todos os tratamentos (Figura 4G; 4I), porém apenas diferiram do controle o CCRD e o CCCR. Este apresentou os maiores valores nos dois parâmetros, sendo, respectivamente, $0,66 \pm 0,15$ g e $1,53 \pm 0,24$ mm.

A germinabilidade da espécie-alvo no solo foi baixa, sendo que em nenhum dos tratamentos atingiu o valor médio de 50%. Além disso, o tratamento CCRD, por exemplo, promoveu uma redução significativa ($p<0,01$) nesse parâmetro ao ser comparado com o controle, visto que este apresentava um valor médio de $36 \pm 12,64$ % e no CCRD de $22 \pm 1,72$ %, sendo assim, uma redução de aproximadamente 15% (Figura 4A). Em PS (Figura

4E), todos os tratamentos alelopáticos afetaram negativamente, entretanto, apenas o SCCR diminuiu significativamente ($p < 0,01$), de modo que o crescimento radicular no controle era $21,34 \pm 6,03$ cm e nesse tratamento foi $14,69 \pm 4,55$ cm. Por fim, NF (Figura 4F), apesar da diminuição provocada pela alelopatia, apenas o SCRD foi significativamente diferente do controle ($p < 0,01$), com um valor médio de $10 \pm 1,4$ folhas, enquanto no controle foi $13,8 \pm 2,25$ folhas.

Com relação ao efeito alelopático de *L. leucocephala* submetida aos ciclos na emergência e desenvolvimento inicial da *C. pyramidale* pôde-se observar que assim como na algaroba afetou diferentemente os parâmetros avaliados (Figura 5). Desta forma, t_{50} , V, DC, BR e NF não foram influenciados, PA e BC tiveram um aumento, enquanto G e PS apresentaram uma redução.

Dentre os parâmetros que não foram influenciados pela alelopatia tem-se o t_{50} , o tratamento SCRD apresentou um valor médio de $5,12 \pm 1,90$ dias (Figura 5B). A V (Figura 5C) apresentou um comportamento semelhante ao parâmetro anterior, sendo que não houve diferenças significativas ($p > 0,10$), mesmo o SCRD tendo promovido o maior aumento na V em comparação ao controle. O DC (Figura 5I), BR (Figura 5H) e NF (Figura 5F) também não foram influenciados pela alelopatia ($p > 0,05$) e apresentaram os seguintes valores médios no tratamento controle $1,03 \pm 0,24$ mm, $0,26 \pm 0,09$ g e $13,8 \pm 2,25$, respectivamente.

Com relação ao caule, observou-se que os parâmetros PA (Figura 5D) e BC (Figura 5G) foram influenciados positivamente pelos tratamentos alelopáticos ($p < 0,01$), sendo que em ambos o tratamento que apresentou os maiores valores foi o SCCR. Em PA esse tratamento triplicou o valor encontrado, visto que no controle era $3,16 \pm 0,40$ cm e passou para $9,70 \pm 2,79$ cm, enquanto em BC foi de $0,47 \pm 0,14$ g no controle para $0,75 \pm 0,23$ g no tratamento alelopático.

Por fim, a espécie-alvo apresentou uma baixa germinabilidade (Figura 5A) no tratamento controle e ao ser submetida aos tratamentos alelopáticos apresentou uma redução em todos eles, sendo que os tratamentos que diferiram significativamente do controle foram o CCRD e o SCRd ($p < 0,01$), este apresentou o menor valor encontrado no parâmetro que foi $14 \pm 8,94$ %. Quanto à PS (Figura 5E), todos os tratamentos promoveram uma diminuição do comprimento, porém apenas o SCCR e o CCRD foram significativamente diferentes do controle ($p < 0,01$). O SCCR apresentou o menor encontrado, sendo ele $12,6 \pm 7,19$ cm, o qual foi menor em relação ao controle, $20,43 \pm 5,63$ cm.

4. Discussão

A alelopatia apresentada por espécies exóticas invasoras, como a *N. juliflora* (algaroba) e a *L. leucocephala* (leucena), aumenta a invasividade e o sucesso da invasão (Callaway e Ridenour 2004; Ahmed et al. 2008; Oduor et al. 2020; Alvim et al. 2023; Musalami et al. 2023); logo, a capacidade de liberar aleloquímicos pode promover alterações na estrutura natural das áreas invadidas (Kalisz et al. 2021; Zhang et al. 2021; Li et al. 2025), como, por exemplo, na Caatinga. Nesta, as condições hídricas irregulares na germinação e no estabelecimento das plântulas promovem nas espécies hidratação descontínua das sementes e ciclos de rega nas plântulas (Lima e Meiado 2017; Freitas et al. 2021). Desse modo, os indivíduos passam por situações estressantes que estimulam modificações metabólicas e podem intensificar o seu efeito alelopático nesses ambientes (Pedrol et al. 2006; Gatti et al. 2014; Chaeikar et al. 2020; Li et al. 2025). Em um estudo anterior com a leucena, pesquisadores apontaram que após a passagem da espécie por estresse salino, por exemplo, ela aumentou a concentração de um de seus principais aleloquímicos, a mimosina (Honda e Borthakur, 2024).

No presente trabalho, ao avaliar, em laboratório, a resposta da espécie nativa *C.*

pyramidale (catingueira) aos extratos alelopáticos de *L. leucocephala* e *N. juliflora*, pôde-se observar que o comportamento germinativo do lote testado não foi alterado, evidenciado por sua alta germinabilidade, tempo curto e alta velocidade de germinação, além da sincronização. A catingueira é uma espécie amplamente discutida por sua alta tolerância a estresses ambientais (Matias et al. 2018) e a aleloquímicos de espécies exóticas (Mota et al. 2020). Sendo assim, a catingueira também é tolerante ao efeito alelopático das duas espécies invasoras testadas nas condições deste experimento.

A catingueira é uma espécie nativa e pioneira em ecossistemas da Caatinga e apresenta rápido estabelecimento em condições favoráveis à germinação (Silva e Dantas 2016; Matias et al. 2018; de Sena et al. 2021). Além disso, o fato de ocorrer em ambientes preservados e degradados demonstra que a espécie apresenta certa tolerância a diferentes fatores ambientais, o que promove a sucessão ecológica e a consequente reestruturação de comunidades nos locais de ocorrência (dos Santos et al. 2016; Silva e Dantas 2016; Pinho-Pessoa et al. 2018). Embora condições ambientais prévias possam promover alterações na produção de aleloquímicos por espécies exóticas (Yu et al. 2023; Zhong et al. 2023), isso não foi demonstrado nas respostas germinativas da espécie nativa durante o experimento em placas de Petri. Tal situação pode estar relacionada à tolerância da catingueira aos aleloquímicos no contexto alelopático testado, o que não corroborou a primeira hipótese deste estudo.

A concentração das soluções alelopáticas testadas no laboratório teve seu efeito significativo apenas no t_{50} na maior concentração dos tratamentos CCCR e SCCR da leucena. Esses resultados indicam que, apesar da tolerância da catingueira, com o aumento da concentração dos aleloquímicos no meio, características germinativas podem ser afetadas, corroborando a segunda hipótese, a qual a alelopatia seria dose-dependente, porém apenas no contexto da leucena e do tempo necessário para germinar. Esse atraso

na germinação pode estar relacionado à capacidade dos aleloquímicos alterar o metabolismo de carboidratos, como o amido e a sacarose, e inibir de forma reversível enzimas essenciais à germinação, como a α -amilase (Kocaçalışkan et al. 2009; Lara-Núñez et al. 2009). Portanto, a leucena comprometeria o estabelecimento de espécies nativas e apresentaria vantagem competitiva ao tornar a germinação dessas espécies mais lenta através da liberação de aleloquímicos, como a mimosina (Alvim et al. 2023). Resultados semelhantes também foram encontrados por Alvim et al. (2023) ao perceber o aumento no tempo médio e a redução no índice de velocidade de germinação de *Pterogyne nitens* Tul. (Fabaceae) sob influência de extratos alelopáticos de leucena (Alvim et al. 2023).

Nos experimentos em casa de vegetação, o efeito das espécies invasoras foi seletivo e influenciou diretamente os parâmetros analisados. A alelopatia é um processo que promove a redução da germinabilidade (Ahmed et al. 2008; Ishak e Sahid 2014) e, conseqüentemente, a emergência de plântulas no solo, como, por exemplo, no tratamento CCRD deste estudo. A redução da germinabilidade pode estar relacionada a reduções nas divisões celulares, além de interferências em processos fisiológicos e bioquímicos necessários à germinação, como a interrupção da capacidade de respiração mitocondrial (Einhellig, 2002; Weir et al. 2004; Sánchez-Moreiras et al. 2008). Apesar disso, outras características do comportamento germinativo, como o tempo e a velocidade, não foram afetadas pelo contato com as folhas das espécies. Portanto, os efeitos alelopáticos podem ser diferenciados a depender do parâmetro avaliado e de qual etapa do desenvolvimento vegetal está em análise, visto que os efeitos se diferenciam ao longo do ciclo de vida vegetal (Del Fabbro et al. 2014).

Além de afetar o processo germinativo, a liberação de aleloquímicos no solo por espécies invasoras influencia o desenvolvimento inicial de plantas nativas (Bibi et al.

2023; Li et al. 2025). Neste estudo, no tratamento SCCR, por exemplo, tanto a *L. leucocephala* quanto a *N. juliflora* promoveram uma redução significativa do crescimento da parte subterrânea e um aumento do comprimento da parte aérea. Diante disso, a liberação de compostos alelopáticos como fenóis, por exemplo, a partir das folhas no solo pode provocar a inibição da divisão celular e da elongação radicular, comprometendo as raízes das espécies-alvo (Li et al. 2010). Logo, as substâncias teriam maior impacto na região radicular devido à exposição e ao contato direto desse órgão com os compostos (Bibi et al. 2023). Em um estudo anterior com o desenvolvimento inicial de *Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert (Fabaceae), observou-se que o crescimento das raízes foi influenciado e teve redução promovida pelo efeito alelopático das folhas de leucena (Scherer et al. 2005).

Esse crescimento caulinar positivo pode indicar uma resposta fisiológica ao estresse ocasionado pelos aleloquímicos, sendo assim, a espécie promove um direcionamento energético específico para essa região com o intuito de permitir que a planta aumente seu aporte fotossintético, além de se espalhar por áreas com menor influência das espécies invasoras em seu estabelecimento inicial (Bibi et al. 2023). Apesar dos efeitos negativos e até mesmo positivos encontrados, alguns parâmetros não foram influenciados, logo, a capacidade de suportar os aleloquímicos está relacionada diretamente à tolerância da espécie-alvo (Ahmed et al. 2008). Neste caso, a capacidade da catingueira ocorrer em ambientes com material vegetal dessas espécies exóticas sem ser afetada pode ser um comportamento relacionado ao seu estágio sucessional em ambientes da Caatinga e à necessidade de um rápido estabelecimento mesmo com condições químicas do solo muitas vezes desfavoráveis.

Além disso, é importante destacar que os fatores ambientais, como a disponibilidade hídrica, afetam a alelopatia das espécies exóticas ao alterar o metabolismo

secundário (Gobbo-Neto e Lopes 2007; Gatti et al. 2014). Períodos de déficit hídrico podem ocasionar estresses fisiológicos e, conseqüentemente, a passagem por ciclos de hidratação e desidratação nas sementes e mudas pode modificar e/ou intensificar a produção de aleloquímicos, os quais afetam diretamente a germinação e o desenvolvimento inicial das plântulas nativas (Hashoum et al. 2021; Wu et al. 2021; Zhong et al. 2023; Li et al. 2025). Dessa forma, esses estresses prévios podem estimular a memória de hidratação em sementes de leucena (deCastro 2024) e de algaroba (Hora e Meiado 2025 – Cap. 1) e a memória de estresse nas mudas (Oliveira et al. 2024). Assim, as condições hídricas irregulares nesses ambientes invadidos, além de promover o aumento do sucesso no estabelecimento de espécies que possuem essas memórias (deCastro et al. 2024; da Hora e Meiado 2024; Oliveira et al. 2024; Pereira-da-Silva et al. 2024), podem intensificar o efeito alelopático e, conseqüentemente, facilitar o processo de invasão biológica.

Os resultados dos experimentos na casa de vegetação não corroboraram a terceira hipótese deste estudo, visto que os efeitos não foram mais intensos ao passar obrigatoriamente pelas duas condições prévias e, além disso, o desenvolvimento inicial apresentou mais alterações do que a emergência das plântulas. Sendo assim, o estresse fisiológico ocasionado pela passagem por ciclos no ambiente pode modular a produção de aleloquímicos e compostos de defesa, de modo a promover uma vantagem competitiva das espécies invasoras nos ambientes da Caatinga, pois intensificaria a alelopátia e amplificaria suas áreas de invasão nesses ambientes.

