

VERA LYGIA EL ID

Produção de fitotoxinas liberadas por *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. e sua relação com vantagens adaptativas da espécie em seu habitat

Tese apresentada ao Instituto de Botânica da Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de DOUTORA em BIODIVERSIDADE VEGETAL E MEIO AMBIENTE, na Área de Concentração de Plantas Vasculares em Análises Ambientais.

SÃO PAULO

2020

VERA LYGIA EL ID

Produção de fitotoxinas liberadas por *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. e sua relação com vantagens adaptativas da espécie em seu habitat

Tese apresentada ao Instituto de Botânica da Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de DOUTORA em BIODIVERSIDADE VEGETAL E MEIO AMBIENTE, na Área de Concentração de Plantas Vasculares em Análises Ambientais.

ORIENTADOR: DR. NELSON AUGUSTO DOS SANTOS JUNIOR

Ficha Catalográfica elaborada pelo **NÚCLEO DE BIBLIOTECA E MEMÓRIA**

E37p	<p>El Id, Vera Lygia</p> <p>Produção de fitotoxinas liberadas por <i>Sesbania virgata</i> (Cav.) Pers. e sua relação com vantagens adaptativas da espécie em seu habitat / Vera Lygia El Id - - São Paulo, 2020. 181p.; il.</p> <p>Tese (Doutorado) -- Instituto de Botânica da Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente, 2020. Bibliografia.</p> <p>1. Alelopatia. 2. Catequina. 3. Espécie superdominante. I. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 581.524.13</p>
------	---

*Aos meus amados pais, ao meu irmão e ao meu
companheiro Aiyra. E, em especial, à minha
compreensiva avó D^a Edith, que sempre me incentivou,
que nos deixou no andamento desse percurso, mas que
hoje me inspira de um outro plano, dedico.*

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Dr. Nelson Augusto por toda a compreensão, pelos ensinamentos científicos, por ser sempre tão solícito e principalmente pela paciência desde a iniciação científica. Muito obrigada pelo voto de confiança e por me permitir desenvolver esse trabalho!

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e À Capes pelas bolsas concedidas.

Ao Programa de Pós- Graduação do Instituto de Botânica pela oportunidade de realizar este trabalho.

Ao Núcleo de Pesquisa em Sementes pela infraestrutura oferecida para a condução desse trabalho. E aos profissionais do Núcleo de Pesquisa em Sementes: Dr. José Marcos, Dr^a Marina, Dr^a Adriana, Dr. Claudio, Msc. Lilian, Waldete, Waldyr e Mônica.

Aos profissionais Dr^a Marcia Braga, Dr^a Luce Torres, Dr. Marco Tiné, Dr. Evandro Vieira e Pedro Wasinger do Núcleo de Pesquisa em Fisiologia e Bioquímica pela permissão e auxílio no uso de equipamentos do núcleo e pelas colaborações científicas.

À Dr^a Carmen Zottarelli e à Dr^a Ana Lucia Jesus do Núcleo de Pesquisa em Micologia e à Dr^a Cibelle Françoso do Núcleo de Pesquisa em Sementes pela colaboração e ensinamentos relacionados a parte experimental dos fungos.

Aos profissionais Dr^a Catarina Nievola, Dr. Domingos Savio, Dr. Clovis Oliveira e ao querido Ugo do Núcleo de Pesquisa em Plantas Ornamentais por fornecerem a estrutura do Núcleo Experimental de Pesquisa em Plantas Ornamentais, por todas as ricas conversas e pelos ensinamentos diários.

Ao Sr. José Carlos e ao Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras pelo auxílio na coleta do material vegetal de sesbania, pela identificação das espécies em campo e pela estrutura cedida para o beneficiamento das sementes de *S. virgata*.

Ao aluno de iniciação científica, Gabriel Manoel, pela execução na parte experimental do capítulo 1 e pelo período de aprendizado durante seu o período de seu PIBIC.

Aos amigos e aos colegas do Instituto de Botânica, de todos os Núcleos de Pesquisa, pelos quais passei. Estou no instituto desde 2011 e posso dizer que colhi bons frutos nessa trajetória, obrigada a todos que viveram e compartilharam todos os momentos de angústia, dúvidas e alegrias. Em especial agradeço aos presentinhos em forma de gente, que recebi nesse período e que transcendem às dependências físicas do local: Andréa Sampaio Kanis, Camila Carvalho, Higor, Camila Araújo Coisinha, Aline Hell, Rodrigo Sanches, Giovanna Cancian e Evandro Vieira. Levo vocês e essas preciosas amizades comigo sempre!

Às minhas queridas amigas da Unifesp, que estão presentes até hoje e que compartilham a vida de uma maneira sempre tão leve e doce, apesar de todas as adversidades que enfrentamos. Vocês são minha bagagem para a vida. Muito amor ao nosso eterno Hakuna Matata: Joyce, Karina, Aline, Tassia, Denise, Mayra e Noemi. E aos meus queridos Daniel Garcia e Luiza Texeira, por todo companheirismo.

Aos meus familiares e amigos de infância, que sempre apoiaram minhas escolhas profissionais e que sempre compreenderam todos os momentos de ausência. Obrigada simplesmente por existirem e por ainda estarem presentes, mesmo que a distância.

Aos presentinhos que a nova trajetória na zona leste de SP me trouxe: Bruna, Salva e seus anjinhos, Dani, Robson, Michele e Victória. Obrigada por todos os laços formados, por todos os ensinamentos, por toda a compreensão, por compartilharem todos os momentos bons e ruins e por fazerem desse caminho, algo tão prazeroso de ser seguido. Vocês são essenciais nesse louco trajeto chamado Vida!

Ao meu companheiro amado, Aiyra Kayode. Obrigada por acompanhar esse período, por nunca ter me deixado desistir, por ser tão paciente, amoroso e cuidadoso. Obrigada por me apresentar tantos novos mundos e por sempre trazer tanta luz e inspiração ao nosso cotidiano. Obrigada por todas as palavras de incentivo e afeto. Que continuemos juntos a trilhar nossos caminhos, com toda sua sabedoria.

Ao meu pai Samir, minha mãe Dalva e meu irmão Samir Filho. Não existem palavras para descrever o agradecimento que tenho por vocês, sempre tão atenciosos, incentivadores e compreensivos. Obrigada por me apoiarem em todas as escolhas que faço e obrigada por sempre acreditarem em mim. Amo vocês!

E por fim, em especial a minha amada avó Edith, que hoje não se encontra nesse plano. E que me faz uma falta imensurável, diariamente. Mas que durante sua trajetória por aqui me ensinou sobre as mais valiosas coisas do universo. Espero que eu continue te dando orgulho de onde quer que você esteja. Obrigada por fazer de mim o que sou hoje. Saudade!

