



GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
UNIVERSIDADE REGIONAL DO CARIRI – URCA
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE - CCBS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DIVERSIDADE BIOLÓGICA E RECURSOS
NATURAIS - PPGDR

FELIPE RUFINO DOS SANTOS

**EFEITO DA DECOMPOSIÇÃO DAS FOLHAS DE *Bambusa vulgaris* Schrad. ex
J.C.Wendl. (POACEAE) SOBRE A GERMINAÇÃO E CRESCIMENTO DE *Copaifera
langsdorffii* Desf. (FABACEAE) E *Erythroxylum pyan* Costa-Lima
(ERYTHROXYLACEAE)**

CRATO-CE

2024

FELIPE RUFINO DOS SANTOS

**EFEITO DA DECOMPOSIÇÃO DAS FOLHAS DE *Bambusa vulgaris* Schrad. ex
J.C.Wendl. (POACEAE) SOBRE A GERMINAÇÃO E CRESCIMENTO DE *Copaifera
langsdorffii* Desf. (FABACEAE) E *Erythroxylum pycnanthum* Costa-Lima
(ERYTHROXYLACEAE)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Diversidade Biológica e Recursos Naturais da Universidade Regional do Cariri-URCA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Diversidade Biológica e Recursos Naturais.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Arlene Pessoa da Silva

CRATO-CE

2024

Eu, Felipe Rufino dos Santos, autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Ficha Catalográfica

Serviços de Biblioteca e Documentação da URCA/Campus Pimenta
Programa de Pós-Graduação em Diversidade Biológica e Recursos Naturais – PPGDR
Dados fornecidos pelo o autor.

Santos , Felipe Rufino dos

S237e EFEITO DA DECOMPOSIÇÃO DAS FOLHAS DE *Bambusa vulgaris* Schrad. ex J.C.Wendl. (POACEAE) SOBRE A GERMINAÇÃO E CRESCIMENTO DE *Copaifera langsdorffii* Desf. (FABACEAE) E *Erythroxylum pyan* Costa-Lima (ERYTHROXYLACEAE) / Felipe Rufino dos Santos . Crato-CE, 2024.

88p. il.

Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Diversidade Biológica e Recursos Naturais da Universidade Regional do Cariri - URCA.

Orientador(a): Prof.^a Dr.^a Maria Arlene Pessoa da Silva

1.Alelopatia, 2.Cerrado, 3.Aleloquímicos; I.Título.

CDD: 577

FELIPE RUFINO DOS SANTOS

EFEITO DA DECOMPOSIÇÃO DAS FOLHAS DE *Bambusa vulgaris* Schrad. ex J.C.Wendl. (POACEAE) SOBRE A GERMINAÇÃO E CRESCIMENTO DE *Copaifera langsdorffii* Desf. (FABACEAE) E *Erythroxylum pyan* Costa-Lima (ERYTHROXYLACEAE). Dissertação do Mestrado em Diversidade Biológica e Recursos Naturais apresentada à Universidade Regional do Cariri – URCA, para obtenção do título de Mestre(a) em Diversidade Biológica e Recursos Naturais.

APROVADO(A) EM: 16/08/2024

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Maria Arlene Pessoa da Silva
Orientadora
Universidade Regional do Cariri - URCA

Profa. Dra. Fabiola Fernandes Galvão Rodrigues
Membro Interno da Banca
Universidade Regional do Cariri - URCA

Prof. Dr. Antonio Carlito Bezerra dos Santos
Membro Externo da Banca
Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE

Profa. Dra. Sírléis Rodrigues Lacerda
Membro Suplente Interno
Universidade Regional do Cariri - URCA

Profa. Dra. Valéria da Silva Sampaio
Membro Suplente Externo
Universidade Regional do Cariri – URCA

AGRADECIMENTOS

A Universidade Regional do Cariri, onde fui discente desde o período de graduação. Obrigado pelo acolhimento, pelo espaço oferecido e pelo conhecimento adquirido ao longo desses anos.

Ao Programa de Pós-graduação em Diversidade Biológica e Recursos Naturais (PPGDR) pelo acolhimento e pela oportunidade de realizar o tão sonhado mestrado. Agradeço a coordenação e todo corpo docente pelo acolhimento, ensinamentos e conhecimentos compartilhados ao longo desse período.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa e auxílio financeiro para o desenvolvimento dessa pesquisa.

Expresso minha profunda gratidão à minha orientadora, Profa. Dra. Maria Arlene Pessoa da Silva por ter me acolhido no Laboratório de Botânica Aplicada (LBA) e por sua valiosa contribuição na minha formação desde a graduação. Sou profundamente grato pelos ensinamentos, conselhos e contribuições que foram essenciais para o desenvolvimento desta pesquisa, bem como para minha formação acadêmica e pessoal.

Ao Professor Me. Marcos Aurélio pelo auxílio e contribuições para o desenvolvimento dessa pesquisa.

Aos meus amigos e colegas do Laboratório de Botânica Aplicada (LBA), em especial Cíntia Larissa, Bruno Melo, José Anderson e Paulo Henrique. Sou extremamente grato a todos pela troca de conhecimento, ensinamentos, conselhos e auxílio em campo.

Agradeço a toda equipe do Herbário Carirense Dárdano de Andrade-Lima (HCDAL) pela informatização e montagem dos materiais botânicos coletados.

Ao Laboratório de Pesquisa de Produtos Naturais (LPPN), coordenado pelo Professor Dr. José Galberto Martins, agradeço a toda a equipe pela parceria, atenção e auxílio na realização de etapas da química do solo.

Ao Laboratório de Fitoquímica (IBUSP), coordenado pela professora Dra. Cláudia Maria Furlan, agradeço a toda a equipe pela parceria e auxílio na análise química do solo.

A minha banca examinadora, por ter aceitado o convite para avaliação e por suas valiosas contribuições para o aprimoramento deste trabalho.

Aos meus pais Maria Lucia Rufino dos Santos e Deval Bernardos dos Santos pelo apoio e incentivo ao longo desses anos nessa jornada acadêmica. Agradeço a todos os meus irmãos pelos conselhos, apoio e por estarem sempre ao meu lado, sem medirem esforços para me ajudar. Sou extremamente grato a cada um de vocês, obrigado por tudo.

RESUMO

A liberação de aleloquímicos no ambiente é uma das estratégias utilizadas por espécies exóticas invasoras para competir e dominar comunidades vegetais, sendo a alelopatia sugerida como um importante fenômeno no sucesso de invasão biológica. Considerando tais aspectos, com este trabalho o objetivo foi avaliar o efeito da decomposição das folhas de *Bambusa vulgaris* (espécie doadora) sobre a germinação e crescimento de *Copaifera langsdorffii* e *Erythroxylum pyan* (espécies receptoras), nativas de áreas de Cerrado na Chapada do Araripe, Sul do Ceará, Brasil. O bioensaio tendo *Copaifera langsdorffii* como espécie receptora foi realizado entre os meses de abril a agosto de 2023, abrangendo o final da estação chuvosa e início da estação seca. O bioensaio tendo *Erythroxylum pyan* como espécie receptora foi realizado entre outubro de 2022 e fevereiro de 2023, correspondendo aos últimos meses da estação seca e primeiros meses da estação chuvosa. Para simular a degradação da biomassa, as folhas de *B. vulgaris*, ao final da senescência, foram coletadas e misturadas ao solo do Cerrado em diferentes concentrações (0, 20, 30 e 40 g/Kg) e postas para decompor por 120 dias. A quantificação de nutrientes presentes no solo foi realizada de acordo com a metodologia proposta no Manual de Métodos de Análise de Solo da EMBRAPA. A identificação dos compostos presentes no solo foi realizada por cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas (CG-MS). Após o período de decomposição o solo contendo material vegetal nas diferentes concentrações e solo controle foram utilizados como substrato para germinação das sementes e análise de crescimento de *C. langsdorffii* e *E. pyan*. A decomposição da biomassa de *B. vulgaris* realizada no período de estiagem resultou em um aumento das concentrações de cálcio, potássio e fósforo. Na análise fitoquímica foram observados três ésteres (palmitato de etila; oleato de etila e estearato de etila), dois alcanos (n-Heptatriacontano e n-Nonacosano), dois açúcares (maltose e frutofuranose), um composto fenólico (ácido gálico), um sesquiterpeno (metanoazuleno) e um tocoferol (gama-tocoferol). Enquanto no período chuvoso a biomassa de *B. vulgaris* contribuiu com aumento das concentrações de cálcio, potássio e magnésio. Já na análise fitoquímica foram observados dois açúcares (fructofuranose e manitol), dois tocoferóis (gama-Tocoferol e alfa-Tocoferol) e um triterpeno (lupan-3-ol, acetato). A germinabilidade e índice de velocidade de emergência das sementes de *C. langsdorffii* foram afetados negativamente pelo o solo contendo folhas decompostas de *B. vulgaris*. O tempo gasto para a emergência de 50% das plântulas de *C. langsdorffii* foi afetado positivamente quando comparado ao controle. Foi verificado um efeito citotóxico e genotóxico sobre o ciclo celular da espécie receptora, resultando em uma diminuição do índice mitótico e aumento no número de aberrações cromossômicas em todos os tratamentos avaliados. É provável que os efeitos observados neste estudo estejam relacionados a presença do ácido gálico (composto fenólico) e palmitato de etila (éster). A germinabilidade e crescimento de *E. pyan* não foram afetados pelo o solo contendo folhas decompostas de *B. vulgaris*. Tendo sido observado, no entanto, um aumento do índice mitótico e aberrações cromossômicas em todos os tratamentos avaliados. Estes resultados sugerem que os efeitos observados estão relacionados a presença do lupan-3-ol, acetato (triterpeno). Os resultados deste estudo sugerem que a decomposição das folhas de *B. vulgaris* pode afetar diferentemente espécies nativas, como *E. pyan* e *C. langsdorffii*, dependendo das características químicas liberadas no solo durante o processo de decomposição. Esses achados podem ajudar a compreender como a presença de espécies exóticas invasoras pode impactar espécies nativas ocorrentes em áreas de Cerrado, além de fornecer subsídios para o desenvolvimento de projetos e políticas públicas voltadas a conservação dessas áreas.

Palavras-chaves: Alelopatia; Cerrado; Aleloquímicos.

ABSTRACT

The release of allelochemicals into the environment is one of the strategies used by invasive exotic species to compete with and dominate plant communities, with allelopathy being suggested as an important phenomenon in the success of biological invasions. Considering these aspects, the objective of this study was to evaluate the effect of *Bambusa vulgaris* leaf decomposition (donor species) on the germination and growth of *Copaifera langsdorffii* and *Erythroxylum pyan* (recipient species), which are native to Cerrado areas in the Chapada do Araripe, southern Ceará, Brazil. The bioassay with *Copaifera langsdorffii* as the recipient species was conducted between April and August 2023, covering the end of the rainy season and the beginning of the dry season. The bioassay with *Erythroxylum pyan* as the recipient species was carried out between October 2022 and February 2023, corresponding to the last months of the dry season and the first months of the rainy season. To simulate biomass degradation, *B. vulgaris* leaves at the end of senescence were collected and mixed with Cerrado soil at different concentrations (0, 20, 30, and 40 g/kg), then left to decompose for 120 days. The quantification of nutrients in the soil was carried out according to the methodology proposed in the EMBRAPA Soil Analysis Methods Manual. The identification of compounds present in the soil was performed using gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). After the decomposition period, the soil containing plant material at different concentrations, as well as control soil, was used as a substrate for seed germination and growth analysis of *C. langsdorffii* and *E. pyan*. The decomposition of the biomass of *B. vulgaris* during the dry season resulted in an increase in the concentrations of calcium, potassium, and phosphorus. In the phytochemical analysis, three esters were observed (ethyl palmitate, ethyl oleate, and ethyl stearate), two alkanes (n-heptatriacontane and n-nonacosane), two sugars (maltose and fructofuranose), one phenolic compound (gallic acid), one sesquiterpene (methanoazulene), and one tocopherol (gamma-tocopherol). During the rainy season, the biomass of *B. vulgaris* contributed to an increase in the concentrations of calcium, potassium, and magnesium. In the phytochemical analysis, two sugars were observed (fructofuranose and mannitol), two tocopherols (gamma-tocopherol and alpha-tocopherol), and one triterpene (lupan-3-ol, acetate). The germinability and emergence velocity index of *C. langsdorffii* seeds were negatively affected by the soil containing decomposed leaves of *B. vulgaris*. The time taken for 50% of the *C. langsdorffii* seedlings to emerge was positively affected when compared to the control. A cytotoxic and genotoxic effect on the cell cycle of the recipient species was observed, resulting in a decrease in the mitotic index and an increase in the number of chromosomal aberrations in all evaluated treatments. It is likely that the effects observed in this study are related to the presence of gallic acid (phenolic compound) and ethyl palmitate (ester). The germinability and growth of *E. pyan* were not affected by the soil containing decomposed leaves of *B. vulgaris*. However, an increase in the mitotic index and chromosomal aberrations was observed in all evaluated treatments. These results suggest that the observed effects are related to the presence of lupan-3-ol, acetate (triterpene). The results of this study suggest that the decomposition of *B. vulgaris* leaves may differently affect native species, such as *C. langsdorffii* and *E. pyan*, depending on the chemical characteristics released into the soil during the decomposition process. These findings may help to understand how the presence of invasive exotic species can impact native species occurring in Cerrado areas, in addition to providing support for the development of projects and public policies aimed at the conservation of these areas.

Keywords: Allelopathy; Cerrado; Allelochemicals.

LISTA DE FIGURAS

EFEITO DA DECOMPOSIÇÃO DAS FOLHAS DE *Bambusa vulgaris* Schrad. ex J.C.Wendl. (POACEAE) SOBRE A GERMINAÇÃO E CRESCIMENTO DE *Copaifera langsdorffii* Desf. (FABACEAE) E *Erythroxylum pyan* Costa-Lima (ERYTHROXYLACEAE)

Figura 1 - Aspectos gerais de *Bambusa vulgaris* Schrad. ex J.C. Wendl. (Poaceae) ocorrendo em Crato, Ceará, Brasil.....21

Figura 2 - Aspectos gerais de *Copaifera langsdorffii* Desf. (Fabaceae) ocorrendo em Crato, Ceará, Brasil.23

Figura 3 - Aspectos gerais de *Erythroxylum pyan* Costa-Lima ocorrendo em Crato, Ceará, Brasil.....26

CAPÍTULO 1: Efeito da decomposição das folhas de *Bambusa vulgaris* Schrad. ex J. C.Wendl. (Poaceae) sobre a germinação e crescimento de *Copaifera langsdorffii* Desf. (Fabaceae)

Figura 1 - Local de coleta do material botânico de *Bambusa vulgaris* Schrad. ex J.C.Wendl e *Copaifera langsdorffii* Desf.....42

Figura 2 - Germinabilidade das sementes de *Copaifera langsdorffii* submetidas ao substrato contendo folhas decompostas de *Bambusa vulgaris* em diferentes concentrações.52

Figura 3 - Índice de Velocidade de Emergência – IVE das sementes de *Copaifera langsdorffii* submetidas ao substrato contendo folhas decompostas de *Bambusa vulgaris* em diferentes concentrações.....53

Figura 4 - Índice mitótico de células meristemáticas de *Copaifera langsdorffii* submetidas ao substrato contendo folhas decompostas de *Bambusa vulgaris* em diferentes concentrações...55

Figura 5 - Anomalias cromossômicas (ACs) observadas em células meristemáticas de *Copaifera langsdorffii* submetidas a diferentes concentrações das folhas de *Bambusa vulgaris* após 120 dias de decomposição.....58

CAPÍTULO 2: Efeito da decomposição foliar de *Bambusa vulgaris* Schrad. ex J. C.Wendl. (Poaceae) sobre a germinação e crescimento de *Erythroxylum pyan* Costa-Lima (Erythroxylaceae)

Figura 1 - Local de coleta do material botânico de *Bambusa vulgaris* Schrad. ex J.C.Wendl e *Erythroxylum pyan* Costa-Lima.....69

Figura 2 - Índice mitótico de células meristemáticas de *E. pyan* submetidas ao substrato contendo folhas decompostas de *Bambusa vulgaris* em diferentes concentrações.80

Figura 3 - Anomalias cromossômicas (ACs) observadas em células meristemáticas de *Erythroxylum pyan* submetidas a diferentes concentrações das folhas de *Bambusa vulgaris* após 120 dias de decomposição..... 82

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1: Efeito da decomposição das folhas de *Bambusa vulgaris* Schrad. ex J. C. Wendl. (Poaceae) sobre a germinação e crescimento de *Copaifera langsdorffii* Desf. (Fabaceae)

Tabela 1 – Análise de caracteres físico-químicos do substrato contendo folhas decompostas de *Bambusa vulgaris* em diferentes concentrações. 49

Tabela 2 – Componentes químicos identificados no solo de Cerrado após 120 dias de decomposição das folhas de *Bambusa vulgaris*. 50

Tabela 3 – Ação da decomposição foliar de *Bambusa vulgaris* sobre o tempo de emergência de 50% das plântulas e sincronia de *Copaifera langsdorffii*. 54

Tabela 4 – Frequência das diferentes fases da divisão celular (mitose) em células meristemáticas das radículas de plântulas de *Copaifera langsdorffii* submetidas a diferentes concentrações das folhas de *Bambusa vulgaris* após 120 dias de decomposição. 56

Tabela 5 – Análise quantitativa e qualitativa dos tipos de aberrações cromossômicas encontradas em células meristemáticas de *Copaifera langsdorffii* submetidas a diferentes concentrações das folhas de *Bambusa vulgaris* após 120 dias de decomposição. 57

CAPÍTULO 2: Efeito da decomposição foliar de *Bambusa vulgaris* Schrad. ex J. C. Wendl. (Poaceae) sobre a germinação e crescimento de *Erythroxylum pyan* Costa-Lima (Erythroxylaceae)

Tabela 1 – Análise de caracteres físico-químicos do substrato contendo folhas decompostas de *Bambusa vulgaris* em diferentes concentrações. 75

Tabela 2 – Componentes químicos identificados no solo de Cerrado após 120 dias de decomposição das folhas de *Bambusa vulgaris*. 77

Tabela 3 – Classes de metabólitos detectadas nos extratos hexânicos e etanólicos do grupo controle (CK) e do solo do Cerrado após 120 dias de decomposição da serapilheira de *Bambusa vulgaris* (T3). 78

Tabela 4 – Frequência das diferentes fases da divisão celular (mitose) em células meristemáticas das radículas de plântulas de *Erythroxylum Pyan* submetidas a diferentes concentrações das folhas de *Bambusa vulgaris* após 120 dias de decomposição 81

Tabela 5 – Análise quantitativa e qualitativa dos tipos de aberrações cromossômicas encontradas em células meristemáticas de *Erythroxylum Pyan* submetidas a diferentes concentrações das folhas de *Bambusa vulgaris* após 120 dias de decomposição. 82

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

%	Porcentagem
<	Menos que
>	Maior que
±	Mais ou menos
°	Graus
=	Igual
B.O.D	Biochemical oxygen demand
CE	Ceará
Cm ²	Centímetro quadrado
d. C.	Depois de Cristo
E	Sincronia
g	Gramas
°C	Graus Celsius
HCDAL	Herbário Caririense Dárdano de Andrade-Lima
IM	Índice mitótico
IPA	Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária
IVE	Índice de velocidade de emergência
Kg	Quilograma
LBA	Laboratório de Botânica Aplicada
mg	Miligramas
mL	Mililitros
mm	Milímetro
mM	Milimolar
ns	Sem significância estatística
p/p	Peso/peso
PE	Pernambuco
pH	Potencial Hidrogeniônico
t/ha	Toneladas por hectare
t50	Tempo de germinação de 50% das sementes
URCA	Universidade Regional do Cariri

SUMÁRIO

RESUMO	iv
ABSTRACT	v
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	ix
1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1. Histórico de Alelopatia	14
2.2. Metabólitos secundários	15
2.3. Aleloquímicos e mecanismo de ação	17
2.4. Citogenética.....	18
2.5. <i>Bambusa vulgaris</i> Schrad. ex J.C.Wendl. (Poaceae)	19
2.6. <i>Copaifera langsdorffii</i> Desf. (Fabaceae).....	22
2.7. <i>Erythroxylum Pyan</i> Costa-Lima (Erythroxylaceae).....	24
REFERÊNCIAS	27
CAPÍTULO 1: Efeito da decomposição das folhas de <i>Bambusa vulgaris</i> Schrad. ex J.C.Wendl. (Poaceae) sobre a germinação e crescimento de <i>Copaifera langsdorffii</i> Desf. (Fabaceae)	38
RESUMO	40
1. Introdução	40
2. Material e Métodos	41
2.1. Área de estudo e coleta e identificação do material botânico	41
2.2. Coleta do solo.....	43
2.3. Decomposição foliar	43
2.4. Análise físico-química do solo.....	43
2.5. Análise fitoquímica	44
2.5.1. Preparação dos extratos	44
2.5.2. Identificação de compostos por cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas (CG-MS)	44
2.6. Teste de germinação.....	45
2.7. Índice mitótico (IM).....	46
2.7.1. Aberrações cromossômicas (ACs)	46
2.8. Teste de crescimento	47
2.9. Análise estatística.....	48
3. Resultados e Discussão	48

Conclusões.....	60
Referências	60
CAPÍTULO 2: Efeito da decomposição foliar de <i>Bambusa vulgaris</i> Schrad. ex J.C.Wendl. (Poaceae) sobre a germinação e crescimento de <i>Erythroxylum pyan</i> Costa-Lima (Erythroxylaceae)	65
RESUMO	66
1. Introdução	66
2. Material e métodos.....	68
2.1. Área de estudo, coleta e identificação do material botânico.....	68
2.2. Coleta do solo e decomposição foliar	69
2.3. Análise físico-química do solo.....	70
2.4. Análise fitoquímica	70
2.4.1.Preparação dos extratos.....	70
2.4.2.Identificação de compostos por cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas (CG-MS)	71
2.5. Teste de Germinação.....	71
2.6. Teste de Crescimento	72
2.7. Índice mitótico (IM).....	74
2.7.1.Aberrações cromossômicas (ACs)	74
2.8. Análise estatística.....	74
3. Resultados e discussão	75
Conclusão	83
Referências	84
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	88

1. INTRODUÇÃO

Espécies exóticas invasoras são organismos que são introduzidos fora de seu ambiente natural, e que acabam causando efeitos negativos sobre ecossistemas, habitats e outras espécies (CHINCHIO *et al.*, 2020). Nesse sentido, o processo de invasão biológica ocorre quando uma dada espécie é introduzida em outro ambiente e acaba se adaptando e posteriormente dispersando e alterando o ambiente (ZILLER, 2001). Assim, além de se adaptarem, acabam exercendo dominância sobre as espécies nativas, e promovendo alterações em processos ecológicos, como: ciclagem de nutrientes, cadeias tróficas, porte da vegetação, dominância, taxas de decomposição, serrapilheira e de biomassa, processos evolutivos e relações entre polinizadores e plantas (PORTZ *et al.*, 2011).

As espécies exóticas apresentam características que contribuem para seu potencial de invasão, entre as quais: crescimento rápido, grande capacidade de dispersão, competem de forma mais eficiente pelos recursos disponíveis do que as espécies nativas, reproduzem-se por brotamento, apresentam longos períodos de floração e frutificação, sementes de tamanho reduzido produzidas em grande quantidade, maturação precoce, eficiência na dispersão de sementes, assim como, adaptação a áreas degradadas (ZILLER, 2001; MARCHANTE *et al.*, 2014). Além disso, a liberação de aleloquímicos no ambiente é uma das estratégias utilizadas por espécies exóticas invasoras para competir e dominar comunidades vegetais, sendo a alelopatia importante no sucesso de invasão biológica (CALLAWAY; RIDENOUR, 2004; LARCHER, 2004).

Entre as espécies exóticas com potencial invasor no Brasil, encontra-se *Bambusa vulgaris* Schrad. ex J.C.Wendl. (Poaceae), conhecida popularmente como bambu. De origem asiática, *B. vulgaris* foi introduzida no Brasil inicialmente por colonizadores portugueses, e mais tarde, pelos imigrantes orientais, difundindo-se facilmente no país (SANQUETTA *et al.*, 2017), sendo encontrada em diferentes domínios fitogeográficos. Entre seus impactos é relatado que a espécie forma aglomerados monoespecíficos que excluem as espécies nativas (SILVA; FERREIRA; GAMA, 2021).

Nesse contexto, o bambu libera serrapilheira no ambiente durante todo o ano, sendo a senescência e a queda das folhas os componentes principais dessa cobertura vegetal (PRASATH; SUDARSHAN; GOROJI, 2014). Assim, durante o processo de decomposição dos resíduos vegetais, aleloquímicos são liberados no solo (ALMEIDA *et al.*, 2008). Esses compostos apresentam a capacidade de exercer efeitos diretos sobre o crescimento e o metabolismo de plantas, assim como, apresentam efeitos indiretos sobre as propriedades do

solo e nutrição (AL-SHATTI *et al.*, 2014). Em organismos vegetais, agem na inibição e em modificações nos padrões de crescimento ou desenvolvimento das plantas (GATTI; ANDRADE PEREZ; LIMA, 2004).

Dentre as espécies vegetais nativas com ocorrência em áreas de Cerrado na Chapada do Araripe que podem ser afetadas negativamente pela presença de *B. vulgaris* encontram-se *Copaifera langsdorffii* Desf. (Fabaceae) e *Erythroxylum pyan* Costa-Lima (Erythroxylaceae). *Copaifera langsdorffii* é considerada uma espécie de grande valor ecológico, econômico e farmacológico, sendo utilizada na arborização, recuperação de áreas degradadas, produção de madeira e óleo-resina, este último utilizado por populações tradicionais e indústria farmacêutica devido as suas propriedades medicinais (FERREIRA *et al.*, 2004; CARMO, 2016). De acordo com Ferreira *et al.*, (2004), *C. langsdorffii* vem sofrendo uma exploração extrativista predatória devido as suas propriedades medicinais.

Conhecida popularmente como catuaba, *E. pyan* destaca-se por seu uso diversificado, onde durante o período de seca, é utilizada como lenha e seus galhos são usados na construção de cercas (COSTA-LIMA; CHAGAS, 2018). Os galhos jovens são usados como vassouras e suas folhas são utilizadas para a produção da bebida conhecida como catuaba (COSTA-LIMA; CHAGAS, 2018). Embora amplamente distribuída no nordeste do Brasil, a espécie ocorre em áreas afetadas pelo desmatamento devido a pecuária extensiva, remoção de árvores para lenha, extração de areia e caulim para construção civil, além da instalação de parques eólicos (COSTA-LIMA; CHAGAS, 2018).

Informações sobre alterações ecológicas de espécies pertencentes a áreas de Cerrado são de suma importância, em especial as relacionadas a competição e alelopatia (GATTI; ANDRADE PEREZ; FERREIRA, 2007). Estudos que contribuam para um maior conhecimento das inter-relações existentes entre espécies de Cerrado e espécies exóticas com potencial de invasoras, podem auxiliar na preservação desse bioma e no direcionamento de políticas públicas voltadas para conservação de suas espécies. Além disso, o conhecimento acerca de plantas que apresentam propriedades alelopáticas podem fornecer indícios valiosos da existência de moléculas com potencial para compor produtos que possam substituir os atuais herbicidas (SOUZA FILHO; PEREIRA; BAYMA, 2005).

Considerando tais aspectos, com este trabalho objetivou-se avaliar o efeito da decomposição das folhas de *B. vulgaris* sobre a germinação e crescimento de *C. langsdorffii* e *E. pyan* em áreas de Cerrado na Chapada do Araripe, assim como analisar sua ação alelopática sobre o índice mitótico das plântulas das espécies receptoras.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Histórico de Alelopatia

Desde a antiguidade se tem conhecimento de que certas espécies vegetais apresentam a capacidade de promover impactos sobre o desenvolvimento de outros organismos (ALMEIDA, 1993). O primeiro relato citando a interferência de uma planta no desenvolvimento de outra foi feito por Theophrastus, um discípulo de Aristóteles, que propôs que *Cicer arietinum* L. (grão-de-bico) exauria o solo e impactava de forma negativa o cultivo de ervas daninhas no seu entorno (SILVA, 2007; RICE, 2012).

Plínio (1 d.C) relatou que *Cicer arietinum* L. (grão-de-bico), *Hordeum vulgare* L. (cevada), *Trigonella foenum-graceum* L. (feno-grego) e *Vicia ervilia* Will. (ervilha) promoviam impactos negativos em outras espécies vegetais (RICE, 2012). Lee e Monsi (1963) mencionam um documento japonês escrito por Banzan Kumazawa datado de aproximadamente 300 anos atrás, onde constam indícios de possíveis efeitos alelopáticos de *Pinus densiflora* Siebold & Zucc. (Pinaceae).

Posteriormente em 1832, o botânico suíço De Candolle propôs que a exaustão das terras na agricultura se devia a presença de substâncias liberadas pelas monoculturas durante anos seguidos, e que os compostos liberados no solo acabavam afetando o seu próprio desenvolvimento (RICE, 1984). Entretanto, evidências científicas só foram observadas no início do século XX quando Schreiner e Red publicaram uma série de artigos entre 1907 e 1909, nos quais demonstravam que compostos liberados pelas raízes de plantas afetavam o crescimento de algumas culturas (SCHREINER; RED, 1907a; SCHREINER; RED, 1907b; SCHREINER; RED, 1908).

