

USO DE *ILEX PARAGUARIENSIS* A.ST.-HIL. (ERVA-MATE) EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS: AVALIAÇÃO DO POTENCIAL E DOS EFEITOS ALELOPÁTICOS SOB PARÂMETROS FISIOLÓGICOS DE ESPÉCIE BIOINDICADORA E ESPÉCIE CULTIVADA

Isadora Letícia Mendonça^{1*}, Ana Luísa Moro Taveira¹, Guilherme Luiz Celant Giombelli¹, Bárbara Júlia dos Santos Jeanfelice¹, Jaqueline Malagutti Corsato¹, Andréa Maria Teixeira Fortes¹

¹Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE. Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Campus de Cascavel, Rua Universitária, 1619, CEP: 85819-110, Bairro Universitário, Cascavel, PR. E-mail: isadoralmendonca@gmail.com, analuisa.m.t@hotmail.com, guilhermelcgiombelli@gmail.com, babijeanfelice0@hotmail.com, corsato.jm@gmail.com, andrea.fortes@unioeste.br

*autor correspondente: isadoralmendonca@gmail.com

RESUMO: A prática do Sistema Agroflorestal (SAF) é reconhecida por mitigar danos ambientais ao preservar a vegetação nativa e restaurar interações ecológicas. Um aspecto importante a ser considerado são os efeitos alelopáticos negativos que podem surgir a partir das interações entre as espécies associadas e interferir no desenvolvimento da cultura. Portanto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o potencial alelopático de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A.St.-Hil.) sobre sementes da bioindicadora cenoura (*Daucus carota* L. subespécie *sativus*) e analisar seus efeitos alelopáticos no desenvolvimento inicial do milho (*Zea mays* L.), verificando a possibilidade de associação dentro de um SAF. O trabalho foi realizado no Laboratório de Fisiologia Vegetal da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE – campus de Cascavel. Foram preparados e utilizados extratos aquosos das folhas secas de erva-mate nas proporções de 0; 2,5; 5,0; 7,5 e 10% para os experimentos de avaliação do potencial alelopático e comprimento médio da cenoura, e para os testes de desenvolvimento inicial do milho. Após análises estatísticas (Tukey a 5% de probabilidade), os dados revelaram que os extratos apresentaram efeitos inibitórios sobre a germinação e comprimento da cenoura e no desenvolvimento do milho, indicando não ser viável o consórcio entre as duas espécies em SAF.

PALAVRAS-CHAVE: alelopatia, milho, cenoura.

EVALUATION OF THE POTENTIAL AND ALLELOPATHIC EFFECTS OF *ILEX PARAGUARIENSIS* A. ST. HIL. (YERBA MATE) ON PHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF A BIOINDICATOR AND CULTIVATED SPECIES

ABSTRACT: The practice of the Agroforestry System (AFS) is recognized for mitigating environmental damage by preserving native vegetation and restoring ecological interactions. An important aspect to consider is the negative allelopathic effects that may arise from interactions between associated species and interfere with crop development. Therefore, this study aims to evaluate the allelopathic potential of yerba mate (*Ilex paraguariensis* A.St.-Hil.) on carrot (*Daucus carota* L. subspecies *sativus*) seeds as a bioindicator and analyze its allelopathic effects on the initial development of corn (*Zea mays* L.), assessing the feasibility of their association within an AFS. The work was conducted at the Plant Physiology Laboratory

of the State University of Western Paraná – UNIOESTE – Cascavel campus. Aqueous extracts of dried yerba mate leaves were prepared and used in concentrations of 0%, 2.5%, 5.0%, 7.5%, and 10% for experiments evaluating allelopathic potential and average length of carrots, and for initial development tests of corn. After statistical analysis (Tukey at 5% probability), the data revealed that the extracts exhibited inhibitory effects on the germination and length of carrots and on the development of corn, indicating that the association between these two species in an AFS is not feasible.

KEY WORDS: allelopathy, corn, carrot.

INTRODUÇÃO

O desafio de preservar e restaurar áreas naturais é urgente, especialmente diante da crescente demanda por produção de alimentos (FAO, 2015). Uma das alternativas para o uso sustentável de áreas naturais é combinar culturas de interesse comercial com espécies vegetais nativas, o que é conhecido como Sistema Agroflorestal (SAF). As espécies selecionadas para compor o sistema apresentam características como diferentes ciclos de vida, tamanhos e funções, resultando em aumento da biodiversidade, além de gerar renda para os produtores (Barbosa et al., 2017).

A prática da Agrofloresta tem sido reconhecida por sua capacidade de mitigar os danos ambientais causados pela degradação do solo decorrente da monocultura. Isso ocorre devido à preservação da vegetação nativa e à restauração das interações ecológicas, tendo potencial de reduzir o uso de herbicidas e inseticidas, principalmente devido ao efeito alelopático de espécies florestais, que atuam como repelentes naturais de espécies indesejadas e insetos (Santos *et al.*, 2012). Além disso, essa prática pode aumentar a concentração de nutrientes no solo, promovendo a ciclagem de nutrientes por meio da formação e decomposição da serrapilheira, além de minimizar o uso de insumos externos e melhorar a produtividade agrícola (Arato et al., 2003; Vieira et al., 2015).

A inclusão da erva-mate (*Ilex paraguariensis* A.St.-Hil.) em sistemas agroflorestais na Mata Atlântica é uma estratégia promissora, dada sua importância econômica e ecológica. A erva-mate possui grande relevância econômica e social para uma ampla região do sul do Brasil e é o principal produto extrativista não madeireiro em termos de quantidade produzida, com mais de 500 mil toneladas produzidas em 2021, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Coelho, 2017; IBGE, 2021).

Ilex paraguariensis, pertence à família Aquifoliaceae, é nativa da Mata Atlântica, com

distribuição em diversos estados brasileiros (PR, SC e RS, MS, SP, MG) e países vizinhos. Esta espécie perenifólia, com altura variável e folhas coriáceas, em tom verde-escuro, desempenha um papel importante nos Sistemas Agroflorestais (SAFs), especialmente devido à sua presença em ambiente de sub-bosque. A prática de colheita da erva-mate, que envolve a poda de ramos e folhas, permite sua integração ao sistema de aleia, parte essencial dos SAFs. Esse sistema consiste na disposição ordenada de árvores perenes, permitindo o plantio de culturas agrícolas entre elas. A poda periódica das árvores contribui para a produção de biomassa, que pode ser utilizada como adubo verde, enriquecendo o solo e promovendo a cobertura vegetal nas áreas de cultivo (Medrado et al., 2000; Götsch, 2002; Vasconcelos et al., 2012).

De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 2015), a agricultura familiar no Brasil contribui significativamente para a produção de alimentos, totalizando aproximadamente cerca de 80% do total consumido no país. Dentre as espécies cultivadas em estabelecimentos de agricultura familiar, o milho (*Zea mays* L.) é uma cultura com grande versatilidade de uso dentro da propriedade familiar e na sua comercialização, sendo uma das principais culturas agrícolas nacionais (Duarte *et al.*, 2021).