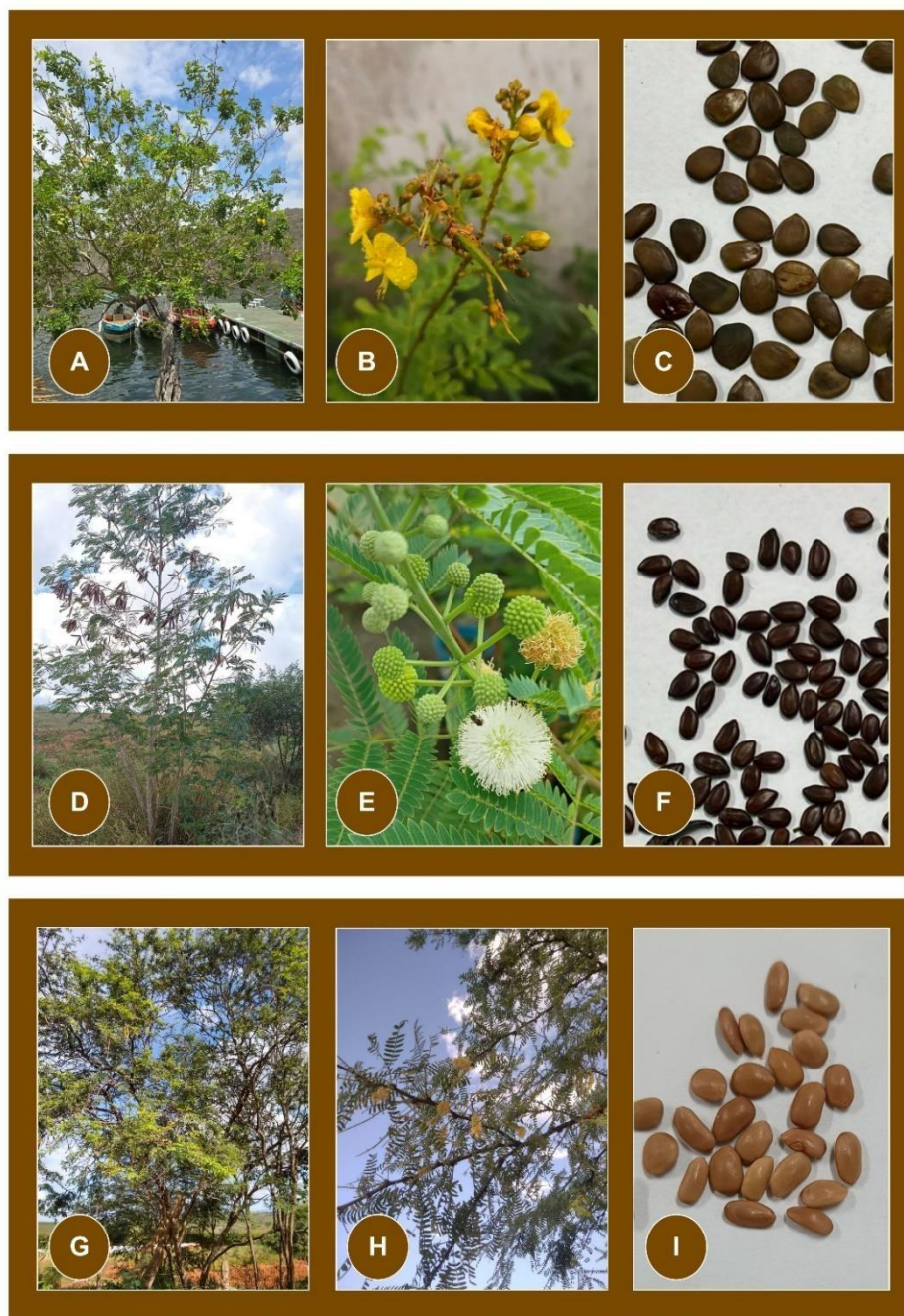
Com base nos dois métodos de bioensaios alelopáticos, é importante destacar que eles diferem quanto aos procedimentos adotados e, conseqüentemente, aos compostos alelopáticos extraídos e disponibilizados à espécie-alvo. Em experimentos com extratos aquosos, os compostos extraídos são hidrossolúveis, enquanto ao utilizar folhas

misturadas ao solo, há a disponibilização do material total, uma interação com a estrutura e umidade do solo, além da velocidade de liberação dos compostos no meio ser mais lenta. Por fim, é importante mencionar que os resultados com o lote de sementes de catingueira apontam para uma potencial tolerância dessa espécie aos efeitos alelopáticos de exóticas como a leucena e algaroba nas condições testadas.

5. Conclusão

A alelopatia foi compreendida como um processo dinâmico e modulável, visto que as condições ambientais simuladas através dos ciclos de hidratação e desidratação nas sementes e de rega nas mudas afetaram o efeito alelopático das espécies exóticas invasoras. Logo, ambientes que possuam irregularidades hídricas, como a Caatinga, podem provocar alterações metabólicas nessas espécies, aumentando seu potencial alelopático. Desta forma, as espécies exóticas invasoras que possuam uma memória de hidratação das sementes, de estresse nas mudas e que possuam essa capacidade de modular sua alelopatia apresentam uma vantagem competitiva ainda maior, de modo a intensificar sua invasividade nesses ambientes.

Além disso, espécies como a catingueira mostram-se promissoras para serem utilizadas em programas de recuperação de áreas degradadas e invadidas por espécies como a leucena e a algaroba, pois, assim como ela, podem apresentar tolerância que lhes permite crescer mesmo diante de situações de estresse alelopático. Deste modo, estudos que abranjam a competição dessas espécies no ambiente e investiguem se a espécie-alvo ao passar pelas mesmas condições prévias se torna mais tolerante são perspectivas para trabalhos futuros.



519 **Figura 1.** Aspectos morfológicos das três espécies estudadas. A) Indivíduo adulto de
 520 *Cenostigma pyramidale* (Tul.) Gagnon & G.P.Lewis (Fabaceae). B) Flores de *C.*
 521 *pyramidale*. C) Sementes de *C. pyramidale*. D) Indivíduo adulto de *Leucaena*
 522 *leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae). E) Inflorescências de *L. leucocephala*. F)
 523 Sementes de *L. leucocephala*. G) Indivíduo adulto de *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva
 524 Tellur. var. *juliflora* (Fabaceae). H) Inflorescências de *N. juliflora*. I) Sementes de *N.*
 525 *juliflora*.

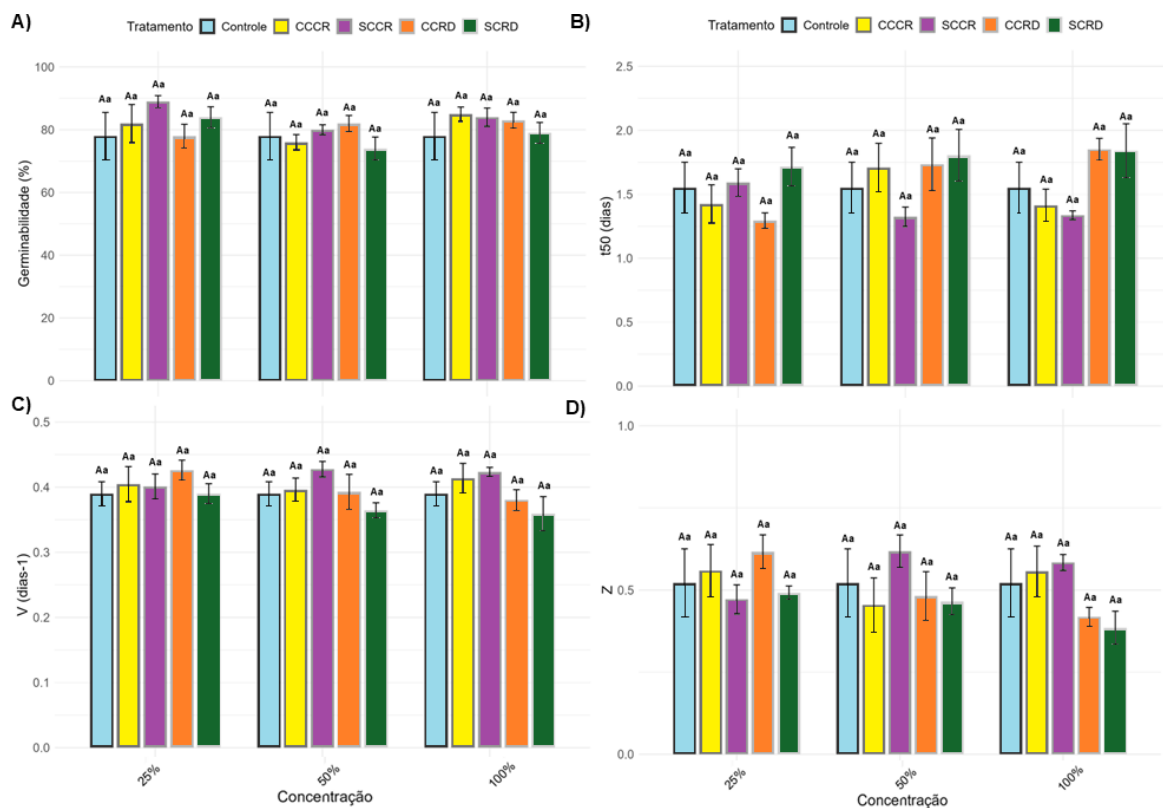


Figura 2. Efeito dos ciclos nas sementes (CC) e ciclos de rega (CR) no extrato alelopático de *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* (Fabaceae) em diferentes concentrações (A- 25%, B- 50% e C- 100%) em parâmetros germinativos de *Cenostigma pyramidale* (Fabaceae). RD: rega diária; SC: sem ciclo nas sementes. A) Germinabilidade (%). B) t50 (tempo para germinação de 50% do lote - dias). C) V (Velocidade Média de Germinação - dias⁻¹). D) Z (índice de sincronização). Letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento em diferentes concentrações, enquanto letras minúsculas comparam a mesma concentração em diferentes tratamentos.

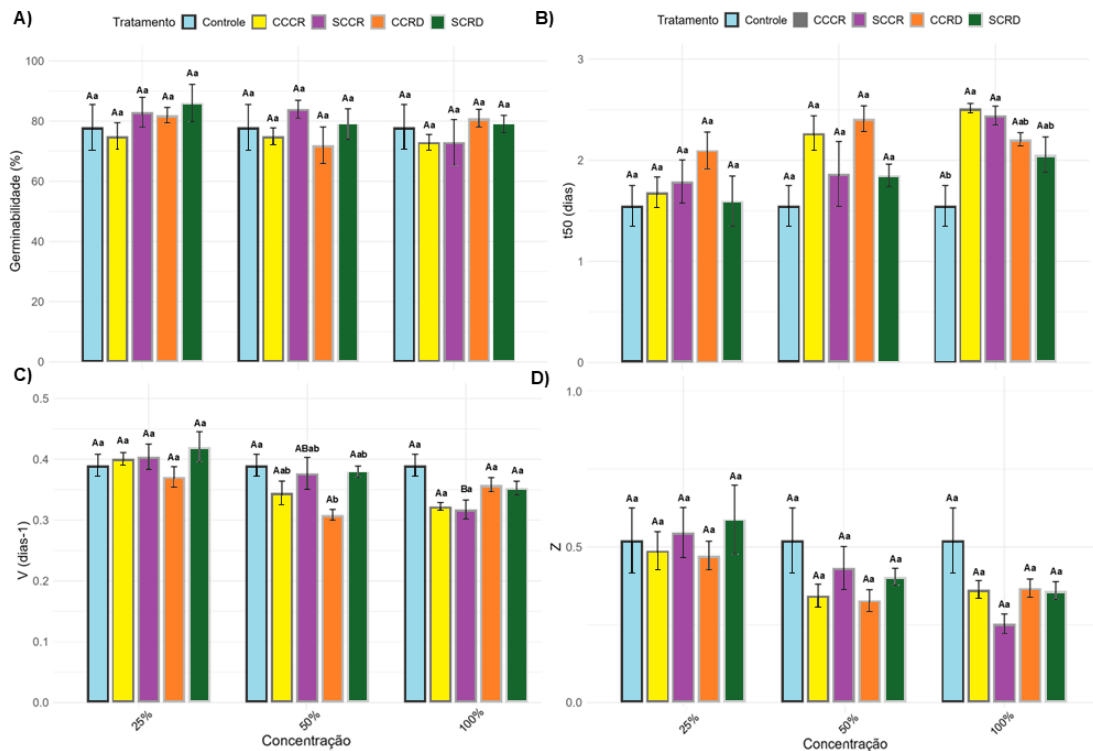


Figura 3. Efeito dos ciclos nas sementes (CC) e ciclos de rega (CR) no extrato alelopático de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae) em diferentes concentrações (A- 25%, B- 50% e C- 100%) em parâmetros germinativos de *Cenostigma pyramidale* (Fabaceae). RD: rega diária; SC: sem ciclo nas sementes. A) Germinabilidade (%). B) t50 (tempo para germinação de 50% do lote - dias). C) V (Velocidade Média de Germinação - dias⁻¹). D) Z (índice de sincronização). Letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento em diferentes concentrações, enquanto letras minúsculas comparam a mesma concentração em diferentes tratamentos.