No entanto, o termo alelopatia (*allelon* = de um para outro e *phatos* = sofrer), só foi proposto em 1937, pelo pesquisador alemão Hans Molish. Para o referido autor o termo engloba tanto a influência positiva quanto negativa que uma espécie exerce sobre outra, através da produção de compostos químicos liberados no ambiente.

Embora o fenômeno da alelopatia abranja tanto efeitos positivos quanto negativos, Rice (1974), associou o mesmo apenas aos efeitos prejudiciais, diretos ou indiretos, de uma planta sobre outra, através de compostos químicos liberados no ambiente. Já Putnan e Duke (1978), introduziram ao conceito de alelopatia, os termos de planta doadora, referindo-se aquela que

libera os compostos químicos e interfere na germinação e/ou crescimento de outra planta, sendo essa última a planta receptora, ou seja, aquela que está em contato com as substâncias.

Uma década depois, Rice (1984) definiu a alelopatia como qualquer efeito direto ou indireto, danoso ou benéfico que uma espécie vegetal e/ou microrganismo exerce sobre outra através da liberação de compostos químicos no ambiente. Atualmente, a alelopatia é definida como qualquer processo que envolva a produção de aleloquímicos pelas plantas, bactérias, algas, vírus e fungos, e que influenciam o crescimento e desenvolvimento de sistemas biológicos e agrícolas, incluindo efeitos nocivos ou estimulantes (IAS, 2023).

Entretanto, para Ens et al. (2009) cabe ainda diferenciar o que são efeitos alelopáticos e efeitos fitotóxicos. A distinção está relacionada principalmente, nas diferenças dos métodos de extração dos compostos bioativos (SILVEIRA, 2015). Desse modo, estudos alelopáticos devem simular o máximo possível o ambiente natural, enquanto os estudos sobre fitotoxicidade se refere a estudos em condições controlada de laboratório, onde normalmente são utilizados extratos de plantas (MACIAS *et al.*, 2003).

Miller (1996), classificou os efeitos alelopáticos em dois tipos: **autotóxicos** – quando plantas de uma mesma espécie liberam compostos químicos no ambiente e os mesmos acabam interferindo na germinação e crescimento da mesma espécie vegetal; **heterotóxicos** – quando uma planta produz substâncias que são tóxicas para outras espécies.

No ambiente natural, determinar qual parte do efeito prejudicial de uma planta sobre outra é atribuído à alelopatia ou à competição é desafiador, visto que vários processos ecológicos ocorrem simultaneamente, e os efeitos alelopáticos tem sido comumente associado a competição, o que dificulta a separação dos efeitos produzidos (SOUZA-FILHO, 2002). Entretanto, vale destacar que a alelopatia está associada a liberação de aleloquímicos no ambiente pelas plantas doadoras, enquanto a competição está relacionada a retirada ou redução de fatores como água, luz e nutrientes (ALMEIDA *et al.*, 2008). Vale ainda ressaltar que todas as plantas apresentam metabólitos secundários, ocorrendo somente uma variação de espécie para espécie (FERREIRA; AQUILA, 2000).

2.2. Metabólitos secundários

As plantas sintetizam uma grande variedade de compostos químicos, os quais podem ser categorizados como metabólitos primários e secundários (BORGES; AMORIM, 2020). O metabolismo primário refere-se ao conjunto de processos metabólicos essenciais que

desempenham funções vitais nas plantas e que levam a produção de carboidratos, proteínas, lipídios e ácidos nucleicos, sendo essenciais para o desenvolvimento e crescimento das plantas (STEFANELLO *et al.*, 2012; BARRETO; GASPI; OLIVEIRA, 2020).

Já os compostos do metabolismo secundário originam-se a partir do primário, e são altamente específicos, desempenhando um papel significativo na evolução das plantas e na interação com outros organismos vivos (VIEIRA *et al.*, 2020; BORGES; AMORIM, 2020). Para Borges e Amorim (2020), os metabólitos secundários podem ser classificados em três classes principais: terpenos, compostos fenólicos e compostos nitrogenados.

Os terpenos são hidrocarbonetos naturais sintetizados por uma grande variedade de plantas e animais (BORGES; AMORIM, 2020). Esses compostos representam mais de 55.000 moléculas identificadas, tornando-se a classe mais extensa e complexa de produtos naturais (BORGES; AMORIM, 2020). São classificados com base em unidades de cinco carbonos (C5); aqueles que apresentam 10 carbonos compostos por duas unidades de C5, são denominados monoterpenos; os de 15 carbonos, compostos por três unidades de C5, são conhecidos como sesquiterpenos; os terpenos com 20 carbonos composto por quatro unidades de C5, são diterpenos (VERRUCK; PRUDENCIO; SILVEIRA, 2018; BORGES; AMORIM, 2020).

Os compostos fenólicos formam uma categoria de compostos quimicamente diversificada, com aproximadamente 10.000 compostos identificados (BORGES; AMORIM, 2020). São substâncias que contêm pelo menos um anel aromático, no qual ao menos um hidrogênio é substituído por um grupamento hidroxila (VIZZOTO *et al.*, 2010). São sintetizados a partir de duas vias metabólicas principais: a rota do ácido chiquímico, predominante na maioria dos fenóis, e a via do ácido malônico (BARRETO *et al.*, 2020).

Para Barrero *et al.* (2020), os polifenóis derivam das diferentes combinações das estruturas dos compostos fenólicos e são categorizados conforme a constituição de suas cadeias carbônicas. Entre as classes dos compostos fenólicos estão: fenólicos simples, benzoquinonas; ácidos hidroxibenzóicos; acetofenol, ácidos fenilacéticos; ácidos hidroxicinâmicos, fenilpropanóides; nafitoquinonas; xantonas; estilbenos, antoquinonas; flavonóides, isoflavonóides; lignanas, neolignanas; biflavonóides; ligninas e taninos condensados (ANGELO; JORGE, 2007; LEMOS, 2008).

Já os compostos nitrogenados são sintetizados a partir de aminoácidos comuns e incluem os alcaloides e os glicosídeos cianogênicos (TAIZ; ZEIGER, 2013). Os alcaloides são encontrados em aproximadamente 20% das plantas vasculares, com mais frequência em dicotiledôneas herbáceas e menos comum em monocotiledôneas e gimnospermas (PAGARE *et al.*, 2015). Essa classe de composto é bastante conhecida pela presença de substâncias que

exercem efeitos no sistema nervoso, sendo muitas delas utilizadas como venenos ou alucinógenos (VIZZOTO *et al.*, 2010).

A maioria dos compostos acima descritos, influenciam uma variedade de processos no organismo vegetal, desempenhando uma infinidade de funções, como prevenir a decomposição das sementes, interferir na germinação e dormência das sementes, bem como no crescimento e/ou no desenvolvimento de plantas já estabelecidas (SOARES; VIEIRA, 2000; TADAIESKI; CIECILINSKY; PIRES, 2021).

2.3. Aleloquímicos e mecanismo de ação

Os compostos que desempenham ação alelopática são provenientes do metabolismo secundário de plantas, chamados de aleloquímicos, substâncias alelopáticas, fitotoxinas ou apenas produtos/metabólitos secundários (POHV *et al.*, 2007). Os aleloquímicos estão presentes em diversos órgãos da planta, incluindo caules, folhas, raízes, inflorescências, flores, frutos e sementes (NÓBREGA *et al.*, 2009). A produção desses compostos pode ser regulada por diversos fatores, como: temperatura, índice de precipitação, umidade, radiação e sazonalidade (VIECELLI; CRUZ-SILVA, 2009).

No ambiente essas substâncias são liberadas por volatilização, lixiviação das folhas ou outras partes aéreas da planta, decomposição dos tecidos vegetais ou por exsudação através do sistema radicular (WEIR; PARK; VIVANCO, 2004). Segundo Almeida *et al.* (2008), na volatilização, os compostos aromáticos podem ser volatilizados a partir de diferentes partes da planta, incluindo folhas, flores, caules e raízes, e podem ser absorvidos por outras plantas ao seu redor. Dentro desse grupo dos compostos voláteis, incluem-se substâncias, como: o gás carbônico, amônia, etileno e terpenoides.

Na lixiviação, os compostos são liberados principalmente pela ação diária da chuva e do orvalho. Esses agentes naturais agem como carregadores, movendo os compostos das classes dos terpenos, alcaloides e compostos fenólicos das folhas para o solo. Já na exsudação pelas raízes, uma grande quantidade de compostos é liberada na rizosfera circundante, atuando de forma direta ou indireta nas interações planta-planta e na ação de microrganismos. Por último, na decomposição, a liberação dos aleloquímicos envolve a ação de microrganismos e a ruptura das células dos tecidos vegetais, seguida da lixiviação dos compostos para o solo (ALMEIDA *et al.*, 2008; CORSATO *et al.*, 2016).

Quanto ao seu mecanismo de ação, muitas das substâncias citadas anteriormente têm funções relacionadas a defesa contra herbívoros e microrganismos, assim como proteção contra os raios UV, competição entre plantas, atração de polinizadores ou animais dispersores de sementes ou até mesmo na participação em processos alelopáticos (VIEIRA *et al.* 2020). Em monoterpenos, por exemplo, sua função está relacionada a atração de polinizadores e repulsão de insetos, como é caso dos piretróides que atuam como inseticidas naturais (VIZZOTO *et al.*, 2010). Já os sesquiterpenos estão envolvidos na defesa das plantas contra pragas e doenças (BARRETO *et al.*, 2020).

Taninos, flavonóides e alguns compostos fenólicos simples desempenham função de defesa nas plantas contra herbívoros e agentes patógenos (BORGES; AMORIM, 2020). A cumarina um composto fenólico simples, desempenha diferentes funções nos mecanismos de defesa das plantas contra herbívoros, insetos e fungos (PAGARE *et al.*, 2015). As saponinas são uma classe importante de triterpenos que nas plantas desempenham uma função significativa na defesa contra insetos e microrganismos (VIZZOTO *et al.*, 2010).

Essas substâncias agem sobre vários alvos moleculares nas plantas, podendo afetar uma variedade de processo vitais, como: processos de respiração, fotossíntese, atividade enzimática, relações hídricas, abertura de estômatos, níveis de hormônios vegetais, disponibilidade mineral, divisão e alongamento celular, estrutura e permeabilidade de membranas e parede celular, sendo que muitos desses efeitos estão relacionados ao estresse oxidativo (CORSATO *et al.*, 2016). Desse modo os aleloquímicos exercem um papel significativo no ciclo de vida das plantas, interferindo na conservação, dormência e germinação de sementes, bem como no crescimento de plântulas e no vigor vegetativo de plantas adultas (FELIX *et al.* 2007).

2.4. Citogenética

A identificação de substâncias com potencial citotóxico e genotóxico é fundamental para uma melhor compreensão dos efeitos exercidos por estas sobre os organismos (BORGES *et al.*, 2011). A avaliação da citotoxicidade é avaliada através da detecção de alterações no processo de divisão celular em organismos testes (SOUZA, *et al.*, 2005b). Esses efeitos podem ser observados tanto pela inibição do índice mitótico quanto pela ocorrência de mutações cromossômicas, como quebra de cromatídicas, perda de cromossomos inteiros ou a formação de micronúcleos (SOUZA, *et al.*, 2005b).

Para Tedesco e Laughinghouse (2012), estudos citogenéticos em espécies vegetais apontam possíveis alterações nos cromossomos vegetais em decorrência da presença de substâncias mutagênicas em sua composição ou do seu metabolismo. Nesse sentido, os mutagênicos podem ser detectados citologicamente por meio da inibição celular; interrupção na metáfase; indução de aberrações cromossômicas, tanto numérica quanto estrutural, que vai desde a fragmentação cromossômica até a desorganização do fuso mitótico e, conseqüentemente, de todas as fases mitóticas dependentes subsequentes (TEDESCO; LAUGHINGHOUSE, 2012).

Em estudo realizado por Solano *et al.* (2015), o extrato aquoso das cascas de *Hymenaea courbaril* L. (Jatobá) promoveu efeitos genotóxicos sobre *Allium cepa* L. (Cebola), sendo verificadas irregularidades no processo de divisão celular, como: prófase com cromossomo isolado, metáfase com cromossomos isolado, anáfase com pontes e telófase com ponte e cromossomo fora da placa.

Avaliando células meristemáticas de *Lactuca sativa* L. (alface), Souza *et al.* (2005a) observaram que o extrato a partir das folhas secas de *Maytenus ilicifolia* Mart. ex Reiss. (espinheira-santa) promoveu efeito citotóxico, o que foi comprovado através da redução do índice mitótico. Além disso, o seu extrato também induziu efeitos genotóxicos, evidenciados por alterações cromossômicas, como pontes anafásicas, atribuídas à presença de saponinas, taninos e flavonas.

No estudo realizado por Brol *et al.* (2022), o extrato aquoso do caule de *Sedum praealtum* A. DC. (bálsamo) inibiu o índice mitótico de *L. sativa* e induziu o aparecimento de aberrações cromossômicas, como ponte anafásicas e perda de cromossomos inteiros. Pires *et al.* (2001), observaram que *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. (leucena) reduziu o índice mitótico de *Zea mays* L. (milho), e com o aumento da concentração testada o índice mitótico caiu drasticamente, resultando em uma paralização do crescimento radicular em consequência da ausência de telófase.

2.5. *Bambusa vulgaris* Schrad. ex J.C.Wendl. (Poaceae)

Poaceae abrange cerca de 700 gêneros com aproximadamente 10.000 espécies (SCHLEDER *et al.*, 2020). No Brasil, ocorrem 1.558 espécies distribuídas em 232 gêneros (FLORA E FUNGA DO BRASIL, 2024a). Do ponto de vista ecológico, este grupo se destaca como um dos mais adaptáveis aos distintos ambientes, a exemplo da tundra ártica, bosques

temperados, quentes e úmidos, zonas áridas e semiáridas, habitats aquáticos e marinhos (REYNA; DAVILA, 1995).

Economicamente algumas espécies de Poaceae são utilizadas como forrageiras para o gado, como ornamentais, na produção de artesanato, em atividades relacionadas à construção, recreação e religião e na alimentação humana (REYNA; DAVILA, 1995; WELKER; LONGHI-WAGNER, 2007). Algumas gramíneas como cereais, milho, arroz, cana-de-açúcar entre outras, são importantes fontes alimentícias para humanidade, sendo empregadas na produção de farinha, farelo e na produção de açúcar (TZVELEV, 1989).

Atualmente, Poaceae é representada por 12 subfamílias, entre as quais destaca-se Bambusoideae, com cerca de 1.641 espécies distribuídas em 120 gêneros e 3 tribos: Arundinarieae, Olyreae e Bambuseae, sendo que apenas as duas últimas possuem representantes no Brasil (BPG, 2012; SORENG *et al.*, 2015; FILGUEIRAS; VIANA, 2017). A tribo Olyreae inclui cerca de 127 espécies distribuídas em 21 gêneros e é caracterizada por se tratar de bambus herbáceos (SORENG *et al.*, 2015). Já a tribo Bambuseae inclui cerca de 893 espécies distribuídas em 68 gêneros, sendo representada por bambus lenhosos (SORENG *et al.*, 2015).

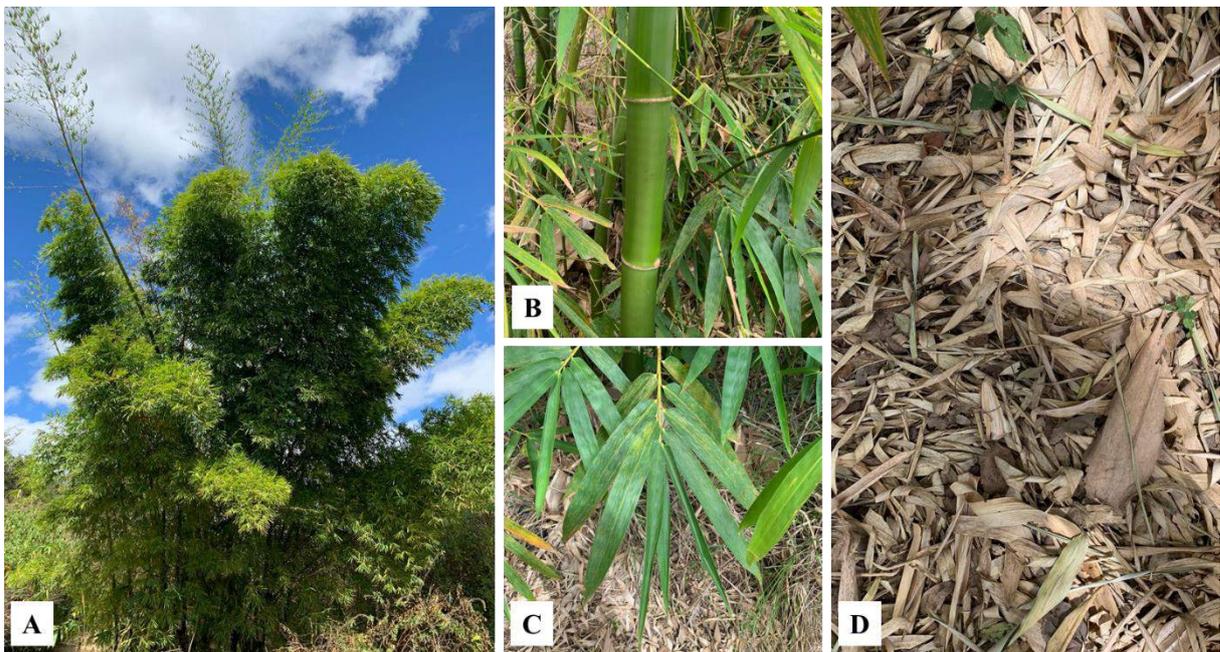
Morfologicamente (Figura 1), as espécies de bambus apresentam rizoma do tipo paquimorfo, organizados em touceiras e leptomorfo, alastrantes; os colmos apresentam uma grande diversidade de formas, sendo compostos por nós, entrenós e gemas, podendo ser sólidos, fistulosos ou medulosos, eretos, arqueados, apoiantes ou escandente; apresentam uma variedade de tons que vão o verde ao vináceo, perpassando pelo castanho e o amarelado; as folhas são constituídas por bainha e lâmina, com uma lígula na região de transição. Espécies da tribo Bambuseae apresentam dimorfismo foliar, apresentando dois tipos de folhas (de colmo e de ramos); suas flores são agrupadas em pequenas inflorescências pequenas do tipo espiguetas, as quais, por sua vez, agrupam-se em sinflorescências; o tipo de fruto predominante é o cariopse com poucas espécies apresentando frutos bacóides (FILGUEIRAS; VIANA, 2017).

De acordo com Souza *et al.* (2019), os bambus ocorrem em todas as regiões do Brasil, com 258 espécies distribuídas em 35 gêneros. Entre as espécies introduzidas no Brasil, destaca-se *Bambusa vulgaris*, de origem asiática (SILVA, 2005; SANQUETA *et al.*, 2017), apresentando uma das maiores áreas de plantio no território brasileiro, principalmente na região Nordeste, especialmente nos Estados do Maranhão, Paraíba e Pernambuco (SILVA *et al.*, 2009).

Bambusa vulgaris desempenha um importante papel como matéria prima em alguns países em desenvolvimento, como Índia e China, com a produção integrada de fibras celulósicas, papel e energia (SILVA *et al.*, 2021). No Brasil, destaca-se na produção de polpa

e celulose na indústria do papel (CALEGARI *et al.*, 2007). Conforme Calegari et al. (2007), o interesse nessa cultura tem crescido em nível mundial devido a sua natureza perene, renovável e de rápido crescimento, proporcionando uma elevada produtividade por unidade de área, além de possuir utilização diversificada, custos reduzidos e a capacidade de sequestro de carbono.

Figura 1 - Aspectos gerais de *Bambusa vulgaris* Schrad. ex J.C. Wendl. (Poaceae) ocorrendo em Crato, Ceará, Brasil: (A) Touceiras; (B) Colmo; (C) Folhas; (D) Serrapilheira.



Fonte: SANTOS (2024).

Para Callado et al. (2009), o cultivo de bambuzais (*Bambusa vulgaris* Schrad, ex J.C.wendl. e *Bambusa* sp.) caracteriza o uso tradicional de uma espécie exótica que posteriormente se tornou invasora. Nesse sentido, os bambuzais são encontrados em trilhas e vilarejos, onde são utilizados como cerca-viva, quebra-vento e caniços de pesca (CALLADO *et al.*, 2009). Com isso, impactam na capacidade de formarem touceiras e um denso emaranhado de raízes na subsuperfície do solo que se expande por brotações de raízes, causando sombreamento excessivo do solo e dificultando a regeneração natural (SARTORELLI *et al.*, 2018).

A presença do bambu impede o crescimento de espécies nativas em estágios mais avançados de sucessão, tornando áreas mais suscetíveis a deslizamentos além de servir como potencial combustível para incêndios (CALLADO *et al.*, 2009). Um estudo realizado por Alencar *et al.* (2015) destacou o potencial invasor da espécie em extensas áreas de Cerrado na Chapada do Araripe, Sul do Ceará.

Segundo Schulz *et al.* (2010), algumas espécies de bambu apresentam grande proliferação e homogeneização dos locais onde se estabelecem. Além disso, *B. vulgaris*

apresenta em suas folhas alcaloides, cumarinas, flavonoides, saponinas e triterpenos, substâncias com reconhecida atividade alelopática (CHOU, 2006; ISHII-IWAMOTO *et al.*, 2006; WANG *et al.*, 2014; MAHALEL, 2015; VALIATTI *et al.*, 2020).

2.6. *Copaifera langsdorffii* Desf. (Fabaceae)

Fabaceae é considerada como uma das maiores famílias de angiospermas juntamente com Orchidaceae e Asteraceae, abrangendo aproximadamente 19.500 espécies, com cerca de 750 gêneros (MIOTO *et al.*, 2008; OLIVEIRA, 2019). No Brasil há registros de 257 gêneros com a ocorrência de aproximadamente 3.053 espécies (FLORA E FUNGA DO BRASIL, 2024b). Conforme Dias-Filho (2022), as espécies pertencentes a essa família ocupam ambientes diversificados das regiões tropicais, subtropicais e temperadas, destacando-se como uma das famílias mais ricas em diversidade nas florestas neotropicais. As plantas pertencentes a essa família apresentam hábitos variados, que vão desde herbáceas a arbóreas, e apresentam como principal característica um fruto na forma de vagem (SILVA *et al.*, 2023).

Em termos de relevância, a família Fabaceae destaca-se por desempenhar um importante papel na fixação de nitrogênio, através da associação com bactérias, resultando em nódulos nas raízes, as quais contribuem de forma efetiva para a melhoria da qualidade do solo e crescimento vegetal (CASSETARI; SILVA; CARDOSO, 2016). Economicamente, as Fabaceae contam com uma expressiva importância na economia global, sendo fonte de matéria-prima para as indústrias farmacêutica, cosmética e alimentícia (DIAS-FILHO, 2022). Espécies como a soja (*Glycine max* (L.) Merrill) e o feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), são amplamente utilizadas para consumo humano e animal (SILVA *et al.*, 2023).

Fabaceae engloba as subfamílias Caesalpinioideae, Cercidoideae, Detarioideae, Dialioideae, Duparquetioideae e Papilionoideae (LPWG, 2017). Dentre os gêneros da família Fabaceae, destaca-se *Copaifera* L., pertencente a subfamília Caesalpinioideae, representado por 23 espécies no Brasil (SOUZA-FILHO, 2010; COSTA, 2020). Conforme Silva et al. (2023), as espécies de *Copaifera* L. apresentam uma grande importância agrônômica e econômica pela produção de óleo de copaíba, amplamente utilizado na fabricação de produtos fitoterápicos e cosméticos.

Dentre as espécies pertencentes ao gênero, *Copaifera langsdorffii* Desf., conhecida popularmente como copaíba, copaibera e pau-de-óleo, apresenta uma ampla distribuição no Brasil, ocorrendo nas regiões Norte (Acre, Amazonas, Rondônia e Tocantins), Nordeste (Bahia,

Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí e Rio Grande do Norte), Centro-Oeste (Distrito Federal, Goiás, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso), Sudeste (Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo) e Sul (Paraná e Rio Grande do Sul) (BRAGA *et al.*, 2022; QUEIROZ *et al.*, 2015). Distribui-se em diversos domínios fitogeográficos entre os quais: Cerrado, Caatinga, Floresta Amazônica e Mata Atlântica (COSTA, 2020).

Copaifera langsdorffii apresenta um crescimento lento, podendo chegar a atingir de 25 a 40 metros de altura, e até dois metros de diâmetro na fase adulta; suas folhas são alternadas (Figura 2A), compostas paripenadas, apresentando de 3 a 5 pares de folíolos que podem ser opostos ou alternos; os folíolos são glabro e as folhas novas exibem uma coloração avermelhada; seu tronco e ramos são revestidos por uma casca aromática, folhagem densa, flores pequenas e frutos secos do tipo vagem (Figura 2B), contendo uma única semente (Figura 2C); a floração e a frutificação ocorrem uma vez por ano ou a cada quatro anos, considerando a região e as condições climáticas (BRAGA *et al.*, 2022; CAMILLO, 2018; ALMEIDA *et al.*, 2006).

Figura 2 - Aspectos gerais de *Copaifera langsdorffii* Desf. (Fabaceae) ocorrendo em Crato, Ceará, Brasil: (A) Folhas e frutos; (B) frutos e sementes; (C) Sementes dispersas.



Fonte: SANTOS (2024).

Quanto a sua composição química, suas folhas apresentam flavonóides, esteróides, triterpenóides, antraquinonas, saponinas e taninos (GONÇALVES; MIRANDA; ARAÚJO, 2016). O óleo essencial extraído de pericarpos apresenta uma variedade de compostos, entre os quais: α -copaeno, 1-gurjuneno, (*Z*)-cariofileno, (*E*)-cariofileno, aromadendreno, α -humuleno, (*E*)-9-epi-cariofileno, B-selineno, nerolidol, germacreno B, 1,5-epoxisalvial-4(14)-eno, óxido de cariofileno, cis- β -elemenona, óxido de humuleno, Isoespatulenol, Farnesol e Farnesol (PEREIRA *et al.*, 2008).

Conforme Almeida et al. (2006) e Carvalho (2003), o óleo extraído de *C. langsdorffii* se presta para o tratamento de úlceras, sinusites, inflamações de pele, rins e garganta, controle de doenças sexualmente transmissíveis, cicatrizante de pequenas irritações do couro cabeludo e no tratamento de caspa e acne. Além de suas propriedades medicinais, a espécie é utilizada na fabricação de shampoos, cremes, sabonetes, entre outros (BRAGA, 2022). Sua madeira é indicada em construção civil, como vigas, ripas, caibros, marcos de portas e janelas, tábuas em geral; peças torneadas, coronhas de armas, cabos de ferramentas, cabos de vassoura, implementos agrícolas, carroçarias, miolo de portas, móveis inferiores, tabuados em geral, revestimentos, laminação, torneados, folhas para compensados e construção naval (CARVALHO, 2003).

Além disso, apesar da espécie apresentar um crescimento lento, é considerada prioritária para projetos de reflorestamento em áreas degradadas do bioma Cerrado, especialmente em função da sua plasticidade ecológica (CARVALHO, 2003; COSTA, 2017). Conforme Rodrigues *et al.* (2007), em decorrência das diversas aplicações atribuídas a copaíba, a mesma tem sido alvo de intensa exploração predatória, resultando na devastação de suas populações naturais.

2.7. *Erythroxylum Pyan* Costa-Lima (Erythroxylaceae)

A família Erythroxylaceae Kunth é bastante reconhecida na flora brasileira devido a presença de metabólitos secundários em suas espécies, como flavonoides e alcaloides (LINS *et al.*, 2020; PINHEIRO; ARAÚJO, 2021). As plantas da família são conhecidas desde o século XV pelos povos andinos, que utilizavam suas folhas para fins anestésicos (LIMA; GOMES; SALAZAR 2022). A família apresenta uma distribuição Pantropical com aproximadamente 240 espécies (DALY, 2004; COSTA-LIMA; LOIOLA; JARDIM, 2014).

As espécies da família estão distribuídas em quatro gêneros: *Aneulophus* Benth., *Erythroxylum* P. Browne, *Nectaropetalum* Engl. e *Pinacopodium* Exell & Mendonça, onde apenas o gênero *Erythroxylum* apresenta uma ampla distribuição, enquanto os demais são restritos à África Tropical (COSTA-LIMA; LOIOLA; JARDIM, 2014). Algumas espécies pertencentes a esse gênero apresentam grande importância farmacológica. Por exemplo, a espécie *E. suberosum* A.St.-Hill. apresenta propriedades antidiarreica, adstringente, antirreumática e anestésicas, entre outras, já *E. vacciniifolium* Mart. apresenta propriedades tônicas e afrodisíacas (RESTREPO *et al.*, 2020).