RESUMO

Sesbania virgata (Cav.) Pers, Fabaceae, é nativa da América do Sul, que ocorre em vegetações ciliares, principalmente no Cerrado e na Mata Atlântica, formando banco de sementes com alta longevidade. É indicada para restauração de áreas degradadas pela mineração, devido aos altos índices de crescimento e de capacidade de cobertura do solo quando este encontra-se bastante pobre. Por outro lado, a espécie produz metabólitos secundários com potencial alelopático que, apesar de serem essenciais para o estabelecimento da *S. virgata* na conquista de ambientes, podem vir a inibir o crescimento de outras espécies em seu sub-bosque. Porém, pouco se sabe sobre como essas fitotoxinas agem quando liberadas no solo, além da escassez de informações sobre como fatores ambientais podem alterar a produção dessas, o que dificulta a compreensão sobre o que pode justificar sua eficiência no meio ambiente. Diante disso, o objetivo desse estudo foi compreender se, além das características ecológicas de *S. virgata*, os metabólitos encontrados em órgãos vegetais da espécie também são responsáveis pelo sucesso na conquista de novos ambientes. Para isso, sementes de *S. virgata* foram coletadas em diferentes populações, previamente conhecidas pela capacidade de produção de (+)- catequina, no município de Lavras, MG. Tais sementes foram separadas em dois lotes, de acordo com a presença ou não desse metabólito. A partir daí, foram levadas para o Núcleo de Pesquisa em Sementes do Instituto de Botânica para a instalação dos ensaios. No primeiro deles, realizado em condições não controladas, as sementes de *S. virgata* de ambos os lotes foram semeadas em vasos dispostos em duas condições de luminosidade (pleno sol e sombreamento). Nesses vasos, após o início da queda foliar de *S. virgata* foram inseridas sementes de duas espécies arbóreas nativas, *Mimosa bimucronata* (DC.) Kuntze e *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub., para se testar a fitotoxicidade do material vegetal de *S. virgata*. Também foram analisadas amostras dos solos dos vasos, para quantificação de catequina. Foram avaliados a germinação e o desenvolvimento de *S. virgata* e das duas espécies florestais até o encerramento do experimento. No segundo bioensaio, conduzido em casa de vegetação, as sementes de *S. virgata* foram acondicionadas separadamente em vasos contendo três tipos de solo, os quais foram irrigados com quatro tratamentos, estabelecidos de acordo com a capacidade de campo desses solos. Ao final do ensaio foram coletados dados referentes ao processo germinativo e aos dados biométricos das plantas de *S. virgata*. No último experimento, realizado em laboratório, foram identificados fungos presentes no tegumento das sementes de *S. virgata*. Dos seis gêneros encontrados, três foram selecionados, de acordo com seu grau de incidência e de severidade: *Phoma* sp., *Alternaria* sp. e *Cladosporium* sp. Estes foram utilizados para se testar o efeito de extratos aquosos de *S. virgata* no crescimento radial dos mesmos e para se verificar o efeito da inoculação desses fungos no processo germinativo de sementes de *S. virgata*. No primeiro ensaio constatou-se que as mudas de *S. virgata* alocadas a pleno sol tiveram melhor desenvolvimento e que as espécies arbóreas plantadas nos vasos que continham esses indivíduos foram afetadas negativamente, conforme sua sensibilidade ao material depositado de *S. virgata*. No segundo ensaio foi verificado que as plantas de *S. virgata* apresentaram altas taxas de germinação nos solos utilizados e que o desenvolvimento foi proporcional ao tratamento de irrigação utilizado, isto é, quanto maior a porcentagem de irrigação utilizada, maior o desenvolvimento das mudas. Porém, foi constatado também que nas menores taxas de irrigação, apesar de reduzido, o desenvolvimento das mudas se mostrou contínuo. No terceiro ensaio, foi verificado que a procedência das sementes de *S. virgata* influenciou no comportamento dos fungos encontrados, sendo alguns dos gêneros encontrados com maior incidência e severidade em determinada procedência das sementes de *S. virgata*. Sobre o crescimento micelar radial dos três fungos utilizados, foi constatado que *Phoma* sp. teve seu micélio aumentado em contato com os extratos aquosos de *S. virgata*, enquanto *Cladosporium* sp. se mostrou indiferente e *Alternaria* sp. teve seu micélio diminuído. Dos três fungos, *Phoma* sp. foi aquele que causou maior mortalidade das sementes de *S. virgata*. Os dados obtidos indicam que os metabólitos oriundos do material foliar de *S. virgata* perduram no solo e

podem causar prejuízos a outras espécies vegetais. Além disso, os dados também reforçam a plasticidade de *S. virgata* em se adaptar aos mais distintos e severos ambientes e que os metabólitos oriundos das sementes de *S. virgata* possuem propriedades antifúngicas, o que também representa uma vantagem adaptativa da espécie, já que pode controlar o crescimento de determinados fungos potencialmente letais para a existência do seu banco de sementes no solo.

PALAVRAS-CHAVE: alelopatia, catequina, espécie superdominante, potencial antifúngico.

ABSTRACT

Sesbania virgata (Cav.) Pers, Fabaceae, is native to South America, occurs in riparian vegetation, mainly in Cerrado and in Atlantic Forest, forming a seed bank with high longevity. It is indicated for the restoration of areas degraded by mining, due to the high growth rates and the capacity of covering soil, in poor conditions. On the other hand, the species produces secondary metabolites with allelopathic potential which, despite being essential for the establishment of *S. virgata* in the conquest of environments, can inhibit the growth of other species in its undergrowth. However, there is little information about how these phytotoxins act when released into the soil, as well as lack of information on how environmental factors can alter their production, which makes it difficult to understand what could justify their aggression on environment. Therefore, the objective of this study was to understand whether, in addition to the ecological characteristics of *S. virgata*, metabolites found in plant organs of the species are also responsible for the success in conquering new environments. For this, seeds of *S. virgata* were collected in different populations, previously marked by the production capacity of (+) - catechin, in the municipality of Lavras, MG. Such seeds were separated into two batches, according to the presence or absence of this metabolite. From there, they were taken to 'Nucleo de Pesquisa em Sementes' of the Institute of Botany to install the tests. In the first one, carried out in the field, the seeds of *S. virgata* from both lots were sown in pots arranged under two conditions of light (full sun and shade). In these pots, after the beginning of the leaf fall of *S. virgata*, seeds of two native tree species were planted, *Mimosa bimucronata* (DC.) Kuntze and *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub., to test the phytotoxicity of the plant material of *S. virgata*. The germination and development of *S. virgata* and the two forest species were evaluated until the end of the experiment. In the second bioassay, conducted in a greenhouse, the seeds of *S. virgata* were placed separately in pots containing three types of soil, which were irrigated with four irrigations, established according to the field capacity of these soils. At the end of the tests, data were collected regarding the germination process and biometric data of *S. virgata* plants. In the last experiment, carried out in the laboratory, fungi present in the seed coat of *S. virgata* seeds were identified. Of the six genera found, three were selected according to their degree of incidence and severity: *Phoma* sp., *Alternaria* sp. and *Cladopsorium* sp. These were used to test the effect of aqueous extracts of *S. virgata* on radial growth and to verify the effect of inoculation of these fungi on the germinative process of *S. virgata* seeds. In the first trial it was found that the seedlings of *S. virgata* allocated in full sun had better development and that the tree species planted in the pots that contained these individuals were negatively affected, according to their sensitivity to the material deposited from *S. virgata*. In the second test it was verified that the plants of *S. virgata* had high germination rates in the soils used and that the development was proportional to the irrigation treatment used, that is, the higher the percentage of irrigation used, the greater the development of seedlings. However, it was also found that at the lowest irrigation rates, although reduced, the development of seedlings was shown to be continuous. In the third trial, it was found that the origin of the seeds of *S. virgata* influenced the behavior of the fungi found, with some of the genera found with greater incidence and severity in a certain origin of the seeds of *S. virgata*. On the growth of the radial of the three fungi used, it was found that *Phoma* sp. its mycelium increased with contact with the aqueous extracts of *S. virgata*, while *Cladopsorium* sp. was indifferent and *Alternaria* sp. had my mycelium decreased. Of the three fungi, *Phoma* sp. was the one that caused the highest mortality of *S. virgata* seeds. The data obtained indicate that the metabolites from the leaf material of *S. virgata* last in the soil and can cause damage to other plant species. In addition, the data also reinforce the plasticity of *S. virgata* in adapting to the most distinct and severe environments and that the metabolites from the seeds of *S. virgata*

have antifungal properties, which also represents an adaptive advantage of the species, since it can control the growth of certain potentially lethal fungi for the existence of its seed bank in the soil.