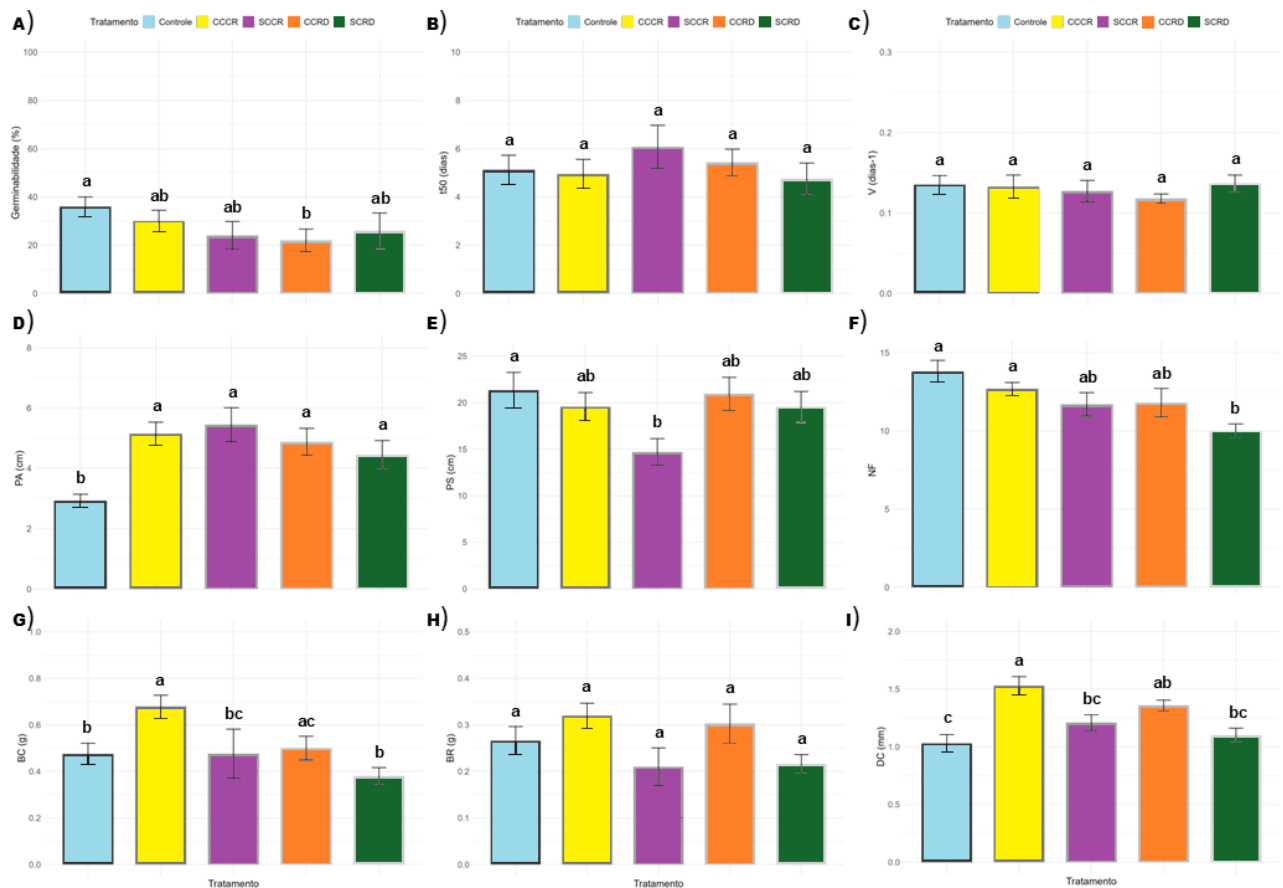
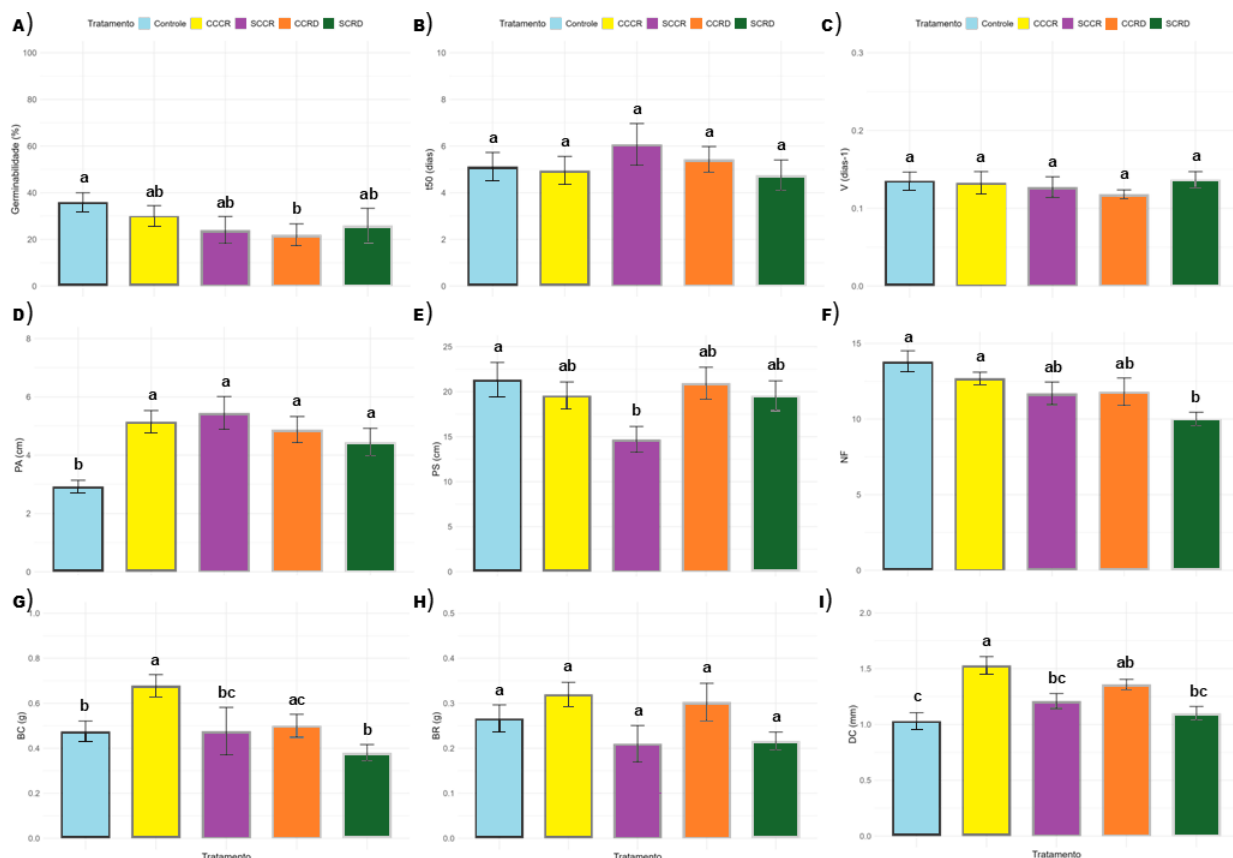


Figura 4. Efeito dos ciclos nas sementes (CC) e ciclos de rega (CR) no extrato alelopático de *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* (Fabaceae) em parâmetros germinativos de *Cenostigma pyramidale* (Fabaceae). RD: rega diária; SC: sem ciclo nas sementes. A) Germinabilidade (%). B) t50 (tempo para germinação de 50% do lote - dias). C) V (Velocidade Média de Germinação - dias⁻¹). D) PA (Comprimento da parte aérea - cm). E) PS (Comprimento da parte subterrânea - cm). F) NF (Número de folhas). G) BC (Biomassa da parte aérea - g). H) BR (Biomassa da raiz - g). I) DC (Diâmetro do caule - mm). As letras minúsculas comparam os diferentes tratamentos avaliados.



556 **Figura 5.** Efeito dos ciclos nas sementes (CC) e ciclos de rega (CR) no extrato alelopático
 557 de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae) em parâmetros germinativos de
 558 *Cenostigma pyramidale* (Fabaceae). RD: rega diária; SC: sem ciclo nas sementes. A)
 559 Germinabilidade (%). B) t50 (tempo para germinação de 50% do lote - dias). C) V
 560 (Velocidade Média de Germinação - dias⁻¹). D) PA (Comprimento da parte aérea - cm).
 561 E) PS (Comprimento da parte subterrânea - cm). F) NF (Número de folhas). G) BC
 562 (Biomassa da parte aérea - g). H) BR (Biomassa da raiz - g). I) DC (Diâmetro do caule -
 563 mm). As letras minúsculas comparam os diferentes tratamentos avaliados.

Tabela 1. Efeito dos ciclos nas sementes (CC) e ciclos de rega (CR) no extrato alelopático de *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* (Fabaceae) e *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae) em diferentes concentrações (25%, 50% e 100%) em parâmetros germinativos de *Cenostigma pyramidale* (Tul.) Gagnon & G.P.Lewis (Fabaceae). RD: rega diária; SC: sem ciclo nas sementes. Letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento em diferentes concentrações, enquanto letras minúsculas comparam a mesma concentração em diferentes tratamentos.

CVt (%) – <i>N. juliflora</i>			
Tratamento	25%	50%	100%
Controle	39,70 ± 6,90 Aa	39,70 ± 6,90 Aa	39,70 ± 6,90 Aa
CCCR	36,26 ± 7,83 Aa	28,83 ± 1,00 Aa	31,99 ± 5,73 Aa
SCCR	31,40 ± 6,84 Aa	33,14 ± 7,13 Aa	32,52 ± 6,36 Aa
CCRD	32,25 ± 5,85 Aa	31,06 ± 7,49 Aa	32,24 ± 6,62 Aa
SCRD	33,02 ± 8,58 Aa	40,68 ± 7,70 Aa	41,48 ± 6,02 Aa
U (bit) – <i>N. juliflora</i>			
Tratamento	25%	50%	100%
Controle	1,15 ± 0,25 Aa	1,15 ± 0,25 Aa	1,15 ± 0,25 Aa
CCCR	1,09 ± 0,22 Aa	1,25 ± 0,15 Aa	1,10 ± 0,21 Aa
SCCR	1,22 ± 0,14 Aa	0,86 ± 0,08 Aa	0,97 ± 0,05 Aa
CCRD	0,94 ± 0,11 Aa	1,15 ± 0,21 Aa	1,28 ± 0,13 Aa
SCRD	1,10 ± 0,10 Aa	1,26 ± 0,07 Aa	1,50 ± 0,16 Aa
CVt (%) – <i>L. leucocephala</i>			
Tratamento	25%	50%	100%
Controle	39,70 ± 6,90 Aa	39,70 ± 6,90 Aa	39,70 ± 6,90 Aa
CCCR	29,95 ± 2,92 Aa	30,08 ± 2,37 Aa	26,61 ± 1,82 Aa
SCCR	22,83 ± 3,78 Aa	34,67 ± 5,70 Aa	36,83 ± 2,69 Aa
CCRD	25,82 ± 2,17 Aa	40,99 ± 3,85 Aa	28,98 ± 3,47 Aa
SCRD	23,57 ± 3,35 Aa	30,70 ± 4,18 Aa	32,13 ± 2,26 Aa
U (bit) – <i>L. leucocephala</i>			
Tratamento	25%	50%	100%
Controle	1,15 ± 0,25 Aa	1,15 ± 0,25 Aa	1,15 ± 0,25 Aa
CCCR	1,14 ± 0,12 Aa	1,61 ± 0,15 Aa	1,56 ± 0,07 Aa
SCCR	0,98 ± 0,17 Ba	1,32 ± 0,19 Aba	1,87 ± 0,12 Aa
CCRD	1,18 ± 0,11 Aa	1,69 ± 0,11 Aa	1,47 ± 0,14 Aa
SCRD	0,95 ± 0,22 Aa	1,35 ± 0,10 Aa	1,53 ± 0,09 Aa

Tabela Suplementar 1. Valores estatísticos apresentados pelos modelos lineares generalizados (GLMs) ao analisar o efeito alelopático em bioensaios de germinação no laboratório em diferentes concentrações no comportamento germinativo de *Cenostigma pyramidale* (Tul.) Gagnon & G.P.Lewis promovido pela *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., *Sylva Tellur. var. juliflora* ao passar por ciclos nas sementes e ciclos de rega.