As espécies *E. coca* Lam. e *E. novogranatense* (D. Morris) Hieron. tem sido cultivada aos longos dos anos pelas sociedades tradicionais sul-americanas, e são conhecidas amplamente como fonte natural do alcaloide cocaína (RESTREPO *et al.*, 2019; JARAMUNOZ; WHITE; RIVERA-DÍAZ, 2022). Poucos gêneros de plantas são altamente lucrativos como *Erythroxylum*, seja na indústria legal na produção de refrigerantes ou em um dos maiores mercados ilegais do mundo como o tráfico de cocaína (RESTREPO *et al.*, 2019).

Em território brasileiro há registros de aproximadamente 120 espécies, com ocorrência em domínios fitogeográficos como: Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica e Pantanal, sendo encontrado nos mais diferentes tipos vegetacionais entre os quais: Caatinga (*stricto sensu*), Campinarana, Campo de Altitude, Campo Limpo, Campo Rupestre, Carrasco, Cerrado (*lato sensu*), Floresta Ciliar ou Galeria, Floresta de Igapó, Floresta de Terra Firme, Floresta de Várzea, Floresta Estacional Decidual, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Ombrófila (Floresta Pluvial), Floresta Ombrófila Mista, Manguezal, Restinga, Savana Amazônica, Vegetação Aquática e Vegetação Sobre Afloramentos Rochosos (RIBEIRO *et al.*, 2022; FLORA E FUNGA DO BRASIL, 2024c).

Na região Nordeste, o gênero está distribuído em 79 espécies, ocorrendo em todos os estados, sendo a região com o maior número de espécies, seguido da região Sudeste com 58 e Norte com 49 espécies (FLORA E FUNGA DO BRASIL, 2024c). O gênero é bastante representado na flora cearense, com registros de ocorrência em quase todos os tipos de formações vegetacionais (CORDEIRO; LOIOLA, 2018).

Entre as espécies com registro de ocorrência para o estado do Ceará, temos *Erythroxylum pyan* Costa-Lima, conhecida popularmente como catuaba, podendo também ser encontradas nos estados de Piauí, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Bahia, Minas Gerais, Alagoas e Sergipe (COSTA-LIMA; CHAGAS, 2018). Até o momento, a espécie só foi encontrada em vegetação sobre solos arenosos sedimentares e parece estar restrita apenas a essas áreas (COSTA-LIMA; CHAGAS, 2018).

Quanto a sua fenologia, as principais fases fenológicas estão relacionadas ao período de chuvas efêmeras, começando a emitir flores logo nas primeiras chuvas, emitindo novas folhas principalmente de novembro a fevereiro (COSTA-LIMA; CHAGAS, 2018). Os frutos maduros são encontrados principalmente de dezembro a abril, podendo chegar a se estender até julho, caso ocorram chuvas esparsas na maior parte da região (COSTA-LIMA; CHAGAS, 2018).

Quanto as suas características morfológicas a espécie apresenta um hábito arbustivo, com altura variando de 0,8 a 3 metros (Figura 3A); quanto as suas folhas, a superfície adaxial das folhas é verde-escura e ligeiramente brilhante, enquanto a superfície abaxial é verde-clara,

já a nervura central é impressa na superfície adaxial e proeminente na superfície abaxial (Figura 3B); ramos jovens com coloração marrom-avermelhados, delgados, densamente lenticelados, lenticelas brancas a ferruginosas amareladas (Figura 3C); frutos do tipo drupa, avermelhados quando maduros (Figura 3D) (COSTA-LIMA; CHAGAS, 2018).

Figura 3 - Aspectos gerais de *Erythroxylum pyan* Costa-Lima ocorrendo em Crato, Ceará, Brasil: (A) Hábito arbustivo; (B) Folhas; (C) Ramos e (D) Frutos.



Fonte: SANTOS (2024).

REFERÊNCIAS

- ALENCAR, S. R; SILVA, M. A. P; SANTOS, M. A. F; GENERINO, M. E. M; TORQUATO, I. H. S; CRISPIM, M. K. M. Biological Activity of *Bambusa vulgaris* Schrad. ex J.C.Wendl. (Poaceae). **Journal of Agricultural Science**, v. 7, n. 6, 2015.
- ALMEIDA, A. R. P. **Efeitos alelopáticos de espécies de *Brachiaria* Griseb sobre algumas leguminosas tropicais.** Orientador: Antônio Augusto Lucchesi. 1993. 37 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.
- ALMEIDA, C. I. M; LEITE, G. L. D; ROCHA, S. L; MACHADO, M. M. L; MALDONADO, W. C. H. Fenologia e artrópodes de *Copaifera langsdorffii* Desf. no cerrado. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v.8, n.2, p.64-70, 2006.
- ALMEIDA, G. D; ZUCOLOTO, M; ZETUN, M. C; COELHO, I; SOBREIR, F. M. Estresse oxidativo em células vegetais mediante aleloquímicos. **Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín**, v. 61, n. 1, p. 4237-4247, 2008.
- AL-SHATTI, A. H; REDHA. A; SULEMAN, P; AL-HASAN, R. The allelopathic potential of *Conocarpus lancifolius* (Engl.) leaves on dicot (*Vigna sinensis* L., monocot (*Zea mays* L.) and soil-borne pathogenic fungi. **American Journal of Plant Sciences**. v. 5, n, 19, 2014.
- ANGELO, P. M; JORGE, N. Compostos Fenólicos em Alimentos: Uma Breve Revisão. **Rev. Inst. Adolfo Lutz, São Paulo**, v. 66, n. 1. 2007.
- Bamboo Phylogeny Group - BPG. In updated tribal and subtribal classification of the bamboos (Poaceae: Bambusoideae). **Bamboo Science and Culture: The Journal of the American Bamboo Society**, v. 24, p. 1–10, 2012.
- BARRETO, S. F; GASPI, F. O. G; OLIVEIRA, C. F. Estudo químico das principais vias do metabolismo secundário vegetal: uma revisão bibliográfica. **Revista Científica Da Fundação Hermínio Ometto**, v.8, n.1, p. 60–73, 2020.
- BORGES, C. S; CUCHIARA, C. C; SILVA, S. D. A; BOBROWSKI, V. L. Efeitos citotóxicos e alelopáticos de extratos aquosos de *Ricinus communis* utilizando diferentes bioindicadores. **Revista Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v. 5, n. 3, p. 15-20, 2011.
- BORGES, L. P; AMORIM, V. A. Metabólitos secundários de plantas. **Revista Agrotecnologia, Ipameri**, v.11, n.1, p.54-67, 2020.

BRAGA, M. N. S; BATISTA, D. M; SOUZA, D. B; LIMA, E. S; PANTOJA, T. M. A; XAVIER, R. A. T; LIMA, R. A. Estudo etnobotânico de plantas medicinais da família Fabaceae na Comunidade Cristolândia, Humaitá-AM. **Revista Biodiversidade**, v.21, n.2, p. 14-26, 2022.

BROL, A; GROTO, A. G; ZAIONS, M. I. M; BAGATINI, K. P. Efeito citotóxico e genotóxico de *Sedum praealtum* A. DC. – Crassulaceae. **Evidência: Biociências, Saúde e Inovação**, v. 22, n. 1, p. 25-36, 2022.

CALEGARI, L; HASELEIN, C. R; SCARAVELLI, T. L; SANTINI, E. J; STANGERLIN, D. M; GATTO, D. A; TREVISAN, R. Desempenho físico-mecânico de painéis fabricados com bambu (*Bambusa vulgaris* Schr.) em combinação com madeira. **Cerne**, v. 13, n. 1, p. 57-63, 2007.

CALLADO, C. H.; BARROS, A. A. M.; RIBAS, L. A.; ALBARELLO, N.; GAGLIARDI, R. F.; JASCONE, C. E. S. **Flora e cobertura vegetal**. In: BASTOS, M.; CALLADO, C. H. (org.). O ambiente da Ilha Grande. Rio de Janeiro: EdUERJ, p. 91-162, 2009.

CALLAWAY, R. M; RIDENOUR W. M. Novel Weapons: Invasive Success and the Evolution of Increased Competitive Ability. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 2, n. 8, p. 436–443, 2004.

CAMILLO, J. **Copaifera langsdorffii: Copaíba**. In: VIEIRA, R. F; CAMILLO, J; CORADIN, L. Espécies Nativas da Flora Brasileira de valor Econômico Atual ou Potencial: Plantas para o Futuro: Região Centro-Oeste; Biodiversidade; MMA: Brasília, Brasil, 2018.

CARMO, J. F. **Crescimento e propriedades da madeira de *Copaifera langsdorffii* Desf. sob regime de manejo florestal**. 2016. 54f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais e Florestais) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2016.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica: Colombo – PR, EMBRAPA Florestas, 1039 p., 2003.

CASSETARI, A. S; SILVA, M. C. P; CARDOSO, E. J. B. N. **Fixação biológica de nitrogênio simbiótica**. In: CARDOSO, E. J. B. N; ANDREOTE, F. D. Microbiologia do solo, 2016.

CHINCHIO, E; CROTTA. M; ROMEO, C; DREWE, J. A; GUITIAN, J; FERRARI, N. Invasive alien species and disease risk: An openchallenge in public and animal health. **PLoS Pathog**, v. 16, n. 10, p. e1008922, 2020.

- CHOU, C. H. Introduction to allelopathy. *In*: REIGOSA, M. J; PEDROL, N; GONZÁLEZ, L. Allelopathy: A Physiological Process with Ecological Implications, 2006.
- CORDEIRO, L. S; LOIOLA, M. I. B. Flora do Ceará, Brasil: Erythroxylaceae. **Rodriguesia**, v. 69, n. 2, p. 881-903, 2018.
- CORSATO, J. M; FORTES, A. M. T; PORTO, E. C; RIBEIRO, M. I; FRUEHWIRTH, M. Estresse oxidativo mediado por aleloquímicos e suas implicações na germinação e crescimento inicial de plantas. **Journal of Agronomic Sciences**, v.5, n. especial, p.136-150, 2016.
- COSTA, B. S. S. **Variabilidade espacial de características dendrométricas da copaíba em função da aptidão agrícola em solos do Tocantins**. Orientador: Rubens Ribeiro da Silva. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, 2017.
- COSTA, J. A. S. **Copaifera in Flora e Funga do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2020. Disponível em: <<http://floradobrasil2020.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB22895>>. Acesso em: 20 jan. 2024.
- COSTA-LIMA, J. L; CHAGAS, E. C. O. *Erythroxylum pyan* (Erythroxylaceae), a new species from the Brazilian semiarid region. **Phytotaxa**, v. 383, n. 2, p. 225-232, 2018.
- COSTA-LIMA, J. L; LOIOLA, M. I. B; JARDIM, J. G. Erythroxylaceae no Rio Grande do Norte, Brasil. **Rodriguesia**, v. 65, n. 3, p. 659-671, 2014.
- DALY, D. **Erythroxylaceae**. *In*: SMITH, N; MORI, S. A; HENDERSON, A; STEVENSON, D. W; HEALD, S.V. Flowering Plants of Neotropics. USA, The New York Botanical Garden. Princeton University Press, 2004.
- DIAS-FILHO, M. B. **Espécies Forrageiras – Fabaceae**. *In*: CORADIN, L; CAMILLO, J; VIEIRA, I, C, G. Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: região Norte, 2022.
- ENS, E. J; FRENCH, K; BREMNER, J. B. Evidence for allelopathy as a mechanism of community composition change by an invasive exotic shrub, *Chrysanthemoides monilifera* spp. Rotundata. **Plant soil**, v. 316, p. 125-139, 2009.
- FELIX, R. A. Z; ONO, E. O; SILVA, C. P; RODRIGUES, J. D; PIERI, S. Efeitos Alelopáticos da *Amburana cearensis* L. (Fr.All.) AC Smith na Germinação de Sementes de Alface (*Lactuca*

sativa L.) e de Rabanete (*Raphanus sativus* L.). **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, supl. 2, p. 138-140, 2007.

FERREIRA, A. G; AQUILA, M. E. A. Alelopatia: Uma área emergente da ecofisiologia. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.12, Edição Especial, p.175-204, 2000.

FERREIRA, R. A; OLIVEIRA, L. M; CARVALHO, D; OLIVEIRA, A. F; GEMAQUE, R. C. R. Qualidade fisiológica de sementes de *Copaifera langsdorffii* Desf. (Leguminosae Caesalpinioideae) envelhecidas artificialmente. **Revista Ciência Agronômica**, v. 35, n.1, p. 82 – 86, 2004.

FILGUEIRAS, T. S.; VIANA, P. L. **Bambus brasileiros: morfologia, taxonomia, distribuição e conservação**. In: WIEDMAN, G; DRUMOND, P. M. Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia, 2017.

FLORA E FUNGA DO BRASIL. **Erythroxylaceae**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2024c. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB7680>>. Acesso em: 27 jun. 2024.

FLORA E FUNGA DO BRASIL. **Fabaceae**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2024b. Disponível em: < <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB115> >. Acesso em: 15 jan. 2024.

FLORA E FUNGA DO BRASIL. **Poaceae**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2024a. Disponível em: < <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB193> >. Acesso em: 15 jan. 2024.

GATTI, A. B; ANDRADE PEREZ, S. C. J. G; FERREIRA, A. G. Avaliação da atividade alelopática de extratos aquosos de folhas de espécies de cerrado. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, supl. 2, p. 174-176, 2007.

GATTI, A. B; ANDRADE PEREZ, S. C. J. G; LIMA, M. I. S. Atividade alelopática de extratos aquosos de *Aristolochia esperanzae* O. Kuntze na germinação e no crescimento de *Lactuca sativa* L. e *Raphanus sativus* L. **Acta Botanica Brasilica**, v. 18, n, 3, p. 459-472, 2007.

GONÇALVES, A. C. R; MIRANDA, O. N. S; ARAÚJO, L. L. N. Prospecção fitoquímica das folhas de *Copaifera langsdorffii* pertencente à família leguminosae. **Revista Fasem Ciências**, v. 9, n. 1, 2016.

IAS - International Allelopathy Society. **What is Allelopathy?**. Disponível em: <https://allelopathy-society.osupytheas.fr/about/>. Acesso em: 07 de jan. 2023.

ISHII-IWAMOTO, E. L.; ABRAHIM, D.; SERT, M. A.; BONATO, C. M.; KELMER-BRACHT A. M.; BRACHT, A. **Mitochondria as a site of allelochemical action.** *In:* REIGOSA, M. J.; PEDROL, N.; GONZÁLEZ, L. *Allelopathy: A Physiological Process with Ecological Implications*, 2006.

JARA-MUÑOZ, O. A.; WHITE, D. M.; RIVERA-DIAZ, O. Morphological and Molecular Evidence Support Elevating *Erythroxylum macrophyllum* var. *savannarum* (Erythroxylaceae) to Specific Status. **Systematic Botany**, v. 47, n. 2, p. 467–476, 2022.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal.** São Carlos: Rima Artes e Textos, 2004. 531p.

LEE, I. K.; MONSI, M. Ecological studies on *Pinus densiflora* forest 1. Effects of plant substances on the floristic composition of the undergrowth. **Bot. Magazine**, v. 76, p. 400-413, 1963.

LEMOS, A. R. **Caracterização Físico-química, Bioquímica e Avaliação da Atividade Antioxidante em Genótipos de Urucueiros (*Bixa orellana* L.).** Orientador: Marcondes Viana da Silva. 2008. 65 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2008.

LIMA, I. S.; GOMES, C. M.; SALAZAR, V. C. R. Aspectos farmacológicos e toxicológicos da *Erythroxylum coca*: uma revisão. **Revista Brasileira Militar de Ciências**, v. 8, n. 22, 2022.

LINS, J. S.; TRIGUEIRO, N. D.; ALMEIDA-SILVA, A. R. R.; FIGUEIREDO, P. T. R.; VELOSO, C. A. G.; SILVA, E. W. R.; DANTAS, M. L. V. G.; PRATA, A. P. N.; TAVARES, J. F.; SILVA, M. S.; COSTA, V. C. O. Investigação fitoquímica de *Erythroxylum rimosum* O. E. Schulz. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 10, p. 79618-79641, 2020.

LPWG – The Legume Phylogeny Working Group. A new subfamily classification of the Leguminosae based on a taxonomically comprehensive phylogeny. **Taxon**, v. 66, n.1, p. 44-77, 2017.

MACÍAS, F. A.; MARIN, D.; OLIVEROS-BASTIDAS, A.; VARELA, R. M.; SIMONET, A. M.; CARRERA .C.; MOLINILLO, J. M. G. Allelopathy as a new strategy for sustainable ecosystems development. **Biology Science Space**, v.17, p. 18–23, 2003.

MAHALEL, U. A. Allelopathic effect of saponins isolated from *Trigonella hamosa* L. and *Solanum lycopersicum* L. on germination and growth of *Allium cepa* L. **Catrina**, v. 12, n. 1, p. 95-99, 2015.

MARCHANTE, H; MORAIS, M; FREITAS, H; MARCHANTE, E. **Guia Prático Para a Identificação de Plantas Invasoras em Portugal**; Imprensa da Universidade de Coimbra: Coimbra, Portugal, 2014.

MILLER, D. A. Allelopathy in forage crop systems. **Agronomy Journal**, v. 88, n. 6, p. 854-859, 1996.

MIOTO, S. T. S; LUDTKE, R; OLIVEIRA, M. L. A. A. A família Leguminosae no Parque Estadual de Itapuã, Viamão, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 6, n. 3, p. 269-290, 2008.

MOLISH, H. Der Einfluss einer Pflanze auf die Andere. **Allelopatie**, Jena. 1 ed. Gustav Fischer, 106 p. 1937.

NÓBREGA, L. H. P; LIMA, G. P; MARTINS, G. L; MENEGHETTI, A. M. M. Germinação de sementes e crescimento de plântulas de soja (*Glycine max* L. Merrill) sob cobertura vegetal sob cobertura vegetal. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 31, n. 3, p. 461-465, 2009.

OLIVEIRA, O. S. **Estudo metabolômico do gênero *Copaifera* – Fabaceae**. Orientador: Larissa Silveira Moreira Wiedemann. 2019. 130 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2019.

PAGARE, S; BHATIA, M; TRIPATHI, N; PAGARE, S; BANSAL, Y. K. Secondary Metabolites of Plants and Their Role: Overview. **Current Trends in Biotechnology and Pharmacy**, v. 9, n. 3, p. 293-304, 2015.

PEREIRA, F. J; MARTINS, F. T; CORRÊA, R. S; MOREIRA, M. E. C; COSTA, A. M. D. D; SANTOS, M. H; POLO, M; BARBOSA, L. C. A. Isolamento, Composição Química e Atividade Anti-inflamatória do Óleo Essencial do Pericarpo de *Copaifera langsdorffii* Desf. de acordo com Hidrodestilações Sucessivas. **Latin American Journal of Pharmacy**, v. 27, n. 3, p. 369-374, 2008.

PINHEIRO, B. L. M; ARAÚJO, C. R. F. Estudo da ação antifúngica de *Erythroxyllum revolutum* sobre cepas do gênero *Candida*. **Brazilian Journal of Development**, v.7, n.2, p. 20202-20214, 2021.

PIRES, N. D. M; SOUZA, I. R. P; PRATES, H. T; FARIA, T. C. L. D; PEREIRA FILHO, I. A; MAGALHÃES, P. C. Efeito do extrato aquoso de leucena sobre o desenvolvimento, índice

mitótico e atividade da peroxidase em plântulas de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 13, n. 1, p. 55-65, 2001.

PORTZ, L; MANZOLLI, R. P; SALDANHA, D. L; CORREA, I. C. S. Dispersão de Espécie Exótica no Parque Nacional da Lagoa do Peixe e seu Entorno. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v 4, n. 1, p.33-44. 2011.

POVH, J. A; PINTO, D. D; CORRÊA, M. O. P; ONO, E. O. Atividade alelopática de *Machaerium acutifolium* Vog. na germinação de *Lactuca sativa* L. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, n. 2, p. 447-449, 2007.

PRASATH C. N. H; SUDARSHANAND, A; GOROJI, P. T. Quantification of litter fall and assessment of nutrient composition in bamboo (*Bambusa vulgaris* var. *Vulgaris*) plantation. **International Journal of Forestry and Crop Improvement**, v. 5, n. 2, p. 54-60, 2008.

PUTNAM, A R.; DUKE, W.B. Allelopathy in agroecosystems. **Annual review of phytopathology**, v.16, p. 431-51, 1978.

QUEIROZ, L.P; MARTINS-DA-SILVA, R.C.V; COSTA, J. *Copaifera* in **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2015. Disponível em: <<http://floradobrasil2015.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB22896>>. Acesso em: 20 jan. 2024.

RESTREPO, D. A; SAENZ, E; JARA-MUÑOZ, O. A; CALIXTO-BOTÍA, I. F; RODRÍGUEZ-SUÁREZ, S; ZULETA, P; CHAVEZ, B. G; SANCHEZ, J. A; D´AURIA, J. C. *Erythroxyllum* in Focus: An Interdisciplinary Review of an Overlooked Genus. **Molecules**, v. 24, 2019.

RESTREPO, D. A; SAENZ, E; JARA-MUÑOZ, O. A; CALIXTO-BOTÍA, I. F; RODRÍGUEZ-SUÁREZ, S; ZULETA, P; CHAVEZ, B. G; SANCHEZ, J. A; D´AURIA, J. C. *Erythroxyllum* en el foco: revisión interdisciplinaria de un género ignorado. **CEDE**, n. 11, p. 1-57, 2020.

REYNA, J. V; DAVILA, A. P. D. Clasificación de los generos de gramineas (poaceae) mexicanas. **Acta Botánica Mexicana**, n. 33, p. 37 – 50, 1995.

RIBEIRO, J. E. S; COÊLHO, E. S; LEITE, A. P; BRUNO, R. L. A; ALVES, E. U; ALBUQUERQUE, M. B. Emergence and Initial Development of *Erythroxyllum pauferrense* Seedlings under Different Substrates. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 65, 2022.

RICE, E. L. **Allelopathy**. 2 ed. Orlando, FL: Academic, 2012.

RICE, E.L. **Allelopathy**. 2nd ed., New York, Academic Press, 1984.

RICE, E.L. **Allelopathy**. New York, Academic Press, 1974.

RODRIGUES, P. M. S; SILVA, C. H. P; BRAGA, L. L; NUNES, Y, R. F; VELOSO, M. D; GONZAGA, A. P. D. Efeito da Luz e da Procedência na Germinação de Sementes de *Copaifera langsdorffii* Desf. (Fabaceae – Caesalpinoideae). **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, supl. 2, p. 264-266, 2007.

SANQUETTA, C. R; RUZA, M. S; CORTE, A. P. D; MOGNON, F; BEHLING, A. **Estimativa de volume aparente do colmo de três espécies de bambus exóticos**. In: WIEDMAN, G; DRUMOND, P. M. Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia, 2017.

SARTORELLI, P. A. R; BENEDITO, A. L. D; FILHO, E. M. E; SAMPAIO, A. B; GOUVÊA A. A. M. **Guia de plantas não desejáveis na restauração florestal**. São Paulo: Agroicone, 2018. Disponível em: <https://www.inputbrasil.org/wp-content/uploads/2018/03/guia-plantas-nao-desejaveis.pdf> . Acesso em 09 de junho de 2022.

SCHLEDER, E. J. D; AGUIAR, E. B; MATIAS, R. Material didático: introdução a taxonomia e sistemática vegetal. **Editora Científica**, 2020.

SCHREINER, O.; REED, H. S. Certain organic constituents of soil in relation to soil fertility. **U. S. Department of Agriculture, Bureau of Soils Bulletin**, v. 47, p. 1-52, 1907a.

SCHREINER, O.; REED, H. S. The production of deleterious excretions by roots. **Bulletin of the Torrey Botanical Club**, v. 34, p. 279-303, 1907b.

SCHREINER, O.; REED, H. S. The toxic action of certain organic plant constituents. **Botanical Gazette**, v. 45, n. 2, p. 73-102, 1908.

SCHULZ, D. G; FORTES, A. M. T; BOIAGO, N. P; MACHADO, A. Alelopatia de bambu (*Dendrocalamus giganteus* Wall. ex Munro). **Revista Cultivando o Saber**, v.3, n. 3, p. 31-39, 2010.

SILVA, A. V. L; FERREIRA, R. L. C; SILVA, J. A. A; CESPEDES, G. H. G. Alternativas de modelos linear para estimação de biomassa verde *Bambusa vulgaris* Schrad. ex J. C. Wendl na existência de multicolinearidade. **Ciências Florestal**, v. 19, n. 2, p. 207-214, 2009.

SILVA, D. L; FERREIRA, R. A; GAMA, D. C. *Bambusa vulgaris* e outras espécies exóticas no refúgio de vida silvestre Mata do Junco, Sergipe: Uma preocupação com invasão biológica. **Revista Nordestina de Biologia**, v. 29, n. 1, 2021.

SILVA, E. J. M; CONCEIÇÃO, R. R; LIMA, R.A. Fgronomic importance of the Fabaceae family: a systematic review. **Revista EDUCAmazônia - Educação Sociedade e Meio Ambiente**, v.16, n, 2, p. 289-301, 2023.

SILVA, L. M. V; JUNIOR, L. C. T. H; UCHOA, B. C. L A Importância da preparação do bambu *Bambusa vulgaris* para análise de sua resistencia à compressão. **Ciências exatas e tecnológicas**, v. 6, n.3, p. 110-126, 2021.

SILVA, R. M. C. **Bambu no Brasil e no mundo**. Instituto EU, p.45, 2005.

SILVA, W. A. **Potencial alelopático do extrato aquoso de cumarú (*Amburana cearensis* A.C. Smith) e jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir) na germinação e SANTOS, F. R. Perfil fitoquímico e alelopático de *Azadirachta indica* A. Juss (Meliaceae) sobre a germinação e crescimento de plântulas de sorgo (*Sorghum bicolor* L.), milho (*Zea mays* L.) e feijão guandu (*Cajanus cajan* L.)**. Orientador: Diércules Rodrigues dos Santos. 2007. 61 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Sistemas agrosilvipastoris no Semi-Árido, Universidade Federal de Campina Grande, Patos, 2007.

SILVEIRA, G. B. **Investigação do potencial alelopatico de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão)**. Orientador: Antônio Jacinto Demuner. 2015. 62 f. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2015.

SOARES, G. L. G; VIEIRA, T. R. Inibição da germinação e do crescimento radicular de alface (cv.“Grand rapids”) por extratos aquosos de cinco espécies de Gleicheniaceae. **Floresta e Ambiente**, v. 7, n. 1, p. 190-197, 2000.

SOLANO, J. D; SOARES, J. A. G; BORGES, N. M; ARAÚJO, D. S; KARSBURG, I. V. Avaliação do efeito mutagênico da solução aquosa de *Hymenea coubaril* l. com uso dos biotestes *Allium cepa* e *Lactuca sativa*. **Enciclopédia biosfera**, v. 11, n. 21, 2015.

SORENG, R. J. PETERSON, P. M; ROMASCHENKO, K; DAVIDSE, G; ZULOAGA, F. O; JUDZIEWICZ, E. J; FILGGUEIRAS, T. S; DAVIS, J. L; MORRONE, O. A worldwide phylogenetic classification of the Poaceae (Gramineae). **Journal of Systematics and evolution**, v. 53, n. 2, 2015.

SOUZA, C. S; OLIVEIRA, V. N. S; SILVA, E. C. A; FERREIRA, L. M. M; SILVA, M. J. N; ARAÚJO, P. C. D. Comportamento de mudas de *Bambusa vulgaris* Schrad. ex J.C.Wendl submetidas ao estresse hídrico e salino, utilizando água residuária da piscicultura. **Revista Ciência Agrícola**, v. 17, n. 2, p. 7-16, 2019.

SOUZA, S. A. M; CATTELAN, L. V; VARGAS, D. P; PIANA, C. F. B; BOBROWSKI, V. L; ROCHA, B. H. G. Atividade alelopática e citotóxica do extrato aquoso de espinheira-santa (*Maytenus ilicifolia* Mart. ex Reiss.). **Publicatio UEPG: Ciências Biológicas e da Saúde**, v. 11, n. 3, 2005a.

SOUZA, S. A. M; STEIN, V. C; CATTELAN, L. V; BOBROWSKI, V. L; ROCHA, B. H. G. Utilização de sementes de alface e de rúcula como ensaios biológicos para avaliação do efeito citotóxico e alelopático de extratos aquosos de plantas medicinais. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 5, n. 1, 2005b.

SOUZA-FILHO, A. P. S. **Alelopatia: das primeiras observações aos atuais conceitos**. In: SOUZA-FILHO, A. P. S; ALVES, S. M. Alelopatia: princípios básicos e aspectos gerais, Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2002.

SOUZA-FILHO, A. P. S; GURGEL, E. S. C; QUEIROZ, M. S. M.; SANTOS, J. U. M. Atividade alelopática de extratos brutos de três espécies de *Copaifera* (Leguminosae-Caesalpinioideae). **Planta daninha**, v.28, n. 4, p. 743-751, 2010.

SOUZA-FILHO, A. P. S; PEREIRA, A. A. G; BAYMA, J. C. Aleloquímico produzido pela gramínea forrageira *Brachiaria humidicola*. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 23, n. 1, p. 25-32, 2005.

STEFANELLO, J; BACHI, L. M. A; GAVASSONI, W. L; HIRATA, L. M; PONTIM, B. C. A. Incidência de fungos em grãos de milho em função de diferentes épocas de aplicação foliar de fungicida. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 4, p. 476-481, 2012.