KEYWORDS: allelopathy, catechin, super-dominant species, antifungal potential

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Mecanismos de liberação dos aleloquímicos pelas plantas.....43
- Figura 2:** Estrutura química do flavonóide (+) e (-) catequina respectivamente.....46
- Figura 3:** Aspecto da árvore (A e B), da flor (C), do fruto e da folha (D), do fruto e da semente (E) e da semente (F) de *Sesbania virgata*.....49
- Figura 4:** Pontos georreferenciados dos locais onde foram coletados frutos de *Sesbania virgata*, em Lavras, no Estado de Minas Gerais.....79
- Figura 5:** Mudanças de *Sesbania virgata*, de ambas as procedências, semeadas em canteiros a pleno sol (esquerda) e semeadas em canteiros sombreados com sombrites (direita).....80
- Figura 6:** Esquema, mostrando o ensaio realizado em dois canteiros, representados pelos retângulos externos, sendo branco, o canteiro a pleno sol e o cinza, o canteiro sombreado. Os retângulos menores representam as repetições sorteadas e as cores dos vasos representam os lotes PC (vermelho) e NC (azul). A numeração indica a repetição.....80
- Figura 7:** Plântulas de *P. dubium* (seta vermelha) e de *M. bimucronata* (seta azul) em vasos do tratamento controle (A) e em vasos contendo plantas de *S. virgata* (B e C).....82
- Figura 8:** Plantas de *S. virgata* no início da queda foliar (A, seta amarela) e plantas de *S. virgata*, totalmente desfolhadas (B, seta azul), com as espécies arbóreas nos vasos (seta vermelha).....83
- Figura 9:** Quantificação de catequina por HPLC ($\lambda=280$ nm) em alíquotas de metanol, obtidas da extração de solo, que continham as plantas de *Sesbania virgata*, oriundas dos dois lotes obtidos no município de Lavras, MG.....88
- Figura 10:** Valores médios de altura (cm) e de diâmetro (mm), das mudas de *S. virgata*, provenientes das sementes dos lotes PC (A e C) e dos lotes NC (B e D), em condições ambientais de pleno sol (linha vermelha) e de sombreamento (linha azul). Os dados foram coletados mensalmente, durante 16 meses, de Outubro de 2018 a Janeiro de 2020.....89
- Figura 11:** Valores médios de mortalidade (%) das mudas de *S. virgata*, na condição de pleno sol (A e B) e na condição de sombreamento (C e D), provenientes dos lotes PC e dos lotes NC, respectivamente. Os dados foram coletados mensalmente, de agosto de 2019 a janeiro de 2020.
- Figura 12:** Valores médios de altura (cm) e de diâmetro (mm), de *Peltophorum dubium*, quando germinadas em condições de pleno sol (A e C) e em condições de sombreamento (B e D), em vasos contendo mudas de *S. virgata*, provenientes dos lotes PC (linha vermelha), dos lotes NC (linha azul) e em vasos sem mudas de *S. virgata* (linha verde), durante o período de Maio de 2019 a Janeiro de 2020.....92

Figura 13:Valores médios dos dados biométricos de altura (cm) e diâmetro (mm), de *Peltophorum dubium*, quando germinadas em condições de pleno sol (PS) e em condições de sombreamento (SB), em vasos contendo mudas de *S. virgata*, provenientes dos lotes PC (PC), dos lotes NC (NC) e em vasos sem mudas de *S. virgata* (C). Os valores são referentes ao início (Maio/2019) e ao final (Janeiro/2020) do ensaio. Letras minúsculas comparam a interferência do ambiente dentro do fator procedência (PC, NC e C), por mês e letras maiúsculas comparam a interferência do fator procedência dentro do fator ambiente (PS e SB), por mês.....94

Figura 14:Valores médios dos dados biométricos de altura (cm) e diâmetro (mm), de *Mimosa bimucronata*, quando germinadas em condições de pleno sol (A e C) e em condições de sombreamento (B e D), em vasos contendo mudas de *S. virgata*, provenientes dos lotes PC (linha vermelha), dos lotes NC (linha azul) e em vasos sem mudas de *S. virgata* (linha verde), durante o período de Maio de 2019 a Janeiro de 2020.....95

Figura 15:Valores médios dos dados biométricos de altura (cm) e diâmetro (mm), de *Mimosa bimucronata*, quando germinadas em condições de pleno sol (PS) e em condições de sombreamento (SB), em vasos contendo mudas de *S. virgata*, provenientes dos lotes PC (PC), dos lotes NC (NC) e em vasos sem mudas de *S. virgata* (C). Os valores são referentes ao início (Maio/2019) e ao final (Janeiro/2020) do ensaio. Letras minúsculas comparam a interferência do ambiente dentro do fator procedência (PC, NC e C), por mês e letras maiúsculas comparam a interferência do fator procedência dentro do fator ambiente (PC e NC).....97

Figura 16: Ensaio conduzido em casa de vegetação, com sementes de *S. virgata*, de ambas as procedências, semeadas em três tipos de solo. Plântulas de *S. virgata* após 15 dias da semeadura (esquerda) e plântulas de *S. virgata* após 120 dias da semeadura (direita).....120

Figura 17: Representação do fatorial (2x3x4), realizado para esse ensaio, no qual cada lote de sementes de *S. virgata*, constituído de acordo com sua procedência, foi semeado em três tipos de solo e em cada tipo de solo, foi aplicado o tratamento com quatro tipos de irrigação.....121

Figura 18: Valores médios dos dados biométricos de altura (cm) (A) e diâmetro (mm) (B), de mudas de *S. virgata*, provenientes das sementes dos lotes PC e dos lotes NC, cultivadas em três tipos de solo: solo obtido na mesma área em que foi coletado o lote PC (SPC), solo obtido na mesma área em que foi coletado o lote NC (SNC) e solo comercial (SCOM), no mês inicial (Outubro/2019) e no mês final do ensaio (Março/2020). Dentro de uma dada data, as letras minúsculas comparam as duas procedências dentro do fator solo e as letras maiúsculas comparam os tipos de solo dentro da mesma procedência.....128

Figura 19: Valores médios dos dados biométricos de altura (cm) e diâmetro (mm), de mudas de *S. virgata*, provenientes das sementes dos lotes PC (A e C) e dos lotes NC (B e D), irrigadas com irrigadas com 100%, 75%, 50% e 25%, de acordo com a capacidade de campo dos solos, em que foram semeadas. Os dados foram coletados mensalmente, durante 6 meses, de Outubro de 2019 a Março de 2020. Foram ajustadas as seguintes equações de reta para as irrigações 100%, 75%, 50% e 25%, nos gráficos **A**: $y = 4,0808x + 4,744$, $R^2 = 0,9459$ (100%); $y = 2,7345x + 6,4917$, $R^2 = 0,9961$ (75%); $y = 1,3583x + 8,4172$, $R^2 = 0,9949$ (50%); $y = 0,4721x + 9,9822$, $R^2 = 0,8889$ (25%); **B**: $y = 3,2929x + 6,4528$, $R^2 = 0,9918$ (100%); $y = 2,9576x + 6,6261$, $R^2 = 0,9902$130

Figura 20: Ilustração esquemática, representando a ordem das metodologias utilizadas, a partir das sementes de *S. virgata* e dos fungos encontradas nas mesmas.....151

Figura 21: Placas de Petri, com sementes de *Sesbania virgata*, para o teste de câmara úmida, armazenadas em câmaras de germinação do tipo BOD.....154

Figura 22: Valores médios da incidência (%) dos fungos *Phoma* (A), *Pestalotiopsis* (B), *Cladosporium* (C), *Rhizopus* (D), *Fusarium* (E) e *Alternaria* (F), encontrados em sementes *S. virgata*, oriundas de populações produtoras de catequina (barras vermelhas) e de populações não produtoras (barras azuis) em função dos tratamentos aplicados: não esterilizadas e não escarificadas, não esterilizadas e escarificadas, esterilizadas e não escarificadas e esterilizadas e escarificadas.....155

Figura 23: Imagens dos fungos selecionados para os ensaios: *Phoma* sp. visto por microscópio estereoscópio (A e seta vermelha) e conídio de *Phoma* sp. visto por microscópio óptico, no aumento de 40x (B). *Cladosporium* sp. visto por microscópio estereoscópio (C e D), ressaltando a estrutura do corpo de frutificação, com região do conídio verde em formato de vassoura e haste preta (seta azul). *Alternaria* sp. visto por microscópio estereoscópio (E e F), ressaltando a estrutura do corpo de frutificação, em formato de colar de contas, de coloração preta.