G			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	1,26	0,24	<0,01
CCCR	0,25	0,35	0,48
CCRD	8,95 ⁻¹²	0,34	1,00
SCCR	0,82	0,40	0,03
SCRD	0,39	0,36	0,28
Conc B	-5,73 ⁻¹⁶	0,34	1,00
Conc C	8,10 ⁻¹⁶	0,34	1,00
CCCR x Conc B	-0,36	0,48	0,45
CCRD x Conc B	0,25	0,49	0,61
SCCR x Conc B	-0,70	0,53	0,18
SCRD x Conc B	-0,61	0,49	0,21
CCCR x Conc C	0,21	0,51	0,67
CCRD x Conc C	0,32	0,49	0,51
SCCR x Conc C	-0,43	0,54	0,42
SCRD x Conc C	-0,33	0,50	0,50
t50			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	0,43	0,09	<0,01
CCCR	-0,08	0,13	0,53
CCRD	-0,18	0,13	0,19
SCCR	0,02	0,13	0,84
SCRD	0,10	0,13	0,46

Conc B	6,79 ⁻¹⁷	0,13	1,00
Conc C	1,35 ⁻¹⁷	0,13	1,00
CCCR x Conc B	0,18	0,19	0,35
CCRD x Conc B	0,29	0,19	0,13
SCCR x Conc B	-0,18	0,19	0,34
SCRD x Conc B	0,05	0,19	0,79
CCCR x Conc C	-8,17 ⁻⁰³	0,19	0,96
CCRD x Conc C	0,35	0,19	0,06
SCCR x Conc C	-0,17	0,19	0,36
SCRD x Conc C	0,06	0,19	0,72

V

	Est.	EP	p-valor
Intercepto	-0,94	0,04	<0,01
CCCR	0,03	0,06	0,59
CCRD	0,08	0,06	0,20
SCCR	0,02	0,06	0,68
SCRD	2,17 ⁻⁰⁴	0,06	0,99
Conc B	5,35 ⁻¹⁷	0,06	1,00
Conc C	-2,17 ⁻²⁰	0,06	1,00
CCCR x Conc B	-0,02	0,09	0,82
CCRD x Conc B	-0,08	0,09	0,40
SCCR x Conc B	0,06	0,09	0,50
SCRD x Conc B	-0,06	0,09	0,48
CCCR x Conc C	0,02	0,09	0,82
CCRD x Conc C	-0,11	0,09	0,24
SCCR x Conc C	0,05	0,09	0,57
SCRD x Conc C	-0,08	0,09	0,39

CVt

	Est.	EP	p-valor
Intercepto	3,61	0,18	<0,05

CCCR	-0,13	0,26	0,61
CCRD	-0,21	0,26	0,43
SCCR	-0,24	0,26	0,36
SCRD	-0,24	0,26	0,36
Conc B	9,26 ⁻¹⁶	0,26	1,00
Conc C	9,14 ⁻¹⁶	0,26	1,00
CCCR x Conc B	-0,12	0,37	0,74
CCRD x Conc B	-0,08	0,37	0,83
SCCR x Conc B	0,03	0,37	0,92
SCRD x Conc B	0,27	0,37	0,47
CCCR x Conc C	-0,09	0,37	0,81
CCRD x Conc C	-0,01	0,37	0,97
SCCR x Conc C	0,04	0,37	0,90
SCRD x Conc C	0,30	0,37	0,42

Z

	Est.	EP	p-valor
Intercepto	-0,65	0,13	<0,01
CCCR	0,06	0,18	0,71
CCRD	0,16	0,18	0,38
SCCR	-0,10	0,18	0,59
SCRD	-0,05	0,18	0,75
Conc B	3,88 ⁻¹⁶	0,18	1,00
Conc C	4,34 ⁻¹⁷	0,18	1,00
CCCR x Conc B	-0,20	0,26	0,44
CCRD x Conc B	-0,24	0,26	0,36
SCCR x Conc B	0,27	0,26	0,31
SCRD x Conc B	-0,05	0,26	0,83
CCCR x Conc C	-3,09 ⁻⁰³	0,26	0,99
CCRD x Conc C	-0,38	0,26	0,15
SCCR x Conc C	0,21	0,26	0,42

SCRD x Conc C	-0,24	0,26	0,36
U			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	1,15	0,17	<0,01
CCCR	-0,06	0,24	0,81
CCRD	-0,21	0,24	0,39
SCCR	0,06	0,24	0,79
SCRD	-0,05	0,24	0,84
Conc B	-7,99 ⁻¹⁷	0,24	1,00
Conc C	-5,11 ⁻¹⁷	0,24	1,00
CCCR x Conc B	0,16	0,35	0,65
CCRD x Conc B	0,21	0,35	0,54
SCCR x Conc B	-0,35	0,35	0,31
SCRD x Conc B	0,15	0,35	0,65
CCCR x Conc C	3,86 ⁻⁰³	0,35	0,99
CCRD x Conc C	0,33	0,35	0,34
SCCR x Conc C	-0,25	0,35	0,48
SCRD x Conc C	0,40	0,35	0,26

577
578

Tabela Suplementar 2. Valores estatísticos apresentados pelos modelos lineares generalizados (GLMs) ao analisar o efeito alelopático em bioensaios de germinação no laboratório em diferentes concentrações no comportamento germinativo de *Cenostigma pyramidale* (Tul.) Gagnon & G.P.Lewis promovido pela *Leucena leucocephala* (Lam.) de Wit ao passar por ciclos nas sementes e ciclos de rega.

G			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	1,26	0,24	<0,01
CCCR	-0,16	0,33	0,61
CCRD	0,25	0,35	0,48
SCCR	0,32	0,35	0,37
SCRD	0,54	0,37	0,14
Conc B	-1,85 ⁻¹⁵	0,34	1,00
Conc C	-7,74	0,34	1,00
CCCR x Conc B	1,06 ⁻¹⁴	0,47	1,00
CCRD x Conc B	-0,57	0,48	0,23
SCCR x Conc B	0,07	0,51	0,88
SCRD x Conc B	-0,49	0,50	0,33
CCCR x Conc C	-0,10	0,46	0,82
CCRD x Conc C	-0,06	0,49	0,89
SCCR x Conc C	-0,59	0,48	0,22
SCRD x Conc C	-0,49	0,50	0,33
t50			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	1,55	0,17	<0,01
CCCR	0,13	0,25	0,60
CCRD	0,54	0,25	0,03
SCCR	0,23	0,25	0,35
SCRD	0,04	0,25	0,86

Conc B	9,47 ⁻¹⁶	0,25	1,00
Conc C	9,97 ⁻¹⁶	0,25	1,00
CCCR x Conc B	0,58	0,35	0,11
CCRD x Conc B	0,31	0,35	0,38
SCCR x Conc B	0,07	0,35	0,83
SCRD x Conc B	0,25	0,35	0,48
CCCR x Conc C	0,83	0,35	0,02
CCRD x Conc C	0,10	0,35	0,76
SCCR x Conc C	0,65	0,35	0,07
SCRD x Conc C	0,46	0,35	0,20
V			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	-0,94	0,04	<0,01
CCCR	0,02	0,06	0,66
CCRD	-0,04	0,06	0,43
SCCR	0,03	0,06	0,57
SCRD	0,07	0,06	0,24
Conc B	-4,75 ⁻¹⁶	0,06	1,00
Conc C	-3,39 ⁻¹⁶	0,06	1,00
CCCR x Conc B	-0,15	0,08	0,09
CCRD x Conc B	-0,18	0,08	0,04
SCCR x Conc B	-0,07	0,08	0,43
SCRD x Conc B	-0,10	0,08	0,25
CCCR x Conc C	-0,21	0,08	0,01
CCRD x Conc C	-0,03	0,08	0,69
SCCR x Conc C	-0,24	0,08	<0,01
SCRD x Conc C	-0,17	0,08	0,05
CVt			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	39,71	4,32	<0,01

CCCR	-9,75	6,11	0,11
CCRD	-13,88	6,11	0,02
SCCR	-16,87	6,11	<0,01
SCRD	-16,13	6,11	0,01
Conc B	9,81 ⁻¹⁵	6,11	1,00
Conc C	-4,30 ⁻¹⁵	6,11	1,00
CCCR x Conc B	0,12	8,64	0,98
CCRD x Conc B	15,16	8,64	0,08
SCCR x Conc B	11,84	8,64	0,17
SCRD x Conc B	7,13	8,64	0,41
CCCR x Conc C	-3,34	8,64	0,70
CCRD x Conc C	3,16	8,64	0,71
SCCR x Conc C	14,00	8,64	0,11
SCRD x Conc C	8,56	8,64	0,32

Z

	Est.	EP	p-valor
Intercepto	0,52	0,06	<0,01
CCCR	-0,03	0,09	0,72
CCRD	-0,04	0,09	0,60
SCCR	0,02	0,09	0,79
SCRD	0,06	0,09	0,48
Conc B	2,20 ⁻¹⁶	0,09	1,00
Conc C	1,35 ⁻¹⁶	0,09	1,00
CCCR x Conc B	-0,14	0,13	0,28
CCRD x Conc B	-0,14	0,13	0,29
SCCR x Conc B	-0,11	0,13	0,40
SCRD x Conc B	-0,18	0,13	0,17
CCCR x Conc C	-0,12	0,13	0,35
CCRD x Conc C	-0,10	0,13	0,44
SCCR x Conc C	-0,29	0,13	0,03

SCRD x Conc C	-0,22	0,13	0,09
U			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	1,15	0,17	<0,01
CCCR	-0,01	0,24	0,95
CCRD	0,02	0,24	0,90
SCCR	-0,17	0,24	0,47
SCRD	-0,20	0,24	0,40
Conc B	-1,00 ⁻¹⁵	0,24	1,00
Conc C	-8,87 ⁻¹⁶	0,24	1,00
CCCR x Conc B	0,46	0,34	0,18
CCRD x Conc B	0,51	0,34	0,14
SCCR x Conc B	0,33	0,34	0,32
SCRD x Conc B	0,39	0,34	0,25
CCCR x Conc C	0,41	0,34	0,22
CCRD x Conc C	0,29	0,34	0,39
SCCR x Conc C	0,88	0,34	0,01
SCRD x Conc C	0,57	0,34	0,09

584

585

Tabela Suplementar 3. Valores estatísticos apresentados pelos modelos lineares generalizados (GLMs) ao analisar o efeito alelopático em experimento na casa de vegetação nos parâmetros relacionados à emergência das plântulas e ao desenvolvimento inicial de *Cenostigma pyramidale* (Tul.) Gagnon & G.P.Lewis promovido pela *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf., Sylva Tellur. var. *juliflora* ao passar por ciclos nas sementes e ciclos de rega.

G			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	-0,57	0,14	<0,01
CCCR	-0,27	0,21	0,20
CCRD	-0,69	0,22	<0,01
SCCR	-0,57	0,22	<0,01
SCRD	-0,47	0,21	0,03
t50			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	1,63	0,12	<0,01
CCCR	-0,03	0,17	0,84
CCRD	0,05	0,18	0,75
SCCR	0,16	0,19	0,38
SCRD	-0,07	0,19	0,69
V			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	-2,00	0,08	<0,01
CCCR	-0,01	0,12	0,88
CCRD	-0,13	0,13	0,30
SCCR	-0,06	0,13	0,65
SCRD	0,01	0,13	0,92
PA			

	Est.	EP	p-valor
Intercepto	2,93	0,43	<0,01
CCCR	2,22	0,61	<0,01
CCRD	1,95	0,61	<0,01
SCCR	2,52	0,61	<0,01
SCRD	1,52	0,61	0,01
PS			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	21,34	1,66	<0,01
CCCR	-1,78	2,35	0,45
CCRD	-0,39	2,35	0,86
SCCR	-6,65	2,35	<0,01
SCRD	-1,79	2,35	0,45
DC			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	1,03	0,06	<0,01
CCCR	0,50	0,09	<0,01
CCRD	0,33	0,09	<0,01
SCCR	0,18	0,09	0,06
SCRD	0,07	0,09	0,46
NF			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	2,62	0,05	<0,01
CCCR	-0,08	0,07	0,27
CCRD	0,15	0,07	0,04
SCCR	-0,16	0,07	0,03
SCRD	-0,32	0,08	<0,01
BC			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	0,47	0,06	<0,01

CCCR	0,20	0,08	0,02
CCRD	0,02	0,08	0,77
SCCR	0,00	0,08	0,99
SCRD	-0,09	0,08	0,28

BR

	Est.	EP	p-valor
Intercepto	0,26	0,03	<0,01
CCCR	0,05	0,04	0,25
CCRD	0,03	0,04	0,43
SCCR	-0,05	0,04	0,23
SCRD	-0,05	0,04	0,28

592

593

Tabela Suplementar 4. Valores estatísticos apresentados pelos modelos lineares generalizados (GLMs) ao analisar o efeito alelopático em experimento na casa de vegetação nos parâmetros relacionados à emergência das plântulas e ao desenvolvimento inicial de *Cenostigma pyramidale* (Tul.) Gagnon & G.P.Lewis promovido pela *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit ao passar por ciclos nas sementes e ciclos de rega.

G			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	-0,57	0,14	<0,01
CCCR	-0,27	0,21	0,20
CCRD	-0,81	0,23	<0,01
SCCR	-0,27	0,21	0,20
SCRD	-1,23	0,25	<0,01
t50			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	1,63	0,10	<0,01
CCCR	0,28	0,15	0,07
CCRD	0,07	0,16	0,67
SCCR	0,24	0,17	0,15
SCRD	-0,40	0,17	0,02
V			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	-2,00	0,11	<0,01
CCCR	-0,22	0,16	0,19
CCRD	-0,24	0,17	0,17
SCCR	-0,10	0,18	0,57
SCRD	0,28	0,19	0,14
PA			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	1,07	0,07	<0,01

CCCR	0,78	0,10	<0,01
CCRD	0,73	0,10	<0,01
SCCR	1,19	0,10	<0,01
SCRD	0,60	0,10	<0,01
PS			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	21,34	1,81	<0,01
CCCR	-4,82	2,56	0,06
CCRD	-7,36	2,56	<0,01
SCCR	-8,74	2,56	<0,01
SCRD	-3,74	2,56	0,15
DC			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	1,03	0,07	<0,01
CCCR	0,10	0,10	0,32
CCRD	0,19	0,10	0,06
SCCR	0,13	0,10	0,20
SCRD	0,12	0,10	0,23
NF			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	2,62	0,05	<0,01
CCCR	-0,09	0,07	0,19
CCRD	-0,18	0,07	0,02
SCCR	-0,07	0,07	0,31
SCRD	-0,17	0,07	0,02
BC			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	0,47	0,07	<0,01
CCCR	0,19	0,09	0,05
CCRD	0,15	0,09	0,11

SCCR	0,28	0,09	<0,01
SCRD	0,06	0,09	0,54
BR			
	Est.	EP	p-valor
Intercepto	0,26	0,03	<0,01
CCCR	0,03	0,05	0,46
CCRD	-0,01	0,05	0,73
SCCR	0,02	0,05	0,59
SCRD	-0,03	0,05	0,47

599

600

601

602

603

604

605

606

607

608

609

610

611

612

613

614

615

616

617

618

619

620

621

622

CONCLUSÃO GERAL

Diante do exposto nesta tese, concluiu-se que a capacidade invasiva de uma espécie exótica pode estar atribuída a características estimuladas pelo ambiente invadido. Em ambientes como a Caatinga, situações de hidratação descontínua estimulam a memória de hidratação das sementes de *N. juliflora*, de modo a aumentar a tolerância ao déficit hídrico.