TADAIESKI, H. T; CIECILINSKY, J. T; PIRES, Y. M. S. Potencial alelopático do extrato aquoso de *Kalanchoe laetivirens* sobre a germinação e crescimento de sementes de Soja. **Revista de Casos e Consultoria**, v. 12, n. 1, 2021.

TAIZ, L; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5.ed, 918 p, Porto Alegre:Artemed, 2013.

TEDESCO, S. B; LAUGHINGHOUSE IV, H. D. 2012. Bioindicator of Genotoxicity: The *Allium cepa* Test. In: SRIVASTAVA, J.K. **Environmental Contamination**, p. 137-156, 2012.

TZVELEV, N. N. The System of Grasses (Poaceae) and Their Evolution. **Botanical Review**, v. 55, n. 3, p. 141-204, 1989.

VALIATTI, T. B; CALAZANS, R. D. S. P; BARCELOS, I. B; PASSONI, G. P; BARATELA, G. N. O; DEGEN, A. N; SALVI, J. O; SOBRAL, F. O. S; ROMÃO, N. F. Identification of *Bambusa vulgaris* (bamboo) extract secondary compounds and its biological effects. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, v. 7, n. 1, p. 222-239, 2020.

VERRUCK, S; PRUDENCIO, E. S; SILVEIRA, S. M. **Revista do Congresso Sul Brasileiro de Engenharia de Alimentos**, v. 4, n. 1, 2018.

VIECELLI, C. A; CRUZ-SILVA, C. T. A. Efeito da variação sazonal no potencial alelopático de Sálvia. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 30, n. 1, p. 39-46, 2009.

VIEIRA, V. S; CRUZ, V. S; SOARES, N. P; SILVA, J. O; ARAÚJO, E. G. Quimioterápicos antineoplásicos derivados de plantas. **Enciclopédia biosfera**, v. 17, n. 34, p. 444-461, 2020.

VIZZOTO, M; KROLOW, A. C; WEBER, G. E. B. Metabólitos secundários encontrados em plantas e sua importância. **Documento: Embrapa Clima Temperado, Pelotas**, n.316, 2010. p.7-15.

WANG, C. M; CHEN, H. T; LI, T. C; WENG, J. H; JHAN, Y. L; LIN, S. X; CHOU, C. H. The Role of Pentacyclic Triterpenoids in the Allelopathic Effects of *Alstonia scholaris*. **Journal of chemical ecology**, v. 40, p. 90-98, 2014.

WEIR, T. L; PARK, SANH-WOOK; VIVANCO, J. M. Biochemical and physiological mechanisms mediated by allelochemicals. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 7, n. 4, p. 472-479, 2004

WELKER, C. A. D; LONGHI-WAGNER, H. M. A família Poaceae no Morro Santana, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, n. 4, p. 53-92, 2007.

ZILLER, S. R. Os processos de degradação ambiental originados por plantas invasoras. **Revista Ciência Hoje**, v. 30. n, 178, 2001.

ZILLER, S. R. Plantas Exóticas Invasoras: a Ameaça da Contaminação Biológica. **Revista Ciência Hoje**, v. 30, n.178, p.77-79, 2001.

3. RESULTADOS

CAPÍTULO 1: Efeito da decomposição das folhas de *Bambusa vulgaris* Schrad. ex J.C.Wendl. (Poaceae) sobre a germinação e crescimento de *Copaifera langsdorffii* Desf. (Fabaceae)

Manuscrito submetido a Revista South African Journal of Botany (Fator de impacto 2.7 e Qualis CAPES A3 na área de avaliação em Biodiversidade)

Efeito da decomposição das folhas de *Bambusa vulgaris* Schrad. ex J.C.Wendl. (Poaceae) sobre a germinação e crescimento de *Copaifera langsdorffii* Desf. (Fabaceae)

Felipe Rufino dos Santos

Universidade Regional do Cariri (URCA), Crato 63105-000, Ceará, Brasil. Email: feliperufino516@gmail.com. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7228-8662>

Bruno Melo de Alcântara

Universidade Regional do Cariri (URCA), Crato 63105-000, Ceará, Brasil. Email: brunomelo870@gmail.com. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1996-2424>

José Anderson Soares da Silva

Universidade Regional do Cariri (URCA), Crato 63105-000, Ceará, Brasil. Email: joseandersoncdz@gmail.com. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8444-9726>

Paulo Henrique Calixto Santana

Universidade Regional do Cariri (URCA), Crato 63105-000, Ceará, Brasil. Email: paulo.calixto@urca.br. Orcid: <https://orcid.org/0009-0009-6895-4090>

Cíntia Larissa Pereira da Silva

Universidade Regional do Cariri (URCA), Crato 63105-000, Ceará, Brasil. Email: larissacintia2109@gmail.com. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8499-203X>

Marcos Aurélio Figueirêdo dos Santos

Universidade Regional do Cariri (URCA), Crato 63105-000, Ceará, Brasil. Email: marcos.figueiredo@urca.br. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3409-5242>

Cláudia Maria Furlan

Universidade de São Paulo (USP) Institute of Biosciences, Matão St. 257, 05508-090 SP, Brazil. Email: furlancm@ib.usp.br. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6180-1034>

Maria Arlene Pessoa da Silva

Universidade Regional do Cariri (URCA), Crato 63105-000, Ceará, Brasil. Email: arlene.pessoa@urca.br. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8148-5350>

Autor correspondente: Felipe Rufino dos Santos. Crato, 6315-000. Telefone: (88) 99807-0746. Email: feliperufino516@gmail.com Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7228-8662>

RESUMO

Este estudo objetivou avaliar o efeito da decomposição das folhas de *Bambusa vulgaris* sobre a germinação e crescimento de *Copaifera langsdorffii*. Para o bioensaio, as folhas de *B. vulgaris* coletadas ao final da senescência foram misturadas ao solo do Cerrado em diferentes concentrações e colocadas para decompor por 120 dias. A identificação dos compostos presentes no solo foi realizada por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-MS). Entre os principais compostos identificados, destacam-se o n-heptatriacontano ($C_{37}H_{76}$) e o n-nonacosano ($C_{29}H_{60}$). As folhas decompostas de *B. vulgaris* afetaram negativamente a germinabilidade e índice velocidade de emergência das sementes de *C. langsdorffii*. O tempo gasto para a emergência de 50% das plântulas de *C. langsdorffii* foi afetado positivamente. Observou-se um efeito citotóxico e genotóxico sobre o ciclo celular de *C. langsdorffii*, resultando em uma diminuição do índice mitótico e aumento no número de aberrações cromossômicas. Os efeitos observados estão possivelmente relacionados à presença ácido gálico ($C_7H_6O_5$) e palmitato de etila ($C_{18}H_{36}O_2$). Os resultados sugerem que a capacidade inibitória de *B. vulgaris* no processo de germinação de *C. langsdorffii* pode contribuir para o estabelecimento e o potencial de invasão desta espécie na área do estudo.

Palavras-chave: Alelopatia; Aleloquímicos; Ácido gálico; Palmitato de etila.

1. Introdução

Espécies exóticas que são capazes de superar as barreiras impostas por ambientes desconhecidos tanto na colonização, reprodução e dispersão, apresentam o potencial de se tornarem invasoras, causando impactos aos ecossistemas invadidos, bem como, em suas espécies nativas e/ou para as atividades humanas (Sampaio; Schmidt, 2013). Tais espécies apresentam a capacidade de promover alterações em processos ecológicos, incluindo ciclagem de nutrientes, dinâmica das cadeias tróficas, estrutura vegetal, competitividade, taxas de decomposição, processos evolutivos e nas relações entre polinizadores e plantas (Ziller, 2001).

Espécies vegetais exóticas invasoras apresentam características que propiciam o seu potencial de invasão, incluindo sementes de pequeno tamanho produzidas em grande quantidade e de maturação precoce, crescimento rápido, longos períodos de floração e frutificação, eficiência na dispersão de sementes, reprodução vegetativa, plasticidade fenotípica, adaptação em áreas degradadas, assim como, a produção de substâncias tóxicas que podem inibir o crescimento de outras plantas existentes nas proximidades, fenômeno conhecido como alelopatia (Ziller 2001; Unger et al., 2021)

De acordo com Leão et al. (2011), a família Poaceae é uma das mais representativas quanto as plantas exóticas invasoras no Brasil, onde muitas espécies são grandes colonizadoras de áreas degradadas e antropizadas. Conforme Schulz et al. (2010) algumas espécies de bambu apresentam grande proliferação e homogeneização dos locais onde se estabelece, demonstrando características alelopáticas. A exemplo de *Bambusa vulgaris* Schrad. ex

J.C.Wendl (Poaceae), uma espécie exótica com potencial invasor amplamente difundida no território brasileiro.

De origem asiática, *B. vulgaris* apresenta uma distribuição Pantropical, sendo comumente cultivada como ornamental ou ocorrendo como espécie naturalizada em todos os tipos de habitats especialmente ao longo de margens de rios (Dransfield; Widjaja, 1995). A espécie encontra-se amplamente distribuída em várias regiões do mundo, como na África do Sul (Canavan et al., 2021), e no Brasil, onde foi introduzida inicialmente por colonizadores portugueses, e mais tarde, pelos imigrantes orientais, estabelecendo-se facilmente no país (Sanquetta et al., 2017; Flora e Funga do Brasil, 2022).

Conforme Buziquia et al. (2019), o bambu é uma planta extremamente adaptável e competitiva, por tanto seja originária ou exótica de outras regiões, há o risco de tornar-se invasora em áreas ecologicamente frágeis. Entre os impactos que provoca estão a capacidade de forma touceiras e um denso emaranhado de raízes na subsuperfície do solo, que se expande por brotações, resultando em um sombreamento excessivo do solo dificultando a regeneração natural (Sartorelli et al., 2018).

Dentre as espécies vegetais nativas com ocorrência em áreas de Cerrado na Chapada do Araripe que podem ser afetadas negativamente pela presença de *B. vulgaris* encontra-se *Copaifera langsdorffii* Desf. (Fabaceae). Conhecida popularmente como copaíba, copaibera e pau-de-óleo, apresenta importância ecológica, econômica e farmacológica, sendo utilizada na arborização, recuperação de áreas degradadas, produção de madeira e óleo-resina, este utilizado por populações tradicionais e indústria farmacêutica devido as suas propriedades medicinais (Ferreira et al., 2004; Carmo, 2016; Braga et al., 2022). Em função da versatilidade de usos, *C. langsdorffii* tem sido alvo de intensa exploração predatória, resultando na devastação de suas populações naturais (Rodrigues et al., 2007).

Considerando tais aspectos, com este trabalho objetivou-se avaliar o efeito da decomposição das folhas de *B. vulgaris* (espécie doadora) sobre a germinação e crescimento de *C. langsdorffii* (espécie receptora), nativa de áreas de Cerrado na Chapada do Araripe (Sul do Ceará, Brasil). Além disso, o estudo investigou a composição química dos compostos liberados no solo durante a decomposição das folhas.

2. Material e Métodos

2.1. Área de estudo e coleta e identificação do material botânico

O estudo foi realizado no período de março a agosto de 2023 em uma área de Cerrado ocorrente na Chapada do Araripe, no município de Crato, Ceará. De acordo com a classificação

de Köppen o clima da região é do tipo As, característico do clima tropical chuvoso com temperaturas variando entre 24° e 26 °C (Álvares et al., 2013; IPECE, 2017). A estação chuvosa ocorre de janeiro a maio, com uma média de precipitação de aproximadamente 1090,9 mm (IPECE, 2017).

Folhas senescentes de *B. vulgaris* (espécie doadora) foram coletadas em março de 2023 em áreas adjacentes a fragmentos de Cerrado na Chapada do Araripe, localizada no Sítio Minguiriba, no município de Crato – Ceará, sob as coordenadas 7°18'2" S, 39°33'5" O e 920 m de altitude (Fig. 1). O material coletado foi conduzido ao Laboratório de Botânica Aplicada (LBA) da Universidade Regional do Cariri (URCA) para realização dos bioensaios. Foram consideradas senescentes as folhas liberadas naturalmente pelos indivíduos no entorno ou aquelas totalmente amareladas, podendo ser destacada facilmente da planta mãe.

As sementes de *C. langsdorffii* (espécie receptora) foram coletadas em julho de 2023, em uma área próxima à coleta das folhas de *B. vulgaris*, sob as coordenadas 7°17'22" S, 39°33'12" O e 920 m de altitude (Fig. 1). Após a coleta as sementes foram conduzidas ao LBA, onde foram selecionadas aquelas em perfeito estado e sem sinais de predação. Posteriormente foram acondicionadas em sacos de papel e mantidas em temperatura ambiente até a realização dos testes.

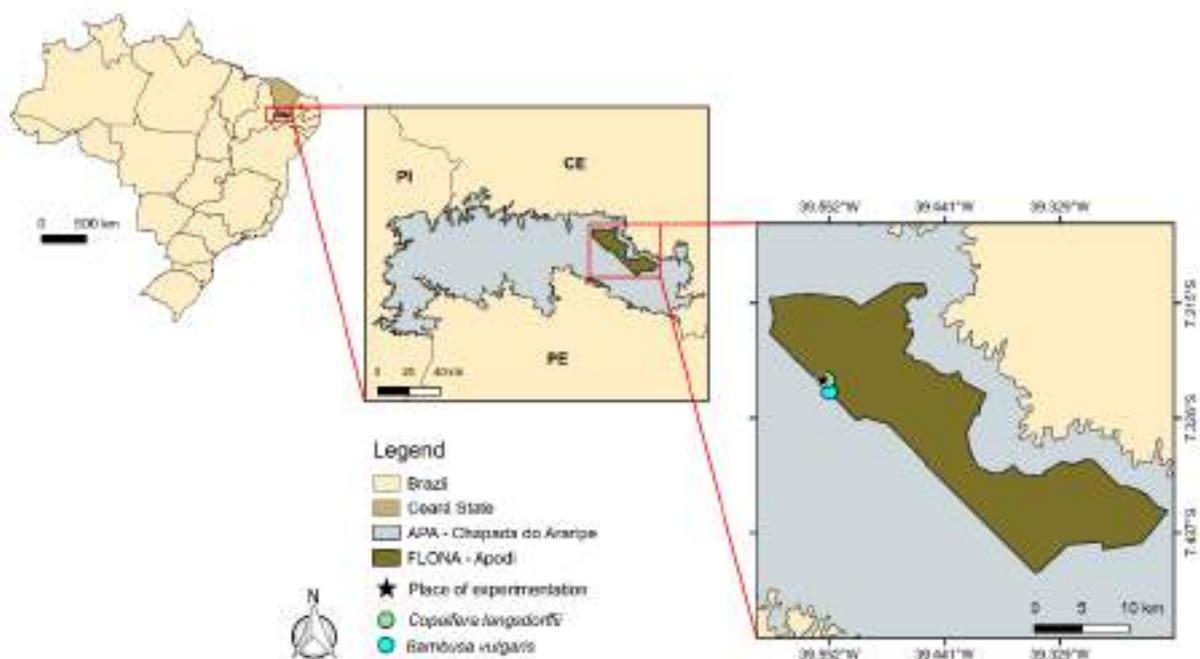


Fig. 1. Local de coleta do material botânico de *Bambusa vulgaris* Schrad. ex J.C.Wendl e *Copaifera langsdorffii* Desf..

Foi coletado material testemunha de ambas as espécies para identificação botânica. Os materiais em estágio reprodutivo foram coletados, devidamente herborizados e depositados no

acervo do Herbário Carirense Dárdano de Andrade-Lima – HCDAL da Universidade Regional do Cariri – URCA, Crato – CE, Brasil, sob os números de tombo 15.990 (*B. vulgaris*) e 16.663 (*C. langsdorffii*).

2.2. Coleta do solo

O solo do Cerrado foi utilizado como substrato para o processo de decomposição foliar, o qual foi coletado no horizonte A (10 a 20 cm). O solo foi coletado na mesma área onde realizou-se a coleta das sementes da espécie receptora. Além disso foi realizado um pré-teste de germinação com as sementes de *C. langsdorffii* com intuito de avaliar a ação de aleloquímicos presentes naturalmente no solo. Observou-se que as sementes apresentaram uma taxa de 90% de germinação, sendo descartada a influência do solo na germinação.

2.3. Decomposição foliar

Para simular a degradação da biomassa, as folhas de *B. vulgaris* foram misturadas ao solo em camadas intercaladas e colocadas para decompôr em sacos de organza nas concentrações de 20 (T1), 30 (T2) e 40 (T3) g/Kg da massa total do solo (p/p) (Huang et al., 2013; Silva et al., 2021). Para o grupo controle (CK: 0 g/Kg), foi utilizado o solo isento de partículas de folhas de *B. vulgaris*. Após a mistura, os sacos foram distribuídos para a decomposição do material em uma área de Cerrado de 5 m² onde permaneceram por 120 dias, entre os meses de abril a agosto de 2023 (final da estação chuvosa e início da estação seca).

Para determinar a quantidade de folhas utilizadas para condução do experimento, foi realizado um cálculo considerando a quantidade de folhas produzidas anualmente (Silva et al., 2021). No caso a quantidade anual de serrapilheira de *B. vulgaris* (20 t/ha), foi considerada equivalente a concentração 20 g/kg de folhas utilizadas no experimento (Huang et al., 2013; Guerra et al., 2017).

2.4. Análise físico-química do solo

Após a decomposição o solo foi quantificado quanto a presença de nutrientes (macronutriente e micronutrientes). Os ensaios foram conduzidos no Laboratório de Fertilidade do Solo da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária (IPA), Recife - PE, segundo a metodologia proposta pelo Manual de Métodos de Análise de Solo da Embrapa (Donagema et al., 2011).

2.5. Análise fitoquímica

2.5.1. Preparação dos extratos

Os extratos orgânicos foram obtidos de acordo com a metodologia proposta por Huang et al. (2013). Após o período de decomposição das folhas de *B. vulgaris*, o solo na concentração de 40 g/kg peneirado e isento das partículas de folhas e o solo controle foram submetidos à extração com solventes orgânicos (hexano e etanol).

Devido à capacidade das plantas de absorverem apenas compostos de natureza polar, os compostos apolares foram extraídos por meio de extração exaustiva. Para isso, foram utilizados 8 litros de n-hexano (1:2 p/v), misturados com 4 quilos de solo. Após o procedimento, os extratos foram mantidos ao abrigo da luz durante 96 horas. Após esse período, a mistura foi filtrada, sendo separado a parte líquida da parte sólida. Após o procedimento, a parte sólida foi posta para secar e submetida a extração com etanol utilizando o mesmo volume e período de tempo para a obtenção dos compostos polares. Após a filtragem, os solventes foram condensados através de um rotoevaporador (modelo Q-344B, Quimis, Diadema, Brasil). A identificação dos compostos presentes nos extratos foi realizada por cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas (CG-MS).

2.5.2. Identificação de compostos por cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas (CG-MS)

Os extratos foram pesados em balança analítica e posteriormente diluídos no seu respectivo solvente (1:1 p/v). Em seguida, uma alíquota de 50 µL foi transferida para inserts e secas em concentrador de amostras por vácuo. Os extratos foram derivatizados com 25 µL de piridina e 25 µL de N,O-bis-(trimetilsilil)-trifluoroacetamida (BSTFA) durante uma hora a 70 °C. Em seguida, as amostras foram injetadas (1 µL) em um cromatograma a gás (6850 Network GC System, Agilent) acoplado à espectrometria de massas (5975 VL MSD, Agilent) (CG-MS), equipado com uma coluna capilar Agilent HP5-MS (30 m, 0,25 mm, 0,25 µm).

A temperatura inicial da coluna foi estabelecida a 100 °C por 5 min e aumentada a uma taxa de 5 °C por minuto até uma temperatura final de 320 °C, com uma duração total de corrida de 49 min. O gás de arraste foi o hélio a 1 ml/min. As temperaturas de injeção, fonte de íons e do quadrupolo foram determinadas em 300, 230 e 150 °C, respectivamente. A ionização foi realizada por impacto de elétrons de 70 eV, operando no modo de aquisição de varredura completa entre 50 e 600 m/z a 2,66 varreduras.

Os dados de massas obtidos para cada extrato foram processados através de desconvolução, alinhamento de picos e cálculo do Índice de Retenção Linear (LRI), utilizando

um padrão de alcanos C8 a C40. As anotações dos compostos foram realizadas com base nas sugestões fornecidas pelo GNPS e pela biblioteca NIST, gerando uma tabela de características que inclui a área do pico, íon molecular, tempo de retenção e uma possível sugestão para cada composto detectado. Um índice de cosseno mínimo de 0,30 foi estabelecido, com uma janela LRI de 30 para a identificação dos compostos. Compostos com um índice de cosseno acima do mínimo, mas sem correspondência exata de LRI, foram agrupados na mesma classe de sugestão baseada nos dados do GNPS (Sala-Carvalho et al., 2022).

2.6. Teste de germinação

Inicialmente foi realizada uma escarificação mecânica nas sementes de *C. langsdorffii* com intuito de superar a dormência. A escarificação foi realizada com auxílio de uma lixa do lado oposto ao hilo da semente. Posteriormente as sementes foram desinfetadas com solução de hipoclorito de sódio a 5% durante 5 minutos e lavadas em água destilada pelo mesmo período.

O teste de germinação foi conduzido em casa de vegetação do Laboratório de Botânica Aplicada, utilizando bandejas de polietileno com 200 células. O substrato utilizado foi o solo contendo material vegetal decomposto nas diferentes concentrações e o solo controle. Em seguida, as sementes foram distribuídas, uma em cada célula e umedecidas com 7 mL de água destilada de acordo com a capacidade de campo do solo (Brasil, 2009). O experimento foi montado em quadruplicatas com 25 sementes por repetições. Foram consideradas germinadas as sementes que apresentaram emergência do hipocótilo. As observações foram realizadas diariamente por um período de 15 dias, sendo as regas realizadas diariamente, com intuito de manter a umidade do solo durante todo processo germinativo (Brasil, 2009). Ao final foram calculadas a germinabilidade (%), tempo de germinação de 50% das sementes (t_{50}), índice de velocidade de emergência (IVE), sincronia.

Para o cálculo da porcentagem de germinação foi utilizada a fórmula proposta por Labouriau e Valadares (1976): $G = (N/A).100$, onde: G = germinabilidade; N = número de sementes germinadas; A = número total de sementes colocadas para germinar.

O índice de velocidade de emergência foi calculado de acordo com a fórmula proposta por Maguire (1962): $IVE = (E1/N1) + (E2/N2) + (En/Nn)$, onde: E1, E2, En = número de plantas emergidas computadas na primeira, na segunda e na última contagem; N1, N2, Nn = número de dias após semeadura à primeira, segunda e última contagem.

O tempo de germinação de 50% das sementes foi calculado de acordo com a fórmula proposta por Farooq et al. (2005): $t_{50} = t_i + [(N/2 - n_i)(t_j - t_i)] / (n_j - n_i)$, onde N representa o

número final de sementes germinadas e (n_i e n_j) é o número de sementes acumuladas que emergiram por contagens adjacentes nos tempos (t_i e t_j), respectivamente, quando $n_i < N/2 < n_j$.

A sincronia foi obtida através da fórmula descrita por Ranal e Santana, (2006): $E = -\sum f_i \cdot \log_2 F_i$, onde: f_i = frequência relativa de germinação e \log_2 = logaritmo da base 2.

2.7. Índice mitótico (IM)

Para a análise do índice mitótico, após a emergência do hipocótilo foram coletadas cinco radículas por tratamento e grupo controle. As radículas foram fixadas em Carnoy (3:1, etanol: ácido acético glacial) por duas horas e estocadas em freezer. Em seguida, as lâminas foram preparadas através da técnica de esmagamento proposta por Guerra e Souza (2002).

Para a preparação das lâminas, as radículas foram lavadas em água destilada e hidrolisadas em ácido clorídrico (HCl) 5N em temperatura ambiente. Em seguida, a ponta das radículas foi separada das demais estruturas, esmagadas em ácido acético a 45%, recobertas com lamínula, congeladas em nitrogênio líquido, feita a remoção da lamínula, secas em temperatura ambiente, coradas com giemsa 2% por 30 minutos e montadas em balsamo do Canadá.

A contagem das células foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Pires et al. (2001), com algumas alterações. Foram preparadas 4 lâminas por cada concentração e grupo controle, sendo analisadas 200 células em cinco campos da lâmina, observando o número de células em cada fase da mitose (prófase, metáfase, anáfase e telófase). As células foram analisadas em microscópio óptico com aumento de 400X. O índice mitótico (IM) foi obtido através da seguinte fórmula: $IM = (m/T) \times 100$, Onde: m = número de células em mitose; e T = número total de células (Pires et al., 2001).

2.7.1. Aberrações cromossômicas (ACs)

As ACs foram avaliadas em todo o campo das lâminas para cada um dos tratamentos e grupo controle. As ACs foram selecionadas com base em alterações na estrutura ou número de cromossomos (avaliação quantitativa e qualitativa). Foram avaliadas a presença das seguintes ACs: adesão cromossômica, pontes cromossômicas, quebras e perdas de cromossomos, anomalias durante a metáfase (C-metáfase) e ausência de membrana celular. As alterações foram fotografadas em microscópio acoplado com câmera fotográfica com o aumento de 1000X.

2.8. Teste de crescimento

Para a análise do crescimento de *C. langsdorffii*, foi realizado um teste de germinação, onde as sementes foram colocadas para germinar em caixas gerbox previamente desinfetadas, contendo duas folhas de papel germitest como substrato umedecidas com 5 mL de água destilada. As caixas foram vedadas com filme PVC, para evitar a evaporação da água. O bioensaio foi conduzido em câmaras climatizadas B.O.D. (Biochemical Oxygen Demand) com temperatura ± 25 °C com fotoperíodo de 12 horas, onde permaneceram até germinarem e apresentarem 2 mm de comprimento.

Após a germinação, as plântulas de *C. langsdorffii* foram transplantadas para bandejas de polietileno contendo o solo com as diferentes quantidades de folhas (20 g/kg, 30 g/kg, 40 g/kg) e grupo controle utilizando apenas o solo. Antes do plantio, o solo foi umedecido com água destilada de acordo com a capacidade de campo do solo (Brasil, 2009).

Foram definidos para o experimento 30 repetições para cada tratamento nas diferentes concentrações e grupo controle, cada repetição correspondeu a uma célula da bandeja contendo uma plântula de *C. langsdorffii*. Após o plantio, as bandejas foram levadas para casa de vegetação onde permaneceram por um período de dois meses. O experimento foi acompanhado diariamente e sempre que necessário, regado a fim de manter a umidade do solo.

Após o período, as plantas jovens de *C. langsdorffii* foram retiradas da casa de vegetação e levadas para o Laboratório de Botânica Aplicada. Em seguida foram retiradas das bandejas e lavadas em água corrente e posteriormente avaliadas quanto ao crescimento, massa seca, área foliar e conteúdo de clorofila e carotenoides.

Os comprimentos das raízes e dos caules das plantas jovens de *C. langsdorffii* foram mensurados com o auxílio de uma régua graduada em milímetros. Para o comprimento do hipocótilo, as medições foram feitas da base do colo até o cotilédone, enquanto o epicótilo foi medido do cotilédone até o ápice da planta. Quanto à raiz, mediu-se da base do colo até a ponta da raiz, sendo os resultados expressos em milímetro.

Para a obtenção do peso seco, as raízes e partes aéreas (hipocótilo e epicótilo) foram separadas e colocadas em sacos de papel devidamente identificados, e em seguida colocados em estufa de circulação de ar a 105 °C, onde permaneceram por um período de 30 minutos. Após esse período a temperatura foi alterada para 80 °C, onde o material permaneceu por 24 horas, sendo posteriormente pesado em balança analítica de precisão (Huang et al., 2013). Para a análise da área foliar, foram selecionadas aleatoriamente oito plantas de cada repetição nos diferentes tratamentos e grupo controle. De cada planta, duas folhas foram destacadas, e a área foliar foi avaliada por meio de fotografias do material coletado, utilizando o software ImageJ.

A extração e quantificação do conteúdo de clorofila e carotenoides das folhas das plantas jovens de *C. langsdorffii* foi realizado segundo a metodologia proposta por Arnon (1949) e Lichtenthaler e Wellburn (1983). Foram coletadas 100 mg de folhas frescas, das quais foram removidas todas as nervuras, e em seguida maceradas com carbonato de cálcio (CaCO_3) e acetona a 80% (10 mL) com o uso de um almofariz e pistilo. Após a maceração, as amostras foram centrifugadas por três minutos a 200 rpm, e o sobrenadante de cada amostra analisado nas absorvâncias de 470 nm, 646 nm, 663 nm e 710 nm. As concentrações de clorofila a, b, total e carotenoides foram calculados conforme o método proposto por Porra et al. (1989).

2.9. Análise estatística

A análise estatística dos dados foi realizada através da Análise de Variância (ANOVA) e comparação das médias através do Teste de Tukey a 5% de probabilidade com auxílio do programa GraphPad Prism 6. A normalidades dos dados foram verificadas através dos testes de: D'Agostino & Pearson, Shapiro-Wilk e teste KS. Os dados que não apresentaram normalidade foram analisados pelo teste de Kruskal-Wallis. Para a análise do índice mitótico, os dados foram ajustados por meio de regressão polinomial cúbica, permitindo modelar a relação não linear entre os tratamentos e controle.