A inclusão do milho em Sistemas Agroflorestais configura-se como uma prática vantajosa, uma vez que é uma cultura amplamente cultivada. Bertalot (2010) realizou uma pesquisa comparativa da viabilidade de associação do milho em agrofloresta e observou que o manejo das aleias de leucena (*Leucaena diversifolia* Benth. - Fabaceae) com o cultivo do milho nas entrelinhas não comprometeu o desenvolvimento produtivo do milho, mostrando ser uma alternativa viável de sistema de produção.

As plantas produzem compostos orgânicos divididos em metabólitos primários, que compõem estruturas fundamentais e participam no armazenamento e produção de energia, e metabólitos secundários, que desempenham papéis importantes no crescimento e desenvolvimento do vegetal, protegendo contra herbívoros e patógenos e atuando na alocação e transporte de nutrientes (Vizzotto et al., 2010). A alelopatia, definida como o processo envolvendo metabólitos secundários liberados por plantas, algas, bactérias, fungos e vírus no ambiente, pode influenciar de maneira benéfica ou prejudicial o crescimento e desenvolvimento de sistemas agrícolas e biológicos (Gniazdowska e Bogatek, 2005), afetando o crescimento e desenvolvimento de espécies cultivadas tanto em comunidades naturais quanto em sistemas

agrícolas (Silva e Aquila, 2006).

A disponibilidade de metabólitos secundários na solução do solo é crucial para a sua interferência no crescimento e desenvolvimento de espécies próximas, uma vez que permite sua absorção por plantas receptoras (Teasdale et al., 2016). Esses compostos podem atuar de diferentes formas sobre a planta-alvo por meio de ações indiretas e diretas. As ações indiretas relacionam-se com alterações na composição química e nutricional do solo e na presença e atividade de organismos associados à matriz. Além disso, esses compostos também podem agir diretamente sobre a planta, resultando em mudanças metabólicas e celulares, impactando o funcionamento de membranas e, consequentemente, afetando a absorção de água e nutrientes bem como a atividade fotossintética dos vegetais (Rizvi, 1992; Reigosa, 2009).

Para a realização dos experimentos em alelopatia, comumente seleciona-se uma espécie bioindicadora para verificar o potencial alelopático da espécie de interesse. As espécies bioindicadoras são organismos fenotipicamente mais sensíveis, que permitem a visualização dos efeitos causados pelos compostos alelopáticos sob baixas concentrações dessas substâncias, além de possuírem alto grau de sensibilidade e apresentam a germinação rápida e uniforme (Gabor e Veatch, 1981). Para tal, selecionou-se a cenoura (*Daucus carota* L. subespécie *sativus*) para o desenvolvimento da presente pesquisa.

O objetivo da presente pesquisa foi avaliar o potencial alelopático do extrato aquoso da espécie nativa *Ilex paraguariensis* (erva-mate) sobre a germinação e comprimento da espécie bioindicadora *Daucus carota* L. subespécie *sativus* (cenoura) e da espécie cultivada *Zea mays* (milho), além do efeito no crescimento e o desenvolvimento inicial do milho, para verificar a possibilidade de associar essas espécies em um Sistema Agroflorestal.

MATERIAL E MÉTODOS

Coleta do material e preparação do extrato aquoso

Foram coletadas folhas de indivíduos *Ilex paraguariensis* no município de Cascavel-PR, na ervateira Laranjeiras. Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Fisiologia Vegetal, na Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE no campus de Cascavel, em 03/01/2023.

As folhas coletadas foram levadas ao laboratório no mesmo dia e acondicionadas em estufa de circulação à 40°C, para secagem até que a massa fosse constante. Posteriormente as folhas foram trituradas em moinho de faca tipo Willey™, para obtenção de um pó, que foi

armazenado em um recipiente de vidro, envolto por papel alumínio e papel kraft, em local desprovido de luz e em temperatura ambiente, para evitar a foto-oxidação dos compostos, como na metodologia proposta por Carvalho et al., (2012).

Para avaliar o efeito alelopático em laboratório, foram preparados os extratos aquosos, utilizando 25, 50, 75 e 100 gramas de pó das folhas de erva-mate para 1 litro de água destilada. Após 4 horas de repouso em local desprovido de iluminação e em temperatura ambiente (Carvalho et al., 2012), o extrato foi filtrado duas vezes em um filtro de pano obtendo as concentrações de 2,5 %, 5,0%, 7,5% e 10,0%, sendo a testemunha somente água destilada.

Potencial alelopático e bioensaios de germinação

As sementes do milho e de cenoura foram adquiridas em agropecuárias locais em Cascavel-PR. Para a avaliação do potencial alelopático, foram realizados bioensaios de germinação, acondicionando 25 sementes de cenoura em placas de Petri, forradas com 3 camadas papel filtro, totalizando 5 tratamentos (0%, 2,5%, 5,0%, 7,5% e 10,0% p/v) com 4 repetições cada. Em cada placa de Petri foi aplicado 5 mL de água destilada (testemunha), ou 5 mL do extrato de folhas secas de erva-mate nos tratamentos contendo a cenoura. As avaliações foram realizadas diariamente, assim como a contagem das plântulas germinadas, durante 7 dias.

Para a germinação do milho, as sementes foram colocadas para germinar entre três camadas de papel Germitest 50 sementes em 5 tratamentos, contendo 4 repetições cada. As sementes acondicionadas foram umedecidas com as diferentes proporções do extrato aquoso de erva-mate, com um volume sendo 2,5 vezes a massa do papel seco, conforme Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

Os tratamentos contendo as sementes umedecidas de milho e de cenoura foram acondicionados em câmara de germinação tipo B.O.D, com fotoperíodo de 12 horas luz/12h escuro, à $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Os experimentos foram mantidos em um período de sete dias, sendo avaliado durante esse período o número de sementes germinadas a cada dia. As sementes consideradas germinadas foram as que apresentaram comprimento de raiz primária igual ou superior a 2mm (Hadas, 1976).

No final do período de avaliação do experimento da cenoura separou-se 5 plântulas nos 5 tratamentos e 4 repetições para a medição do comprimento médio da raiz e comprimento médio da parte aérea com o auxílio de uma régua milimetrada e os resultados foram expressos em cm.

Posteriormente, foram calculadas as seguintes variáveis: porcentagem de germinação

(PG%), tempo médio de germinação (TGM), segundo Edmond e Drapala, (1958), índice de velocidade de germinação (IVG), segundo Silva e Nakagawa (1995) e frequência de germinação.