Figura 24: Valores médios do grau de severidade (%) dos fungos *Phoma* (A), *Pestalotiopsis* (B), *Cladosporium* (C), *Rhizopus* (D), *Fusarium* (E) e *Alternaria* (F), encontrados em sementes *S. virgata*, oriundas de duas populações (produtoras e não produtoras de catequina), esterilizadas ou não e escarificadas ou não. Grau de severidade “zero” (barra branca), grau de severidade “traço” (barra amarela), grau de severidade “fraco” (barra verde), grau de severidade “moderado” (barra roxa) e grau de severidade “intenso” (barra vermelha).....160

Figura 25: Valores médios do crescimento radial de *Cladosporium* sp., *Alternaria* sp., e *Phoma* sp. após os tratamentos de irrigação com extratos aquosos de *S. virgata* (0,1, 0,5 e 1%), com água

destilada e autoclavada (0%) e com catequina comercial na concentração de 1mg mL⁻¹ (C). Médias seguidas pela mesma letra, entre tratamentos (0, 0,1, 0,5 e 1,0% e C) e dentro de uma dada espécie, não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade.....161

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores médios referentes à porcentagem de germinação (%G) e ao índice de velocidade de emergência (IVE), de sementes de *S. virgata* oriundas das populações produtoras de catequina (PC) e das populações não produtoras de catequina (NC), semeadas em condições de pleno sol (PS) e de sombreamento (SB).....84

Tabela 2: Valores médios referentes à porcentagem de germinação (%G) e ao índice de velocidade de emergência (IVE), das duas espécies arbóreas testadas (*Peltophorum dubium* e *Mimosa bimucronata*), semeadas em vasos contendo plantas de *S. virgata*, oriundas das populações produtoras de catequina (PC), plantas de *S. virgata* oriunda das populações não produtoras de catequina (NC) e em vasos sem plantas de *S. virgata* (Controle), em condições de pleno sol (PS) e de sombreamento (SB).....86

Tabela 3: Valores médios de altura (cm) e de diâmetro (mm), das plantas de *S. virgata*, oriundas dos lotes PC e NC, obtidos da interação com os tratamentos, em condições ambientais, de pleno sol e de sombreamento. Dados referentes ao último mês de ensaio (Janeiro de 2020).....91

Tabela 4: Valores médios referentes à porcentagem de germinação (%G) e ao índice de velocidade de emergência (IVE), de sementes de *S. virgata* oriundas das populações produtoras de catequina (LOTE PC) e das populações não produtoras de catequina (LOTE NC), semeadas em três condições de solo: solo comercial (SCOM), solo obtido na mesma área que foi coletado o lote PC (SPC) e solo obtido na mesma área que foi coletado o lote NC (SNC).....122

Tabela 5: Valores médios referentes à altura (cm) e ao diâmetro (mm) de plantas de *S. virgata*, oriundas das populações produtoras de catequina (LOTE PC) e das populações não produtoras de catequina (LOTE NC), semeadas em três condições de solo: solo comercial (SCOM), solo obtido na mesma área que foi coletado o lote PC (SPC) e solo obtido na mesma área que foi coletado o lote NC (SNC) e irrigadas com 100%, 75%, 50% e 25%, de acordo com a capacidade de campo dos solos. Valores referentes ao último mês de experimento (Março/2020).....125

Tabela 6: Valores médios referentes à altura (cm) e ao diâmetro (mm), de mudas de *S. virgata*, oriundas das populações produtoras de catequina (PC) e das populações não produtoras de

catequina (NC), e irrigadas com 100%, 75%, 50% e 25%, de acordo com a capacidade de campo dos solos. Valores referentes ao mês inicial (Out/19) e ao mês final (Mar/20) do experimento.....132

Tabela 7: Valores médios referentes à altura (cm) e ao diâmetro (mm), de mudas de *S. virgata*, semeadas em solo comercial (SCOM), solo obtido na mesma área que foi coletado o lote PC (SPC) e solo obtido na mesma área que foi coletado o lote NC (SNC) e irrigadas com 100%, 75%, 50% e 25%, de acordo com a capacidade de campo dos solos. Valores referentes ao mês inicial (Out/19) e ao mês final (Mar/20) do experimento.....134

Tabela 8: Taxa de Germinação (G%), Índice de Velocidade de Germinação (IVG) e Taxa de Mortalidade, das sementes pós-germinadas (M%) das sementes de *Sesbania virgata*, submetidas às infestações com os isolados dos gêneros *Alternaria* sp., *Cladosporium* sp. e *Phoma* sp.....162

SUMARIO

Introdução Geral.....	32
1.1. Cenário ambiental brasileiro: Da colonização à atualidade.....	32
1.2. Alelopatia.....	40
1.3. Aleloquímicos.....	43
1.4. Catequina.....	46
1.5. <i>Sesbania virgata</i> (Cav.) Pers.....	49
Objetivo Geral	58
Referências Bibliográficas.....	58
CAPÍTULO 1: Presença de aleloquímicos no solo, oriundos de <i>Sesbania virgata</i> e sua influência no desenvolvimento de espécies florestais nativas.....	76
Introdução.....	76
Objetivo.....	79
Material e Métodos.....	79
Resultados.....	85
Discussão.....	100
Conclusão.....	109
Referências Bibliográficas.....	109
CAPÍTULO 2: Condições edafo-climáticas no desenvolvimento mudas de <i>S. virgata</i>	118
Introdução.....	118
Objetivo.....	121
Material e Métodos.....	121
Resultados.....	124
Discussão.....	136
Conclusão.....	142
Referências Bibliográficas.....	143
CAPÍTULO 3: Efeito de fitoquímicos presentes em sementes de <i>Sesbania virgata</i> (Cav.) Pers., na micota identificada em seu tegumento.....	150
Introdução.....	150
Objetivo.....	153
Material e Métodos.....	153
Resultados.....	160
Discussão.....	165
Conclusão.....	172
Referências Bibliográficas.....	173
Considerações Finais.....	180

1. INTRODUÇÃO GERAL

1.1. Cenário ambiental brasileiro: Da colonização à atualidade

“Foi o Capitão com alguns de nós um pedaço por este arvoredo até um ribeiro grande, e de muita água, que o nosso parecer é o mesmo que vem ter à praia, em que nós tomamos água. Ali descansamos um pedaço, bebendo e folgando, ao longo dele, entre esse arvoredo que é tanto e tamanho e tão basto e de tanta qualidade de folhagem que não se pode calcular. Há lá muitas palmeiras, de que colhemos muitos e bons palmitos.”

E foi assim, relatando atividades de seu cotidiano, que Pero Vaz de Caminha descreveu ao Dom Manuel, parte da natureza e da fartura encontradas na nova terra Ilha de Vera Cruz, posteriormente chamada de Brasil. Dentre as riquezas aqui encontradas estava o pau-brasil (*Paubrasilia echinata* (Lam.) Gagnon. H.C. Lima & G.P. Lewis), espécie arbórea nativa do Brasil, que gerou grande interesse aos colonizadores portugueses, devido à sua madeira de boa qualidade e ao seu pigmento brasileína (Rezende *et al.* 2004, Poloni 2008). Justamente por seus atrativos, a espécie logo se tornou alvo de exploração e de exportação para o continente europeu, representando uma das primeiras cenas do desmatamento brasileiro em larga escala.

Tal intensidade de exploração dos recursos naturais aqui encontrados caracterizou o processo de ocupação do Brasil como algo sem planejamento e pela consequente destruição de recursos, particularmente das florestas (Fantinel *et al.* 2012). Em diversos parâmetros, os desmatamentos que ocorrem atualmente, com mais intensidade em regiões tropicais, não são significativamente distintos dos que ocorreram séculos atrás (Arraes *et al.* 2012).

No geral, o desmatamento tem acompanhado o crescimento da população e seu desenvolvimento há milhares de anos. Características como clima, cultura, tecnologia e comércio têm influência sobre a aceleração da velocidade de desmatamento de uma região (Lima *et al.* 2020). Segundo Williams (2003), o desmatamento é uma das mudanças mais generalizadas e

drásticas feitas pelo homem na superfície da Terra e são resultados das demandas causadas pelo crescimento populacional, como a necessidade de produzir alimentos.

No Brasil, essas necessidades foram se tornando mais expressivas ao decorrer do histórico de ocupação do país, onde a cobertura florestal nativa dos diferentes biomas, foi sendo fragmentada, cedendo espaço para as áreas agrícolas, de pastagens e para a expansão das cidades (Rocha 2010, Nogueira *et al.* 2015, Amato-Lourenço *et al.* 2016), despertando a atenção dos movimentos ambientais.

A consolidação dos movimentos ambientalistas brasileiros surgiu na década de 60, que trazia a ideia de melhorias e benefícios para a vida humana. Naquela década, a preocupação com a conservação do meio ambiente foi institucionalizada com a aprovação da Lei Nº 4.771 de 15/09/1965, que instituía o novo Código Florestal Brasileiro, visando sobretudo à conservação dos recursos florestais, com a criação de novas tipologias de áreas protegidas como as Áreas de Preservação Permanente e a Reserva Legal (Garcia 2012).