3. Resultados e Discussão

3.1. Análises físico-químicas do solo

As análises físico-químicas do solo, mostraram que alguns nutrientes (macro e micronutrientes) apresentaram aumento nos níveis de suas concentrações entre os diferentes tratamentos avaliados após o período de decomposição (Tabela 1). O fósforo (P) apresentou uma pequena alteração de suas concentrações à medida que houve um aumento da quantidade de biomassa da espécie doadora. Já o cálcio (Ca) e potássio (K) tiveram um pequeno aumento de suas concentrações no Tratamento 3, o qual contou com uma quantidade maior de biomassa de *B. vulgaris* (Tabela 1).

Em relação aos valores de pH do solo, observou-se que não houve grandes alterações quando comparados ao controle, observando valores próximo a cinco. Além disso, verificou-se que a adição das folhas de *B. vulgaris* ao solo promoveu um pequeno aumento da saturação por base (V), sendo essas alterações observadas somente a partir do Tratamento 2 (Tabela 1).

Tabela 1

Análise de caracteres físico-químicos do substrato contendo folhas decompostas de *Bambusa vulgaris* em diferentes concentrações.

Tratamento	pH (H ₂ O)	P Mg/dm ³	Ca	Mg	Na cmolc/dm ³	K cmolc/dm ³	Al	H	S cmolc/dm ³	CTC	V %	M
CK	4.90	1	0.10	0.40	0.01	0.06	0.90	4.95	0.6	6.4	9	61
T1	4.80	3	0.10	0.40	0.01	0.05	0.45	4.79	0.6	6.0	9	54
T2	4.90	2	0.10	0.40	0.01	0.06	0.50	3.62	0.6	4.7	12	47
T3	5.00	3	0.35	0.40	0.02	0.14	0.65	4.82	0.9	6.2	15	33

Legenda: CK: Controle, T1: 20 g/Kg, T2: 30 g/Kg, T3: 40 g/Kg; pH: potencial hidrogeniônico; P: fósforo; Ca: cálcio; Mg: magnésio; Na: sódio; K: Potássio; Al: alumínio; H: hidrogênio; S: soma de base; CTC: capacidade de troca catiônica; V: capacidade de saturação de base; M: saturação de alumínio.

Para Shanmughavel et al. (2002), a biomassa dos colmos e galhos de *B. vulgaris* apresentam maiores teores de potássio, enquanto em suas folhas os nutrientes são encontrados na ordem $N > K > Mg > Ca > P$. No entanto, no presente estudo a biomassa de *B. vulgaris* não contribuiu com incremento de Mg após a adição das folhas em nenhum dos tratamentos avaliados.

No estudo realizado por Oliveira et al. (2020), com a decomposição de *B. vulgaris* ao longo de 12 meses, foi observado que a serrapilheira da espécie apresentou uma significativa perda de massa, indicando uma maior propensão a decomposição, conferindo a espécie uma maior capacidade de reciclar matéria orgânica e nutrientes. Alguns fatores podem ter favorecido a maior decomposição, incluindo a condição de fertilidade do solo, caracterizada por menor acidez potencial e maiores valores de pH e saturação por bases (Oliveira et al., 2020).

A partir dos resultados obtidos, verificou-se que o solo controle proveniente de áreas de Cerrado demonstrou ser mais ácido, com baixa saturação de base e nutrientes. Desse modo, estas características podem estar associadas a decomposição da biomassa, assim como as alterações observadas nas concentrações de nutrientes encontradas no solo, após a adição das folhas de *B. vulgaris*. Segundo Gomes e Shepherd (2000) o solo do Cerrado apresenta boa drenagem e está sujeito a um intenso intemperismo e lixiviação, resultando em um solo ácido, pobre em nutrientes.

Deve-se também levar em consideração que fatores, como, variações nas condições climáticas, na fertilidade do solo ou na qualidade superior do material foliar podem ter influenciado na decomposição (Oliveira et al., 2020). Essa qualidade é destacada pelos maiores teores de nitrogênio (N), menores teores de polifenóis e celulose, juntamente com relações (polifenóis/nitrogênio) e (celulose/nitrogênio) inferiores (Oliveira et al., (2020). Essas características tornam o material menos resistente e mais degradável, facilitando a decomposição, além de tornar mais favorável a colonização microbiana.

Diante do exposto, é possível afirmar que uma menor incorporação de nutrientes ao solo após a adição das folhas de *B. vulgaris* pode estar associada a uma menor decomposição da serrapilheira em virtude da baixa fertilidade do solo. Além disso, as condições climáticas (pluviosidade e umidade), as quais o material estava exposto, também podem ter influenciado na decomposição.

3.2. Análise Cromatográfica do Extrato por CG-MS

Foram identificados um total de dez constituintes, incluindo três ésteres (palmitato de etila; oleato de etila e estearato de etila), dois alcanos (n- Heptatriacontano e n-Nonacosano), dois açúcares (maltose e frutofuranose), um composto fenólico (ácido gálico), um sesquiterpeno (metanoazuleno) e um tocoferol (gama-tocoferol) (Tabela 2).

Tabela 2

Componentes químicos identificados no solo de Cerrado após 120 dias de decomposição das folhas de *Bambusa vulgaris*.

Nº	RT min	Fórmula	Composto	Área (%)	Solvente
1	17.688	C ₁₅ H ₂₄	Metanoazuleno (sesquiterpeno)	0,43	Hexano
2	24.781	C ₆ H ₁₂ O ₆	frutofuranose (monossacarídeo)	0,52	Etanol
3	27.364	C ₇ H ₆ O ₅	Ácido gálico (composto fenólico)	0,78	Etanol
4	27.565	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	Palmitato de etila (éster)	0,16	Etanol
5	30.631	C ₂₀ H ₃₈ O ₂	Oleato de etila (éster)	0,11	Etanol
6	31.083	C ₂₀ H ₄₀ O ₂	Estearato de etila (éster)	0,09	Etanol
7	39.616	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	Maltose (dissacarídeo)	0,93	Etanol
8	41.777	C ₂₉ H ₆₀	n-Nonacosano (alcano)	0,94	Etanol
9	43.275	C ₂₈ H ₄₈ O ₂	Gama-Tocoferol (tocopherol)	0,4	Etanol
10	51.431	C ₃₇ H ₇₆	n- Heptatriacontano (alcano)	1,23	Etanol

Verificou-se que a classe majoritária de compostos foram os alcanos, com uma abundância de 2,17%, seguida de açúcares com 1,45% (Tabela 2). Os principais compostos encontrados foram n- Heptatriacontano (1,23%) e n-Nonacosano (0,94%), ambos pertencentes

à classe dos alcanos (Tabela 2). Wahidah et al. (2020), ao avaliar a caracterização do óleo essencial extraído de folhas de *Bambusa* sp. através da análise de CG/MS, também observaram resultados semelhantes, identificando os alcanos como a classe majoritária, com três compostos principais: n-Nonacosano (20,28%), heptacosano (18,19%) e hexacosano (17,21%), sendo o n-Nonacosano também presente neste estudo.

Além disso o constituinte químico n-Nonacosano também foi extraído de outras espécies de bambu através da análise CG/MS. No estudo realizado por Hu et al. (2011) utilizando o óleo essencial das folhas de *Pseudosasa amabilis* (McClure) Keng f., *Pleioblastus gramineus* (Bean) Nakai, *Phyllostachys vivax*, f. *aureocaulis* N.X.Ma e *Indocalamus latifolius* (Keng) McClure, a abundância de n-Nonacosano foi de 5.183%, 3.57%, 1,716% e 3,115%, respectivamente.

A análise de CG/MS evidenciou que ésteres foi a classe com maior número de compostos, todos derivados de ácidos graxos. O palmitato de etila (0,16%) foi o éster mais abundante, seguido de oleato de etila, éster etílico (0,11%) e estearato de etila (0,09%) (Tabela 2). O palmitato de etila também foi identificado através da análise de CG/MS em outras espécies bambus. No estudo realizado por Hu et al. (2011), utilizando o óleo essencial das folhas de *Pseudosasa amabilis* (McClure) Keng f., *Pleioblastus gramineus* (Bean) Nakai e *Indocalamus latifolius* (Keng) McClure, o composto apresentou uma abundância de 0.152%, 0.507% e 0.175%, respectivamente.

Outro componente identificado no solo após a decomposição das folhas de *B. vulgaris* foi o gama-tocoferol (vitamina E), correspondendo a 0.4%. Para Almeida et al. (2006), a vitamina E apresenta atividade biológica associada à capacidade antioxidante, atuando contra a peroxidação lipídica em membranas biológicas. Embora o gama-tocoferol desempenhe um papel importante como antioxidante, o alfa-tocoferol é considerado o principal antioxidante capaz de interromper reações de oxidação envolvendo radicais livres (Grilo et al., 2015).

A análise química revelou que os compostos fenólicos foram a terceira classe com maior abundância, destacando um único constituinte químico, o ácido gálico (0,78%), o qual se destaca devido ao seu potencial antioxidante, conforme evidenciado nos estudos de Kim (2007) e Badhani et al. (2015). Estudos anteriores, como o realizado por Wahidah et al. (2020) e Ogunmoyole (2022), não identificaram a presença desse composto para *Bambusa* sp. e *B. vulgaris* através da análise CG/MS. A variedade de solventes utilizados para a extração dos compostos, diferentes métodos de análise por CG-MS, assim como, o estágio de crescimento da planta pode explicar a variação na composição química (YueJun et al., 2010; Shen et al., 2022).

3.3. Teste de germinação

A germinabilidade de *C. langsdorffii* foi afetada negativamente no tratamento de maior concentração de resíduos das folhas de *B. vulgaris* (T3, $63\% \pm 15,1$), enquanto nas demais concentrações, não foi observada diferença estatística quando comparado ao grupo controle (CK, $90\% \pm 2,3$) (Fig. 2).

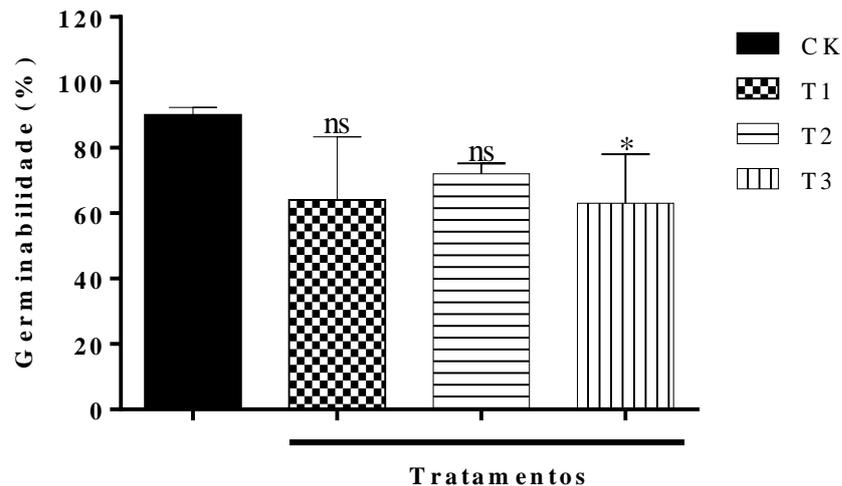


Fig. 2. Germinabilidade das sementes de *Copaifera langsdorffii* submetidas ao substrato contendo folhas decompostas de *Bambusa vulgaris* em diferentes concentrações. CK: Controle, T1: 20 g/Kg, T2: 30 g/Kg, T3: 40 g/Kg; Análise de variância unidirecional (ANOVA). Média (\pm desvio padrão). ns: Sem significância estatística. * $p < 0,05$ em comparação com o controle.

Estes resultados corroboram com os obtidos por Moura et al. (2018), no qual *B. vulgaris* interferiu na germinação de sementes *Lactuca sativa* L. (alface), sendo tais efeitos atribuídos a presença de fitotoxinas nos extratos vegetais. Gomes et al. (2020), associaram a redução da porcentagem de germinação de *Ocimum basilicum* L. a presença de compostos fenólicos presentes no extrato aquoso de *Crotalaria juncea* L., identificando o ácido gálico como composto majoritário. Muzaffar et al. (2012) avaliando o efeito do ácido gálico, observavam que o composto promoveu uma redução na porcentagem de germinação *Cucumis sativus* L.

No estudo realizado por Fiorenza et al. (2016) foi verificado o potencial aleopático do extrato do *Eragrostis plana* Nees (Poaceae), uma vez que promoveu a redução e/ou inibição da porcentagem de germinação de plantas forrageiras (*Zea mays* L., *Avena sativa* L., *Lolium multiflorum* Lam., *Trifolium pratense* L. e *Lotus corniculatus* L.). Os efeitos foram atribuídos a presença de flavonoides e compostos fenólicos incluindo o ácido gálico. O palmitato de etila é outro composto identificado no estudo e que está associado a efeitos alelopático sobre a germinação. No estudo de Shen et al. (2022), foi observado que o composto chegou a inibir a germinação de ervas daninhas (*Bidens pilosa* L., *Galinsoga parviflora* Cav., *Lolium*

multiflorum Lam., e *Phalaris minor* Retz), indicando um aleloquímico promissor para supressão de ervas daninhas invasoras.

O resíduo das folhas de *B. vulgaris* após 120 de decomposição influenciou de forma negativa a velocidade de emergência das sementes de *C. langsdorffii* em todas as concentrações analisadas (Fig. 3). Esse efeito inibitório foi mais significativo nas concentrações de 20 e 40 g/Kg de folhas da espécie doadora ($1,24 \pm 0,44$ e $1,15 \pm 0,26$) respectivamente, quando comparado ao grupo controle ($2,00 \pm 0,09$) (Fig. 3).

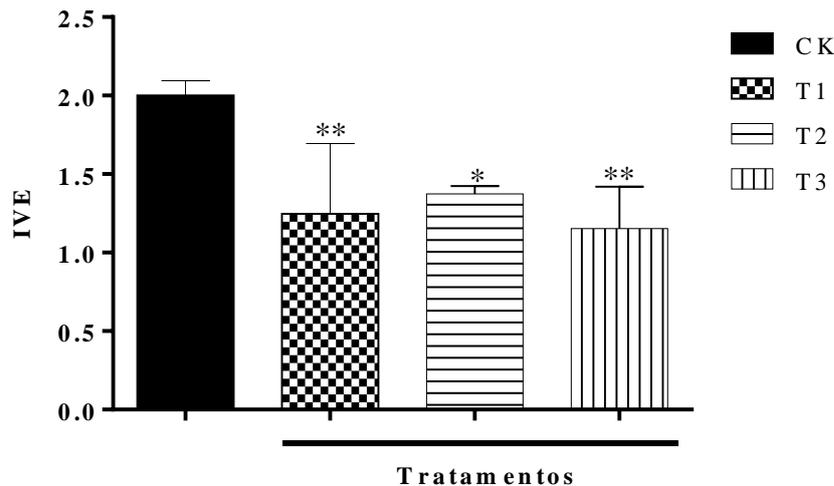


Fig. 3. Índice de Velocidade de Emergência – IVE das sementes de *Copaifera langsdorffii* submetidas ao substrato contendo folhas decompostas de *Bambusa vulgaris* em diferentes concentrações. CK: Controle, T1: 20 g/Kg, T2: 30 g/Kg, T3: 40 g/Kg; Análise de variância unidirecional (ANOVA). Média (\pm desvio padrão). * $p < 0.05$ em comparação com o controle.

Esses resultados corroboram com o obtido por Gomes et al. (2020), nos quais o extrato aquoso de *Crotalaria juncea* L reduziu a velocidade de emergência de *Ocimum basilicum* L., devido a presença de compostos fenólicos, sendo o ácido gálico identificado como composto majoritário. Abbas et al. (2014) também relataram resultados semelhantes, ao verificarem que os resíduos vegetais de *Aternanthera sessilis* L. reduziu o índice de emergência de *Triticum aestivum* L., devido a presença de compostos fenólicos incluindo o ácido gálico, composto também identificado neste estudo.

O tempo gasto para a emergência de 50% das plântulas de *C. langsdorffii* foi afetado positivamente no tratamento de maior concentração dos resíduos foliar de *B. vulgaris* (T3, $13,39 \pm 0,05$), enquanto nas demais concentrações, não foi observada diferença estatística quando comparado ao controle (CK, $10,92 \pm 0,27$) (Tabela 3). O índice de sincronia de germinação das sementes de *C. langsdorffii* não mostrou diferença estatística em nenhuma das concentrações testadas (Tabela 3).

Tabela 3

Ação da decomposição foliar de *Bambusa vulgaris* sobre o tempo de emergência de 50% das plântulas e sincronia de *Copaiifera langsdorffii*.

Variáveis	Tratamentos			
	CK	T1	T2	T3
T ₅₀	10,92±0,27	13,16±0,43ns	12,93±0,54ns	13,39±0,05**
Sincronia	0,270±0,085	0,241±0,051ns	0,249±0,064ns	0,345±0,049ns

Legenda: CK: Controle, T1: 20 g/Kg, T2: 30 g/Kg, T3: 40 g/Kg; Análise de variância unidirecional (ANOVA). Média (± desvio padrão). ns: Sem significância estatística. **p<0.05 em comparação com o controle.

Resultados semelhantes foram observados por Mehmood et al. (2014), onde os resíduos de *Alternanthera sessilis* L. promoveu um aumento no tempo necessário para 50% de emergência das plântulas de *Oryza sativa* L. Quando avaliado a composição química, a espécie apresentou uma grande quantidade de ácido clorogênico (17,85 mg L⁻¹), ácido ferúlico (10,25 mg L⁻¹) e ácido gálico (11,03 mg L⁻¹).

O processo de germinação é desencadeado quando as sementes absorvem água e a divisão celular (mitose) inicia-se no embrião (González et al. 2002). No entanto, se substâncias alelopáticas penetrarem juntamente com essa água no interior das células, podem inibir ou retardar a multiplicação ou crescimento, resultando em um atraso na germinação (González et al. 2002). Compostos fenólicos já foram associados a uma inibição de enzimas da glicólise e a via oxidativa da pentose fosfato (OPPP), resultando em falha na germinação de sementes (Muscolo et al., 2001).

No estudo de Shen et al. (2022) o palmitato de etila promoveu alterações em enzimas antioxidantes (catalase, malondialdeído, peroxidase, superóxido dismutase), reduzindo o conteúdo de clorofila, afetando assim a taxa de germinação e o crescimento de plântulas de *L. multiflorum*. É provável que o efeito negativo observado sobre os parâmetros do processo germinativo de *C. langsdorffii* esteja relacionado a presença do ácido gálico (composto fenólico) e palmitato de etila (éster), compostos também identificados no solo após a decomposição das folhas de *B. vulgaris*.

3.4. Índice mitótico (IM)

O resíduo das folhas de *B. vulgaris* em decomposição causaram efeito citotóxico sobre o ciclo celular de *C. langsdorffii*, resultando em uma diminuição do índice mitótico em todos os tratamentos avaliados, sendo mais significativo nos tratamentos T2 e T3 (Fig. 4).

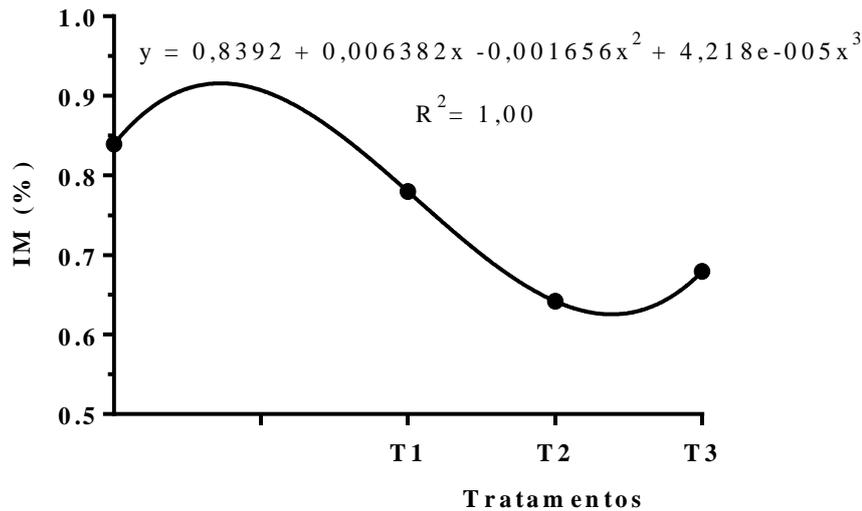


Fig. 4. Índice mitótico de células meristemáticas de *Copaifera langsdorffii* submetidas ao substrato contendo folhas decompostas de *Bambusa vulgaris* em diferentes concentrações (Controle: 0 g/kg, T1: 20 g/Kg, T2: 30 g/Kg, T3: 40 g/Kg).

No trabalho de Kuhn et al. (2015), foi observada uma redução do índice mitótico de *Allium cepa* L. quando exposta a diferentes concentrações dos extratos de frutos de *Punica granatum* L., sendo os efeitos observados atribuídos a presença de compostos fenólicos como ácido gálico, catequina, ácido caféico e rutina, compostos encontrados em maiores concentrações. Coelho et al. (2013), avaliando células meristemáticas de *Allium cepa* L. observaram que o extrato de *Echinodorus longiscapus* Arech. na concentração de 24 g.L⁻¹ apresentam efeito antiproliferativo, chegando a reduzir o índice mitótico e quando avaliado a composição química da espécie foi observado a presença de maiores teores de glicosídeo fenol e ácido gálico.

As células meristemáticas do controle apresentaram uma maior frequência de prófases no ciclo celular, sendo observada uma redução significativa nessa fase em todos os tratamentos avaliados (Tabela 4). Isso sugere um efeito inibitório dos tratamentos na entrada ou progressão das células para a prófase na divisão celular.

Tabela 4

Frequência das diferentes fases da divisão celular (mitose) em células meristemáticas das radículas de plântulas de *Copaifera langsdorffii* submetidas a diferentes concentrações das folhas de *Bambusa vulgaris* após 120 dias de decomposição.

Tratamentos	Interfase	Prófase	Metáfase	Anáfase	Telófase	IM%
CK	3.697	139	52	46	66	7,57
T1	3.755	108	61	33	43	6,12
T2	3.822	83	49	8	38	4,45
T3	3.827	84	52	23	14	4,82

Legenda: CK: Controle, T1: 20g/kg, T2: 30 g/Kg, T3: 40 g/Kg; IM: Índice mitótico.

Resultados semelhantes foram observados por Silva et al. (2018), ao avaliarem o efeito citotóxico das folhas e raízes de *Macropodium lathyroides* (L.) Urb. sobre o ciclo celular de *L. sativa*, com os extratos promovendo uma diminuição na fase da prófase em todas as concentrações testadas. Além disso, Alcântara et al. (2023) associaram a redução da fase de prófase a diminuição do crescimento da radícula de *Lonchocarpus sericeus* (Poir.) Kunth ex DC. As menores taxas de divisão celular ocasionam menor quantidade de células acrescentadas aos tecidos radiculares, afetando assim o seu alongamento.

Desse modo, o efeito citotóxico observado demonstra que a adição de folhas de *B. vulgaris* após 120 dias de decomposição, afetou negativamente o ciclo celular de *C. langsdorffii* em todas as concentrações testadas. A redução do índice mitótico observada pode ter influenciado a capacidade da plântula de emergir do solo, causando um possível retardo na sua emergência, conforme indicado pelo índice de velocidade de emergência, que foi afetado negativamente por todos os tratamentos avaliados.

3.5. Aberrações cromossômicas (ACs)

A análise das alterações cromossômicas evidenciou que os resíduos das folhas de *B. vulgaris* promoveram um efeito genotóxico, observando-se um aumento no número de aberrações cromossômicas (ACs) em comparação ao grupo controle (Tabela 5).

Tabela 5

Análise quantitativa e qualitativa dos tipos de aberrações cromossômicas encontradas em células meristemáticas de *Copaifera langsdorffii* submetidas a diferentes concentrações das folhas de *Bambusa vulgaris* após 120 dias de decomposição.

Tipos de Aberrações e Fases da Mitose	Controle	Tratamentos		
		T1	T2	T3
Ponte Cromossômica				
Telófase	35	19	22	15
Adesão Cromossômica				
Metáfase	107	218	246	303
Telófase	36	49	91	114
Perda Cromossômica				
Metáfase	60	90	125	171
Anáfase	2	0	4	2
C-Metáfase				
Metáfase	268	405	442	542
Ausência de Membrana				
Prófase	146	164	170	192

Legenda: T1: 20 g/Kg, T2: 30 g/Kg, T3: 40 g/Kg.

Foi identificado a presença de C-metáfases, pontes cromossômicas na telófase, adesão cromossômica na telófase, adesão cromossômicas na metáfase, perdas cromossômicas na metáfase, perdas cromossômicas na anáfase e ausência de membrana celular na prófase em células meristemáticas de *C. langsdorffii* (Fig. 5).

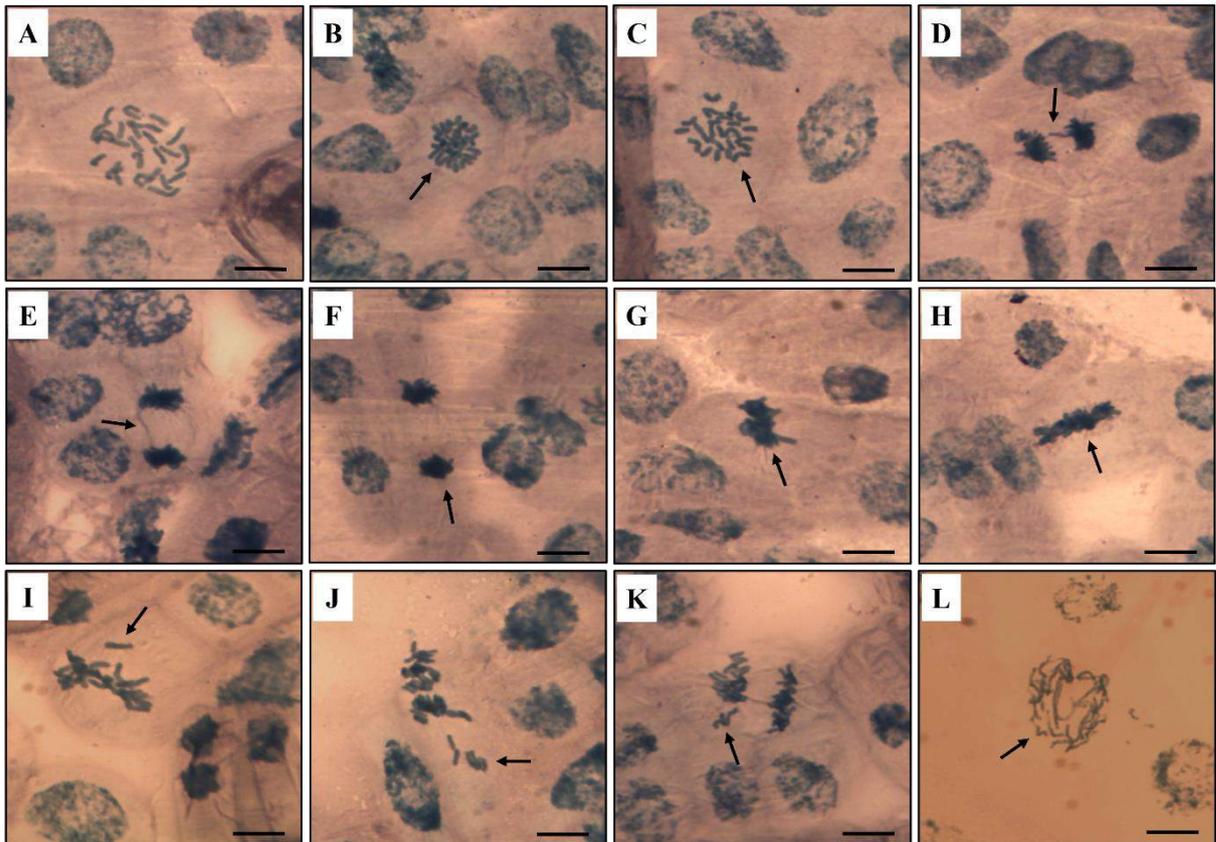


Fig. 5. Anomalias cromossômicas (ACs) observadas em células meristemáticas de *Copaifera langsdorffii* submetidas a diferentes concentrações das folhas de *Bambusa vulgaris* após 120 dias de decomposição. **A-B-C)** C-metáfase; **D-E)** Pontes cromossômicas na telófase; **F)** Adesão cromossômica na telófase; **G-H)** Adesão cromossômica na metáfase; **I-J)** Perda cromossômica na metáfase; **K)** Perda cromossômica na anáfase; **L)** Ausência de membrana celular. Barra – 20 μ m.

As C-metáfases foram as mais frequentes, seguidas pelas adesões cromossômicas na metáfase, ausência de membrana na prófase e perdas cromossômicas na metáfase (Tabela 5). Os efeitos observados indicaram um padrão dose dependente, ou seja, à medida que houve um aumento na quantidade de folhas ao solo observou-se um maior número de ACs. De acordo com Pereira et al. (2013), alterações cromossômicas como pontes e quebras cromossômicas são indicativas de uma ação clastogênica, que envolve alterações estruturais nos cromossomos, enquanto perdas cromossômicas, adesões e C-metáfases são resultantes de efeitos aneugênicos, alteração no conjunto cromossômico.