Pré-germinação do milho

Foi realizada a pré-germinação de sementes de milho, totalizando 6 repetições de 50 sementes cada. As sementes foram acomodadas entre camadas de papel toalha umedecidos na proporção 2,5 vezes a massa seca do papel (BRASIL, 2009) com água destilada. As sementes permaneceram em câmara de germinação do tipo B.O.D., com temperatura de $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e fotoperíodo de 12h luz/12h escuro, até que elas obtivessem raízes primárias entre 2 e 5 cm, que ocorreu em aproximadamente 4 dias.

Desenvolvimento Inicial

O experimento utilizou 10 sementes de milho pré-germinadas que apresentaram entre 2 e 5 cm de raiz primária por repetição, sendo 40 sementes para 5 tratamentos, totalizando 200 plântulas. As sementes foram acomodadas entre 3 camadas de papel Germitest, embebidos com as diferentes concentrações de 0, 2,5%, 5%, 7,5% e 10% do extrato aquoso de *I. paraguariensis* na proporção de 2,5 vezes a massa do papel seco (BRASIL, 2009).

Em recipientes de 1000mL foi adicionado as mesmas quantidades de extrato utilizadas para umedecer o papel, onde os tratamentos foram acondicionados na vertical, com as raízes para baixo. O extrato aquoso foi trocado a cada 3 dias, para evitar oxidação e proliferação de microrganismos.

Os tratamentos permaneceram em câmara de germinação do tipo B.O.D., com temperatura de $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e fotoperíodo de 12h luz/ 12h escuro. O experimento de crescimento e desenvolvimento inicial se desenvolveu até o momento em que as plântulas apresentaram o primeiro par de folhas expandido, no 7º dia após a instalação do teste.

Posteriormente, foram realizadas as medições de comprimento médio de raiz (CMR) e comprimento médio de parte aérea (CMPA), utilizando régua milimétrica e os resultados foram expressos em cm.

Massa seca do milho

Foram separadas 5 plântulas de milho por repetição para os 5 tratamentos propostos, provenientes do experimento de desenvolvimento inicial, para a quantificação da massa seca de raiz (MSR) e massa seca de parte aérea (MSPA). Após a separação da raiz e da parte aérea,

na região do colo, com o auxílio de uma lâmina para bisturi, as plântulas foram acomodadas em sacos de papel e secas em estufa de circulação de ar forçada, durante 48h, com temperatura de $\pm 40^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Após esse período, os tratamentos foram acondicionadas em dessecador de vidro contendo sílica gel até que resfriassem, para posteriormente serem pesadas em balança de precisão com quatro casas decimais, obtendo o resultado em miligrama/s (mg).

Análise dos dados

Em todos os experimentos o delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC). Os resultados obtidos foram submetidos a análise de variância (ANOVA), sendo as médias comparadas ao teste de Tukey a 5% de probabilidade, com auxílio do programa RStudio.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados demonstraram que o extrato aquoso bruto das folhas de erva-mate apresentou potencial efeito alelopático, reduzindo a porcentagem de germinação (PG%) das sementes de cenoura, nas concentrações de 7,5 e 10%. Podemos observar que o extrato na concentração de 7,5% (p/v) reduziu aproximadamente 48% dessa variável, quando comparado com a testemunha (Tabela 1). Já a aplicação do extrato a 10% p/v, reduziu a germinação para 10%. Em relação ao tempo médio de geminação (TMG) os tratamentos nas diferentes concentrações (p/v) diferiram estatisticamente da testemunha, sendo que a concentração de 2,5% do extrato de erva-mate foi capaz de aumentar o TMG em 28%, a maior concentração de 10% aumentou em 114% o TMG. Ao analisar o índice de velocidade de germinação (IVG), observou-se que o aumento da concentração do extrato reduziu a velocidade da germinação das sementes. Houve redução do IVG conforme aumento da concentração dos extratos de erva-mate, sendo que o tratamento a 5,0 % (p/v) reduziu em 42,26%, e a concentração de 10% foi responsável pela redução de 94,35% nesse parâmetro, as concentrações de 2,5 e 5,0% p/v não diferem entre si estatisticamente (Tabela 1).

Silva (2012) relata que na grande maioria dos testes alelopáticos realizados em laboratório, os autores observam que a germinação tende a ser menos sensível aos aleloquímicos presentes nos extratos, quando comparado ao desenvolvimento das plântulas, mesmo assim, no presente trabalho observou-se a influência dos extratos na germinação das sementes de cenoura, indicando a possível ação alelopática de seus compostos.

Tabela 1. Germinação (PG%), Tempo Médio de Germinação (TMG/dias) e Índice de Velocidade de Germinação (IVG) de sementes de *Daucus carota* L. subespécie *sativus* (cenoura) nas concentrações de 0, 2,5, 5, 7,5 e 10% (p/v) de extrato aquoso de *Ilex paraguariensis* A. St.Hil.

Concentrações (p/v) (%)	PG (%)	TMG (sementes/dia)	IVG
0	77 a	3,23 e	6,20 a
2,5	74 a	4,16 d	4, 60 b
5,0	75 a	5,40 c	3,58 b
7,5	37 b	6,29 b	1,50 c
10,0	10 c	7,0 a	0,35 d
CV%	14,68	5,76	15,56

Médias seguidas de mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Bervin (2021), utilizando extrato bruto aquoso de erva mate não obteve diferença significativa na média de germinação das sementes de camomila, macela, hortelã e erva-doce. Essas espécies podem ser comparadas a cenoura, pois todas possuem sementes pequenas que ficam diretamente em contato com compostos do extrato. Contudo, na presente pesquisa obtivemos resultados diferentes, pois constatou-se efeitos negativos em parâmetros do processo de germinação.

No entanto, outros estudos demonstram resultados semelhantes, analisando o potencial alelopático de frutos de erva-mate sobre sementes de picão-preto, Silveira (2020) observou que o extrato desencadeou efeitos negativos sobre porcentagem de germinação dessa espécie, bem como resultados encontrados pela presente pesquisa, o que pode ser explicado pela presença de aleloquímicos presentes no extrato utilizado para os experimentos.

As diferenças nos resultados observados nos estudos podem ser atribuídas às variações nos tipos de extratos e suas concentrações empregadas em cada experimento. Conforme apontado por Cruz et al. (2000), a maneira como os extratos são preparados, sua aplicação e as concentrações utilizadas são elementos que exercem influência nos resultados, uma vez que os compostos ativos das plantas são distribuídos de maneira não uniforme e podem ser instáveis.

Frequentemente, o efeito alelopático pode não afetar a porcentagem de germinação das sementes, mas sim o tempo médio de germinação (TMG) e índice de velocidade de germinação (IVG). Esse aspecto pode ter implicações ecológicas, uma vez que plantas que

germinam mais lentamente podem ser potencialmente mais vulneráveis a estresses ambientais e menos competitivas na busca por recursos (Silveira, 2010). Observou-se alterações no TMG para todas as concentrações dos extratos de erva-mate, com o aumento dessa variável em função do aumento das concentrações. Também foi observado alterações no IVG.