Anos depois, com a regulamentação da lei Nº6938/1981 foi estabelecido o Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama), que se tornou o órgão responsável por criar as normas que orientariam as políticas ambientais (Silveira 2017). Em 1986, foi criada no Estado de São Paulo, através do decreto nº 24.932, a Secretaria do Meio Ambiente, que visava promover principalmente a preservação, a melhoria e a recuperação da qualidade ambiental (Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente 2015). No plano institucional, a área ambiental brasileira, influenciada pela Constituição de 88, transformava-se com a criação do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) (Vieira e Cader 2007).

Em 1992, a relação entre o meio ambiente, o desenvolvimento e a necessidade imperativa para o desenvolvimento sustentável foram vistos e reconhecidos em todo o mundo. Na Agenda 21, líderes mundiais traçaram programas para tentar distanciar o mundo da época, do modelo insustentável de crescimento econômico, para proteger e renovar os recursos ambientais, dos

quais o crescimento e o desenvolvimento econômico dependem (Organização das Nações Unidas 2020).

No Brasil, após a realização da II Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (RIO'92), também em 1992, foi criado o Ministério do Meio Ambiente, órgão de hierarquia superior que passava a ter a missão de formular a Política de Meio Ambiente no Brasil e o IBAMA atuando como órgão de fiscalização (Vieira e Cader 2007).

Um dos acontecimentos que marcaram o século passado, foi a maneira como a extensão das florestas tropicais diminuiu rapidamente (Lamb *et al.* 2005). Estima-se que 350 milhões de hectares de florestas tropicais primárias e secundárias foram desmatadas no mundo (International Tropical Timber Organization 2002). A partir desse período e com o crescente o avanço dos desmatamentos nas grandes florestas, preocupações com questões ambientais foram se intensificando.

No Brasil, esse avanço foi e é notório e alarmante. Estima-se a ocorrência de mais de 200 milhões de hectares de áreas degradadas em solo brasileiro, com grandes regiões de vegetação nativa sofrendo constante redução e fragmentação dos biomas, devido às ações antrópicas (Tavares 2008, Rocha *et al.* 2014). A análise do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente estimou que, de 1990 a 2015, o Brasil registrou uma redução de quase 55 mil hectares no tamanho de suas florestas (PNUMA 2016).

A Mata Atlântica, por exemplo, desde as primeiras etapas da colonização do Brasil, tem passado por uma série de surtos de conversão de florestas naturais para outros usos, cujo resultado observa-se nas paisagens, fortemente dominadas pelo homem (MMA 2002). Ao lado de outras 33 regiões localizadas em diferentes partes do planeta, o bioma foi apontado como um dos *hotspots* mundiais, ou seja, uma das prioridades para a conservação de biodiversidade em todo o mundo (Myers *et al.* 2000, Mittermeier *et al.* 2004). Sua extensão original abrangia uma área equivalente a 1.315.460 km² do território nacional, estendendo-se desde o Nordeste brasileiro até

o Rio Grande do Sul (Andrade e Santos 2014, Fundação SOS Mata Atlântica/ INPE 2014), e atualmente apresenta apenas cerca de 7% do bioma (MMA 2016).

Um dos cinco biomas com maior diversidade do mundo, a Mata Atlântica é hoje considerada a 2ª floresta mais ameaçada do planeta, com a área de vegetação nativa mais devastada do Brasil (Januário *et al.* 2017). Essa região é de grande importância para o país, pois abriga mais de 60% da população brasileira e é responsável por quase 70% do PIB nacional, prestando importantíssimos serviços ambientais (CI-Brasil *et al.* 2000, MMA 2016).

Outro bioma brasileiro que tem causado grande preocupação mundial, especialmente entre os pesquisadores e governantes, é o Cerrado, devido à sua exploração descontrolada e não sustentável dos recursos naturais, especialmente da fitodiversidade (Pereira *et al.* 2012). O Cerrado apresenta ampla variedade de fatores bióticos, além de outros abióticos como solo, relevo e topografia, que conferem ao bioma elevada biodiversidade, sendo reconhecido como a savana mais rica do mundo e, assim como a Mata Atlântica, um dos *hotspots* para a conservação da biodiversidade mundial (Klink e Machado 2005, Abreu *et al.* 2017).

Apesar dessa enorme importância ambiental, o Cerrado é o bioma brasileiro que sofreu muito com as ações antrópicas nas últimas três décadas (Bayma e Sano 2015). O bioma apresentava originalmente a área de 2.039.386 km², no entanto atualmente, a área remanescente da vegetação, encontra-se bastante fragmentada, com cerca de 1.036.877 km², correspondendo a 51% da cobertura original (Ibama 2013). A taxa anual média de desmatamento no Cerrado entre os anos de 1999 e 2008 foi de 15.700 km² (Brasil 2011) e entre os anos de 2009 a 2015 foi de 9.804 km² (Brasil 2018). Para efeito de comparação, na Amazônia, no período de 2009 a 2015, a taxa anual média foi de 6.080 km², ou seja, o desmatamento na Amazônia foi 38% menor que no Cerrado no período relatado (Brasil 2018), demonstrando a pouca efetividade das ações públicas para o bioma em questão.

De uma ocupação agrícola praticamente nula até meados do século passado, o Cerrado passou a responder por 47% dos grãos, 40% da carne bovina e 36% do leite produzido no país (Durigan 2012), sendo em 2013, a perda territorial acumulada pelo bioma, registrada em cerca de 45% em sua cobertura original, sendo 29,46% para a pecuária e 11,69% para a agricultura (Brasil 2015). Esses dados, referentes ao desmatamento da Mata Atlântica e do Cerrado, ambos biomas existentes do Estado de São Paulo, mostram efetivamente como a expansão econômica suprimiu de forma direta os biomas brasileiros, mesmo se tratando de áreas de tamanha biodiversidade mundial, desestabilizando os ecossistemas naturais e perturbando seu equilíbrio dinâmico (Kageyama *et al.* 2008).

Há algumas décadas, tal supressão ambiental gerou a necessidade de se restaurar os danos causados às matas nativas. A crescente mobilização mundial, exigindo novos modelos de desenvolvimento que fossem menos impactantes ao ambiente, resultou em um expressivo aumento no apoio às pesquisas na área de restauração ambiental (Rodrigues *et al.* 2015). Nesse cenário, a partir da década de 1980, iniciou-se no Brasil uma frente de reação ao processo de degradação ambiental, na qual o principal objetivo foi a restauração dos ecossistemas já degradados (Martins *et al.* 2014).

Nessa mesma década, a Lei Federal Nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 (Brasil 1981), que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, imputa em seu artigo primeiro, inciso I, ao Poder Público em seus diferentes níveis de governo, a responsabilidade sobre a fiscalização permanente dos recursos ambientais, visando à compatibilização do desenvolvimento econômico com a proteção do meio ambiente e do equilíbrio ecológico, e, no inciso VI, afirma ser de responsabilidade do Poder Público identificar e informar, aos órgãos e entidades do SISNAMA, a existência de áreas degradadas ou ameaçadas de degradação, propondo medidas para sua restauração (Rodrigues *et al.* 2015).

O termo área degradada está associado à uma alteração profunda das características do ecossistema, podendo ou não ser causada por atividades humanas, levando-o à diminuição drástica de sua resiliência e à perda de espécies e de interações, mas mantendo meios possíveis de regeneração, no qual a produtividade e as funções ecológicas podem ser recuperadas, ainda que para um estado diferente do original (Brasil 1981, Brasil 2000, Engel e Parrota 2008, Souza e Piña-Rodriguez 2013).

Quando o nível de degradação ainda permite que o ambiente se recupere, ou seja, quando o ambiente mantém sua capacidade de regeneração, considera-se que o ambiente está perturbado e a adoção de medidas intervencionistas pode acelerar a retomada dos processos naturais (Ser 2004, McAlpine *et al.* 2016). Se essa degradação ocorrer além da capacidade natural de regeneração, é desencadeada uma relação de desequilíbrio no ecossistema (Duarte *et al.* 2017). Nesse sentido, torna-se necessária a intervenção antrópica para auxiliar na restauração das áreas degradadas e, com isso, do equilíbrio ambiental (Rodrigues 2020, Carpanezzi *et al.* 1990, Corrêa e Melo 1998).