Alterações na estrutura dos cromossomos podem ser induzidas por vários fatores, incluindo quebras de DNA, inibição da síntese de DNA e replicação de DNA danificado (Leme; Marin-Morales, 2009). Além disso, as alterações cromossômicas podem estar associadas a deformações no sistema radicular e no aparecimento de plântulas anormais (Pereira et al. 2013). De acordo com Ribeiro et al. (2018), as ACs podem surgir de forma espontânea ou ser induzidas pela exposição a substâncias químicas.

Coelho et al. (2013) avaliando células meristemáticas de *Allium cepa* L. observaram que o extrato de *Echinodorus longiscapus* Arech. na concentração de 6g.L^{-1} promoveu alterações cromossômicas como, pontes, quebras e percas cromossômicas. Quando avaliado a composição química da espécie foi observado a presença de maiores teores de glicosídeo fenól e ácido gálico.

Os resultados indicam que os resíduos das folhas de *B. vulgaris* promoveram efeito genotóxico em células meristemáticas de *C. langsdorffii* em todos os tratamentos avaliados. Além disso, a evidência do potencial alelopático juntamente com os efeitos citotóxicos e genotóxicos, sugerem que a ação alelopática exercida pela espécie pode contribuir para o seu estabelecimento e potencial de invasão na área de estudo.

3.6. Teste de crescimento

Os aleloquímicos presentes em *B. vulgaris* não demonstraram influência no crescimento, massa seca e área foliar de *C. langsdorffii*. Segundo Ferreira e Aquila (2000), a resistência ou tolerância aos aleloquímicos é uma característica espécie-específica, existindo aquelas mais sensíveis e aquelas menos sensíveis. A falta de resultados significativos sobre os parâmetros avaliados pode indicar a tolerância de algumas espécies aos diferentes mecanismos de ação dos aleloquímicos, a qual é influenciada por diversos fatores, como concentração, temperatura e condições ambientais (Maraschin-Silva; Aquila, 2006; Moraes et al., 2012).

Corroborando com os resultados anteriores, verificou-se que as plantas jovens de *C. langsdorffii* não sofreram influência no teor de clorofila a e b, clorofila total e carotenoides quando submetidas a diferentes concentrações da decomposição dos resíduos foliar de *B. vulgaris*. Santos et al. (2003) associaram a falta de resultados relacionados ao teor de clorofila, a capacidade de tolerância da espécie receptora ou a decomposição dos aleloquímicos presentes no solo, seguida de recuperação das plantas.

Huang et al. (2013) reforçam essa observação, destacando que, durante a decomposição inicial da serapilheira de *Cinnamomum septentrionale* Hand. Mazz foram liberados mais metabólitos secundários prejudiciais do que nutrientes, impactando negativamente o crescimento inicial de *Eucalyptus grandis* W.Hill. No entanto, cinco meses após o início do processo, houve uma redução no conteúdo de serapilheira de *C. septentrionale* e uma maior liberação de nutrientes em comparação aos aleloquímicos, o que promoveu o crescimento das plantas. A permanência desses compostos no solo depende, sobretudo, da taxa de transferência, influenciada principalmente pelos processos de adsorção, lixiviação e degradação dessas substâncias (Corsato et al., 2016).

Conclusões

A decomposição da serrapilheira de *B. vulgaris* exerceu ação alelopática sobre o processo germinativo de *C. langsdorffii*. Esses efeitos foram evidenciados pela redução da germinabilidade, índice de velocidade de emergência e do tempo necessário para ocorrência de 50% de emergência das plântulas. Os resíduos foliares de *B. vulgaris* promoveram efeito citotóxico e genotóxico sobre o ciclo celular de *C. langsdorffii*, resultando em uma inibição do índice mitótico e aumento no número de aberrações cromossômicas. Não foram observados efeitos significativos em nenhuma das concentrações avaliadas sobre o crescimento, biomassa, área foliar e conteúdo de clorofila de *C. langsdorffii*.

É provável que os efeitos observados estejam relacionados a presença do ácido gálico (composto fenólico) e palmitato de etila (éster), aleloquímicos identificados no solo após o período de decomposição foliar. A capacidade de inibição do processo germinativo, sugere que a ação alelopática da espécie *B. vulgaris* pode contribuir para seu estabelecimento e potencial de invasão na área do trabalho, sendo necessário o aprofundamento dos estudos, para uma melhor compreensão destes efeitos. Além disso sugere-se que *B. vulgaris* não seja utilizada em sistemas agroflorestais em decorrência dos impactos negativos que pode vir a causar sobre as espécies circunvizinhas.

Declaração de conflito de interesse

Os autores declaram não possuir conflito de interesses financeiros ou relacionamentos pessoais que possam influenciar na publicação deste artigo.

Agradecimentos

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de pós-graduação ao primeiro autor, número do processo: 88887.761775/2022-00. A Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico (FUNCAP) pelo apoio através da Bolsa de Produtividade em Pesquisa, Estímulo à Interiorização e à Inovação Tecnológica (BPI), concedida a última autora, número do processo: BP5-0197-00068.01.00/22. E a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP).

Referências

- Abbas, T., Tanveer, A., Khaliq, A., Safdar, M.E., Nadeem, M.A., 2014. allelopathic effects of aquatic weeds on germination and seedling growth of wheat. *Herbologia* 14(2), 11-25.
- Alcântara, B.M., Antunes, D.F., Silva, J.A.S., Santos, F.R., Silva, C L.P., Silva, C.T.G., Nascimento, M.P., Dantas, A.R., Costa, J.G.M., Pereira Junior, F.N., Santos, M.A.F.,

- Silva, D.C., Silva, M.A.P., 2023. Phytotoxic potential and chemical composition of *Commelina benghalensis* L. (Commelinaceae) on *Lonchocarpus sericeus* (Poir.) Kunth ex DC. (Fabaceae). *South African Journal of Botany* 163, 531-540.
- Almeida, N.M., Moura, J.M.L., Moreira, R.C.N., Franco, M.R.B., 2006. Tocoferóis do músculo dorsal e cavidade ocular do matrinxã (*Brycon cephalus*) proveniente da Bacia Amazônica em diferentes épocas sazonais. *Ciência Rural* 36(2), 636-640.
- Arnon, D.I., 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant physiology* 24(1), 1-15.
- Álvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M., Sparovek, G., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22(6), 711-728.
- Badhani, B., Sharma, N., Kakkar, R., 2015. Gallic acid: A versatile antioxidant with promising therapeutic and industrial applications. *RSC Advances* 5, 27540-27557.
- Braga, M.N.S., Batista, D.M., Souza, D.B., Lima, E. S., Pantoja, T.M.A., Xavier, R.A.T., Lima, R.A., 2022. Estudo etnobotânico de plantas medicinais da família Fabaceae na Comunidade Cristolândia, Humaitá-AM. *Revista Biodiversidade* 21(2), 14-26.
- Brasil., 2009. Regras para análise de sementes: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Mapa/ACS. 1nd edition, 399 p.
- Buziquia, S.T., Lopes, P.V.F., Almeida, A.K., Almeida, I.K., 2019. Impacts of bamboo spreading: a review. *Biodiversity and conservation* 28, 3695-3711.
- Canavan, S., Richardson, D. M., Le Roux, J. J; Kelchner, S. A., Wilson, J. R.U., 2021. The status of alien bamboos in South Africa. *South African Journal of Botany* 138, 33-40.
- Carmo, J.F., 2016. Crescimento e propriedades da madeira de *Copaifera langsdorffii* Desf. sob regime de manejo florestal. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, p. 54. Doutorado em Ciências Ambientais e Florestais.
- Coelho, A.P.D., Frescura, V.D.S., Mambri, A.P., Boligon, A.A., Tedesco, S.B., 2013. Avaliação dos compostos fenólicos e potencial genotóxico e antiproliferativo do extrato de *Echinodorus longiscapus* Arech. *Enciclopedia biosfera* 9(16).
- Donagema, G.K., Campos, D.B., Calderano, S.B., Teixeira, W.G., Viana, J.M., 2011. Manual de métodos de análise de solo. Embrapa Solos-Documentos (INFOTECA-E).
- Dransfield, S., Widjaja, E.A., 1995. *Plant Resources of South-East Asia. Bamboos*. Leiden: Backhuys Publishers 7.
- Farooq, M., Basra, S.M.A., Ahmad, N., Hafeez, K., 2005. Thermal hardening: a new seed vigor enhancement tool in rice. *Journal of Integrative Plant Biology* 47(2), 187-193.
- Ferreira, A.G., Aquila, M.E.A., 2000. Alelopatia: uma área emergente da ecofisiologia. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal* 12 (edição especial), 175-204.
- Ferreira, R.A., Oliveira, L.M., Carvalho, D., Oliveira, A.F., Gemaque, R.C.R., 2004. Qualidade fisiológica de sementes de *Copaifera langsdorffii* Desf. (Leguminosae Caesalpinioideae) envelhecidas artificialmente. *Revista Ciência Agronômica* 35(1), 82 - 86.
- Fiorenza, M., Dotto, D.B., Boligon, A.A., Boligon, A.A., Athayde, M.L., Vestena, S., 2016. Análise fitoquímica e atividade alelopática de extratos de *Eragrostis plana* Nees (capim-annoni). *Iheringia, Série Botânica* 71(2), 193-200.
- Flora e Funga Do Brasil., 2022. *Bambusa*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB86783>>. Acesso em: 15 jan. 2023.
- Gomes, M.A.N; Shepherd, S. L. K., 2000. Estudo de nutrição mineral in vitro relacionado à adaptação de *Sinningia allagophylla* (Martius) Wiehler (Gesneriaceae) às condições de cerrado. *Revista Brasileira de Botânica* 23(2), 153-159.
- Gomes, M.M., Souza, J.R.P., Oliveira, E.C., 2020. Extrato aquoso de *Crotalaria juncea* sobre a germinação e o crescimento inicial de *Ocimum basilicum*. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais* 22, 25-34.

- González, H.R., Mederos, D.M., Sosa, I.H., 2002. Efectos alelopáticos de restos de diferentes especies de plantas medicinales sobre la albahaca (*Ocimum basilicum* L.) en condiciones de laboratorio. *Revista Cubana de Plantas Medicinales* 7(2).
- Grilo, E.C., Costa, P.N., Gurgel, C.S.S., Bezerra, D.F., Bellot, P.E.N.R., Dimenstein, R., 2015. Influência do tempo de armazenamento sobre a concentração de alfa-tocoferol e gama-tocoferol em óleos vegetais. *Revista do Instituto Adolfo Lutz* 74(3), 216-24.
- Guerra, M.J., Souza M., 2002. Como Observar os Cromossomos: Um Guia de Técnicas em Citogenética Vegetal, Animal e Humana. Ribeirão Preto: FUNPEC, 130p.
- Guerra, S.P.S., Almeida Silva, M., Arruda Garcia, L., Melo, R.X., Ticelli, M., Mendes, C.R.L.G., Brito, C.M., 2017. Estudo de caso de plantio adensado de *Bambusa vulgaris*. In: Wiedman, G; Drumond, P.M. *Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia*.
- Hu, C.J., L, H.B., Yuan, K., Hu, J.H., Lin, X.C., 2011. Chemical Composition and Antioxidant Activity of Essential Oil of Bamboo Leaves from Four Species in China. *Asian Journal of Chemistry* 23 (6), 2543–2547.
- Huang, W., Hu, T., Chen, H., Wang, Q., Hu, H., Tu, L., Jing, L., 2013. Impact of decomposing *Cinnamomum septentrionale* leaf litter on the growth of *Eucalyptus grandis* saplings. *Plant physiology and biochemistry*, 70, 411-417.
- IPECE., 2017. Instituto de Pesquisas e Estratégias Econômicas do Ceará. In: Perfil Básico Municipal - Crato.
- Kim, Y.J., 2007. Antimelanogenic and antioxidant properties of gallic acid. *Biological and Pharmaceutical Bulletin* 30(6), 1052–1055.
- Kuhn, A.W., Tedesco, M., Boligon, A.A., Athayde, M.L., Laughinghouse, H.D., Tedesco, S.B., 2015. Chromatographic analysis and antiproliferative potential of aqueous extracts of *Punica granatum* fruit peels using the *Allium cepa* test. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences* 51(1), 241-248.
- Labouriau, L.G., Valadares, M.B., 1976. On the germination of seeds of *Calotropis procera*. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 48, 263-284.
- Leão, T.C.C., Almeida, W.R., Dechoum, M., Ziller, S.R., 2011. Espécies Exóticas Invasoras no Nordeste do Brasil: Contextualização, Manejo e Políticas Públicas. Recife: Centro de Pesquisas Ambientais do Nordeste e Instituto Hórus de Desenvolvimento e Conservação Ambiental, 99p.
- Leme, D.M.; Marin-Morales, M.A., 2009. *Allium cepa* test in environmental monitoring: a review on its application. *Mutation Research* 682(1), 71-81.
- Lichtenthaler, H.K., Wellburn, A.R., 1983. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochem Society Transactions* 11(5), 591-592.
- Maguire, J.D., 1962. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science, Madison* 2(2), 176-77.
- Maraschin-Silva, F., Aqüila, M.E., 2006. Potencial alelopático de espécies nativas na germinação e crescimento inicial de *Lactuca sativa* L. (Asteraceae). *Acta botânica brasílica* 20(1), 61-69.
- Mehmood, a., Tanveer, A., Zahir, Z.A., 2014. Comparative allelopathic potential of metabolites of two *Alternanthera* species against germination and seedling growth of rice. *Planta Daninha*, 32(1), 1-10.
- Moraes, P.V.D., Panozzo, L. E., Vignolo, G. K., Santos, L. S., Brandolt, R. R., 2012. Efeito alelopático de trevo-vesiculoso no crescimento inicial de milho e plantas daninhas. *Revista Agrarian* 5(16), 99-105.
- Moura, D.R., Araujo, E.C.G., Borges, C.H.A., Araújo, L.H.B., Lima, T.V., Silva, T.C., Nóbrega, C.C., 2018. *African Journal of Agricultural Research* 13(38), 1954-1958.
- Muscolo, A., Panuccio, M.R., Sidari, M., 2001. The effect of phenols on respiratory enzymes in seed germination. *Plant Growth Regulation* 35, 31-35.

- Muzaffar, S., Ali, B., Wani, N.A., 2012. Effect of catechol, gallic acid and pyrogallol on the germination, seedling growth and the level of endogenous phenolics in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *International Journal of Life Sciences Biotechnology and Pharma Research* 1(3), 50-55.
- Ogunmoyole, T., 2022. *Bambusa vulgaris* leaf extracts contain myriad of bioactive phytochemicals: a possible attestation of its medicinal relevance. *The Journal of Phytopharmacology* 11(5), 315-323.
- Oliveira, A.M., Barreto-Garcia, P.A.B., Novaes, A.B., Carvalho, F.F., Meireles, I.E.S., 2020. Decomposição da serapilheira foliar em plantios de bambu, nim indiano e eucalipto. *Ciência Florestal* 30(3), 845-855.
- Pereira, M.P., Pereira, F.J., Rodrigues, L.C.A., Barbosa, S., Castro, E.M., 2013. Fitotoxicidade do chumbo na germinação e crescimento inicial de alface em função da anatomia radicular e ciclo celular. *Revista Agro@mbiente On-line* 7(1), 36-43.
- Pires, N.M., Souza, I.R.P., Prates, H.T., Faria, T.C.L., Pereira Filho, I.A., Magalhães, P.C., 2001. Efeito do extrato aquoso de leucena sobre o desenvolvimento, índice mitótico e atividade da peroxidase em plântulas de milho. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal* 13(1), 55-65.
- Porra, R.J., Thompson, W.A., Kriedemann, P.E., 1989. Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Bioenergetics* 975(3), 384-394.
- Ranal, M.A., Santana, D.G.D., 2006. How and why to measure the germination process?. *Brazilian Journal of Botany* 29(1), 1-11.
- Ribeiro, L.R., Belo, G.A., Monteiro, A.B., 2018. Avaliação da atividade citogenotóxica e antimutagênica do extrato aquoso de *bidens pilosa*. *Conexão Ciência* 13(4), 15-22.
- Rodrigues, P.M.S., Silva, C.H.P., Braga, L.L., Nunes, Y.R.F., Veloso, M.D., Gonzaga, A.P.D., 2007. Efeito da Luz e da Procedência na Germinação de Sementes de *Copaifera langsdorffii* Desf. (Fabaceae – Caesalpinoideae). *Revista Brasileira de Biociências* 5(2), 264-266.
- Sala-Carvalho, W., Montessi-Amaral, F.P., Esposito, M.P., Campestrini, R., Rossi, M., Peralta, D.F., Furlan, C.M., 2022. Metabolome of *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid., a cosmopolitan moss: the influence of seasonality. *Planta* 255, 77.
- Sampaio, A.B., Schmidt, I.B., 2013. Espécies exóticas invasoras em unidades de conservação federais do Brasil. *Biodiversidade Brasileira* 3(2), 32-49.
- Sanquetta, C.R., Ruza, M.S., Corte, A.P.D., Mognon, F., Behling, A., 2017. Estimativa de volume aparente do colmo de três espécies de bambus exóticos. In: Wiedman, G., Drumond, P.M., (Orgs.). *Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia*. 1.ed. Rio de Janeiro: ICH, 2017. 60-70.
- Sartorelli, P.A.R., Benedito, A.L.D., Filho, E.M E., Sampaio, A.B., Gouvêa, A.A.M., 2018. Guia de plantas não desejáveis na restauração florestal. São Paulo: Agroicone. Disponível em: <https://www.inputbrasil.org/wp-content/uploads/2018/03/guia-plantas-nao-desejaveis.pdf>. Acesso em 09 de junho de 2022.
- Schulz, D.G., Fortes, A.M.T., Boiago, N.P., Machado, A., 2010. Alelopatia de bambu (*Dendrocalamus giganteus* Muro). *Revista Cultivando o Saber* 3(3), 31-39.
- Shanmughavel, P., Lakshminarayanan, S., Francis, K., 2002. Biomass accumulation and nutrient concentration in *Bambusa vulgaris* Schrad. ex. J.C.Wendl. *Forests, Trees and Livelihoods* (12(4), 321-328.
- Shen, S., Ma, G., Xu, G., Li, D., Jin, G., Yang, S., Clements, D.R. Chen, A., Zhang, F., Ye, M., 2022. Allelochemicals Identified From Sweet Potato (*Ipomoea batatas*) and Their Allelopathic Effects on Invasive Alien Plants. *Frontiers in Plant Science* 13.

- Silva, B.V., Almeida-Bezerra, J.W., Brito, E. S., Ribeiro, P.R.V., Cordeiro, L.S., Calixto Júnior, J.T., Costa, J.G.M., Silva, M.A.P., 2021. Effect of decomposition of leaf *Azadirachta indica* A. Juss. on germination and growth of *Myracrodruon urundeuva* Allemão. *South African Journal of Botany* 142, 42–52.
- Silva, M.S.A., Yamashita, O.M., Rossi, A.A.B., Concenço, G., Carvalho, M.A.C., Felito, R.A., 2018. Cytotoxic and genotoxic effects of *Macroptilium lathyroides*. *Planta Daninha* 36.
- Souza, F.G.L.S., Silva, M.A.P., Loiola, M.I.B., 2021. Passifloraceae s.s.na Chapada do Araripe, nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física* 14(2), 770-783.
- Unger, I.M., Kremer, R.J., Veum, K.S., Goyne, K.W., 2021. Immediate and long-term effects of invasive plant species on soil characteristics. *Soil Ecology Letters* 4, 276–288.
- Wahidah, F.F., Hamidah., Rosmanida., 2020. Essential Oil Characterization of Plant as Breeding Site of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*. *Annals of Biology* 36 (2), 245-247.
- YueJun, H., YongDe, Y., Feng, T., XueFeng, G., Jin, W., 2010. Chemical Compositions and Antioxidant Capacity of Essential Oils from Different Species of the Bamboo Leaves. *Scientia Silvae Sinicae*, 46(7), 120–128.
- Ziller, S.R., 2001. Os processos de degradação ambiental originados por plantas invasoras. *Revista Ciência Hoje* 30(178), 1-6.

CAPÍTULO 2: Efeito da decomposição foliar de *Bambusa vulgaris* Schrad. ex J.C.Wendl. (Poaceae) sobre a germinação e crescimento de *Erythroxylum pyan* Costa-Lima (Erythroxylaceae)

Manuscrito a ser submetido a Revista South African Journal of Botany (Fator de impacto 2.7 e Qualis CAPES A3 na área de avaliação em Biodiversidade)

Efeito da decomposição foliar de *Bambusa vulgaris* Schrad. ex J.C.Wendl. (Poaceae) sobre a germinação e crescimento de *Erythroxylum pyan* Costa-Lima (Erythroxylaceae)

Felipe Rufino dos Santos

Universidade Regional do Cariri (URCA), Crato 63105-000, Ceará, Brasil. Email: feliperufino516@gmail.com. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7228-8662>

Maria Arlene Pessoa da Silva

Universidade Regional do Cariri (URCA), Crato 63105-000, Ceará, Brasil. Email: arlene.pessoa@urca.br. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8148-5350>

Autor correspondente: Felipe Rufino dos Santos. Crato, 6315-000. Telefone: (88) 99807-0746. E-mail: feliperufino516@gmail.com. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7228-8662>

RESUMO

Com este trabalho o objetivo foi avaliar o efeito da decomposição foliar de *Bambusa vulgaris* sobre a germinação e o crescimento de *Erythroxylum pyan*. Para a realização do experimento, folhas de *B. vulgaris* em estágio final de senescência foram misturadas ao solo do Cerrado em diferentes concentrações e deixadas em decomposição por 120 dias. Os compostos presentes no solo foram identificados por cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas (CG-MS). A análise fitoquímica do solo evidenciou um total de cinco constituintes químicos: fructofuranose (C₆H₁₂O₆), manitol (C₆H₁₄O₆), gama-Tocoferol (C₂₈H₄₈O₂), alfa-Tocoferol (C₂₉H₅₀O₂) e lupan-3-ol, acetato (C₃₂H₅₄O₂). As folhas decompostas de *B. vulgaris* não influenciou a germinação e o crescimento de *E. pyan* em nenhum dos tratamentos avaliados. Observou-se um efeito positivo sobre as células meristemáticas de *E. pyan*, resultando em um aumento do índice mitótico e aberrações cromossômicas. Esses efeitos provavelmente estão relacionados à presença de triterpenos no solo após a decomposição foliar. Além disso, a falta de resultados significativos nos parâmetros de germinação e crescimento pode estar associada ao tempo de permanência dos aleloquímicos no solo e à menor sensibilidade da espécie receptora a ação desses compostos.

Palavras-chave: Cerrado; Alelopatia; Aleloquímicos; Triterpenos

1. Introdução

Espécies exóticas invasoras são organismos (animais, plantas, fungos ou micro-organismos) que são introduzidos em ambientes onde não ocorrem naturalmente, e que acabam se adaptando e posteriormente dispersando, causando impactos negativos sobre ecossistemas, habitats e outras espécies (Ziller, 2001; Chinchio et al., 2020). As plantas exóticas invasoras são consideradas a segunda maior perda de biodiversidade, afetando áreas de produção econômica, interferindo nos processos de colheita, agindo como vetores de outras pragas e competindo por luz, água e nutrientes (Ziller, 2006).

Atualmente, o potencial invasor de uma espécie está associado a vários fatores, entre os quais, destacam-se a plasticidade fenotípica, a alta taxa de crescimento intrínseca, a capacidade competitiva e a reprodução vegetativa (Unger et al., 2021). Em relação a capacidade competitiva, as plantas invasoras podem utilizar os recursos mais eficientemente do que as espécies nativas ou modificar as condições ambientais, como as propriedades do solo ou no habitat introduzido (Unger et al., 2021). Além disso, a alelopatia tem sido sugerida como um importante mecanismo para o sucesso das plantas invasoras (Hierro; Callaway, 2003).

Entre as famílias com registros de espécies invasoras com ocorrência no Brasil, destaca-se Poaceae, sendo representada com uma grande variedade de espécies, entre as quais *Hyparrhenia rufa* (Nees) Stapf (capim-ja raguá), *Urochloa* spp. (braquiárias), *Panicum maximum* Jacq. (capim-colonião) e *Melinis minutiflora* Beauv. (capim-gordura). Outra espécie pertencente à família é *Bambusa vulgaris* Schrad. ex J.C.Wendl (bambu), sendo descrita como exótica e invasora de áreas de Cerrado (Alencar et al., 2015). O bambu é naturalmente distribuído nas regiões tropicais e subtropicais, sendo comumente encontrado na África, Ásia, América Central e do Sul (Ojo; Sadiku, 2023).

Bambusa vulgaris é originária do Sul da Ásia, sendo introduzida no Brasil inicialmente pelos colonizadores portugueses e, mais tarde, pelos imigrantes orientais, espalhando-se facilmente pelo país, onde atualmente é encontrada nos mais diferentes domínios fitogeográficos, a exemplo de áreas de Cerrado (Sanquetta et al., 2017; Ojo; Sadiku, 2023). A espécie também pode ser encontrada nas regiões de savana em grande parte da África (Ojo; Sadiku, 2023). Entre os seus impactos, a espécie apresenta a capacidade de formar extensos aglomerados monoespecíficos, excluindo as espécies nativas (GISD, 2024).

Além disso, certas espécies de bambu apresentam grande proliferação e homogeneização dos locais onde se estabelece, demonstrando características alelopáticas (Schulz et al., 2010). Quimicamente *B. vulgaris* apresenta em suas folhas alcaloides, cumarinas, flavonoides, saponinas e triterpenos (Valiatti et al., 2020), substâncias frequentemente associadas à atividade alelopática na literatura (Ishii-Iwamoto et al., 2006; Chou, 2006; Wang et al., 2014; Mahalel, 2015). Entre as espécies vegetais nativas que ocorrem em áreas de Cerrado na Chapada do Araripe e que podem ser prejudicadas pela presença de *B. vulgaris*, está *Erythroxylum pyan* Costa-Lima (Erythroxylaceae).

A importância da espécie é destacada pelo seu uso variado, onde nos períodos mais secos é utilizada para lenha e seus galhos são empregados na construção de cercas. Já os galhos jovens são usados como vassouras e suas folhas são utilizadas para a produção de uma bebida conhecida como catuaba (Costa-Lima; Chagas, 2018). Apesar da ampla distribuição no nordeste brasileiro, a espécie ocorre em áreas que foram fortemente impactadas pelo

desmatamento devido a pecuária extensiva, remoção de árvores para lenha, extração de areia e caulim para construção civil, além da criação de parques eólicos (Costa-Lima; Chagas, 2018).

Considerando tais aspectos, este trabalho objetivou avaliar o efeito da decomposição foliar de *B. vulgaris* sobre a germinação e crescimento de plantas jovens de *E. pycnantha*, nativa de áreas de Cerrado na Chapada do Araripe, Ceará, Brasil. Além de analisar a composição química dos compostos liberados no solo durante a decomposição das folhas.

2. Material e métodos

2.1. Área de estudo, coleta e identificação do material botânico

O trabalho foi realizado no período de setembro de 2022 a fevereiro de 2023 em uma área de Cerrado na Chapada do Araripe, no sul do Estado do Ceará. A Chapada do Araripe está localizada na divisa entre os Estados do Ceará, Pernambuco e Piauí, com duas unidades de conservação de uso sustentável, a Área de Proteção Ambiental da Chapada do Araripe (APA) e a Floresta Nacional Araripe (Flona Araripe) (Ribeiro-Silva et al., 2012). A Flona Araripe apresenta uma área de aproximadamente 38.919,47 hectares, abrangendo partes dos municípios de Barbalha, Crato, Jardim, Missão Velha, Nova Olinda e Santana do Cariri, no sul do Estado do Ceará (Bastos et al., 2016).

De acordo com a classificação de Köppen o clima da região é do tipo As (Alvares et al., 2013). O clima da região é descrito como o tropical quente e úmido com uma estação chuvosa de janeiro a maio (Ribeiro-Silva et al., 2012). A temperatura anual varia entre 24° e 26 °C, com uma média de precipitação de aproximadamente 1090,9 mm (IPECE, 2017).

Inicialmente, foram coletadas folhas senescentes de *B. vulgaris* (espécie doadora) em setembro de 2022 em áreas adjacentes a fragmentos de Cerrado, localizados no Sítio Minguiriba no município de Crato, sob as coordenadas 7°18'2" S, 39°33'5" O e 920 m de altitude (Fig. 1). Após a coleta, o material vegetal foi conduzido ao Laboratório de Botânica Aplicada (LBA) da Universidade Regional do Cariri (URCA). Foram consideradas senescentes as folhas naturalmente liberadas pelos indivíduos no entorno ou aquelas completamente amareladas, que podiam ser destacadas facilmente da planta mãe.

As sementes de *E. pycnantha* (espécie receptora) foram coletadas em fevereiro de 2023, na mesma área de coleta de *B. vulgaris*, sob as coordenadas 7°17'22" S, 39°32'58" O e 930 m de altitude (Fig. 1). Após a coleta, as amostras foram conduzidas ao LBA, despulpadas e selecionadas aquelas em perfeito estado e sem sinal de predação. Após o processo, as sementes foram acondicionadas em sacos de papel e mantidas em temperatura ambiente até a realização dos bioensaios alelopáticos.