Além disso, condições irregulares como os ciclos nas sementes e nas mudas podem desencadear estímulos estressantes, os quais provocam alterações do efeito alelopático, sendo assim a alelopatia seria um caráter modulável nas espécies de acordo com os estímulos prévios. Além disso, as espécies-alvo que interagem com as espécies invasoras é algo a ser notado, pois a resposta ao efeito alelopático pode ser minimizada quando a espécie é mais tolerante.

Desta forma, espécies que possuem uma memória de hidratação das sementes, de estresse nas mudas e modulem sua alelopatia de acordo com o estímulo dessas memórias podem apresentar um maior sucesso invasivo, como foi evidenciado em *L. leucocephala* e *N. juliflora*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adelino JRP et al. (2021) The economic costs of biological invasions in Brazil: a first assessment. *NeoBiota* 67: 349-374. <https://doi.org/10.3897/neobiota.67.59185>

Ahmed R, Hoque AR, Hossain MK (2008). Allelopathic effects of *Leucaena leucocephala* leaf litter on some forest and agricultural crops grown in nursery. *Journal of Forestry Research* 19: 298-302. <https://doi.org/10.1007/s11676-008-0053-0>

Ahuja I, Kissen R, Bones AM (2012) Phytoalexins in defense against pathogens. *Trends Plant Sci* 17:73–90. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2011.11.002>

Almeida WR. et al. (2015) The alien flora of Brazilian Caatinga: deliberate introductions expand the contingent of potential invaders. *Biological invasions* 17: 51-56. <https://doi.org/10.1007/s10530-014-0738-6>

Alvarado-López S et al. (2014) Priming effects on seed germination in *Tecoma stans* (Bignoniaceae) and *Cordia megalantha* (Boraginaceae), two tropical deciduous tree species. *Acta oecologica* 61: 65-70. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2014.10.007>

Alves JS, Fabricante JR (2019). Exotic invasive flora evaluation on different environments and preservation conditions from an area belonging to Caatinga, Petrolina, PE. *Gaia Scientia* 13: 40–52. <https://doi.org/10.22478/ufpb.1981-1268.2019v13n1.39803>

Alves JS, Reis LBO, Silva EKC, Fabricante JR, Siqueira Filho JA (2014) *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. In: Fabricante JR (ed) *Plantas exóticas e exóticas invasoras da Caatinga*, vol 4, p 13. Bookess, Florianópolis

675

676 Alvim S, Böhm FML, Pastorini LH (2023) Allelopathic potential of *Leucaena*
677 *leucocephala* (Lam.) de Wit leaf extracts on native species. Brazilian Journal of Biology
678 83:e272274. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.272274>

679

680 Andrade LA, Fabricante JR, DeOliveira FX (2010) Impactos da invasão de *Prosopis*
681 *juliflora* (sw.) DC.(Fabaceae) sobre o estrato arbustivo-arbóreo em áreas de Caatinga no
682 Estado da Paraíba, Brasil. Acta Scientiarum. Biological Sciences 32: 249-255.
683 <https://doi.org/0.4025/actascibiolsci.v32i3.4535>

684

685 Aravind J, Vimala Devi S, Radhamani J, Jacob SR, Srinivasan K (2025) The
686 *germinationmetrics* package: a brief introduction.

687

688 Aslam F, Khaliq A, Matloob A, Tanveer A, Hussain S, Zahir ZA (2017) Allelopathy in
689 agro-ecosystems: a critical review of wheat allelopathy—concepts and implications.
690 Chemoecology 27:1–24. <https://doi.org/10.1007/s00049-016-0225-x>

691

692 Bajwa AA, Chauhan BS, Farooq M, Shabbir A, Adkins SW (2016) What do we really
693 know about alien plant invasion? A review of the invasion mechanism of one of the
694 world's worst weeds. Planta 244; 39-57. <https://doi.org/10.1007/s00425-016-2510-x>

695

696 Bakewell-Stone P (2023) *Leucaena leucocephala* (leucaena). CABI Compendium.
697 <https://doi.org/10.1079/cabicompendium.31634>

698

699 Balah MA, Al-Andal A, Radwan AM, Donia AEM (2024) Unveiling allelopathic
700 dynamics and impacts of invasive *Erigeron bonariensis* and *Bidens pilosa* on plant

communities and soil parameters. *Sci Rep* 14:10159. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-57552-7>

Baskin, C. C., & Baskin, J. M. (2014). *Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination* (2. ed.). San Diego, CA: Academic Press.

Bertin C et al. (2007) Grass roots chemistry: meta-tyrosine, an herbicidal nonprotein amino acid. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104: 16964-16969.

Bibi S, Bibi A, Al-Ghouti MA, Abu-Dieyeh MH (2023) Allelopathic effects of the invasive *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. on native plants: Perspectives toward agrosystems. *Agronomy* 13:590. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020590>

Bravo-Monasterio P, Pauchard A, Fajardo A (2016) *Pinus contorta* invasion into treeless steppe reduces species richness and alters species traits of the local community. *Biological Invasions* 18:1883–1894. <https://doi.org/10.1007/s10530-016-1131-4>

Callaway RM, Aschehoug ET (2000) Invasive plants versus their new and old neighbors: a mechanism for exotic invasion. *Science* 290:521–523. <https://doi.org/10.1126/science.290.5491.521>

Callaway RM, Ridenour WM (2004) Novel weapons: invasive success and the evolution of increased competitive ability. *Frontiers in Ecology and the Environment* 2: 436-443. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2004\)002\[0436:NWISAT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2004)002[0436:NWISAT]2.0.CO;2)

Cavalcante A, Major I (2006) Invasion of alien plants in the Caatinga biome. *AMBIO: A*

Journal of the Human Environment 35: 141-143. [https://doi.org/10.1579/0044-7447\(2006\)35\[141:IOAPIT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1579/0044-7447(2006)35[141:IOAPIT]2.0.CO;2)

Chaeikar SS, Marzvan S, Khiavi SJ, Rahimi M (2020) Changes in growth, biochemical and chemical characteristics and alteration of the antioxidant defense system in leaves of tea clones (*Camellia sinensis* L.) under drought stress. *Scientia Horticulturae* 265:109257. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109257>

Chen B, Liao H, Chen W, Wei H, Pen S (2017) Role of allelopathy in plant invasion and control of invasive plants. *Allelopathy J* 41: 155-166. <https://doi.org/10.26651/2017-41-2-1092>

Chengxu W et al. (2011) Review on allelopathy of exotic invasive plants. *Procedia Engineering* 18: 240-246. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.038>

Climate-data (2025) Dados climáticos para cidades mundiais. Available at: <https://pt.climate-data.org> Accessed 7 Jul 2025.

Contreras-Quiroz M et al. (2016) Is seed hydration memory dependent on climate? Testing this hypothesis with Mexican and Argentinian cacti species. *Journal of Arid Environments* 130: 94-97. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2016.03.001>

Costa RMC, Freire ADO (2018) Allelopathic effect of aqueous extracts of *Prosopis juliflora* (Sw.) DC on the emergence and initial growth of *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poiret seedlings. *Nativa: Pesquisas Agrárias e Ambientais* 6:139–146. <https://doi.org/10.31413/nativa.v6i2.4768>

- Crisp PA, Ganguly D, Eichten SR, Borevitz JO, Pogson BJ (2016). Reconsidering plant memory: Intersections between stress recovery, RNA turnover, and epigenetics. *Science Advances* 2(2): e1501340. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1501340>
- Cruz-Silva CTA, Nasu EGC, Pacheco FP, Nobrega LHP (2015) Allelopathy of *Bidens sulphurea* L. aqueous extracts on lettuce development. *Rev Bras Plant Med* 17:679–684. https://doi.org/10.1590/1983-084X/14_096
- Csákvári E et al. (2023) Native species can reduce the establishment of invasive alien species if sown in high density and using competitive species. *Restoration Ecology* 31: 13901. <https://doi.org/10.1111/rec.13901>
- da Hora IS, Meiado MV (2024) The absence of light during discontinuous hydration affects the viability of a cactus species. *Plant Ecology* 225:583–591. <https://doi.org/10.1007/s11258-024-01413-w>
- da Hora IS, Santos LS, Meiado MV (2018) Seedling emergence of *Handroanthus chrysotrichus* (Mart. ex DC.) Mattos (Bignoniaceae) under the influence of discontinuous hydration of seeds. *Informativo ABRATES* 28: 59-62.
- Damasceno GA, Ferrari M, Giordani RB (2017) *Prosopis juliflora* (Sw). DC., an invasive species at the Brazilian Caatinga: phytochemical, pharmacological, toxicological and technological overview. *Phytochemistry Reviews* 16:309–331. <https://doi.org/10.1007/s11101-016-9476-y>

Dantas BF et al. (2020) Rainfall, not soil temperature, will limit the seed germination of dry forest species with climate change. *Oecologia* 192: 529–541. <https://doi.org/10.1007/s00442-019-04>

Dayan FE, Romagni JG, Duke S (2000) Investigating the mode of action of natural phytotoxins. *Journal of Chemical Ecology* 26: 2079–2094. <https://doi.org/10.1023/A:1005512331061>

de Castro RA, Dantas BF, Meiado MV (2024) Seed hydration memory in the invasive alien species *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae) in the Caatinga. *Journal of Arid Environments* 224:105238. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2024.105238>

de la Fuente JL, Zunzunegui M, Barradas MCD (2023) Physiological responses to water stress and stress memory in *Argania spinosa*. *Plant Stress* 7:100133. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100133>

de Sena FH, Lustosa BM, Santos Silva SR, Falcão HM, de Almeida JS (2021) Herbivory and leaf traits of two tree species from different successional stages in a tropical dry forest. *Neotropical Biodiversity* 7:266–275. <https://doi.org/10.1080/23766808.2021.1953893>

Del Fabbro C, Güsewell S, Prati D (2014) Allelopathic effects of three plant invaders on germination of native species: a field study. *Biological Invasions* 16:1035–1042. <https://doi.org/10.1007/s10530-013-0555-3>

Didham RK, Tylianakis JM, Hutchison, Ewers RM, Gemmel NJ (2005) Are invasive

species the drivers of ecological change? Trends Ecol Evol 20:470–474.

<https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.07.006>

Dombroski JLD, Praxedes SC, Freitas RMO, Pontes FM. (2011). Water relations of Caatinga trees in the dry season. South African Journal of Botany 77(2): 430-434.

<https://doi.org/10.1016/j.sajb.2010.11.001>

dos Santos AP, Hassemer G, Meiado MV (2019) Study of the allelopathic potential of the fruit pulp of *Pilosocereus gounellei* (Cactaceae). J Torrey Bot Soc 146:174–181.

<https://doi.org/10.3159/TORREY-D-18-00019.1>

dos Santos CA, da Silva NV, Walter LS, da Silva ECA, Nogueira RJMC (2016) Germinação de duas espécies da Caatinga sob déficit hídrico e salinidade. Pesquisa Florestal Brasileira 36:219–224. <https://doi.org/10.4336/2016.pfb.36.87.1017>

Dubrovsky JG (1996) Seed hydration memory in Sonoran Desert cacti and its ecological implication. Am. J. Bot. 83: 624–632. <https://doi.org/10.2307/2445922>

Dubrovsky JG (1998) Discontinuous hydration as a facultative requirement for seed germination in two cactus species of the Sonoran Desert. J. Torrey Bot. Soc. 125: 33–39. <https://doi.org/10.2307/2997229>

Duke, SO (2010) Allelopathy: current status of research and future of the discipline: a commentary. Allelopathy J. 25: 17–30.

Ehrenfeld JG (2010) Ecosystem consequences of biological invasions. Annual review of

ecology, evolution, and systematics 41: 59-80. [https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-](https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-102209-144650)

102209-144650

Einhellig FA (1999) Integrated view of allelochemicals amid multiple stresses. Principles and practices in plant ecology: allelochemical interactions: 479-494.

Einhellig FA (2002) The physiology of allelochemical action: clues and views.

Evangelista AR et al. (2005) Composição bromatológica de silagens de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) aditivadas com forragem de leucena (*Leucaena leucocephala* (LAM.) DEWIT). Ciência e agrotecnologia 29: 429-435. [https://doi.org/10.1590/S1413-](https://doi.org/10.1590/S1413-70542005000200022)

Fabricante JR (2013) *Plantas exóticas e exóticas invasoras da Caatinga, Vol. 1*. Bookess

Fabricante JR, Araújo KCT, Andrade LA (2010). Planta alienígena está invadindo o semiárido brasileiro. Jornal do Meio Ambiente 19: 16.

Fabricante JR et al. (2021) Invasive alien plants in Sergipe, north-eastern Brazil. Neotropical Biology and Conservation 16: 89-104. <https://doi.org/10.3897/neotropical.16.e56427>

Fabricante JR, Siqueira-Filho JA. (2012) Exotic and invasive plants of the caatingas of the São Francisco River. Flora of the Caatingas of the São Francisco River: Natural History and Conservation. 1ed. Rio de Janeiro, RJ: Andrea Jakobsson Estúdio Editorial, v. 1, p. 366-393.