A atividade dos compostos pode resultar em efeitos inibitórios ou estimulatórios, os quais variam conforme a concentração e a disponibilidade dessas substâncias no solo ou na água da rizosfera (Weston et al., 2013). A composição química das folhas de erva-mate inclui ácidos fenólicos (ácidos cafeico e clorogênico), aminoácidos e outros compostos nitrogenados, antocianinas, flavonoides, terpenos, carotenoides, álcoois, vitaminas e metilxantinas (Rivelli, 2007), o que pode indicar o efeito alelopático observado nos parâmetros de germinação e índice de velocidade de germinação da presente pesquisa.

Ao analisar os gráficos de Frequência Relativa (FR%) da Figura 1, verifica-se que o comportamento da germinação das sementes de cenoura é unimodal, ocorrendo um pico de germinação durante o período de avaliação. De acordo com Oliveira *et al.* (2017), o processo germinativo não ocorre de forma sincronizada, e sim se distribui ao longo do tempo, desse modo, a frequência de germinação está relacionada ao TMG. Nota-se que ocorreu deslocamento dos picos de germinação para a direita, o que, segundo Garcia-Sánchez et al. (2012), pode ser em decorrência da ação dos aleloquímicos presentes no extrato, como por exemplo os compostos fenólicos, que podem influenciar o processo germinativo das sementes e restringir a mobilização de reservas para o embrião, uma vez que causam inativação de enzimas específicas ou hormônios essenciais para esse estágio de desenvolvimento.

A análise da variável comprimento médio das plântulas de cenoura, demonstrou que todas as concentrações do extrato de erva-mate foram capazes de reduzir significativamente essa variável quando comparadas com a testemunha. A concentração de 2,5% reduziu em aproximadamente 57% o comprimento médio de raiz e quando analisada a concentração de 10%, observou-se que a redução foi de 96% nessa variável, demonstrando os efeitos negativos do extrato aplicado, conforme observado na Tabela 2.

Frank (2016) ao testar os efeitos alelopáticos de erva-mate sobre sementes olerícolas (alface, salsa, cebolinha e tomate), obteve resultados semelhantes ao encontrados nesse estudo, em que o comprimento médio da raiz diminuiu exponencialmente, conforme aumentava a concentração do extrato. Segundo Silva (2007), o sistema radicular foi apontado como sendo

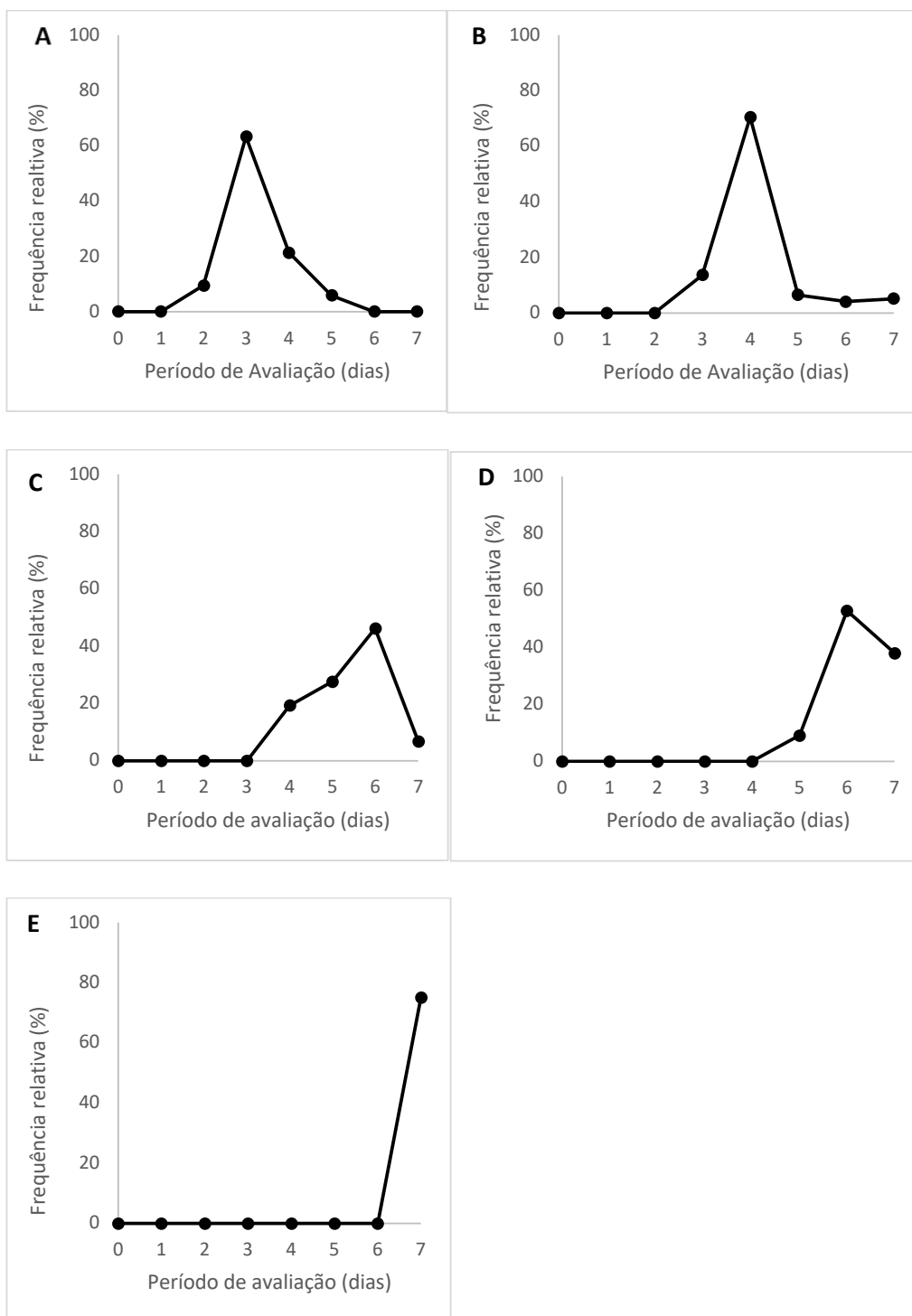


Figura 1. Frequência Relativa (%) de Germinação de sementes de *Daucus carota* L. subespécie *sativus* (cenoura) submetidas ao extrato aquoso de folhas secas de *Ilex paraguariensis* (A. St. Hil) nas concentrações de **A:** 0; **B:** 2,5; **C:** 5; **D:** 7,5 e **E:** 10%.

um dos indicativos mais sensíveis nas respostas de crescimento de plântulas receptoras de aleloquímicos, devido ao maior contato desse órgão com os compostos presentes no extrato.