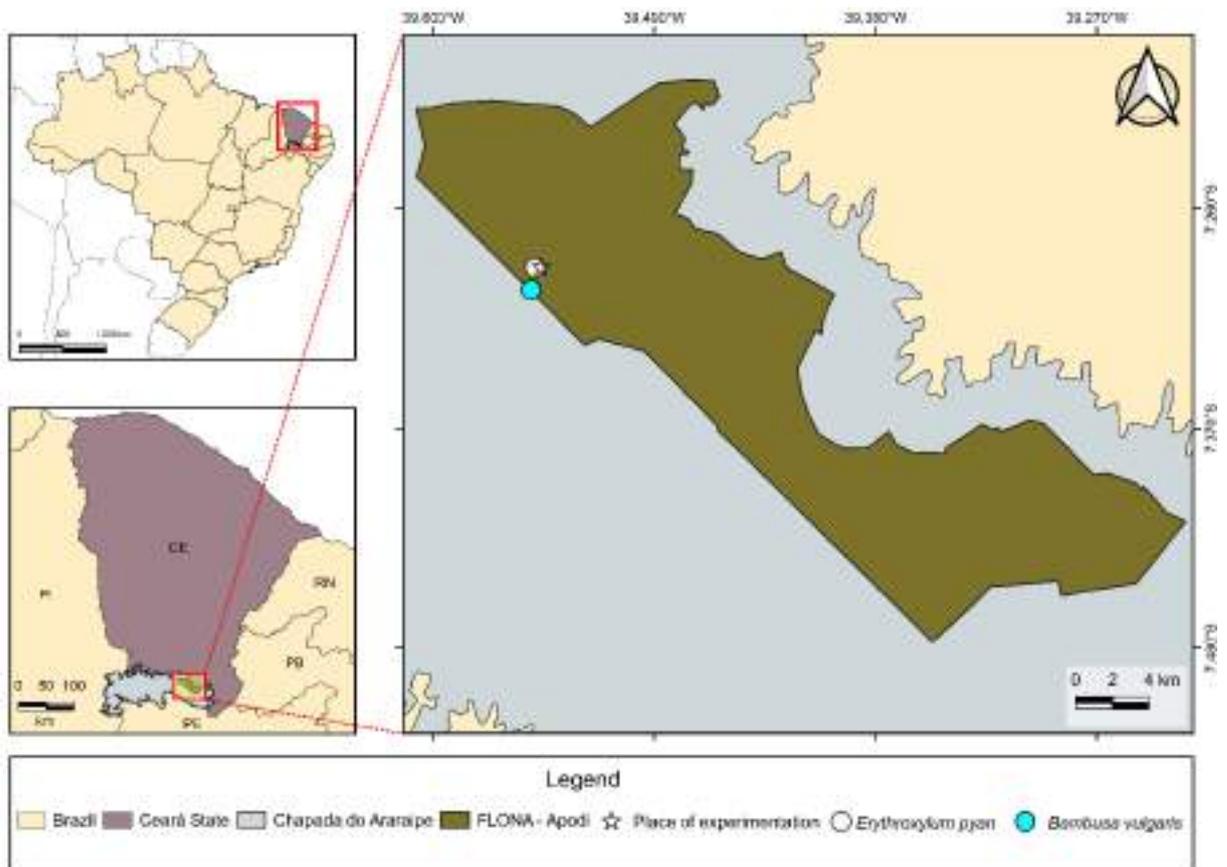


Fig. 1. Local de coleta do material botânico de *Bambusa vulgaris* Schrad. ex J.C.Wendl e *Erythroxylum pyan* Costa-Lima.

Foi coletado material vegetal de ambas as espécies para identificação botânica. Os materiais em estágio reprodutivo foram coletados, devidamente herborizados e depositados no acervo do Herbário Carirense Dárdano de Andrade-Lima – HCDAL da Universidade Regional do Cariri – URCA, Crato – CE, Brasil, sob os números de tombo 15.990 (*B. vulgaris*) e 15.989 (*E. pyan*).

2.2. Coleta do solo e decomposição foliar

O solo do Cerrado foi utilizado como substrato para o processo de decomposição foliar, sendo coletado no horizonte A (10 a 20 cm) na área onde se realizou a coleta das sementes de *E. pyan* (espécie receptora). Foi aplicado um pré-teste de germinação com as sementes da espécie receptora, com intuito de avaliar a ação de aleloquímicos presentes naturalmente no solo. Foi observado que as sementes da espécie apresentaram uma taxa de germinação acima de 90%, assim descartando a influência do solo sobre a sua germinação.

Para a realização do processo de decomposição foliar, as folhas de *B. vulgaris* ao final da senescência foram misturadas ao solo do Cerrado em camadas intercaladas e colocadas para decompor dentro de sacos de organza em diferentes concentrações: 20 g/kg (T1), 30 g/kg (T2) e 40 g/kg (T3) da massa total do solo (p/p) (Huang et al., 2013; Silva et al., 2021). Para o grupo controle (CK: 0 g/kg), foi utilizado solo sem a presença de folhas. Após a mistura, os sacos foram distribuídos em uma área de Cerrado de 5 m², onde permaneceram por 120 dias, entre outubro de 2022 e fevereiro de 2023 (últimos meses da estação seca e primeiros meses da estação chuvosa), para ocorrer a decomposição.

A quantidade de folhas utilizadas no experimento, foi determinada de acordo com quantidade anual de folhas produzidas (Silva et al., 2021). A quantidade anual de serrapilheira de *B. vulgaris* é de 20 t/ha, sendo esse valor equivalente a concentração 20 g/kg de folhas utilizadas no experimento (Huang et al., 2013; Guerra et al., 2017).

2.3. Análise físico-química do solo

Os ensaios foram conduzidos no Laboratório de Fertilidade do Solo da Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária (IPA), em Recife – PE. Após o processo de decomposição foliar, o solo nas diferentes concentrações e grupo controle foram quantificados quanto a presença de nutrientes (macronutriente e micronutrientes), seguindo a metodologia proposta pelo Manual de Métodos de Análise de Solo da Embrapa (Donagema et al., 2011).

2.4. Análise fitoquímica

2.4.1. Preparação dos extratos

Após o período de decomposição foliar de *B. vulgaris*, o solo na concentração de 40 g/kg e o solo controle foram submetidos à extração com solventes orgânicos utilizando hexano e etanol. Os extratos orgânicos foram obtidos de acordo com a metodologia proposta por Huang et al. (2013).

Os compostos apolares foram obtidos através de extração exaustiva, sendo utilizado 8 litros de n-hexano (1:2 p/v), misturados com 4 quilos de solo. Os extratos foram mantidos ao abrigo de luz durante 96 horas. Após esse período, a mistura foi filtrada e separada a parte líquida da sólida. Após o procedimento, a parte sólida foi colocada para secar e submetida a extração com etanol utilizando o mesmo volume e período de tempo para a obtenção dos compostos polares. Após a filtragem, os solventes foram condensados utilizando um rotoevaporador (modelo Q-344B, Quimis, Diadema, Brasil). A identificação dos compostos

presentes nos extratos foi realizada por meio de cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-MS).

2.4.2. Identificação de compostos por cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas (CG-MS)

Os extratos foram pesados utilizando uma balança analítica, e posteriormente diluídos no respectivo solvente na proporção de (1:1 p/v). Em seguida, uma alíquota de 50 µL foi transferida para inserts e secas em um concentrador de amostras por vácuo. Para a derivatização dos extratos, foram adicionados 25 µL de piridina e 25 µL de N,O-bis-(trimetilsilil)-trifluoroacetamida (BSTFA), mantendo a mistura a 70 °C por uma hora. Posteriormente, as amostras foram injetadas (1 µL) em um cromatograma a gás (6850 Network GC System, Agilent) acoplado à espectrometria de massas (5975 VL MSD, Agilent) (CG-MS), equipado com uma coluna capilar Agilent HP5-MS (30 m, 0,25 mm, 0,25 µm).

A temperatura inicial da coluna foi ajustada para 100 °C por 5 minutos e, em seguida, aumentada a uma taxa de 5 °C por minuto até atingir 320 °C, com uma duração total de corrida de 49 minutos; O gás de arraste utilizado foi hélio a 1 ml/min; as temperaturas de injeção, fonte de íons e do quadrupolo foram determinadas em 300, 230 e 150 °C, respectivamente; a ionização foi realizada por impacto de elétrons de 70 eV, trabalhando em modo de aquisição de varredura completa entre 50 e 600 m/z, a uma taxa de 2,66 varreduras.

As fases polares e apolares foram analisadas separadamente. Os dados de massa obtidos para cada extrato foram processados por meio de desconvolução, alinhamento de picos e cálculo do Índice de Retenção Linear (LRI), utilizando um padrão de alcanos C8 a C40. As anotações dos compostos foram realizadas com base nas sugestões fornecidas pelo GNPS e pela biblioteca NIST, gerando uma tabela de características que inclui a área do pico, íon molecular, tempo de retenção e uma possível identificação para cada composto detectado. Foi estabelecido um índice de cosseno mínimo de 0,30, com uma janela LRI de 30 para a identificação dos compostos. Compostos com um índice de cosseno acima do mínimo, mas sem correspondência de LRI, foram agrupados na mesma classe de sugestão com base nos dados do GNPS (Sala-Carvalho et al., 2022).

2.5. Teste de Germinação

O teste de germinação foi realizado em casa de vegetação no Laboratório de Botânica Aplicada. Inicialmente, as sementes de *E. pycnantha* foram desinfetadas em uma solução de hipoclorito de sódio a 5% por 5 minutos e, em seguida, lavadas com água destilada. Para a

montagem do teste de germinação foram utilizadas bandejas de polietileno com 200 células. Como substrato, foi utilizado solo contendo material vegetal decomposto nas diferentes concentrações e o solo controle.

As sementes foram distribuídas, uma por célula, e umedecidas com 7 mL de água destilada, de acordo com a capacidade de campo do solo (Brasil, 2009). O experimento foi montado utilizando quadruplicatas com 25 sementes por repetições. Considerou-se germinadas as sementes que apresentaram emergência do hipocótilo. As observações foram realizadas diariamente por um período de 20 dias, com regas diárias. Ao final das observações foram avaliadas: germinabilidade (%), tempo de germinação de 50% das sementes (t_{50}), índice de velocidade de emergência (IVE) e sincronia.

A porcentagem de germinação foi calculada usando a fórmula de Labouriau e Valadares (1976): $G = (N/A) \times 100$, onde G representa a germinabilidade, N é o número de sementes germinadas e A é o número total de sementes colocadas para germinar.

O índice de velocidade de emergência foi calculado de acordo com a fórmula de Maguire (1962): $IVE = (E1/N1) + (E2/N2) + (En/Nn)$, onde E1, E2, En representam o número de plântulas emergidas em cada contagem e N1, N2, Nn são os dias após a semeadura correspondentes a essas contagens.

O tempo para 50% das sementes germinarem (t_{50}) foi determinado usando a fórmula de Farooq et al. (2005): $t_{50} = t_i + [(N/2 - n_i) (t_j - t_i)] / (n_j - n_i)$, onde N é o número final de sementes germinadas e (n_i e n_j) é o número de sementes acumuladas que emergiram por contagens adjacentes nos tempos (t_i e t_j), respectivamente, quando $n_i < N/2 < n_j$.

A sincronia foi calculada utilizando a fórmula descrita por Ranal e Santana (2006): $E = - \sum f_i \cdot \log_2 F_i$, onde: f_i = frequência relativa de germinação e \log_2 = logaritmo da base 2.

2.6. Teste de Crescimento

Para avaliar o crescimento de *E. pyan*, realizou-se um teste de germinação utilizando caixas gerbox previamente desinfetadas. Cada caixa continha duas folhas de papel germitest como substrato, as quais foram umedecidas com 5 mL de água destilada. As caixas foram vedadas com filme PVC, para evitar a evaporação da água. O bioensaio foi conduzido em câmaras climatizadas B.O.D (Biochemical Oxygen Demand) com temperatura a ± 25 °C com fotoperíodo de 12 horas, onde permaneceram até germinarem e atingirem 2 mm de comprimento.

Após a germinação, as plântulas de *E. pyan* foram transferidas para bandejas de polietileno contendo solo com as diferentes quantidades de folhas (20 g/kg, 30 g/kg, 40 g/kg) e o grupo controle. Antes do plantio, o solo nas bandejas foi umedecido com água destilada de

acordo com a capacidade de campo do solo, conforme descrito por Brasil (2009). Para o experimento, foram estabelecidas 25 repetições para cada tratamento nas diferentes concentrações e grupo controle. Cada repetição consistiu em uma célula da bandeja contendo uma plântula de *E. pycnantha*. Após o plantio, as bandejas foram transferidas para uma casa de vegetação, onde permaneceram por dois meses. O experimento foi observado diariamente e as plantas foram regadas conforme necessário para manter a umidade do solo durante todo o processo.

Após o período de observação, as plantas jovens de *E. pycnantha* foram retiradas do ambiente de casa de vegetação e transferidas para o Laboratório de Botânica Aplicada. Posteriormente, foram retiradas das bandejas e lavadas em água corrente. Em seguida foram avaliadas quanto ao crescimento, massa seca, área foliar e conteúdo de clorofila e carotenoides.

Os comprimentos das raízes, hipocótilos e epicótilos foram medidos utilizando uma régua graduada em milímetros. Para determinar o peso seco, as raízes e partes aéreas (hipocótilo e epicótilo) foram separadas com auxílio de uma lâmina, e colocadas em sacos de papel identificados individualmente para cada um dos tratamentos e grupo controle. Estes sacos foram colocados em estufa de circulação de ar a 105 °C, onde permaneceram por um período de 30 minutos. Em seguida, a temperatura foi reduzida para 80 °C onde o material permaneceu por 24 horas. Após esse período, o material foi pesado utilizando uma balança analítica de precisão (Huang et al. (2013).

Para a avaliação da área foliar, foram selecionadas sete plantas aleatoriamente para cada um dos tratamentos e grupo controle. Em seguida quatro folhas de cada indivíduo foram destacadas, e em seguida feita uma fotografia do material coletado sobre uma folha branca juntamente com uma régua graduada em centímetros com auxílio de uma câmera fotográfica. Sendo a estimativa da área foliar avaliada por imagem digital utilizando o software ImageJ.

A extração e quantificação do conteúdo de clorofila e carotenoides de *E. pycnantha* foram realizadas conforme a metodologia proposta por Arnon (1949) e Lichtenthaler e Wellburn (1983). Foram coletadas 100 mg de folhas frescas, das quais foram removidas as nervuras, e em seguida maceradas com carbonato de cálcio (CaCO₃) e acetona a 80% (10 mL) utilizando um almofariz e pistilo. Após a maceração, as amostras foram centrifugadas por três minutos a 200 rpm, e o sobrenadante de cada amostra foi analisado nas absorvâncias de 470 nm, 646 nm, 663 nm e 710 nm. As concentrações de clorofila a, b, clorofila total e carotenoides foram calculadas conforme o método proposto por Porra et al. (1989).

2.7. Índice mitótico (IM)

Para a análise do índice mitótico, após a emergência do hipocótilo, foram coletadas cinco radículas por repetição, para cada um dos tratamentos avaliados e o grupo controle. As radículas foram fixadas em Carnoy (3:1, etanol: ácido acético glacial) por duas horas e armazenadas em freezer no próprio fixador. Em seguida, as lâminas foram preparadas através da técnica de esmagamento descrita por Guerra e Souza (2002).

Para a preparação das lâminas, as radículas foram lavadas duas vezes em água destilada por 5 minutos e submetidas à hidrólise em ácido clorídrico (HCl) 5N durante 40 minutos à temperatura ambiente, seguido por nova lavagem em água destilada por 5 minutos; posteriormente, as radículas foram colocadas sobre a lâmina de microscopia, sendo separada a ponta das radículas das demais estruturas; as pontas das radículas foram esmagadas em ácido acético a 45%, cobertas com lamínula, congeladas em nitrogênio líquido; após o procedimento a lamínula foi removida; as amostras foram secas à temperatura ambiente e coradas com giemsa 2% por 20 minutos e montadas em bálsamo do Canadá.

A contagem das células foi realizada conforme a metodologia descrita por Pires et al. (2001), com algumas alterações. Foram preparadas quatro lâminas para cada concentração e grupo controle, sendo analisadas 200 células em cinco campos de cada lâmina, observando-se o número de células em cada fase da mitose (prófase, metáfase, anáfase e telófase). As células foram analisadas em microscópio óptico com aumento de 400X. O índice mitótico (IM) foi calculado utilizando a fórmula: $IM = (m/T) \times 100$, onde m representa o número de células em mitose e T é o número total de células (Pires et al., 2001).

2.7.1. Aberrações cromossômicas (ACs)

As ACs foram avaliadas em todo o campo das lâminas para cada um dos tratamentos nas diferentes concentrações e para o grupo controle. As ACs foram selecionadas com base em alterações na estrutura ou no número de cromossomos, sendo avaliadas de maneira quantitativa e qualitativa. Foram observadas as seguintes ACs: adesão cromossômica, pontes cromossômicas, quebras e perdas de cromossomos e anomalias durante a metáfase (C-metáfase). As alterações foram fotografadas em microscópio acoplado com câmera fotográfica com o aumento de 1000X.

2.8. Análise estatística

A análise estatística constou de Análise de Variância (ANOVA) e comparação das médias através do Teste de Tukey a 5% de probabilidade com auxílio do programa GraphPad

Prism 6. Foi aplicado um teste de normalidade a fim de averiguar se os dados apresentavam uma distribuição normal. Os testes aplicados foram: D'Agostino & Pearson, Shapiro-Wilk e teste KS. Para os dados que não apresentaram uma distribuição normal, a análise estatística foi avaliada através do teste de Kruskal-Wallis. Para a análise do índice mitótico, os dados foram ajustados por meio de regressão polinomial cúbica, permitindo modelar a relação não linear entre os tratamentos e controle.

3. Resultados e discussão

3.1. Análises físico-químicas do solo

Através das análises físico-químicas do solo, observou-se que as de folhas de *B. vulgaris* contribuiu com aumento dos níveis das concentrações de alguns nutrientes (macro e micronutrientes) após o período de 120 dias de decomposição foliar (Tabela 1). O cálcio (Ca) e potássio (K) apresentaram um aumento nas concentrações à medida que houve um aumento na quantidade de folhas, sendo observado um efeito dose dependente.

O magnésio (Mg) foi outro elemento que apresentou um aumento nas concentrações quando comparado com o grupo controle. Em relação aos valores do pH do solo, observou-se que não houve grandes alterações entre si, observando valores entre 4.60 a 5.20. Além disso verificou-se que adição das folhas ao solo promoveu um aumento da capacidade de saturação por base (V) em todos os tratamentos avaliados (Tabela 1).

Tabela 1

Análise de caracteres físico-químicos do substrato contendo folhas decompostas de *Bambusa vulgaris* em diferentes concentrações.

Tratamento	pH (H ₂ O)	P Mg/dm ³	Ca	Mg	Na	K	Al	H	S	CTC	V	M
					cmolc/dm ³				cmolc/dm ³		%	
CK	4.60	1	0.15	0.55	0.04	0.05	0.70	3.75	0.8	5.2	15	47
T1	5.20	2	0.50	0.70	0.02	0.09	0.20	3.42	1.3	4.5	29	13
T2	5.00	2	0.70	0.70	0.02	0.10	0.20	3.94	1.5	5.1	30	12
T3	5.20	1	0.90	0.70	0.02	0.16	0.10	3.75	1.9	5.9	32	5

Legenda: CK: Controle, T1: 20 g/Kg, T2: 30 g/Kg, T3: 40 g/Kg; pH: potencial hidrogeniônico; P: fósforo; Ca: cálcio; Mg: magnésio; Na: sódio; K: Potássio; Al: alumínio; H: hidrogênio; S: soma de base; CTC: capacidade de troca catiônica; V: capacidade de saturação de base; M: saturação de alumínio.

O solo controle proveniente de uma área de Cerrado apresentou baixo teor de nutriente e um pH de 4.60, indicando um solo com uma maior acidez e baixa fertilidade. Para Fernandes e Muraoka (2002), o solo do Cerrado é caracterizado por apresentar uma baixa fertilidade e elevada acidez. Segundo Oliveira et al. (2005), regiões de clima tropical e subtropical é comum a ocorrência de solos ácidos com pH reduzidos, baixos teores de matéria orgânica,

baixos teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) trocáveis, baixo índice de saturação de bases e elevados teores de alumínio.

De acordo com Oliveira et al. (2005), valores de pH inferior a 7 indicam que o solo é considerado ácido e valores acima dessa faixa indicam um solo alcalino. Através dos resultados, observou-se que tanto o solo controle quanto os tratamentos apresentaram características de solo ácido, com pH inferior a 7. No entanto, observa-se que a adição das folhas ao solo resultou em um pequeno aumento do pH quando comparado ao controle. Isso sugere que, em concentrações de folhas superiores às testadas nesse estudo, é provável encontrar valores de pH mais próximo da neutralidade.

Os macronutrientes (fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre) apresentam maiores teores nos níveis de suas concentrações em solos com pH mais elevado (Oliveira et al., 2005). Isso ficou evidente no presente estudo, à medida que houve um aumento na concentração dos macronutrientes, observou-se uma pequena elevação nos valores do pH para os diferentes tratamentos avaliados. Foi observado uma redução no alumínio em todos os tratamentos avaliados quando comparado ao grupo controle. No estudo de Amaral et al. (2000), a redução do alumínio foi atribuída a elevação do pH, sendo o mesmo observado neste estudo.

A capacidade de saturação de base (V%) tanto do solo controle como dos tratamentos mostraram valores inferior a 50%. Para Ronquim (2010), esse parâmetro é um indicativo das condições gerais de fertilidade do solo, onde valores superiores a 50% indica um solo com uma maior fertilidade (eutrófico) e inferior a 50% um solo distrófico com baixa fertilidade, como observado no presente estudo. Ainda segundo o autor, um índice de V% baixo indica que há uma quantidade reduzida de cátions, como Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+} , saturando as cargas negativas dos colóides, com a maioria dessas cargas sendo neutralizadas por H^{+} e Al^{3+} . Nessa condição, o solo tende a ser ácido e pode conter alumínio em nível tóxico às plantas, sendo essa característica muito comum em solos arenosos e lixiviados do Planalto Central brasileiro (Ronquim, 2010).

No estudo realizado por Oliveira et al. (2020), avaliando a decomposição de *B. vulgaris* em um período de um ano, observou-se que a serrapilheira apresentou uma significativa perda de massa, indicando uma maior propensão a decomposição, conferindo à espécie uma capacidade elevada de reciclar matéria orgânica e nutrientes. Segundo os autores as condições de fertilidade do solo, com uma menor acidez potencial e maiores valores de pH e saturação por bases (V%), podem estar relacionadas à maior decomposição. No entanto, neste estudo, o solo utilizado no processo de decomposição mostrou-se ácido e com baixa fertilidade. Portanto, é provável que as características iniciais do solo estejam associadas ao menor

incremento na concentração de nutrientes, mesmo após a decomposição das folhas de *B. vulgaris*.

3.2. Análise Cromatográfica do Extrato por CG-MS

A análise de CG/MS da decomposição foliar de *B. vulgaris* evidenciou um total de cinco constituintes químicos, incluindo dois açúcares (fructofuranose e manitol), dois tocoferóis (gama-Tocoferol e alfa-Tocoferol) e um triterpeno (Lupan-3-ol, acetato) (Tabela 2). Através da decomposição dos resíduos, os constituintes químicos são liberados no ambiente, cujos produtos são frequentemente adicionados ao solo (Souza-filho; Alves, 2002). Durante esse processo, os microrganismos presentes no solo agem sobre os polímeros presentes nos tecidos, levando a liberação de compostos tóxicos (Souza-filho; Alves, 2002). Portanto, a avaliação de substâncias químicas liberadas durante o processo de decomposição das folhas de *B. vulgaris* é crucial para compreender seu impacto sobre outras espécies de plantas.

Tabela 2

Componentes químicos identificados no solo de Cerrado após 120 dias de decomposição das folhas de *Bambusa vulgaris*.

Nº	RT min	Fórmula	Composto	Área (%)	Solvente
1	24.781	C ₆ H ₁₂ O ₆	Fructofuranose (açúcar)	0,18	Etanol
2	27.123	C ₆ H ₁₄ O ₆	Manitol (açúcar)	0,98	Etanol
3	43.275	C ₂₈ H ₄₈ O ₂	gama-Tocoferol (tocoferol)	0,16	Etanol
4	44.915	C ₂₉ H ₅₀ O ₂	alfa-Tocoferol (tocoferol)	0,44	Etanol
5	49.291	C ₃₂ H ₅₄ O ₂	Lupan-3-ol, acetato (triterpeno)	0,93	Etanol

Dos solventes utilizados (hexano e etanol), o etanol demonstrou mais eficiência na extração dos compostos, resultando na identificação de todos os compostos (Tabela 2). O etanol é uma solvente mais polar que o hexano, o que torna mais eficiente na extração de compostos polares (Ansolin et al., 2015).

Verificou-se que a classe majoritária foram os açúcares, com uma abundância de 1,16% (Tabela 2). O manitol foi o composto que apresentou a maior abundância (0,98%). Na indústria farmacêutica o manitol é utilizado como excipiente em comprimidos, especialmente nos que se dissolvem na boca, devido à sua agradável sensação de doçura e frescor (Oliveira et al.,

2009). A classe dos triterpenos foi a segunda com maior abundância, sendo o lupan-3-ol, acetato o único composto observado e o segundo com maior abundância (0,93%). Entre as atividades biológicas, o composto apresenta ação antiprotozoário, antimicrobiano, anti-inflamatório, antitumoral, antivirais, antifúngicas, antioxidantes e quimiopreventivo (Chudzik et al., 2015; Yamuna et al., 2017), além de apresentar substâncias com propriedades alelopáticas (Wang et al., 2014).

Em estudos anteriores, como o de Ogunmoyole (2002), que analisou o extrato metanólico das folhas de *Bambusa vulgaris*, e o de Wahidah et al. (2020), que utilizou o óleo essencial de folhas frescas de *Bambusa* sp., os compostos identificados divergem dos detectados neste estudo. Os solventes empregados para extração de compostos, os diferentes métodos de análise por CG-MS, além da espécie e do estágio de crescimento da planta, podem explicar a variabilidade na composição química entre os diferentes estudos (YueJun et al., 2010; Shen et al., 2022).

Na análise comparativa das principais classes de compostos observadas para o grupo controle (CK) e tratamento 3 (40g/kg), pode-se afirmar que os diferentes solventes utilizados na extração (etanol e hexano), apresentaram variações de abundância dos compostos dentro do mesmo tratamento. No extrato hexânico do grupo controle (CK) foi observado maior abundância de alcanos (37,75%) e ácidos graxos (10,70%), enquanto no etanólico foi triterpenos (24,37%) e ácidos graxos (16,83%). Para o tratamento 3 (40g/kg), a classe mais abundante para o extrato hexânico foi alcanos (23,26%) e ácidos graxos (24,76%). Já no extrato etanólico foi observado triterpenos (23,46%) e ácidos graxos (14,79%) (Tabela 3).

Tabela 3

Classes de metabólitos detectadas nos extratos hexânicos e etanólicos do grupo controle (CK) e do solo do Cerrado após 120 dias de decomposição da serapilheira de *Bambusa vulgaris* (T3).

Classe de compostos	Extratos			
	Controle Hexano	T3 Hexano	Controle Etanol	T3 Etanol
Ácidos graxos	10,70%	24,76%	16,83%	14,79%
Açúcar	1,68%	0,56%	4,98%	8,45%
Alcanos	37,75%	23,26%	9,74%	5,04%
Compostos fenólicos	0,46%	0,38%	1,47%	0,70%
Esteroides	1,39%	1,60%	1,65%	1,97%
Tocoferol	3,85%	3,81%	0	0,60%
Triterpenos	6,27%	10,93%	24,37%	23,46%

3.3. Teste de germinação e crescimento

Os resíduos das folhas de *B. vulgaris* após a decomposição não apresentaram influência sobre a germinação e nem sobre o crescimento de *E. pycnantha* em nenhum dos tratamentos avaliados quando comparado ao grupo controle (CK).

Esses resultados divergem dos observados por Moura et al. (2018), no qual *B. vulgaris* interferiu na porcentagem e índice de velocidade de germinação das sementes de *Lactuca sativa* L. (alface), sendo, tais efeitos atribuídos a presença de fitotoxinas nos extratos vegetais. E no estudo de Alencar et al. (2015), onde *B. vulgaris* inibiu a porcentagem de germinação e comprimento das radículas e caulículos de *Z. mays* (milho) e *Vigna sinensis* (feijão). Nesse trabalho, os autores atribuem a ação observada a presença de taninos, fenóis, flavonoides, flavonas, flavonóis, xantonas e catequinas presentes no extrato.

No estudo de Sanquetta et al. (2013), a falta de resultados significativos foi atribuída a dois fatores, como à concentração utilizada, que não foi suficiente para promover atividade alelopática, assim como, a menor sensibilidade da espécie receptora a ação dos compostos. A ação dos aleloquímicos é influenciada por fatores, como concentração, temperatura e condições ambientais (Maraschin-Silva; Aquila, 2006). A resistência ou tolerância aos aleloquímicos é uma característica específica de cada espécie, existindo aquelas mais sensíveis e aquelas menos sensíveis.