- Farooq M, Basra SMA, Ahmad N, Hafeez K (2005) Thermal hardening: a new seed vigor enhancement tool in rice. J Integr Plant Biol 47:187–193. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2005.00031.x>
- Fay PA, Schultz MJ (2009). Germination, survival, and growth of grass and forb seedlings: effects of soil moisture variability. Acta Oecologica 35, 679-684. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2009.06.007>
- Fernandes MF, Queiroz LP. (2018). Vegetação e flora da Caatinga. Ciência e Cultura 70(4): 51–56. <https://doi.org/10.21800/2317-66602018000400014>
- Ferreira AG, Aquila MEA (2000) Alelopatia: uma área emergente da ecofisiologia. Rev Bras Fisiol Veg 12:175–204.
- Ferreira et al. 2023. Initial establishment of *Erythrina velutina* Willd seedlings under water deficit: physiological and biochemical aspects. Revista Brasileira de Ciências Ambientais 58(3): 352–364. <https://doi.org/10.5327/Z2176-94781712>
- Freitas RS, Meiado MV, da Silva EC (2021) Seed discontinuous hydration does not benefit germination but improves drought tolerance of *Triplaris gardneriana* seedlings. Acta Scientiarum Biological Sciences 43. <https://doi.org/10.4025/actascibiolsci.v43i1.55992>
- Frescura VDS, Kuhn AW, Laughinghouse IV HD, Tedesco SB (2013) Evaluation of the allelopathic, genotoxic, and antiproliferative effect of the medicinal species *Psychotria*

883 *brachypoda* and *Psychotria birotula* (Rubiaceae) on the germination and cell division of
884 *Eruca sativa* (Brassicaceae). *Caryologia* 66:138–144.
885 <https://doi.org/10.1080/00087114.2013.821832>
886
887 Gatti AB, Takao LK, Pereira VC, Ferreira AG, Lima MIS, Gualtieri SCJ (2014)
888 Seasonality effect on the allelopathy of cerrado species. *Brazilian Journal of Biology*
889 74:S064–S069. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.21512>
890
891 Gebreegziabher BG, Qufa CA (2017) Plant physiological stimulation by seeds salt
892 priming in maize (*Zea mays*): Prospect for salt tolerance. *African Journal of*
893 *Biotechnology* 16: 209-223. <https://doi.org/10.5897/AJB2016.15819>
894
895 Ghassemi-Golezani K, Hosseinzadeh-Mahootchi Ayda (2013) Influence of hydro-
896 priming on reserve utilization of differentially aged chickpea seeds. *Seed Technology*:
897 117-124.
898
899 Gioria M, Hulme PE, Richardson DM, Pyšek P (2023). Why are invasive plants
900 successful? *Annual Review of Plant Biology* 74(1): 635-670.
901 <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-070522-071021>
902
903 Global Invasive Species Database (2025a) Species profile: *Leucaena leucocephala*.
904 Available at: <http://www.iucngisd.org/gisd/speciesname/Leucaena+leucocephala>.
905 Accessed 25 May 2025.
906
907 Global Invasive Species Database (2025b) Species profile: *Prosopis juliflora*. Available

at: <http://www.iucngisd.org/gisd/speciesname/Prosopis+juliflora>. Accessed 25 May 2025.

Gniazdowska A, Bogatek R. (2005) Allelopathic interactions between plants Multi site action of allelochemicals. Acta Physiologiae Plantarum 27: 395-407. <https://doi.org/10.1007/s11738-005-0017-3>

Gobbo-Neto L, Lopes NP (2007) Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. Quím Nova 30:374–381. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000200026>

González-Zertuche L et al. (2001) Natural priming of *Wigandia urens* seeds during burial: effects on germination, growth and protein expression. Seed Science Research 11: 27-34. <https://doi.org/10.1079/SSR200057>

Grisi, P. U., Gualtieri, S. C. J., Ranal, M. A., & Santana, D. G. (2013). Phytotoxic activity of crude aqueous extracts and fractions of young leaves of *Sapindus saponaria* L. (Sapindaceae). Acta Botanica Brasilica 27: 62–70. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062013000100009>

Gross EM. (2003) Allelopathy of aquatic autotrophs. Critical reviews in plant sciences 22: 313-339. <https://doi.org/10.1080/713610859>

Guimarães ES, Oliveira AJS, Hora IS, Meiado MV (2023) Efeito da alelopatia intraespecífica da espécie *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae) durante a germinação e o desenvolvimento inicial. J Geospatial Model 3:144–149.

934

935 Guimarães TCS, Schmidt IB (2017) A systematization of information on Brazilian
 936 Federal protected areas with management actions for Animal Invasive Alien Species.
 937 Perspectives in Ecology and Conservation 15: 136-140.
 938 <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2017.06.005>

939

940 Guo C, Zhao C, Li F, Huang J (2022). Phylogenetic relationships and disturbance explain
 941 the resistance of different habitats to plant invasions. Life 12(11): 1785.
 942 <https://doi.org/10.3390/life12111785>

943

944 Hashoum H, Gavinet J, Gauquelin T, Baldy V, Dupouyet S, Fernandez C, Bousquet-
 945 Mélou A (2021) Chemical interaction between *Quercus pubescens* and its companion
 946 species is not emphasized under drought stress. European Journal of Forest Research
 947 140:333–343. <https://doi.org/10.1007/s10342-020-01337-w>

948

949 Hierro JL, Callaway RM (2021) The ecological importance of allelopathy. Annual
 950 Review of Ecology, Evolution, and Systematics 52:25–45.
 951 <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-051120-030619>

952

953 Honda MD, Borthakur D (2019) Mimosine concentration in *Leucaena leucocephala*
 954 under various environmental conditions. Tropical Grasslands–Forrajes Tropicales 7:164–
 955 172. [https://doi.org/10.17138/tgft\(7\)164-172](https://doi.org/10.17138/tgft(7)164-172)

956

957 Honda MD, Borthakur D (2021) Mimosine is a stress-response molecule that serves as
 958 both antioxidant and osmolyte in giant leucaena during environmental stress. Plant Stress
 959 2:100015. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2021.100015>

960

961 Hora IS, Oliveira AJ, Guimarães ES, Meiado MV (2023). Efeitos da hidratação
962 descontínua na germinação da espécie exótica invasora *Prosopis juliflora* (Sw) DC
963 (Fabaceae). *Journal of Geospatial Modelling* 3(1): 154–159.

964

965 Hora IS, Meiado MV (2016). A hidratação descontínua em sementes favorece a produção
966 de mudas de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae). *Agroforestalis News*
967 1: 20-24.

968

969 Hui C, Pyšek P, Richardson DM (2023) Disentangling the relationships among
970 abundance, invasiveness and invasibility in trait space. *npj Biodiversity* 2: 13.

971

972 Hussain MI, Shackleton R, El-Keblawy A, González L, Trigo MM (2021) Impact of the
973 invasive *Prosopis juliflora* on terrestrial ecosystems. In: Lichtfouse E (ed) *Sustainable*
974 *Agriculture Reviews*, vol 52. Springer, Cham, pp 199–232. [https://doi.org/10.1007/978-](https://doi.org/10.1007/978-3-030-73245-5_7)
975 [3-030-73245-5_7](https://doi.org/10.1007/978-3-030-73245-5_7)

976

977 Inderjit, Wardle DA, Karban R, Callaway RM (2011) The ecosystem and evolutionary
978 contexts of allelopathy. *Trends Ecol Evol* 26:655–662.
979 <https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.08.003>

980

981 Ishak MS, Sahid I (2014) Allelopathic effects of the aqueous extract of the leaf and seed
982 of *Leucaena leucocephala* on three selected weed species. In: *AIP Conference*
983 *Proceedings*, vol 1614, no 1, pp 659–664. American Institute of Physics.
984 <https://doi.org/10.1063/1.4895280>

985

986 Jaureguiberry P et al (2022) The direct drivers of recent global anthropogenic biodiversity
 987 loss. Science advances 8: 45. [https://doi.org/ 10.1126/sciadv.abm9982](https://doi.org/10.1126/sciadv.abm9982)

988

989 Kalisz S, Kivlin SN, Bialic-murphy Lalasia (2021) Allelopathy is pervasive in invasive
 990 plants. Biological Invasions 23: 367-371. <https://doi.org/10.1007/s10530-020-02383-6>

991

992 Jisha KC, Puthur JT (2018) Seed hydropriming enhances osmotic stress tolerance
 993 potential in *Vigna radiata*. Agricultural research 7: 145-151.
 994 <https://doi.org/10.1007/s40003-018-0306-x>

995

996 Kato-Noguchi H, Kurniadie D (2022) Allelopathy and allelochemicals of *Leucaena*
 997 *leucocephala* as an invasive plant species. Plants 11:1672.
 998 <https://doi.org/10.3390/plants11131672>

999

1000 Kaya MD et al. (2006) Seed treatments to overcome salt and drought stress during
 1001 germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). European journal of agronomy 24: 291-
 1002 295. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2005.08.001>

1003

1004 Khaliq A, Matloob A, Aslam F, Bismillah Khan M (2011) Influence of wheat straw and
 1005 rhizosphere on seed germination, early seedling growth and biochemical attributes of
 1006 *Trianthema portulacastrum*. Planta Daninha 29:523–533. [https://doi.org/10.1590/S0100-](https://doi.org/10.1590/S0100-83582011000300006)
 1007 [83582011000300006](https://doi.org/10.1590/S0100-83582011000300006)

1008

1009 Khatri K, Bargali K, Bargali SS (2025) Allelopathic effects of fresh and dried leaf extracts

1010 of *Ageratina adenophora* on rice varieties. Discov Plants 2:96.
 1011 <https://doi.org/10.1007/s44372-025-00173-9>
 1012
 1013 Khatun MR, Tojo S, Teruya T, Kato-Noguchi H (2023) The allelopathic effects of *Trewia*
 1014 *nudiflora* leaf extracts and its identified substances. Plants 12:1375.
 1015 <https://doi.org/10.3390/plants12061375>
 1016
 1017 Keane RM, Crawley MJ (2002). Exotic plant invasions and the enemy release hypothesis.
 1018 Trends in ecology & evolution 17(4): 164-170. [https://doi.org/10.1016/S0169-](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(02)02499-0)
 1019 [5347\(02\)02499-0](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(02)02499-0)
 1020
 1021 Kishoin V, Tumwesigye W, Turyasingura B, Wilber W, Chavula P, Gweyi-Onyango JP,
 1022 Kader S, Spalević V, Skataric G, Jaufer L (2024). The negative and positive impacts of
 1023 *Prosopis juliflora* on the Kenyan and Ethiopian ecosystems: A review study. Notulae
 1024 Scientia Biologicae 16(1): 11832. <https://doi.org/10.55779/nsb16111832>
 1025
 1026 Kocaçalışkan İ, Ünver MC, Terzi F (2009) Effects of saponin allelochemical on amylase
 1027 and PPO activity during wheat germination. Fresenius Environmental Bulletin 18:249–
 1028 252.
 1029
 1030 Kong C et al. (2019) Allelochemicals and signaling chemicals in plants. Molecules 24:
 1031 2737. <https://doi.org/10.3390/molecules24152737>
 1032
 1033 Krokaitė E et al. (2022). Relating invasibility and invasiveness: Case study of *Impatiens*
 1034 *parviflora*. *Frontiers in Ecology and Evolution* 10: 845947.
 1035 <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.845947>

1036

1037 Kumar M, Garkoti SC (2022) Allelopathy effects of invasive alien *Ageratina adenophora*
1038 on native shrub species of chir pine forest in the central Himalaya, India. Journal of Forest
1039 Research 27: 53-62. <https://doi.org/10.1080/13416979.2021.2002505>

1040

1041 Lara-Núñez A, et al. (2009) Phytotoxic effects of *Sicyos deppei* in germinating tomato
1042 seeds. Physiologia Plantarum 136:180–192. [https://doi.org/10.1111/j.1399-](https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2009.01228.x)
1043 [3054.2009.01228.x](https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2009.01228.x)

1044

1045 Lee M, Kim BW, Song U. (2021) Allelopathic potential of invasive *Hypochoeris radicata*
1046 weed on *Brassica napus* and *Lactuca sativa*. Allelopathy Journal 53: 231-241.

1047

1048 Li Y et al. (2021) Allelopathic effects of leachates of *Lumnitzera littorea* fruits on
1049 germination, seedling growth and antioxidant enzymes of native mangrove species
1050 *Sonneratia caseolaris*. Allelopathy Journal 54: 199-210.

1051

1052 Li Y, Li C, Liu Y, Zhang H, Xu Z, Zhong S, Du D (2025) Does drought have a significant
1053 impact on the allelopathy of invasive plant *Bidens pilosa* L. from two different
1054 distribution regions? Acta Physiol Plant 47:23. [https://doi.org/10.1007/s11738-025-](https://doi.org/10.1007/s11738-025-03776-7)
1055 [03776-7](https://doi.org/10.1007/s11738-025-03776-7)

1056

1057 Li ZH, Wang Q, Ruan X, Pan CD, Jiang DA (2010) Phenolics and plant allelopathy.
1058 Molecules 15:8933–8952. <https://doi.org/10.3390/molecules15128933>

1059

Lima AT, Almeida TS, de Santana DG, Meiado MV (2025) Development of a novel multivariate germination index to quantify seed hydration memory. *Plant Biology*. <https://doi.org/10.1111/plb.13766>

Lima AT, Meiado MV (2017) Discontinuous hydration alters seed germination under stress in two cactus populations. *Seed Science Research* 27:292–302. <https://doi.org/10.1017/S0960258517000241>

Lima AT, Meiado MV (2018a) Effect of hydration and dehydration cycles on *Mimosa tenuiflora* seeds during germination and initial development. *S Afr J Bot* 116: 164–167. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2018.03.017>.