Conforme observado na Tabela 2, a parte aérea também foi afetada pelos compostos alelopáticos presentes no E.A de erva-mate, sendo possível observar que a partir do tratamento a 5,0% (p/v) há diferenças significativas no comprimento médio de parte aérea, com uma redução de aproximadamente 43% dessa variável. O tratamento na concentração de 10% (p/v) inibiu completamente o desenvolvimento dessa estrutura. Resultados semelhantes foram observados por Silveira (2020), ao testar o extrato dos frutos de erva-mate obteve atividade inibitória no desenvolvimento da parte aérea das sementes de cebola, alface e picão-preto. Esses resultados possivelmente se relacionam com a composição dos extratos, uma vez que detectou-se compostos fenólicos e saponinas, e a atividade alelopática resulta do sinergismo dos compostos (Silveira, 2020).

Tabela 2. Comprimento Médio da Raiz (cm) e Comprimento Médio da Parte Aérea (cm) de *Daucus carota* L. subespécie *sativus* (cenoura) nas concentrações de 0, 2,5, 5, 7,5 e 10% de extrato aquoso de *Ilex paraguariensis* A. St.Hil.

Concentrações (p/v) (%)	RAIZ (cm)	PARTE AÉREA (cm)
0	3,05 a	2,85 a
2,5	1,30 b	2,75 a
5,0	0,77 c	1,62 b
7,5	0,37 cd	0,20 c
10,0	0,12 d	0 c
CV%	18,82	23,38

Médias seguidas de mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os resultados obtidos para a cenoura demonstram a interferência negativa do extrato aquoso de erva-mate sobre a porcentagem de germinação, sobre o tempo médio de germinação, índice de velocidade de germinação, comprimento médio de raiz e de parte aérea. A composição química das folhas dos extratos aquosos de erva-mate conta com xantinas, fenóis, ácidos fenólicos, fenil propanoides, antocianinas, flavonóis e flavoras, terpenoides, esterpos, alcaloides púricos, aminoácidos, ácidos graxos, carboidratos, vitaminas, carotenoides e minerais (Barbosa et al., 2015). Esses compostos podem ser os responsáveis pelas influências negativas sobre os parâmetros analisados da cenoura.

A análise dos efeitos alelopáticos do extrato aquoso de erva-mate (*I. paraguariensis*

A.St-Hil) sobre a germinação do milho (*Zea mays* L.) demonstrou que não houve diferenças estatisticamente significativas para as variáveis porcentagem de germinação (PG%) e Índice de Velocidade da Germinação (IVG) entre os tratamentos com diferentes proporções do extrato e a testemunha. Em relação Tempo Médio de Germinação (TMG) não foi observado diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 3).

Tabela 3. Germinação (PG%), Tempo Médio de Germinação (TMG/dias) e Índice de Velocidade de Germinação (IVG) de sementes de *Zea mays* L. (milho) nas concentrações de 0, 2,5, 5, 7,5 e 10% de extrato aquoso de *Ilex paraguariensis* A. St- Hil.

Concentração (p/v) (%)	PG (%)	TMG (sementes/dia)	IVG
0	95 a	2, 13 ab	22, 70 a
2,5	97 a	2,08 b	23, 52 a
5,0	97 a	2,26 a	22, 40 a
7,5	96 a	2,15 ab	22, 81 a
10,0	97 a	2,22 a	22,63 a
CV%	1,86	2,80	3,19

Médias seguidas de mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Miró e colaboradores (1998), utilizando extratos de frutos maduros de erva-mate, não observaram interferências na germinação e emergência do milho nem em laboratório nem nos experimentos de campo. No estudo realizado por Aquila (2000) com extrato aquoso de erva-mate, constatou-se que essa espécie também não apresentou efeito sobre a germinação das sementes de alfaca. Resultados semelhantes foram encontrados pela presente pesquisa em laboratório, uma vez que a germinação do milho não foi afetada pelos extratos aquosos das folhas secas de erva-mate. Os frutos de erva-mate apresentam alto teor de saponinas, e essas são diferentes das saponinas encontradas nas folhas, além da presença de metilxantinas e cafeína, sendo a cafeína componente majoritário no extrato dos frutos (Fernandes et al., 2016).

De acordo com as análises da frequência relativa da germinação, é possível observar que o pico da germinação ocorreu entre o segundo e o terceiro dia de avaliação, evidenciando a sincronização do processo germinativo, como mostrado no gráfico da Figura 2.

Em relação às análises do comprimento médio do milho, observou-se uma redução de 26,74% no comprimento médio da raiz no tratamento exposto ao extrato aquoso bruto de erva-mate na concentração de 2,5% em comparação à testemunha, sendo que todas as proporções do extrato causaram redução dessa variável. A concentração de 7,5% (p/v), levou a uma redução