Segundo Moraes et al. (2012), a não interferência alelopática pode indicar a tolerância de algumas espécies aos diferentes mecanismos de ação dos aleloquímicos. No estudo de Hagemann et al. (2010), essa tolerância foi associada ao processo de detoxicação das espécies alvo para alguns genótipos de aveia. No estudo de Markus et al. (2021), os autores mencionam que enzimas detoxificadoras apresentam a capacidade de transformar herbicida em compostos menos tóxicos que a molécula original. Isso sugere que o mesmo pode ocorrer em relação as substâncias alelopáticas.

Os aleloquímicos presentes no solo após a decomposição foliar de *B. vulgaris* não apresentaram influência sobre o teor de clorofila a e b, clorofila total e carotenoides das plantas jovens de *E. pycnantha* em nenhum dos tratamentos avaliados.

No estudo conduzido por Witter et al. (2021), a falta resultados significativos sobre o teor de clorofila foi atribuída a capacidade resiliente da soja de manter a atividade dos pigmentos fotossintéticos, mesmo em condições de estresse. Já Santos et al. (2003), justificam a falta de resultados significativos baseando-se em dois fatores, como a tolerância da espécie estudada, ou a decomposição dos aleloquímicos presentes no solo, seguida de recuperação das plantas.

Durante a decomposição, os aleloquímicos são liberados através da ação dos microrganismos e pela ruptura das células dos tecidos vegetais, seguida da lixiviação dos compostos para o solo (Corsato et al., 2016). Vale destacar que a permanência de aleloquímicos no solo, depende da taxa de transferência, principalmente da adsorção e lixiviação, e da taxa de degradação dessas substâncias (Corsato et al., 2016). Condições como altas temperaturas e chuvas abundantes tendem a acelerar esses processos, resultando em um rápido desaparecimento dos fatores de estresse do solo e, simultaneamente, favorecendo o crescimento das plantas (Neves et al., 1999). Em nosso trabalho é provável que as chuvas tenham propiciado uma diminuição do tempo de permanência dos aleloquímicos no solo, diminuindo a fitotoxicidade das folhas decompostas de *B. vulgaris*.

3.4. Índice mitótico (IM)

Os resíduos das folhas de *B. vulgaris* após decomposição promoveram um efeito positivo no ciclo celular de *E. pycnantha*, resultando em um aumento do índice mitótico em todos os tratamentos avaliados, sendo mais significativo no tratamento 2 (Fig. 2).

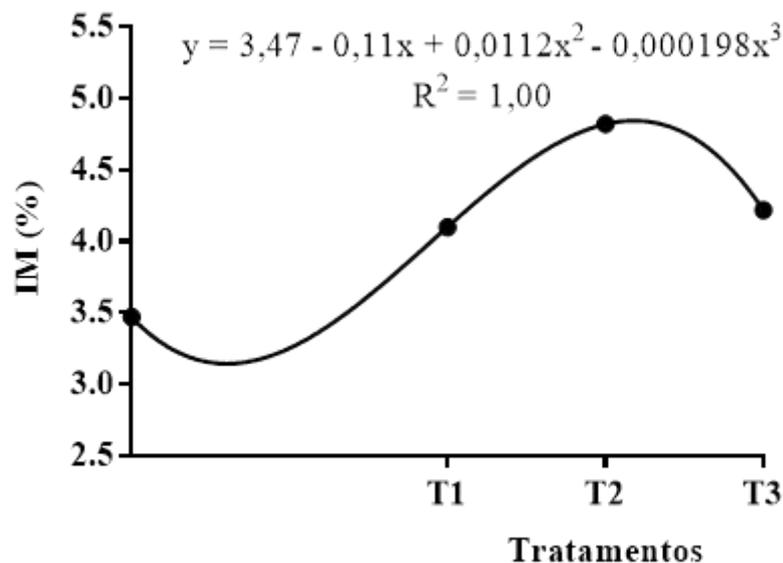


Fig. 2. Índice mitótico de células meristemáticas de *E. pycnantha* submetidas ao substrato contendo folhas decompostas de *Bambusa vulgaris* em diferentes concentrações (Controle: 0 g/kg, T1: 20 g/Kg, T2: 30 g/Kg, T3: 40 g/Kg).

Os triterpenos são substâncias descritas com efeitos sobre o ciclo celular (Duke et al., 2004). A identificação de substâncias alelopáticas potencialmente citotóxicas pode estar relacionada à inibição ou ao estímulo do crescimento (Alencar et al., 2016). Resultados semelhantes é descrito por Iganci et al. (2006) onde houve um aumento significativo no índice de divisão celular quando comparado ao controle. Alterações sobre esse parâmetro pode ser observado sobre o alongamento da raiz, onde efeitos negativos podem resultar em diminuição

e efeitos positivos em aumento no crescimento dessa estrutura. Triterpenos pertencente ao grupo dos lupanos foram associados a efeitos estimulantes sobre a germinação e crescimento (Macias et al., 1994). No entanto, neste estudo, quando avaliado o crescimento das raízes observou-se que também não apresentou resultados significativos.

As células meristemáticas do controle apresentaram uma menor frequência de divisões celulares (Tabela 4). No entanto a partir do T2 foi observado um aumento na fase da prófase e anáfase. Resultados semelhantes foram observados sobre a metáfase e telófase, sendo observado um aumento nas divisões celulares nestes estágios em todos os tratamentos avaliados, com um aumento mais expressivo no tratamento 2 (30g/kg). Índices mitóticos superiores ao controle, resultam de um aumento nas divisões celulares, o que pode levar a uma proliferação celular desordenada e possivelmente à formação de tecidos tumorais (Leme e Marin-Morales, 2009), podendo ser prejudicial para a planta.

Tabela 4

Frequência das diferentes fases da divisão celular (mitose) em células meristemáticas das radículas de plântulas de *Erythroxylum Pyan* submetidas a diferentes concentrações das folhas de *Bambusa vulgaris* após 120 dias de decomposição

Tratamentos	Interfase	Prófase	Metáfase	Anáfase	Telófase	IM%
CK	3.861	59	58	3	19	3,45
T1	3.836	51	60	3	50	4,10
T2	3807	70	75	6	42	4,82
T3	3831	68	56	10	35	4,22

Legenda: CK: Controle, T1: 20 g/Kg, T2: 30 g/Kg, T3: 40 g/Kg.

3.5. Aberrações cromossômicas (ACs)

A análise das alterações cromossômicas revelou que o solo contendo folhas de *B. vulgaris*, após a decomposição, exerceram efeito genotóxico, promovendo um aumento no número de aberrações cromossômicas (ACs) em comparação ao grupo controle (Tabela 5). O T2 apresentou o maior número de anomalias cromossômicas, coincidindo com avaliação do índice mitótico, onde esse tratamento apresentou o maior índice. Esse resultado sugere que o aumento das divisões celulares resultou em um aumento significativo de ACs.

Tabela 5

Análise quantitativa e qualitativa dos tipos de aberrações cromossômicas encontradas em células meristemáticas de *Erythroxylum Pyan* submetidas a diferentes concentrações das folhas de *Bambusa vulgaris* após 120 dias de decomposição.

Tipos de Aberrações e Fases da Mitose	Controle	Tratamentos		
		T1	T2	T3
Ponte Cromossômica				
Telófase	2	4	8	3
Adesão Cromossômica				
Metáfase	121	258	532	277
Telófase	9	16	79	44
Perda Cromossômica				
Metáfase	97	178	264	94
C-Metáfase				
Metáfase	182	227	363	175

Legenda: T1: 20 g/Kg, T2: 30 g/Kg, T3: 40 g/Kg.

Identificou-se a presença de C-metáfases, perdas cromossômicas na metáfase, adesão cromossômica na metáfase adesão cromossômica na telófase e pontes cromossômicas na telófase em células meristemáticas de *E. pyan* (Fig. 3).

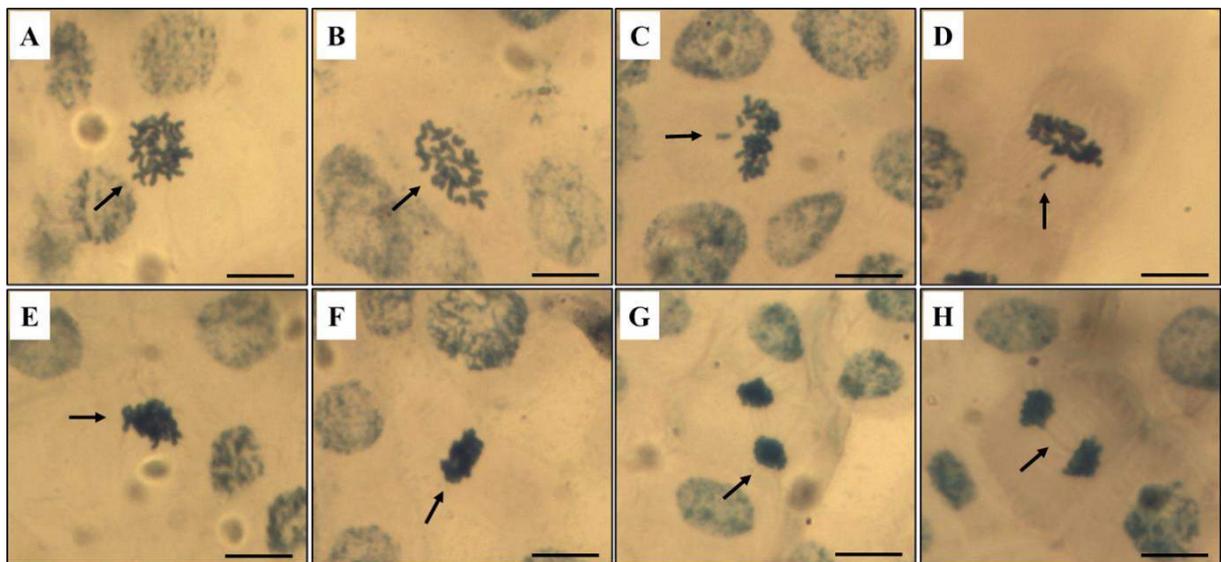


Fig. 3. Anomalias cromossômicas (ACs) observadas em células meristemáticas de *Erythroxylum pyan* submetidas a diferentes concentrações das folhas de *Bambusa vulgaris* após 120 dias de decomposição. **A-B)** C-metáfases; **C-D)** Perda cromossômica na metáfase; **E-F)** Adesão cromossômica na metáfase; **G)** Adesão cromossômica na telófase; **H)** Ponte cromossômica na telófase. Barra – 20 μ m.

Alterações nas estruturas dos cromossomos podem ocorrer espontaneamente ou serem induzidas pela exposição a substâncias químicas, geralmente resultantes por quebras de DNA, inibição da síntese de DNA e replicação de DNA danificado (Leme; Marin-morales, 2009;

Ribeiro et al., 2018). Nesse sentido, Cosme et al. (2021) avaliando células meristemáticas de *Allium cepa* L. quando exposta a os extratos etanólicos das cascas e frutos de *Sterculia striata* A. St. Hil. & Naudin observaram um aumento no número de alterações cromossômicas. Além disso, a análise da composição química da espécie revelou a presença de taninos, flavononas, flavonóis, esteróides, saponinas e triterpenos, sendo apenas os triterpenos presentes em nosso estudo.

Os resultados observados neste estudo indicam um efeito estimulante da decomposição foliar de *B. vulgaris* sobre as células meristemáticas de *E. pycnanthum* em todos os tratamentos avaliados. Além disso, observou-se um efeito genotóxico, onde o aumento anomalias correlacionou-se com o aumento das divisões celulares. Desse modo, é provável que esses efeitos estejam relacionados a compostos presentes solo após o processo de decomposição, como o triterpeno lupan-3-ol, acetato.

Conclusão

A decomposição das folhas de *Bambusa vulgaris* não influenciou significativamente a germinação e o crescimento de *Erythroxylum pycnanthum* em nenhum dos tratamentos avaliados. No entanto, os resíduos foliares afetaram as células meristemáticas de *E. pycnanthum*, resultando em um aumento do índice mitótico e aberrações cromossômicas. Esses efeitos podem estar relacionados à presença de triterpenos no solo após o processo de decomposição. A falta de resultados significativos na germinação e no crescimento pode ser atribuída ao tempo de permanência dos aleloquímicos no solo, bem como à possível tolerância ou menor sensibilidade da espécie receptora a esses compostos. Portanto, os resultados obtidos não descartam o potencial alelopático de *B. vulgaris*, sendo necessários mais estudos com outras espécies para uma compreensão mais aprofundada desses efeitos.

Declaração de conflito de interesse

Os autores declaram não possuir conflito de interesses financeiros ou relacionamentos pessoais que possam influenciar na publicação deste artigo.

Agradecimentos

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de pós-graduação ao primeiro autor, número do processo: 88887.761775/2022-00. A Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico (FUNCAP) pelo apoio através da Bolsa de Produtividade em Pesquisa, Estímulo à

Interiorização e à Inovação Tecnológica (BPI), concedida a última autora, número do processo: BP5-0197-00068.01.00/22. E a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP).

Referências

- Alencar, R.S., Silva, M.A.P., Macêdo, M.S., Ribeiro, D.A., Santos, M.A.F. Costa, N.C., 2016. Efeito fitotóxico de *Mangifera indica* L. (Anacardiaceae) em diferentes horários de coleta. *Iheringia* 71(2), 175-183.
- Alencar, S. R., Silva, M. A. P., Figueiredo, M. F., Santos, M. A. F., Generino, M. E. M., Torquato, I. H. S; Crispim, M. K. M., (2015). Biological Activity of *Bambusa vulgaris* Schrad. ex JC Wendl. (Poaceae). *Journal of Agricultural Science* 7(6), 150-159.
- Amaral, A.S., Spader, V., Anghinoni, I., Meurer, E. J., 2000. resíduos vegetais na superfície do solo afetam a acidez do solo e a eficiência do herbicida flumetsulam. *Ciência Rural* 30(5), 789-794.
- Ansolin, M., Deboni, T.M., Richter, W., Ming, C.C., Gonçalves, L.A.G., 2015. *Journal of Health Sciences* 17(4), 254-261.
- Arnon, D.I., 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant physiology* 24(1), 1-15.
- Álvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M., Sparovek, G., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22(6), 711-728.
- Bastos, F.H., Cordeiro, A.B.N., Macedo, E.F., Azevedo, R.E.S., 2016. A gestão ambiental nas paisagens da bacia do Araripe no Estado do Ceará. *Revista Franco-brasileira de Geografia* 29, 1-16.
- Brasil., 2009. Regras para análise de sementes: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Mapa/ACS. 1nd edition, 399 p.
- Chinchio, E., Crotta, M., Romeo, C., Drewe, J.A., Guitian, J., Ferrari, N., Invasive alien species and disease risk: An open challenge in public and animal health. *PLoS Pathog* 16(10), e1008922.
- Chou, C.H., 2006. Introduction to allelopathy. In: Reigosa, M.J., Pedrol, N., González, L. *Allelopathy: A Physiological Process with Ecological Implications*.
- Chudzik, M., Korzonek-Szlacheta, I., Król, W., 2015. Triterpenes as Potentially Cytotoxic Compounds. *Molecules* 20, 1610-1625.
- Corsato, J.M., Fortes, A.M., Porto, E.C., Ribeiro, M.I., Frehwirth, M., 2016. Estresse oxidativo mediado por aleloquímicos e suas implicações na germinação e crescimento inicial de plantas. *Journal of Agronomic Sciences* 5(5), 136-150.
- Cosme, M. V., Oliveira, E. C. A., Melo, S. D., Benko-Iseppon, A. M., Nery, J. S. S., Oliveira, A. P., 2021. Cytotoxic and genotoxic effects of the ethanolic extract from the rind of the fruit of *Sterculia striata* St. Hil. & Naudin. *Brazilian Journal of Health Review*, 4(6), 26199-26211.
- Costa-Lima, J.L., Chagas, E.C.O., 2018. *Erythroxylum pyan* (Erythroxylaceae), a new species from the Brazilian semiarid region. *Phytotaxa* 383(2), 225-232
- Donagema, G.K., Campos, D.B., Calderano, S.B., Teixeira, W.G., Viana, J.M., 2011. Manual de métodos de análise de solo. Embrapa Solos-Documentos (INFOTECA-E).
- Duke, S.O., Oliva, A., 2004. Modo de ação de terpenóides fitotóxicos, 2004. Mode of action of phytotoxic terpenoids. In: Macia, F.A., Galindo, J.C.G., Molinillo, J.M.G., Cutler, H.G. *Allelopathy – Chemistry and Mode of Action and Allelochemicals*, 201-216.
- Farooq, M., Basra, S.M.A., Ahmad, N., Hafeez, K., 2005. Thermal hardening: a new seed vigor enhancement tool in rice. *Journal of Integrative Plant Biology* 47(2), 187-193.
- Fernandes, C., Muraoka, T., Absorção de fósforo por híbridos de milho cultivados em solo de Cerrado., 2002. *Scientia Agrícola* 59 (4), 781-787.

- GISD. Global Invasive Species Database, 2024. Species profile *Bambusa vulgaris*. Available from: <https://www.iucngisd.org/gisd/species.php?sc=1399> [Accessed 12 July 2024].
- Guerra, M.J., Souza M., 2002. Como Observar os Cromossomos: Um Guia de Técnicas em Citogenética Vegetal, Animal e Humana. Ribeirão Preto: FUNPEC, 130p.
- Guerra, S.P.S., Almeida Silva, M., Arruda Garcia, L., Melo, R.X., Ticelli, M., Mendes, C.R.L.G., Brito, C.M., 2017. Estudo de caso de plantio adensado de *Bambusa vulgaris*. In: Wiedman, G; Drumond, P.M. Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia.
- Hagemann, T.R., Benin, G., Lemes, C., Marchese, J.A., Martin., T.N., Pagliosa, E.S., Beche, E., 2010. Potencial alelopático de extratos aquosos foliares de aveia sobre azevém e amendoim-bravo. *Bragantia* 69 (3), 509-518.
- Hierro, J.L., Callaway, R.M., 2003. Allelopathy and exotic plant invasion. *Plant and Soil* 256, 29-39.
- Huang, W., Hu, T., Chen, H., Wang, Q., Hu, H., Tu, L., Jing, L., 2013. Impact of decomposing *Cinnamomum septentrionale* leaf litter on the growth of *Eucalyptus grandis* saplings. *Plant physiology and biochemistry*, 70, 411-417.
- Iganci, J.R.V., Bobrowski, V.L., Heiden, G., Stein, V.C., Rocha, B.H.G., 2006. Arquivos do Instituto Biológico 73(1), 79-82.
- IPECE., 2017. Instituto de Pesquisas e Estratégias Econômicas do Ceará. In: Perfil Básico Municipal - Crato.
- Ishii-Iwamoto, E.L., Abraham, D., Sert, M.A., Bonato, C.M., Kelmer-Bracht, A.M., Bracht, A., 2006. Mitochondria as a site of allelochemical action. In: Reigosa, M.J., Pedrol, N., González, L. Allelopathy: A Physiological Process with Ecological Implications.
- Labouriau, L.G., Valadares, M.B., 1976. On the germination of seeds of *Calotropis procera*. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 48, 263-284.
- Leme, D.M., Marin-Morales, M.A., 2009. *Allium cepa* test in environmental monitoring: A review on its application. *Mutation Research* 682, 71–81.
- Lichtenthaler, H.K., Wellburn, A.R., 1983. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochem Society Transactions* 11(5), 591-592.
- Macias, F.A., Simonet, A.M., Esteban, d., 1994. Potential allelopathic lupane triterpenes from bioactive fractions of *Melilotus messanensis*. *Phytochemistry*, 36(6), 1369-1379.
- Maguire, J.D., 1962. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science, Madison* 2(2), 176-77.
- Mahalel, U.A., 2015. Allelopathic effect of saponins isolated from *Trigonella hamosa* L. and *Solanum lycopersicum* L. on germination and growth of *Allium cepa* L. *Catrina*, 12(1), 95-99.
- Markus, C., Barroso, A.A.M., Dalazen, G, Roncatto, E., Júnior, A.M., 2021. Resistência de plantas daninhas aos herbicidas. In: Barroso, A.A.M, Murata, A.T. Matologia: Estudos sobre plantas daninhas. Jaboticabal: Fábrica da Palavra, 324–364.
- Moura, D.R., Araujo, E.C.G., Borges, C.H.A., Araújo, L.H.B., Lima, T.V., Silva, T.C., Nóbrega, C.C., 2018. Allelopathic effects of aqueous extracts from *Bambusa vulgaris* Schrad. Ex J. C. Wendl. on seed germination and vigor from *Lactuca sativa*. *African Journal of Agricultural Research* 13(38), 1954-1958.
- Neves, R., Fleck, N.G., Vidal, R.A., 1999. Intervalo de tempo para semeadura de milho pós-dessecação da cobertura de aveia preta com herbicidas. *Ciência Rural* 29 (4), 603-608.
- Ogunmoyole, T., 2022. *Bambusa vulgaris* leaf extracts contain myriad of bioactive phytochemicals: a possible attestation of its medicinal relevance. *The Journal of Phytopharmacology* 11(5), 315-323.
- Ojo, A.R., Sadiku, N.A., 2023. Slenderness coefficient and growth characteristics of Africa giant bamboo: *Bambusa vulgaris* Schrad. ex J.C. Wendl. *Advances in Bamboo Science* 2, 100017.

- Oliveira, A.M., Barreto-Garcia, P.A.B., Novaes, A.B., Carvalho, F.F., Meireles, I.E.S., 2020. Decomposição da serapilheira foliar em plantios de bambu, nim indiano e eucalipto. *Ciência Florestal* 30(3), 845-855.
- Oliveira, I.P., Costa, K.A.P., Santos, K.J.G., Moreira, F.P., 2005. Considerações sobre a acidez do solo. *Revista Eletrônica Faculdade Monte Carlos* 1(1), 1-12.
- Oliveira, P.S.M., Ferreira, V.F., Souza, M.V.N., 2009. Utilização do D-manitol em síntese orgânica. *Química Nova* 32(2), 441-452.
- Pires, N.M., Souza, I.R.P., Prates, H.T., Faria, T.C.L., Pereira Filho, I.A., Magalhães, P.C., 2001. Efeito do extrato aquoso de leucena sobre o desenvolvimento, índice mitótico e atividade da peroxidase em plântulas de milho. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal* 13(1), 55-65.
- Porra, R.J., Thompson, W.A., Kriedemann, P.E., 1989. Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Bioenergetics* 975(3), 384-394.
- Ranal, M.A., Santana, D.G.D., 2006. How and why to measure the germination process?. *Brazilian Journal of Botany* 29(1), 1-11.
- Ribeiro, L.R., Belo, G.A., Monteiro, A.B., 2018. Avaliação da atividade citogenotóxica e antimutagênica do extrato aquoso de *bidens pilosa*. *Conexão Ciência* 13(4), 15-22.
- Ribeiro-Silva, S., Scariot, A., Medeiros, M.B., 2012. Uso e Práticas de Manejo de Faveira (*Dimorphandra gardneriana* Tul.) na Região da Chapada do Araripe, Ceará: Implicações Ecológicas e Sócio-Econômicas. *Biodiversidade Brasileira* 2 (2), 65-73.
- Ronquim, C.C., 2010. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (Embrapa)* 8, 1–26.
- Sala-Carvalho, W., Montessi-Amaral, F.P., Esposito, M.P., Campestrini, R., Rossi, M., Peralta, D.F., Furlan, C.M., 2022. Metabolome of *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid., a cosmopolitan moss: the influence of seasonality. *Planta* 255, 77.
- Sanquetta C.R., Miranda, D.L.C., Corte APD., Mognon, F., Sanquetta, M.N.I., 2013. Potencial alelopático de *Merostachys skvortzovii* Sendulsky sobre a germinação de *Mimosa scabrella* Benth. *Enciclopédia Biosfera* 9(17), 2039-2048.
- Sanquetta, C.R., Ruza, M.S., Corte, A.P.D., Mognon, F., Behling, A., 2017. Estimativa de volume aparente do colmo de três espécies de bambus exóticos. In: Wiedman, G., Drumond, P.M., (Orgs.). *Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia*. 1.ed. Rio de Janeiro: ICH, 2017. 60-70.
- Santos, C.C., Souza, I.F., Alves, L.W.R., 2003. Efeitos de restos culturais de milho sobre crescimento de plantas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). *Ciência e Agrotecnologia* 27, 991-1001.
- Schulz, D.G., Fortes, A.M.T., Boiago, N.P., Machado, A., 2010. Alelopatia de bambu (*Dendrocalamus giganteus* Muro). *Revista Cultivando o Saber* 3(3), 31-39.
- Shen, S., Ma, G., Xu, G., Li, D., Jin, G., Yang, S., Clements, D.R. Chen, A., Zhang, F., Ye, M., 2022. Allelochemicals Identified From Sweet Potato (*Ipomoea batatas*) and Their Allelopathic Effects on Invasive Alien Plants. *Frontiers in Plant Science* 13.
- Silva, B.V., Almeida-Bezerra, J.W., Brito, E. S., Ribeiro, P.R.V., Cordeiro, L.S., Calixto Júnior, J.T., Costa, J.G.M., Silva, M.A.P., 2021. Effect of decomposition of leaf *Azadirachta indica* A. Juss. on germination and growth of *Myracrodruon urundeuva* Allemão. *South African Journal of Botany* 142, 42–52.
- Souza-Filho, A.P.S., Alves, S.M., 2002. Mecanismo de liberação e comportamento de aleloquímicos no ambiente. In: Souza-Filho, A.P.S., Alves, S.M. *Alelopatia: princípios básicos e aspectos gerais*. Belém, 111-129.

- Unger, I.M., Kremer, R.J., Veum, K.S., Goyne, K.W., 2021. Immediate and long-term effects of invasive plant species on soil characteristics. *Soil Ecology Letters* 4, 276–288.
- Valiatti, T.B., Calazans, R.D.S.P., Barcelos, I.B., Passoni, G.P., Baratela, G.N.O., Degen, A.N., Salvi, J.O., Sobral, F.O.S., Romão, N.F., 2024. Identification of *Bambusa vulgaris* (bamboo) extract secondary compounds and its biological effects. *South American Journal of Basic Education, Technical and Technological* 7(1), 222-239.
- Wahidah, F.F., Hamidah., Rosmanida., 2020. Essential Oil Characterization of Plant as Breeding Site of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*. *Annals of Biology* 36 (2), 245-247.
- Wang, C.M., Chen, H.T., Li, T.C., Weng, J.H., Jhan, Y.L., Lin, S.X., Chou, C.H., 2014. The Role of Pentacyclic Triterpenoids in the Allelopathic Effects of *Alstonia scholaris*. *Journal of chemical ecology* 40, 90-98.
- Witter, A.P.K., Nohatto, M.A., Rosa, E.F.F., Kaseker, J.F., Bereta, S.F., 2021. Uso de inoculantes para redução do efeito alelopático da canola sobre a cultura da soja. *Cascavel* 10(1), 113-121.
- Yamuna, P., Abirami, P., Vijayashalini, P., Sharmila, M., 2017. GC-MS analysis of bioactive compounds in the entire plant parts of ethanolic extract of *Gomphrena decumbens* Jacq. *Journal of Medicinal Plants Studies* 5(3), 31-37.
- YueJun, H., YongDe, Y., Feng, T., XueFeng, G., Jin, W., 2010. Chemical Compositions and Antioxidant Capacity of Essential Oils from Different Species of the Bamboo Leaves. *Scientia Silvae Sinicae*, 46(7), 120–128.
- Ziller, S.R., 2001. Plantas Exóticas Invasoras: a Ameaça da Contaminação Biológica. *Revista Ciência Hoje* 30(178), 77-79.
- Ziller, S.R., 2006. Espécies exóticas da flora invasoras em Unidades de Conservação. In: Campos, J.B., Tossulino, M.G.P., Müller, C.R.C. Unidades de Conservação: ações para valorização da biodiversidade. 34-52.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos indicam que os resíduos das folhas de *B. vulgaris* alterou a disponibilidade de nutrientes no solo. No entanto essas alterações não foram o suficiente para promover uma maior fertilidade do mesmo, observando valores de capacidade de saturação por base (V%) inferior a 50%, o que é indicativo de um solo com baixa fertilidade.

A presença do palmitato de etila e ácido gálico foram associados a efeitos citotóxicos, genotóxicos e alelopáticos sobre a germinação de *C. langsdorffii*. Já o lupan-3-ol, acetato foi associado ao efeito positivo do índice mitótico e consequente a proliferação de aberrações cromossômicas em células meristemáticas de *E. pyam*.

Os resultados deste estudo sugerem que a decomposição das folhas de *B. vulgaris* pode afetar diferentemente espécies nativas, como *C. langsdorffii* e *E. pyan*, dependendo das características químicas liberadas no solo durante o processo de decomposição. Os dados encontrados nessa pesquisa podem ajudar a compreender como a presença de espécies exóticas invasoras podem impactar espécies nativas ocorrentes em áreas de Cerrado. Além disso esses resultados podem contribuir para o desenvolvimento de projetos e políticas públicas para conservação dessas áreas.