Em florestas tropicais, como os distúrbios antrópicos geralmente são de maior escala, maior intensidade e maior frequência do que as perturbações naturais, sob os quais essas evoluíram, a restauração do ecossistema torna-se lenta ou incerta (Uhl *et al.* 1990, Engel e Parrota 2008). Porém, mesmo nesses casos, ainda é possível trazer de volta para uma área, espécies características da região, direcionando os processos naturais para características desejáveis em sistemas futuros (Goosem e Tucker 1995).

Dentro dessas possibilidades, a restauração ecológica visa recriar comunidades ecologicamente viáveis, protegendo e garantindo a capacidade natural de mudanças no ecossistema (Engel e Parrota 2008), para que a nova comunidade tenha maior probabilidade de se desenvolver, de se auto renovar e de se tornar sustentável (Pereira *et al.* 2015). No início da restauração, a característica mais importante é o auxílio na formação de uma cobertura vegetal,

para evitar processos erosivos e dar início à formação de uma camada orgânica e de solo (Reis e Kageyama 2008). Esse ambiente criará condições para que outras espécies se estabeleçam (Pereira *et al.* 2015).

Um dos avanços mais relevantes da restauração ecológica foi a recomendação do uso predominante de espécies nativas, considerando diferentes grupos ecológicos: espécies de diferentes classes sucessionais e diferentes grupos funcionais, considerando suas particularidades em relação as velocidades de crescimento, interações com a fauna (polinização e dispersão), arquiteturas de copa, épocas de disponibilização de recursos, densidades de madeira, acúmulo de biomassa, etc (Vidal e Rodrigues 2019).

Assim, a restauração inicia-se com a criação de condições que impulsionam a sucessão ecológica (Anand e Desrochers 2004), processo que envolve a substituição ordenada no decorrer do tempo de uma comunidade vegetal por outra (Pereira *et al.* 2015). Os modelos de sucessão, com a escolha de espécies que garantam um padrão de alta diversidade, são usados para desenvolver esquemas de plantio para prever se os objetivos da restauração serão alcançados (Gandolfi *et al.* 2015).

Dentre os métodos utilizados para promover a recuperação de áreas degradadas, está a indução e a condução para a regeneração natural, na qual o potencial regenerativo da vegetação é aproveitado para que ela se desenvolva a partir de processos sucessionais naturais (Rodrigues *et al.* 2020). No processo de sucessão, ocorrem variações na composição das espécies e na estrutura da comunidade ao longo do tempo, envolvendo modificações no ambiente, na disponibilidade de recursos, aumentando a complexidade estrutural (Odum 1988, Longhi *et al.* 2006, Gurevitch *et al.* 2009, Pickett *et al.* 2009).

Devido à interação espécie-ambiente, as espécies podem apresentar comportamentos contrastantes quando plantadas em diversos ambientes (Pereira *et al.* 2015). Por isso, para a distribuição das espécies no campo é importante considerar as características naturais de cada

uma, principalmente aquelas que são adaptativas, com a finalidade de garantir que a restauração siga a estrutura e a dinâmica das florestas (Kageyama *et al.* 2008, Rodrigues e Gandolfi 2001).

Rodrigues e Gandolfi (1996) enfatizavam a necessidade de uma lista de espécies da floresta que se almeja recompor, procurando respeitar padrões da adaptabilidade das espécies. É muito comum no Brasil, casos onde espécies exóticas ou agressivas são as principais barreiras a serem superadas no processo de restauração (Pereira *et al.* 2015). No estado de São Paulo, a exigência pelo uso de um número mínimo de espécies nativas foi bastante debatida entre os pesquisadores e executores de restauração (Brancalion *et al.* 2010, Durigan *et al.* 2012, Aronson *et al.* 2011, Oliveira 2011).

Existem listas de espécies nativas regionais formuladas pelo Instituto de Botânica da Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente (Barbosa *et al.* 2015, Barbosa *et al.* 2017) e disponibilizadas no site da instituição. Desde 1989, o Instituto de Botânica tem atuado também na formulação de instrumentos legais para a normatização do processo e para o fomento do mercado de restauração no Estado de São Paulo, como é o caso da Resolução SMA nº 32 de 2014, que estabelece as orientações, diretrizes e critérios sobre restauração ecológica no Estado de São Paulo (Resolução SMA 32/ 2014).

Outra técnica de plantio utilizada como alternativa nos projetos de recuperação de áreas degradadas é a que utiliza leguminosas (Rodrigues *et al.* 2020). As leguminosas, principalmente as arbóreas e arbustivas, são utilizadas para recuperar áreas degradadas por serem espécies de rápido crescimento e devido ao aporte de matéria orgânica folhosa que possuem, incrementam as quantidades de carbono e nutrientes no solo, além de formarem associações simbióticas com bactérias fixadoras de nitrogênio, que favorecem a absorção desse elemento por outras plantas (Longo *et al.* 2011, Nogueira *et al.* 2012, Terra *et al.* 2019).

A identificação de espécies-chave, que são aquelas que controlam a estrutura da comunidade devido à sua abundância, distribuição espacial, biomassa, porte ou cobertura e que

influenciam a ocorrência das demais espécies associadas, é de fundamental importância para o sucesso da restauração florestal em áreas degradadas, principalmente por mineração a céu aberto (Salomão *et al.* 2012, Salomão *et al.* 2013), onde o solo torna-se inóspito para a maioria das espécies.

Em geral, as espécies que se encontram nesse tipo de ambiente degradado são espécies que dispõem de estratégias de adaptação que facilitam a sobrevivência e a reprodução dentro da sucessão dos ambientes (Piña-Rodrigues *et al.* 1997). O sucesso da conquista do ambiente depende de fatores, como a amplitude geográfica da espécie, abundância da mesma na fase de chegada, características genéticas e fenotípicas, bem como a associação entre estes e o meio ambiente (Williamson e Fitter, 1996).

Em relação ao sucesso de conquista de ambientes, a alelopatia tem sido reconhecida como um importante mecanismo ecológico que influencia a dominância e a sucessão de plantas, a formação de comunidades, a vegetação clímax e o manejo (Chou, 1986, Goldfarb *et al.* 2009). Estas interações alelopáticas são responsáveis pelo estabelecimento e sobrevivência de certas espécies no meio ambiente e representam mecanismos adquiridos ao longo de um processo evolutivo (Gatti 2008, Nicolini *et al.* 2012). Por essas razões mecanismos alelopáticos podem influenciar direta ou indiretamente no sucesso de implantação de processos de restauração ecológica.

1.2. Alelopatia

O termo alelopatia vem do grego *allelon* = de um para o outro, *pathós* = sofrer (Ferreira e Aquila 2000, Rodrigues e Lopes 2001, Weir *et al.* 2004, Bhadoria 2011, Sageentha e Baska *et al.* 2015, Dantas 2018, Sarma *et al.* 2019) e foi introduzido pela primeira vez pelo botânico Hans Molisch em 1937 como a influência de uma planta no crescimento e estabelecimento de outra planta, através da liberação de compostos químicos no ambiente (Rice 1984, Weston 2005,

Teasdale *et al.* 2012, Saldanha 2013). A Sociedade Internacional de Alelopatia a definiu como: “qualquer processo envolvendo metabólitos secundários produzidos por plantas, algas, bactérias e vírus que influencia no crescimento e desenvolvimento de sistemas biológicos e na agricultura; estudo das funções de metabólitos e seus significados na organização dos sistemas biológicos, a origem e evolução dos mecanismos envolvendo interações planta-planta, planta-microorganismos, planta-vírus, planta-inseto, planta-solo” (Mallik e Inderjit 2002, Allem 2010).

Desde a antiguidade, sabe-se que algumas espécies vegetais podem prejudicar o crescimento de outras (Gatti *et al.* 2004). As primeiras observações, de plantas que causavam impacto no crescimento de outras espécies vegetais, foram relatadas por Democritus (500 a.C.) e Theophrastus (300 a.C.) (França 2007). Estes observaram que espécies como grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) e cevada (*Hordeum vulgare* L.) não revigoravam o solo, ao contrário, o exauriam, além de eliminarem outras plantas invasoras (Rice 1984, Weston 2005). De Candolle, um dos primeiros a realizar ensaios de toxicidade associada a exsudatos de raízes (Rice 1984, Singh *et al.* 2001, Weston 2005, França 2007), sugeriu, em 1823, que o "cansaço" das terras na agricultura, era decorrente de exsudatos liberados pela própria cultura (Rice 1984, Gatti *et al.* 2004).