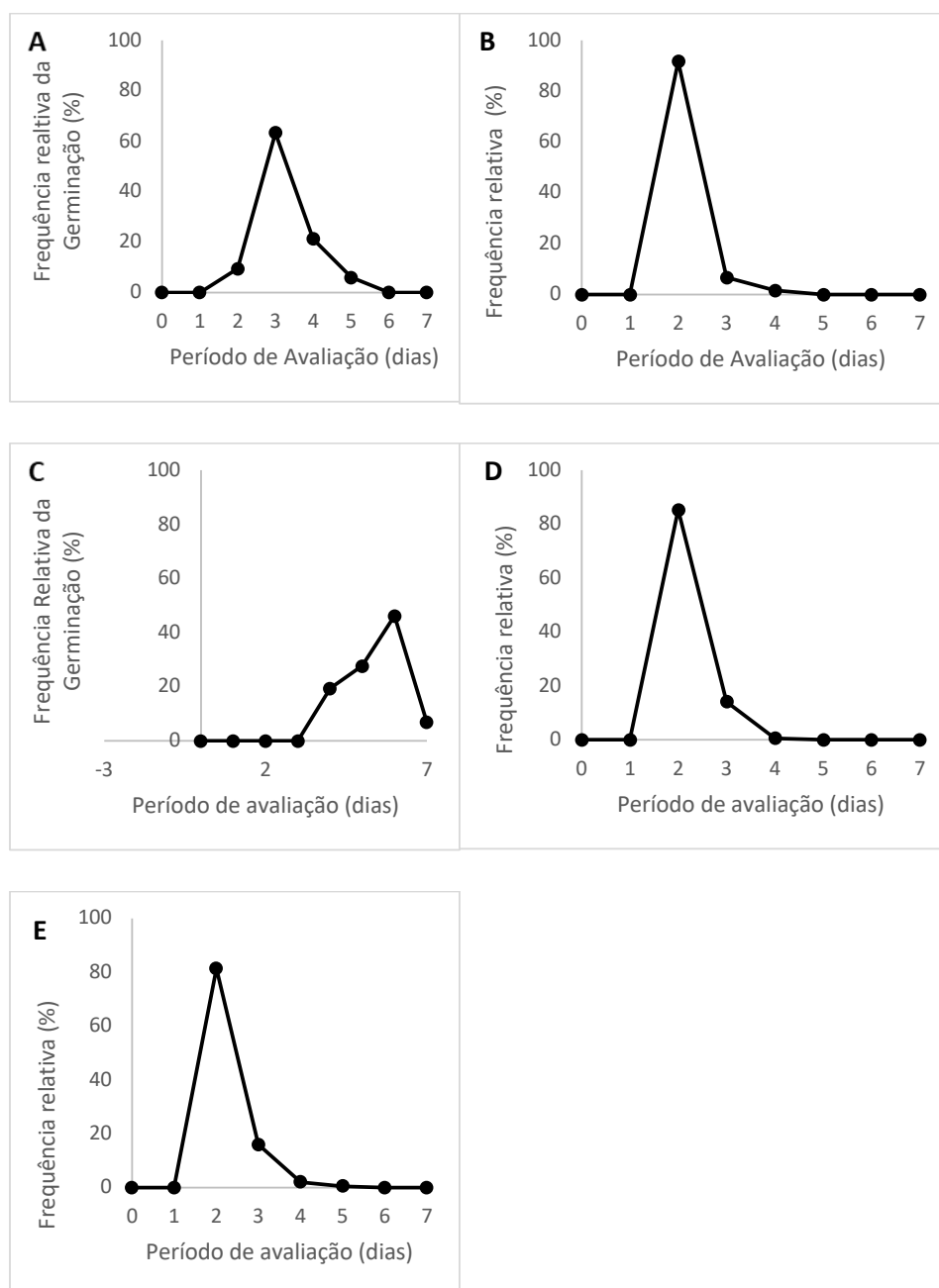


Figura 2. Frequência Relativa (%) de Germinação de sementes de *Zea mays* (L.) (milho) submetidas ao extrato aquoso de folhas secas de *Ilex paraguariensis* (A. St. Hil) nas concentrações de A: 0; B: 2,5; C: 5; D: 7,5 e E: 10%. G: Porcentagem de germinação; TMG: Tempo Médio de Germinação.

no comprimento médio da parte aérea do milho de 22,17% quando comparada à testemunha, conforme observado na Tabela 4.

Tabela 4. Comprimento Médio da Raiz (cm) e Comprimento Médio da Parte Aérea (cm) de *Zea mays* L. (milho) nas concentrações de 0, 2,5, 5, 7,5 e 10% de extrato aquoso de *Ilex paraguariensis* A. St-Hil.

Concentrações (p/v) (%)	RAIZ (cm)	PARTE AÉREA (cm)
0	16,27 a	6,45 a
2,5	11,92 b	5,94 ab
5,0	10,64 bc	5,69 ab
7,5	8,95 cd	5,02 b
10,0	7,36 d	4,82 b
CV%	8,62	10,21

Médias seguidas de mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Muitas vezes o efeito alelopático não se manifesta sobre a média de germinação, mas sim sobre outros processos fisiológicos, como o desenvolvimento inicial. Miró et al. (1998) observaram que as raízes e os pelos absorventes de plantulas de milho apresentaram menor crescimento quando submetidas a presença do extrato dos frutos de erva-mate.

Taveira e colaboradores (2021) ao testar o efeito alelopático de extratos aquosos de aroeira salsa (*Schinus molle*), que é uma espécie utilizada na composição de SAFs sobre o desenvolvimento do milho, observaram redução significativa no comprimento de raiz dessa cultivada, conforme o aumento da concentração do extrato, isso ficou evidente no presente estudo também, uma vez que as médias sofreram alterações conforme aumento da concentração do extrato de erva-mate.

As raízes são consideradas particularmente sensíveis à ação dos compostos secundários presentes nos extratos devido ao seu contato direto com essas substâncias. Essa sensibilidade resulta na diminuição da taxa de captação de íons pelas raízes, o que, por sua vez, compromete seu desenvolvimento (Pires e Oliveira, 2001). Isso ficou evidente na cultura do milho, onde a parte aérea foi menos afetada que a radícula.

Além disso, Carvalho et al. (2014) apontam que o sistema radicular das plantas é mais sensível à ação de aleloquímicos pois o seu alongamento depende de divisões celulares, que, se influenciadas, comprometem o seu desenvolvimento normal. A inibição da mitose, ou ruptura das organelas no núcleo e das mitocôndrias e anormalidades durante os processos de divisão celular podem sugerir que houve interrupção dos centros organizadores dos microtúbulos, e interferências na biossíntese da parede celular também podem culminar com a redução no crescimento da planta (Gniazdowska e Bogatek, 2005).

Em relação a massa seca do milho (Tabela 5), pode-se observar que houve diferenças

estatísticas apenas na massa seca da raiz, nos tratamentos submetidos a concentração de 5,0% (p/v), com uma redução de 26,9% em comparação à testemunha. Não houve diferenças significativas na massa seca da parte aérea, indicando que os compostos presentes no extrato aquoso bruto da erva-mate causaram alterações mais significativas no desenvolvimento do sistema das raízes.

Tabela 5. Massa Seca da Raiz e Massa Seca da Parte Aérea (mg) de *Zea mays* L. (milho) nas concentrações de 0, 2,5, 5, 7,5 e 10% de extrato aquoso de *Ilex paraguariensis* A. St-Hil.

Concentrações (p/v) (%)	RAIZ (mg)	PARTE AÉREA (mg)
0	260 a	210 a
2,5	210 ab	210 a
5,0	190 b	190 a
7,5	180 b	180 a
10,0	170 b	200 a
CV%	12,19	14,85

Médias seguidas de mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As diferenças estatísticas da massa seca da raiz (Tabela 5) são corroboradas pelos dados observados no comprimento médio de raiz (Tabela 4), uma vez que plântulas com menor comprimento médio de raiz podem apresentar menores valores de massa seca.

Utilizando exsudatos de raízes de *A. artemisiifolia*, Formigheiri (2017) observou que houve redução da massa seca das plântulas de milho submetidas aos extratos, reduzindo em até 48% quando comparados a testemunha. No presente estudo também houve redução significativa dessa variável no tratamento a 5,0% p/v, sendo de aproximadamente 26,9%. Segundo Marcos-Filho (2015), a medição da massa seca é uma das formas de avaliar o vigor das sementes. Isso se deve ao fato de representar a capacidade de transferência de massa seca dos tecidos de reserva para o eixo embrionário, podendo, assim, refletir a qualidade das plântulas por meio do acúmulo de massa seca.

A não interferência do extrato aquoso de erva-mate no parâmetro Massa Seca da Parte Aérea (Tabela 5), pode ser explicada pela alta taxa de mobilização de reservas, Andrade et al. (2019) observaram redução das reservas das sementes de milho para a parte aérea, bem como baixa concentração de matéria seca restante no endosperma, o que indica que há grande quantidade de nutrientes disponíveis para o desenvolvimento de estruturas do hipocótilo das plântulas, indicando que os aleloquímicos não foram suficientes para influenciar esse parâmetro.