Lima AT, Meiado MV (2018b) Effects of seed hydration memory on initial growth under water deficit of cactus from two populations that occur in different ecosystems in Northeast Brazil. *Plant Spec Biol* 33: 268–275. <https://doi.org/10.1111/1442-1984.12219>

Lima AT et al (2018) Does discontinuous hydration of *Senna spectabilis* (DC.) H.S. Irwin & Barneby var. *excelsa* (Schrad.) H.S. Irwin & Barneby (Fabaceae) seeds confer tolerance to water stress during seed germination? *J Seed Sci.* 40. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v40n1182838>

Lopez-Urrutia E et al (2014) Differential RNA-and protein-expression profiles of cactus seeds capable of hydration memory. *Seed Sci. Res.* 24 (2): 91–99. <https://doi.org/10.1017/S0960258513000317>

Lowe S et al. (2000) 100 of the world's worst invasive alien species: a selection from the global invasive species database. Auckland: Invasive Species Specialist Group.

Macel M, Van Dam NM, Keurentjes JJ (2010). Metabolomics: The chemistry between ecology and genetics. *Molecular Ecology Resources* 10: 583–593. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0998.2010.02854.x>

Macías FA, Castellano D, Molinillo JMG (2000) Search for a standard phytotoxic bioassay for allelochemicals: selection of standard target species. *J Agric Food Chem* 48:2512–2521. <https://doi.org/10.1021/jf9903051>

Mack RN. et al. (2000) Biotic invasions: causes, epidemiology, global consequences, and control. *Ecological applications* 10: 689-710. <https://doi.org/10.2307/2641039>

Matias JR, Torres SB, Freire JNT, Alencar SDS, Dantas BF (2018) Germinação de sementes de *Cenostigma pyramidale* sob diferentes temperaturas e salinidades.

Medina-Villar S, Uscola M, Pérez-Corona ME, Jacobs DF (2020) Environmental stress under climate change reduces plant performance, yet increases allelopathic potential of an invasive shrub. *Biol Invasions* 22:2859–2881. <https://doi.org/10.1007/s10530-020-02286-6>

Meiado MV, de Albuquerque LSC, Rocha EA, Rojas-Aréchiga M, Leal IR (2010). Seed germination responses of *Cereus jamacaru* DC. ssp. *jamacaru* (Cactaceae) to environmental factors. *Plant Species Biology*, 25(2), 120-128.

1110 <https://doi.org/10.1111/j.1442-1984.2010.00274.x>

1111

1112 Meiado MV, Silva FD, Barbosa DDA, Siqueira-Filho JA (2012) Diaspore of the

1113 Caatinga: a review. In: Flora of the Caatingas of the São Francisco River: Natural History

1114 and Conservation, pp 306–365. Andrea Jakobsson Estúdio Editorial, Rio de Janeiro

1115

1116 Meiado MV (2013) Evidências de memória hídrica em sementes da Caatinga. In: Anais

1117 do 64º Congresso Nacional de Botânica, pp 89–94. Sociedade Botânica do Brasil, Belo

1118 Horizonte

1119

1120 Menezes RSC, Sampaio EVSB, Giongo V, Pérez-Marin AM (2012) Biogeochemical

1121 cycling in terrestrial ecosystems of the Caatinga biome. Brazilian Journal of Biology

1122 72:643–653. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842012000400004>

1123

1124 Miranda RQ et al. (2014) Germination of *Prosopis juliflora* (S w.) DC seeds at different

1125 osmotic potentials and temperatures. Plant Species Biology 29: E9-E20.

1126 <https://doi.org/10.1111/1442-1984.12025>

1127

1128 Mishra A, Mishra S, Rajak P, Singh H (2023) *Leucaena leucocephala* and *Prosopis*

1129 *juliflora*: a comparative study of their seedlings with better drought adapted features in

1130 the time of rainfall pattern shifting. Int J Plant Environ 9:261–267.

1131 <https://doi.org/10.18811/ijpen.v9i03.09>

1132

1133 MMA. (2025) Caatinga. Disponível em: [https://www.gov.br/mma/pt-](https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/ecossistemas-1/biomas/caatinga)

1134 [br/assuntos/ecossistemas-1/biomas/caatinga](https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/ecossistemas-1/biomas/caatinga). Acesso em: 02 Jul. 2025.

1135

1136 Mota JAX, Lemos HÁF, Ferreira WN, Silva MAM (2020) Allelopathic effect of
1137 *Azadirachta indica* fresh leaves on germination of native plants. Scientia Plena
1138 16:e000000. <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2020.124202>

1139

1140 Musalami AA, Al-Marshoudi MS, Farooq SA, Al-Reasi HA (2023) Allelopathic effects
1141 of the invasive species *Prosopis juliflora* on seedlings of two common arid plants: Does
1142 free proline play roles? J Arid Environ 211:104931.
1143 <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2023.104931>

1144

1145 Nakano H, Fujii Y, Suzuki T, Yamada K, Kosemura S, Yamamura S, Hasegawa K (2001)
1146 A growth-inhibitory substance exuded from freeze-dried mesquite (*Prosopis juliflora*
1147 (Sw.) DC.) leaves. Plant Growth Regulation 33:165–168.
1148 <https://doi.org/10.1023/A:1017505702039>

1149

1150 Nakano H, Fujii Y, Yamada K, et al. (2002) Isolation and identification of plant growth
1151 inhibitors as candidate(s) for allelopathic substance(s) from aqueous leachate from
1152 mesquite (*Prosopis juliflora* (Sw.) DC.) leaves. Plant Growth Regul 37:113–117.
1153 <https://doi.org/10.1023/A:1020579101938>

1154

1155 Nakano H, Nakajima E, Fujii Y, Yamada K, Shigemori H, Hasegawa K (2003) Leaching
1156 of the allelopathic substance, L-tryptophan, from the foliage of mesquite (*Prosopis*
1157 *juliflora* (Sw.) DC.) plants by water spraying. Plant Growth Regul 40:49–52.
1158 <https://doi.org/10.1023/A:1023049026335>

1159

1160 Nascimento CES (2008). Comportamento invasor da algarobeira *Prosopis juliflora* (Sw)

1161 DC. nas planícies aluviais da caatinga (Tese de Doutorado). Universidade Federal de
 1162 Pernambuco, Recife, PE, Brasil.

1163

1164 Nascimento CES, Silva CAD, Leal IR, Souza-Tavares W, Serrão JE, Zanuncio JC,
 1165 Tabarelli M. (2020). Seed germination and early seedling survival of the invasive species
 1166 *Prosopis juliflora* (Fabaceae) depend on habitat and seed dispersal mode in the Caatinga
 1167 dry forest. PeerJ, 8, e9607. <https://doi.org/10.7717/peerj.9607>

1168

1169 Nascimento CES, Tabarelli M, da Silva CAD, Leal IR, de Souza Tavares W, Serrão JE,
 1170 Zanuncio JC (2014) The introduced tree *Prosopis juliflora* is a serious threat to native
 1171 species of the Brazilian Caatinga vegetation. Sci Total Environ 481:108–113.
 1172 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.019>

1173

1174 Nascimento JPB, Dantas BF, Meiado MV (2021). Hydropriming changes temperature
 1175 thresholds for seed germination of tree species from the Caatinga, a Brazilian tropical dry
 1176 forest. Journal of Seed Science 43:e202143004. [https://doi.org/10.1590/2317-](https://doi.org/10.1590/2317-1545v43238649)
 1177 [1545v43238649](https://doi.org/10.1590/2317-1545v43238649)

1178

1179 Nascimento JPB, Meiado MV (2021) Hidratação descontínua de sementes em regiões
 1180 semiáridas e suas implicações ecológicas: Uma revisão com foco na Floresta Tropical
 1181 Seca brasileira. In: Agrárias: Pesquisa e Inovação nas Ciências que alimentam o Mundo.
 1182 Editora Artemis, Curitiba: 193-219

1183

1184 Oduor AMO, vanKleunen M, Stift M (2020) Allelopathic effects of native and invasive
 1185 *Brassica nigra* do not support the novel-weapons hypothesis. Am. J. Bot. 107: 1106–

1113. <https://doi.org/10.1002/ajb2.1516>

Oksanen J et al. (2024). *_vegan: Community Ecology Package_*. R package version 2.6-6.1, <<https://CRAN.R-project.org/package=vegan>>.

Oliveira CDC, Melo ACG, Durigan G (2023) Thinning enhances success of enrichment planting with selected tree species under a pure stand of *Leucaena leucocephala*. *Restor Ecol*:e13985. <https://doi.org/10.1111/rec.13985>

Oliveira FG, Queiroz LP (2020) *Prosopis* in *Flora do Brasil 2020*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Available at: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB18991>. Accessed 15 June 2025.

Oliveira MT, Matzek V, Medeiros CD, Rivas R, Falcão HM, Santos MG (2014). Stress tolerance and ecophysiological ability of an invader and a native species in a seasonally dry tropical forest. *Plos one* 9(8): e105514. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105514>.

Oliveira MFC, da Silva EC, Vieira EA, Silva KR, Lobo AKM, da Silva EA (2024) Discontinuous hydration in seeds of *Sarcomphalus joazeiro* Mart. Hauenschild (Rhamnaceae) improve seedling tolerance to water deficit. *New Forests* 55:1825–1842. <https://doi.org/10.1007/s11056-024-10061-x>

Oliveira MFC, Santos Júnior JL, Freitas RS, Silva EC (2021) Seedling physiological responses of *Ceiba glaziovii* to intermittent drought. *Journal of Biotechnology and*

1211 Biodiversity 9:322–329. <https://doi.org/10.20873/jbb.uft.cemaf.v9n4.costa>

1212

1213 Parrotta JA (1992). *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. *Leucaena, tantan* (Res. Note

1214 SO-ITF-SM-52). U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest

1215 Experiment Station. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2977.0327>

1216

1217 Pasiecznik NM (2017) *Prosopis juliflora* (mesquite). CABI Compendium.

1218 <https://doi.org/10.1079/cabicompendium.43942>

1219

1220 Pasiecznik NM et al. (1998) Pretreatment of *Prosopis* seeds to break dormancy.

1221 International Tree Crops Journal 9(3): 187-193.

1222

1223 Pasiecznik NM et al. (2001) The *Prosopis juliflora*-*Prosopis pallida* complex: a

1224 monograph. Coventry: HDRA.

1225

1226 Patnaik P, Abbasi T, Abbasi SA (2017) *Prosopis* (*Prosopis juliflora*): blessing and bane.

1227 Tropical Ecology. 58: 455-483.

1228

1229 Pedrol N, González L, Reigosa MJ (2006) Allelopathy and abiotic stress. In: Reigosa MJ,

1230 Pedrol N, González L (eds) Allelopathy: a physiological process with ecological

1231 implications, pp 171–209. Springer, Dordrecht.

1232

1233 Pegado CMA, Andrade LA, Félix LP, Pereira IM (2006) Effects of invasion by *Prosopis*

1234 *juliflora* on Caatinga vegetation. Acta Botanica Brasilica 20:887–898.

1235

1236 Pereira-da-Silva P, Andrade-Sousa G, Penha-de-Oliveira DP, Campos-Silva M, Alves-
 1237 de-Oliveira DF, Voigt EL (2024) Discontinuous hydration changes reserve mobilization
 1238 in *Cenostigma pyramidale*. *New Forests* 55:1899–1912. [https://doi.org/10.1007/s11056-](https://doi.org/10.1007/s11056-024-10066-6)
 1239 [024-10066-6](https://doi.org/10.1007/s11056-024-10066-6)
 1240
 1241 Perveen S, Mushtaq MN, Yousaf M, Sarwar N (2021) Allelopathic hormesis and potent
 1242 allelochemicals from multipurpose tree *Moringa oleifera* leaf extract. *Plant Biosyst*
 1243 155:154–158. <https://doi.org/10.1080/11263504.2020.1727984>
 1244
 1245 Pinho-Pessoa AC, Mendes KR, Jarma-Orozco A, Pereira MP, Santos MA, Menezes RS,
 1246 Pompelli MF (2018) Interannual variation in climate modulates physiology of a Caatinga
 1247 species. *Indian Journal of Science and Technology* 11:1–17.
 1248 <https://doi.org/10.17485/ijst/2018/v11i41/130972>
 1249
 1250 Pinto AS, Monteiro FKS, Ramos MB, Araújo RCC, Lopes SF (2020) Invasive plants in
 1251 the Brazilian Caatinga: a scientometric analysis. *Neotropical Biology and Conservation*
 1252 15:503–520. <https://doi.org/10.3897/neotropical.15.e57403>
 1253
 1254 Pires NDM, Prates HT, Pereira Filho IA, Oliveira Jr RSD, Faria TCLD (2001)
 1255 Allelopathic activity of leucaena on weed species. *Sci Agric* 58:61–65.
 1256 <https://doi.org/10.1590/S0103-90162001000100011>
 1257
 1258 Pometti CL, Cialdella AM, Vilardi JC, Saidman BO (2007) Morphometric analysis of
 1259 varieties of *Acacia caven* (Leguminosae: Mimosoideae): taxonomic inferences in the
 1260 context of other Argentinean species. *Plant Syst Evol* 264:239–249.
 1261 <https://doi.org/10.1007/s00606-006-0508-8>

1262

1263 Pompelli MF, Jarma-Orozco A, Jaraba-Navas J, Pineda-Rodríguez Y, Rodríguez-Páez L
1264 (2024) Leaf area estimation of *Cenostigma pyramidale*: A Native Brazilian Caatinga
1265 Species. International Journal of Forestry Research 2024:8024418.
1266 <https://doi.org/10.1155/2024/8024418>

1267

1268 Pyšek P, Richardson DM, Rejmánek M, Webster GL, Williamson M, Kirschner J (2004).
1269 Alien plants in checklists and floras: towards better communication between taxonomists
1270 and ecologists. Taxon 53(1): 131–143. <https://doi.org/10.2307/4135498>

1271

1272 R Core Team (2023). *_R: A Language and Environment for Statistical Computing_*. R
1273 Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <<https://www.R-project.org/>>.