Lee e Monsi (1963) relatam um documento japonês de autoria de Banzan Kumazawa, escrito há cerca de 300 anos, no qual descrevem que a chuva e o orvalho arrastavam para o solo produtos químicos contidos nas folhas de pinheiro (*Pinus densiflora* Sciebold e Zucc.), os quais prejudicavam as culturas localizadas embaixo da copa das árvores.

Com o crescente interesse nesta área, as relações estabelecidas por interações alelopáticas em ecossistemas naturais vêm sendo largamente discutidas, principalmente devido à existência de muitas questões não respondidas, porém essenciais para a compreensão desse fenômeno (Scognamiglio *et al.* 2013). Nesse contexto, a alelopatia de espécies vegetais tornou-se um foco de pesquisa nos últimos anos (Zhang *et al.* 2018). Silva *et al.* (2018), observaram que as pesquisas

alelopáticas vem ganhando maior espaço no meio científico ao longo dos anos, ocorrendo o aumento no número de trabalhos publicados juntamente com os grupos de pesquisa.

Do ponto de vista ecológico, a alelopatia é reconhecida pelo seu papel facilitador na conquista de novos ambientes por espécies vegetais. Tais espécies usam compostos químicos contra plantas vizinhas, as quais em geral são sensíveis a esses metabólitos (Callaway e Ridenour 2004, Antonelli *et al.* 2016). Por influenciar o desenvolvimento de outras espécies, a alelopatia faz parte da manutenção do equilíbrio ecológico, representando uma estratégia de proteção natural contra "inimigos" e plantas competidoras (Prince e Pohnert 2010).

Embora a alelopatia possa ser verificada entre todos os organismos, é nas plantas que ela é mais comum e evidente. É um mecanismo de defesa contra patógenos, pragas, herbívoros e outras plantas. Mesmo depois de mortas, as substâncias alelopáticas ainda se mantêm nos seus tecidos, podendo ser lançadas para o meio (Neves 2005).

De acordo com Whittaker e Feeny (1971), os efeitos alelopáticos de uma planta são aceitos desde que sejam comprovados: (a) que um inibidor químico efetivo esteja sendo produzido e ocorra numa concentração potencialmente efetiva no solo e (b) que a inibição não seja por efeito de competição da planta por luz, água e nutrientes, nem por uma atividade animal. De acordo com essas afirmações, Qin *et al.* (2018), em estudos em áreas dominadas por *Eucalyptus urophylla*, afirmam que a alelopatia é mais importante do que a competição por recursos na redução da biodiversidade de espécies nativas.

Várias observações surgiram após a definição desse fenômeno, constatando-se que plantas podem interferir sobre outra da mesma espécie ou de espécies diferentes (Silva *et al.* 2007), causando efeitos nocivos sobre essas (Herrera 1995, Prince e Pohnert 2010). Tais efeitos baseiam-se na liberação de compostos químicos, provenientes de metabolismo secundário, que agem isoladamente ou em conjunto (Rice 1977, Taiz e Zeiger 2009). Para Araújo *et al.* (2018),

os aleloquímicos produzidos e liberados pelas plantas podem afetar negativamente o comportamento morfológico, fisiológico e etológico de outras espécies.

1.3. Aleloquímicos

As plantas produzem um amplo espectro de metabólitos secundários, com uma grande diversidade química. Estes compostos estão envolvidos em muitos processos metabólicos e ecológicos (Oliveira *et al.* 2006), como proteção, quelação de nutrientes e regulação da biota do solo, afetando a decomposição e a fertilidade do solo (Inderjit *et al.* 2011), e muitos destes compostos são alelopáticos na natureza desempenhando um grande papel na defesa vegetal (Tomar *et al.* 2015).

Cerca de 20 anos atrás, mais de 10 mil produtos químicos haviam sido classificados como alelopáticos, pertencentes a vários grupos de substâncias (Piña Rodrigues e Lopes 2001). Estes compostos, que em geral são solúveis em água, incluem: fenóis simples e outros glicosilados, ácidos fenol-carboxílicos, derivados dos ácidos benzóico e cinâmico, a-pirones (cumarinas e isocumarinas), ligninas, flavonóides (flavononas, antocianinas e catequinas) e quinonas (Stangarlin *et al.* 2011, Pereira e Cardoso 2012). Estes podem ser encontrados em todas as partes dos vegetais, como caules, folhas, raízes, inflorescências e flores, frutos e sementes (Gatti *et al.* 2004) e sua produção sofre influência de fatores ambientais, físicos e químicos, podendo variar até mesmo entre populações (Gobbo-Neto e Lopes 2007, Bhadoria 2011).

Os produtos do metabolismo secundário podem atingir o ambiente por diversos modos, como através de degradação de partes vegetais, de volatilização, de lixiviação de folhas e de exsudação de raízes (Rice 1984, Rizvi *et al.* 1992, Piña Rodrigues e Lopes 2001, Weir *et al.* 2004, Albuquerque *et al.* 2010, Reigosa *et al.* 2013) (Figura 1). Sementes também possuem a capacidade de liberar aleloquímicos após o início do processo de embebição, os quais podem contribuir para o comportamento invasivo de algumas espécies (Ndakidemi e Dakora 2003, Iqbal

e Fry 2012). Sob as condições ambientais adequadas, estas fitotoxinas podem ser liberadas no meio em quantidades suficientes para afetar a germinação e o crescimento das plantas vizinhas (Weston 1996, Weston 2005, Feng *et al.* 2019).

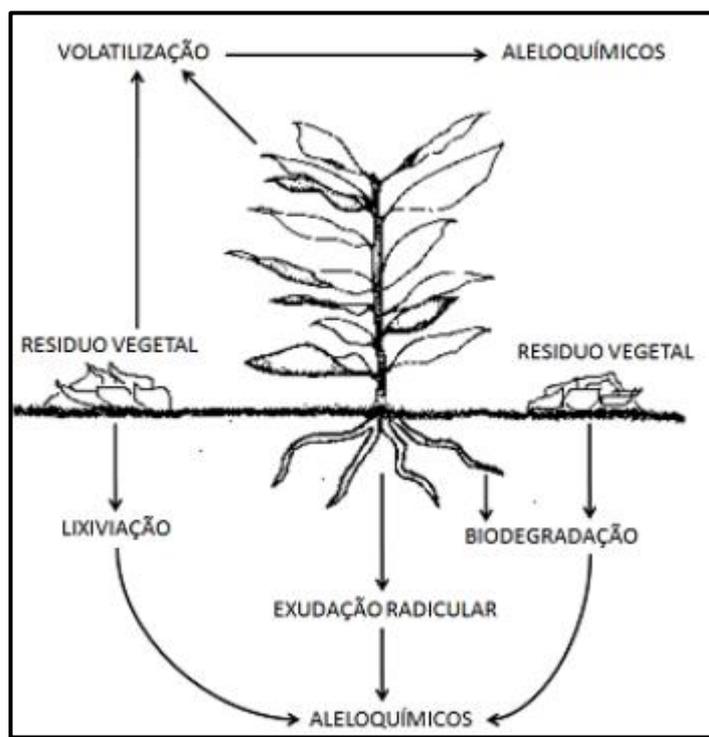


Figura 1: Mecanismos de liberação dos aleloquímicos pelas plantas (Fonte: Gomes 2016).

As fitotoxinas podem ser sintetizadas em concentrações variáveis, de acordo com a espécie produtora, idade e condições edafoclimáticas (Alves 2003, França 2007), que podem diminuir ou aumentar a intensidade de seus efeitos (Bauer *et al.* 2012). Da mesma forma, partes da planta como folha, casca e galhos podem apresentar diferentes efeitos alelopáticos, dependendo da planta receptora (Sartor *et al.* 2015, Araujo *et al.* 2018).

O modo de ação dos aleloquímicos sobre a planta alvo pode ser dividido em ação direta e indireta (Ferreira e Aquila 2000). A ação direta, que é a mais estudada, inclui alterações no crescimento e no metabolismo vegetal, ocorrendo quando o aleloquímico liga-se às membranas da planta ou penetra nas células, interferindo diretamente no seu metabolismo. Já o mecanismo

indireto, pode incluir alterações nas propriedades do solo, de suas condições nutricionais e alterações de populações e/ou atividade dos microorganismos, podendo então afetar a planta alvo (França 2007).