A análise morfológica das plântulas permite inferir que os compostos causaram alterações macroscópicas em estruturas nas plântulas de milho submetidas ao extrato aquoso de erva-mate, com raízes anormais, atrofiadas escurecidas, necrosadas, com alterações no tamanho e nas ramificações, com a coifa da radícula totalmente oxidada. As plântulas submetidas ao tratamento com água destilada apresentaram raízes ramificadas e alongadas, e pode-se notar que à medida que se aumenta a concentração do extrato, as raízes tornam-se menos ramificadas, escurecidas e menos abundantes (Figura 3). Essas alterações são corroboradas pelos dados encontrados nas análises de comprimento médio da raiz (Tabela 4).



Figura 3. Plântulas de *Zea mays* (milho) submetidas as concentrações de 0, 2,5, 5,0, 7,5 e 10% de extrato aquoso de *Ilex paraguariensis* A. St-Hil.

Segundo Ferreira e Áquila (2000), um dos efeitos causados por substâncias

alelopáticas é o aparecimento de plântulas anormais, sendo a necrose da radícula um dos sintomas mais comuns. Para Pires e Oliveira (2001), efeitos como o escurecimento e endurecimento são efeitos secundários da alelopatia em resposta das alterações que aconteceram a nível celular, efeito observado em vários estudos de alelopatia.

CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos conclui-se que a espécie vegetal *Ilex paraguariensis* A. St. Hil (erva-mate) apresenta potencial alelopático negativa sobre a espécie bioindicadora (cenoura), afetando os parâmetros da germinação e comprimento médio, e na espécie cultivada (milho) apresentou efeito alelopático, influenciando negativamente o desenvolvimento inicial dessa espécie.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, G. C.; COELHO, C. M. M.; PADILHA, M.S. Seed Reserve Reduction Rate and Reserves Mobilization to the seedling explain the vigour of maize seeds. **Journal of Seed Science**, Londrina, v.41, p. 488-497, 2019.
- ARATO, H. D.; MARTINS, S. V.; FERRARI, S. H. DE S. Produção e decomposição de serapilheira em um sistema agroflorestal implantado para recuperação de área degradada em Viçosa-MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, p. 715-721, 2003.
- BANDEIRA, A. DA S.; AMARAL, M. C. A.; PORTO, J. S.; ÁVILA, J. S.; RIBEIRO, E. B. Avaliação do efeito alelopático de extrato aquoso de tiririca sobre a germinação de sementes de cenoura. **Meio Ambiente, Sustentabilidade e Agroecologia**, Ponta Grossa, v. 5, p. 96-101, 2018.
- BARBOSA, J. DOS S.; SILVA, K. DO C. R.; CARDUCCI, C. E.; SANTOS, K. L. DOS; KOHN, L. S.; FUCKS, J. S. Atributos Físico-hídricos de um Cambissolo Húmico Sob Sistema Agroflorestal no Planalto Catarinense. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro v. 24, p. 1-9, 2017.
- BARBOSA, J. Z.; ZAMBON, L. M.; MOTTA, A. C. V.; WENDLING, I. Composition, hot-water solubility of elements and nutritional value of fruits and leaves of yerba mate. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 39, n. 6, p. 593-603, 2015.
- BERVIN, R. C. D. **Potencial Alelopático De Extrato De Erva-Mate Na Germinação De Plantas Medicinais**. 2021. 34 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Agronomia) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Cerro Largo, 2021.
- BERTALOT, M.J.A.; GUERRINI, I.A.; MENDOZA, E.; PINTO, M.S.V. Corn (*Zea mays* L.)

performance in sequence to black oat (*Avena strigosa* Schreb.) under agroforestry and traditional agricultural system. **Revista Árvore**, Viçosa, v.34 n.4, p. 597-608, 2010.

BRASIL. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2009). Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/2946_regras_analise__sementes.pdf. Acesso em 23 de set de 2023.

CARVALHO, W.P.; CARVALHO, G.J.; ANDRADE, M.J.B.; FONSECA, G.; ANDRADE, L.; VALACI, F.; OLIVEIRA, D.P. Alelopatia de adubos verdes sobre feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v.10, p. 86-93, 2012.

CARVALHO, W.P.; CARVALHO, G.J.; ABBADE NETO, D.O.; TEIXEIRA, L.G.V. Alelopatia de extratos de adubos verdes sobre a germinação e crescimento inicial de alface. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.30, p. 1-11, 2014.

COELHO, G.C. Ecosystem services in brazilian's southern agroforestry systems. **Tropical And Subtropical Agroecosystems**, Mérida, v. 20, n. 3, p. 475-492, 2017.

CRUZ, S. E. M.; NOZAKI, M. H.; BATISTA, M. A. Plantas medicinais. **Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**, Brasília, n. 15, p. 28-34, 2000.

DUARTE, J. DE O.; MATTOSO, M. J.; GARCIA, J. C. **Importância Socioeconômica do Milho**. 2021. 2p. Disponível em: '<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/pre-producao/socioeconomia/importancia-socioeconomica#:~:text=A%20import%C3%A2ncia%20econ%C3%B4mica%20do%20milho,cerca%20de%2070%25%20no%20mundo>'. Acesso em: 09 fev. 2024.

EDMOND J. B; DRAPALA, W. J. The effects of temperature, sand and soil, and acetone on germination of okra seed. **Proceedings of the American Society Horticultural Science**, Alexandria, 71, p. 428-434, 1958.

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

FERNANDES, C. E.F.; KUHN, F.; SCAPINELLO, J.; LAZAROTTO, M.; BOHN, A.; BOLIGON, A. A.; ATHAYDE, M. L.; ZANATTA, M. S.; ZANATTA, L.; MAGRO, J. DAL. Phytochemical profile, antioxidant and hypolipemiant potential of *Ilex paraguariensis* fruit extracts. **Industrial Crops And Products**, São Carlos, v. 81, p. 139-146, 2016.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO) AND INTERGOVERNMENTAL TECHNICAL PANEL ON SOILS (ITPS). ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Status of the World's Soil Resources: main report**. Roma: FAO, 2015. 650 p.

FORMIGHEIRI, F. B. **Alelopatia de *Ambrosia artemisiifolia* na germinação e desenvolvimento de plântulas de milho e soja**. 2017. 33 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Laranjeiras do Sul, 2017.

FRANK, M. E. **Efeito de extrato bruto aquoso de erva mate sobre sementes olerícolas.** 2016. 39 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Cerro Largo, 2016.

GABOR, W.E.; VEATCH, C. Isolation of phytotoxin from quackgrass (*Agropyron repens*) rhizomes. **Weed Science**, Georgia, v. 29, p.155- 159, 1981.