1274

1275 Ranal MA, Santana DGD (2006) How and why to measure the germination process? Braz
1276 J Bot 29:1–11. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042006000100002>

1277

1278 Reigosa M, Gomes AS, Ferreira AG, Borghetti F (2013) Allelopathic research in Brazil.
1279 *Acta Bot Bras* 27:629–646. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062013000400001>

1280

1281 Ribeiro EMS, Arroyo-Rodríguez V, Santos BA, Tabarelli M, Leal IR (2015)
1282 Anthropogenic disturbance drives impoverishment of the Caatinga vegetation. Journal of
1283 Applied Ecology 52:611–620. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12420>

1284

1285 Ribeiro IMC, Arruda ECP, Oliveira AFM, Almeida JS (2021) Physical and chemical
1286 defenses of *Cenostigma pyramidale*. Revista Caatinga 34:398–409.
1287 <https://doi.org/10.1590/1983-21252021v34n216rc>

1288

1289 Richardson DM, Pyšek P (2006). Plant invasions: merging the concepts of species
1290 invasiveness and community invasibility. *Progress in physical geography*, 30(3): 409-
1291 431. <https://doi.org/10.1191/0309133306pp490pr>

1292

1293 Richardson DM, Pyšek P, Rejmánek M, Barbour MG, Panetta FD, West (2000)
1294 Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *Diversity and*
1295 *distributions* 6: 93-107. <https://doi.org/10.1046/j.1472-4642.2000.00083.x>

1296

1297 Rito KF. et al. (2009) As sementes de mandacaru têm memória hídrica. *Boletín de la*
1298 *Sociedad Latinoamericana y del Caribe de Cactáceas y otras Suculentas* 6: 26-31.

1299

1300 Roberts KJ, Anderson RC (2001) Effect of garlic mustard [*Alliaria petiolata* (Beib.
1301 Cavara & Grande)] extracts on plants and arbuscular mycorrhizal (AM) fungi. *Am Midl*
1302 *Nat* 146:146–152. [https://doi.org/10.1674/0003](https://doi.org/10.1674/00030031(2001)146[0146:EOGMAP]2.0.CO;2)
1303 [0031\(2001\)146\[0146:EOGMAP\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1674/00030031(2001)146[0146:EOGMAP]2.0.CO;2)

1304

1305 Rodrigues ALP. et al. (2004) Degradabilidade in situ da matéria seca de forrageiras
1306 tropicais obtidas em diferentes épocas de corte. *Arquivo Brasileiro de Medicina*
1307 *Veterinária e Zootecnia* 56: 658-664.

1308

1309 Rodrigues-Corrêa KCS, Fett-Neto AG (2019) Abiotic stresses and non-protein amino
1310 acids in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences* 38:411–430.
1311 <https://doi.org/10.1080/07352689.2019.1707944>

1312

1313 Sadhukhan A, Prasad SS, Mitra J, Siddiqui N, Sahoo L, Kobayashi Y, Koyama H (2022)

1314 How do plants remember drought? *Planta* 256:7. <https://doi.org/10.1007/s00425-022->
1315 03924-0
1316
1317 Sagoff M (2018) What Is Invasion Biology?. *Ecological Economics* 154:22–30.
1318 <https://doi.org/10.1111/ele.13627>
1319
1320 Sahrir MAS, Yusoff N, Azizan KA (2023) Allelopathy activity under laboratory,
1321 greenhouse and field conditions: a review. *AIMS Agric Food* 8:1.
1322 <https://doi.org/10.3934/agrfood.2023004>
1323
1324 Salinas-Zavala CA, Douglas AV, Diaz HF (2002) Interannual variability of NDVI in
1325 northwest Mexico. Associated climatic mechanisms and ecological implications. *Remote*
1326 *Sensing of Environment* 82: 417-430. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00057-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00057-3)
1327
1328 Sánchez-Moreiras AM, Pedrol N, González L, Reigosa MJ (2008) BOA induces loss of
1329 salt tolerance in salt-adapted plants. *Plant Biology* 11:582–590.
1330 <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.2008.00144.x>
1331
1332 Sánchez-Soto BH et al (2005) Efecto de la hidratación discontinua sobre la germinación
1333 de tres cactáceas del desierto costero de Topolobampo, Ahome, Sinaloa. *Cactáceas y*
1334 *Suculentas Mexicanas* 50(1): 4-14.
1335
1336 Scherer LM, Zucareli V, Zucareli CA, Fortes AMT (2005) Allelopathic effect of
1337 *Leucaena leucocephala* leaf and fruit extracts on *Peltophorum dubium* germination.
1338 *Semina: Ciências Agrárias* 26: 161–166. <https://doi.org/10.5433/1679->
1339 [0359.2005v26n2p161](https://doi.org/10.5433/1679-0359.2005v26n2p161)

1340

1341 Scrivanti LR (2010) Allelopathic potential of *Bothriochloa laguroides* var. *laguroides*
1342 (DC.) Herter (Poaceae: Andropogoneae). *Flora* 205:302–305.
1343 <https://doi.org/10.1016/j.flora.2009.12.005>

1344

1345 Schüli et al. (2016) A review of the introduced forest pests in Brazil. *Pesquisa*
1346 *Agropecuaria Brasileira* 51: 397-406.
1347 <https://doi.org/10.1590/S0100204X2016000500001>

1348

1349 Sheteawi SA, Tawfik KM. (2007) Interaction effect of some biofertilizers and irrigation
1350 water regime on Mungbean (*Vigna radiate*) growth and yield. *Journal of Applied*
1351 *Sciences Research* 3: 251-262.

1352

1353 Shivanna KR (2018) Germination Strategies of Seeds of *Cassia auriculata*, a Perennial
1354 Weed Species of Arid and Semiarid Regions. *Proceedings of the National Academy of*
1355 *Sciences, India Section B: Biological Sciences* 88: 559-566.
1356 <https://doi.org/10.1007/s40011-016-0784-1>

1357

1358 Shan Z, Zhou S, Shah A, Arafat Y, Rizvi SAH, Shao H (2023) Plant allelopathy in
1359 response to biotic and abiotic factors. *Agronomy* 13:2358.
1360 <https://doi.org/10.3390/agronomy13092358>

1361

1362 Silva CLC, Dechoum MS, Lucena RL et al. (2025) Climate projections and the future of
1363 invasive plants in the Caatinga. *Biol Invasions* 27: 208. [https://doi.org/10.1007/s10530-](https://doi.org/10.1007/s10530-025-03660-y)
1364 [025-03660-y](https://doi.org/10.1007/s10530-025-03660-y)

1365

1366 Silva FD, Dantas BF (2016) Quantification of storage proteins during seed imbibition of
1367 Caatinga species. Semina: Ciências Agrárias 37: 1733–1744.
1368 <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2016v37n4p1733>

1369

1370 Silva GH et al. (2019) Effect of Priming on Physiological Quality of *Handroanthus*
1371 *serratifolius* (Vahl.) Seeds. Journal of Experimental Agriculture International 31: p. 1-8.
1372 <https://doi.org/10.9734/jeai/2019/v31i330071>

1373

1374 Silva JMC, Leal IR, Tabarelli M (2017). Caatinga: The Largest Tropical Dry Forest
1375 Region in South America. Cham: Springer International Publishing AG, 482p.

1376

1377 Simberloff D, Martin J, Genovesi P et al. (2013) Impacts of biological invasions: what's
1378 what and the way forward. Trends in ecology & Evolution 28: 58-66. [https://doi.org/](https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.07.013)
1379 [10.1016/j.tree.2012.07.013](https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.07.013)

1380

1381 Skoneczny D, Zhu X, Weston PA, Gurr GM, Callaway RM, Weston LA (2019)
1382 Production of pyrrolizidine alkaloids and shikonins in *Echium plantagineum* L. in
1383 response to various plant stressors. Pest Manag Sci 75:2530–2541.
1384 <https://doi.org/10.1002/ps.5540>

1385

1386 Turyasingura B et al (2023). A literature review of climate-smart landscapes as a tool in
1387 soil-water management in Sub-Saharan Africa. Int. Res. J. Multidiscip. Technovation
1388 5(2): 10-18 <https://doi.org/10.54392/irjmt2322>

1389

1390 Ullah MS, Sun J, Rutherford S, Ullah I, Javed Q, Rasool G, Ajmal M, Du D (2021)

Evaluation of the allelopathic effects of leachate from an invasive species (*Wedelia triobata*) on its own growth and performance and those of a native congener (*W. chinensis*). Biol Invasions 23:3135–3149. <https://doi.org/10.1007/s10530-021-02569-6>

Valery L, Fritz H, Lefeuvre JC, Simberloff D (2008) In search of a real definition of the biological invasion phenomenon itself. Biol Invasions 10: 1345-1351. <https://doi.org/10.1007/s10530-007-9209-7>

Vilà M et al. (2011). Ecological impacts of invasive alien plants: a meta-analysis of their effects on species, communities and ecosystems. Ecology letters 14(7): 702-708. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01628.x>

Vries B (2025) Bio-Invasions: Beyond the Biological Weapons Convention?, Journal of International Wildlife Law & Policy 28: 402-424. <https://doi.org/10.1080/13880292.2025.2619361>

Wakjira M, Berecha G, Bulti B (2005) Allelopathic effects of *Parthenium hysterophorus* extracts on seed germination and seedling growth of lettuce. Trop Sci 45:159–162. <https://doi.org/10.1002/ts.21>

Wang C et al. (2016) The allelopathic effects of invasive plant *Solidago canadensis* on seed germination and growth of *Lactuca sativa* enhanced by different types of acid deposition. Ecotoxicology 25: 555-562, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10646-016-1614-1>

Wang CY, Yu YL, Cheng HY, Du DL (2022) Which factor contributes most to the invasion resistance of native plant communities under the co-invasion of two invasive

1417 plant species? Sci Total Environ 813:152628.
 1418 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152628>
 1419
 1420 Weir TL, Park SW, Vivanco JM (2004). Biochemical and physiological mechanisms
 1421 mediated by allelochemicals. Current Opinion in Plant Biology, 7(4), 472-479.
 1422 <http://dx.doi.org/10.1016/j.pbi.2004.05.007>.
 1423
 1424 Wickham, H. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York,
 1425 2016.
 1426
 1427 Wilke C (2020). _cowplot: Streamlined Plot Theme and Plot Annotations for 'ggplot2'_.
 1428 R package version 1.1.1, <<https://CRAN.R-project.org/package=cowplot>>.
 1429
 1430 Wu R, Wu B, Cheng H, Wang S, Wei M, Wang C (2021) Drought enhanced the
 1431 allelopathy of goldenrod on the seed germination and seedling growth performance of
 1432 lettuce. Pol J Environ Stud 30:1. <https://doi.org/10.15244/pjoes/122691>
 1433
 1434 Yan M (2017) Prolonged storage reduced the positive effect of hydropriming in Chinese
 1435 cabbage seeds stored at different temperatures. S Afr J Bot 111:313–315.
 1436 <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2017.04.005>
 1437
 1438 Yu Y, Zhong S, Xu Z, Xu Z, Wang C, Du, D. (2023) Does the salt stress intensify the
 1439 independent allelopathy and the co-allelopathy of *Solidago canadensis* L. and *Conyza*
 1440 *canadensis* (L.) Cronq.?. South African Journal of Botany 153: 37-45.
 1441 <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.12.015>

1442

1443 Zhang Z, Liu Y, Yuan L, Weber E, van Kleunen M (2021) Effect of allelopathy on plant
1444 performance: a meta-analysis. Ecology Letters 24:348–362.
1445 <https://doi.org/10.1111/ele.13627>

1446

1447 Zhong S, Xu Z, Cheng H, et al. (2023) Does drought stress intensify the allelopathy of
1448 invasive woody species *Rhus typhina* L.? Trees 37:811–819.
1449 <https://doi.org/10.1007/s00468-022-02385-y>

1450

1451 Ziller SR (2000) A estepe gramíneo-lenhosa no segundo planalto do Paraná: diagnóstico
1452 ambiental com enfoque à contaminação biológica. Tese, Universidade Federal do Paraná,
1453 Curitiba.

1454

1455 Ziller SR (2001) Plantas exóticas invasoras: a ameaça da contaminação biológica. Ciência
1456 Hoje 30 (178): 77-79.

1457