GARCÍA-SÁNCHEZ, M.; GARRIDO, I.; JESÚS, I.; JOAQUÍN, P.; ESPINOSA, F.; GARCÍA-ROMERA, I.; ARANDA, E. Chemosphere Defence response of tomato seedlings to oxidative stress induced by phenolic compounds from dry olive mill residue. **Chemosphere**, Oxford, v. 89, n. 6, p. 708–716, 2012.

GNIAZDOWSKA, A.; BOGATEK, R. Allelopathic interactions between plants. Multisite action of allelochemicals. **Acta physiologiae plantarum**, Kraków, 27, p. 395-407, 2005.

GÖTSCH, E. Importância dos SAFs na recuperação de áreas degradadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 5, 2002, Ilhéus. **Anais**. Ilhéus: UFBA, 4p.

HADAS, A. Water uptake germination of leguminous seeds under changing external water potential in osmotic solution. **Journal Experimental of Botany**, Oxford, 27, p. 480-489, 1986.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (BRASIL). **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura.** 2021. 8p. Disponível em: '<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9105-producao-da-extracao-vegetal-e-da-silvicultura.html?=&t=destaques>'. Acesso em: 10 dez. 2023. 8p.

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas.** 2Ed. Londrina: ABRATES, 2015., p.432.

MEDRADO, M. J. S.; LOURENÇO, R. S.; MOSELE, S. H.; WACZUK, A. J. **Sistemas de poda de formação e produtividade da erva-mate (*Ilex paraguariensis* ST. HIL.), no município de Áurea, RS.** Embrapa: Brasília, 2000. 3p.

MIRÓ, C. P.; FERREIRA, A. G.; ÁQUILA, M. E. A. Alelopatia de frutos de Erva-Mate (*Ilex Paraguariensis*) no desenvolvimento do milho. **Revista Brasileira de Pesquisa Agropecuária**, Brasília, v.33, n.8, p. 1261-1270, 1998.

OLIVEIRA, J. D.; SILVA, J. B.; ALVES, C. Z. Tratamentos para incrementar, acelerar e sincronizar a emergência de plântulas de mucuna-preta. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v.48, p. 531-539, 2017.

PIRES, N. M.; OLIVEIRA, V. R. Alelopatia. In: Rubem Silverio Oliveira Junior. (Eds.) **Plantas daninhas e seu manejo.** 1Ed. Maringá: Livraria e editora Agropecuária Ltda, 2001. p. 145-185.

REIGOSA, M.J.; SÁNCHEZ-MOREIRAS, A.; GONZÁLEZ, L. Ecophysiological approach in allelopathy. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Philadelphia, v.18, n.5, p. 577-608, 2009.

RIVELLI, D. P. Simultaneous determination of chlorogenic acid, caffeic acid and caffeine in hydroalcoholic and aqueous extracts of *Ilex paraguariensis* by HPLC and correlation with antioxidant capacity of the extracts by DPPH[•] reduction. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêutica**, São Paulo, v. 43, n. 2, p. 215-222, 2007.

RIZVI, S.J.H; HAQUE, H.; SINGH, V. K.; V. RIZVI. A discipline called allelopathy. In: RIZVI, S.J.H; RIZVI, V. (Ed.) **Allelopathy: basic and applied aspects**. Londres: Chapman & Hall, 1992. p. 1-10.

SANTOS, I.L.V.L.; SILVA, C.R.C.; MAIA, M.M.D. Sorgoleone: benzoquinona lipídica de sorgo com efeitos alelopáticos na agricultura como herbicida. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 79, n. 1, p. 135-144, 2012.

SILVA, J.B.; NAKAGAWA, J. Estudos de fórmulas para cálculo de velocidade de germinação. **Informativo Abrates**, Londrina, v.5, n.1, p.62-73, 1995.

SILVA, F.M.; AQUILA, M. E. A. Potencial alelopático de espécies nativas na germinação e crescimento inicial de *Lactuca sativa* L. (Asteraceae). **Acta Botanica Brasilica**, Feira de Santana, v. 20, p. 61-69, 2006.

SILVA, W. A. **Potencial alelopático de extratos do cumarú (*Amburana cearensis* A. C. Smith) e da jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir) na germinação e crescimento de sorgo (*Sorghum bicolor* L.), milho (*Zea mays* L.) e feijão guandu (*Cajanus cajan* L.)**. 2007. 55p. Dissertação (mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Campina Grande, Patos, 2007.

SILVA, P.S.S. Atuação dos aleloquímicos no organismo vegetal e formas de utilização da alelopatia na agronomia. **Biotemas**, Florianópolis, v. 25, n. 3, p. 65-74, 2012.

SILVEIRA, P.F. **Efeito alelopático do extrato aquoso da jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir.) sobre a germinação de sementes de alface (*Lactuca sativa* L.)**. 2010. 48p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2010.

SILVEIRA, A.C. **Avaliação da alelopatia e caracterização térmica de extratos de polpa do fruto de *Ilex paraguariensis* (erva-mate)**. 2020. 90 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2020.

TAVEIRA, A.L.M.; MARIA, D.P.S.; SOUZA, L.; MENDONÇA, I.L.; CORSATO, J.M.; FORTES, A. M. T. Potencial alelopático de amoreira salsa (*Schinus molle* L.) e seus efeitos sobre o desenvolvimento inicial de sementes de milho (*Zea mays* L.). **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v. 10, n. 1, p. 70-83, 2021.

TEASDALE, J.R.; RICE, C.P.; CAI, G.; MANGUM, R.W. Expression of allelopathy in the soil environment: Soil concentration and activity of benzoxazinoid compounds released by rye cover crop residue. **Plant Ecology**, Uberlândia, v.213, n. 12, p.1893–1905, 2016.

VASCONCELOS, M.C. C.A.; SILVA, A. F. A.DA; LIMA, R. DA S. Cultivo em aléias: uma alternativa para pequenos agricultores. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, Patos, v. 8, n. 3, p. 1-4, set. 2012.

VIEIRA, M.V.M.; GIUNTI, O.D.; GRIS, C.F.; SILVA, A.V. Indicadores de sustentabilidade e influência de sistemas agroflorestal e convencional sobre a qualidade do solo e do café arábica em Piumhi-MG. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 10, n. 2, p. 229-238, 2015.

VIZZOTTO, M.; KROLOW, A. C.; WEBER, G. E. B. **Metabólitos secundários encontrados em plantas e sua importância**. 1Ed. Pelotas: Embrapa Clima Temperado. 2010. 16 p. (Documentos, 316)

WESTON, L.A.; ALSAADAWI, I.S.; BAERSON, S.R. Sorghum allelopathy: From ecosystem to molecule. **Journal of Chemical Ecology**, New York, v. 39, n. 2, p. 142-153, 2013.