Para Einhelling (1996), a alelopatia é fruto da ação combinada de grupos de aleloquímicos, que interferem nos mais variados processos fisiológicos. Esses fitoquímicos podem inibir a germinação de sementes e o desenvolvimento de plantas (Alves *et al.* 2004, Perry *et al.* 2007).

A ação dos aleloquímicos pode ocasionar a inibição através de efeitos na produção de metabólitos, em estruturas citológicas e ultra-estruturais, hormônios, membranas e sua permeabilidade, absorção de nutrientes, movimento dos estômatos, síntese de pigmentos e fotossíntese, respiração, síntese de proteínas, atividade enzimática, relações hídricas e alterações do DNA e RNA (Rice 1984, Einhelling 1986, Rizvi *et al.* 1992, Inderjit e Dakshini 1995, Spiassi *et al.* 2015). A interferência das substâncias alelopáticas dificilmente é provocada por um único fator isolado, mas sim pela união e ação sinérgica conjunta de várias destas substâncias somadas às condições ambientais (Almeida 1988).

No solo, por exemplo, combinam-se de várias maneiras e embora não se conheça todas as suas funções e substâncias, as que se conhecem podem afetar os componentes da biota no entorno, através da redução de espécies vizinhas em função de suas propriedades físico-químicas (Silva 2012, Sangeetha e Baskar 2015).

A falta geral de compreensão das dinâmicas qualitativas e quantitativas de aleloquímicos na rizosfera é um dos fatores que dificultam o entendimento desse processo (Weidenhamer 1996). É necessário provar que uma substância tóxica é produzida e se acumula, ou persiste o tempo suficiente no ambiente, em concentrações capazes de inibir o desenvolvimento de outras plantas (Radosevich e Holt 1984, Weidenhamer 2005). Segundo White *et al.* (1989), o efeito da alelopatia obtido em bioensaio é de difícil caracterização, pois não são levados em consideração fatores como o solo, alterações moleculares, clima, microorganismos e planta, sendo difícil

extrapolar os resultados para as condições naturais. Além disso, no ambiente, o efeito pode se mostrar de diferente intensidade aos de testes de laboratório (Rosa *et al.* 2011).

A produção desses aleloquímicos representa um importante mecanismo ecológico, utilizado por plantas nativas ou exóticas de um determinado ambiente, para competir e dominar as comunidades vegetais, modificando a estrutura, a composição das comunidades vegetais e afetando o recrutamento de espécies nativas durante o processo de sucessão em florestamentos (Larcher 2000, Scrivanti *et al.* 2003, Rosa *et al.* 2013). Assim, a vegetação de uma determinada área pode ter um modelo de sucessão condicionado às plantas pré-existentes e às substâncias químicas que elas liberaram no meio (Ferreira e Aquila 2000).

Dentro dessa dinâmica ecológica, sabe-se que as fitotoxinas produzidas por espécies consideradas invasoras são eficazes sobre as espécies nativas das áreas invadidas em relação àquelas com as quais a planta invasora co-ocorre naturalmente (Perry *et al.* 2005, Inderjit *et al.* 2008, He *et al.* 2009, Thorpe *et al.* 2009). Porém, algumas espécies compartilham do mesmo ambiente e não produzem tais aleloquímicos, podendo ser relativamente resistentes a esses metabólitos.

Em geral são espécies que co-evoluíram e provavelmente desenvolveram mecanismos de resistência a esses fitoquímicos. Como essa situação não é muito comum, quando se trata de uma espécie invasora, essa possui maior vantagem competitiva em uma nova região quando comparada à sua região nativa, garantindo seu sucesso na invasão (Bais *et al.* 2006).

1.4. Catequina

Catequinas são substâncias pertencentes ao grupo dos fenóis, que podem ter origem nas vias do ácido chiquímico ou mevalônico, sendo reguladas por fatores ambientais como níveis de nutrientes do solo, intensidade luminosa e infecções por patógenos (Novaes 2011). As catequinas estão localizadas no subgrupo dos flavonóides, que ocorre amplamente nas plantas, sugerindo

fazerem parte de uma estratégia evolutiva dos vegetais, podendo ser armazenadas ou liberadas no ambiente (Chobot e Huber 2009, Esquinca e Moreno 2017).

Esses metabólitos estão presentes em diversas plantas, na forma de dois enantiômeros, a (-) e a (+)- catequina (Figura 2) e têm sido enaltecidos por sua fitotoxicidade (Buta e Lusby 1986, Bais *et al.* 2003). Ensaio laboratoriais têm mostrado que a catequina tem realmente efeitos fitotóxicos sobre uma grande variedade de plantas, porém seu nível de toxicidade varia de acordo com a espécie ensaiada, com as condições experimentais e com as combinações com outras substâncias fitotóxicas (Inderjit *et al.* 2008; Favaretto 2018).

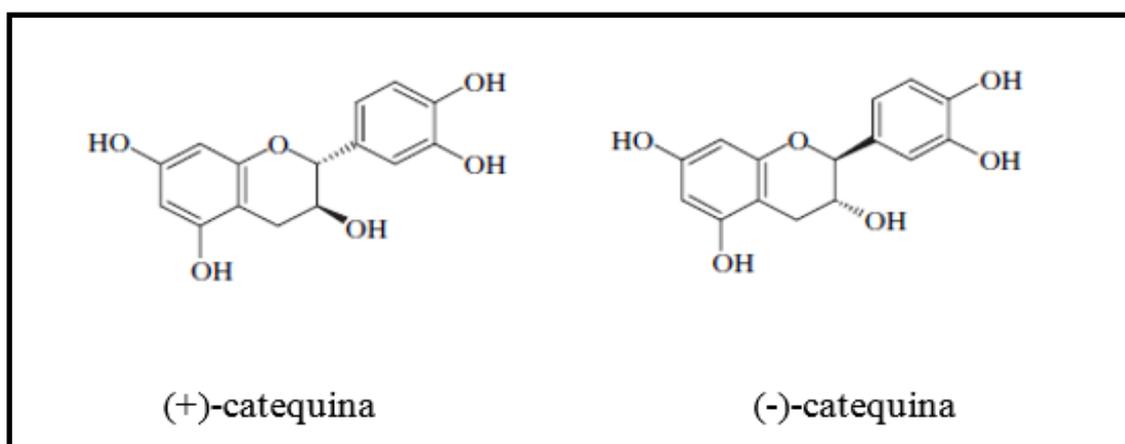


Figura 2: Estrutura química do flavonóide (+) e (-) catequina respectivamente (Adaptado de Pang *et al.* 2007).

Foi verificado que *Centaurea maculosa* (Asteraceae), uma espécie nativa da Eurásia, afeta a germinação e desenvolvimento de gramíneas nativas dos Estados Unidos (He *et al.* 2009). De acordo com esses autores, esse efeito provavelmente está relacionado ao fato de suas raízes exsudarem uma mistura racêmica de (+) e (-)-catequina, capaz de conferir vantagens para *C. maculosa* em períodos críticos do desenvolvimento.

Da mesma forma, Lôbo *et al.* (2008) mostraram que a substância possui poder inibitório. No estudo foram preparados extratos foliares de *Tachigali myrmecophyla* (Ducke), nos quais foi detectada a presença de catequina. As avaliações dos efeitos potencialmente alelopáticos da substância isolada e identificada nos extratos foram realizadas frente à germinação de sementes,

bem como ao desenvolvimento da radícula e do hipocótilo das plantas daninhas malícia (*Mimosa pudica* Benth.) e mata pasto (*Senna obtusifolia* (L.) H.S. Irwin e Barneby). Os resultados mostraram que a catequina afetou negativamente a germinação das sementes das espécies de plantas invasoras de pastagens analisadas, porém seu efeito foi mais expressivo no desenvolvimento.

Ceballos *et al.* (1998) verificaram a exsudação de metabólitos secundários como catequinas, proantocianidinas e luteolina por duas espécies do gênero *Sesbania* sp. Em *Sesbania drummondii* (Rydb) Cory (espécie perene), o flavonóide (+)-catequina foi encontrado em quantidade superior à de (-)-catequina e em *Sesbania vesicaria* (Jacq.) Ell. (espécie anual) houve o predomínio de (-)-catequina. Os autores relataram que a segunda espécie é mais suscetível ao ataque do fungo *Alternaria* sp. e que os exsudatos de suas sementes não causam inibição do crescimento deste microrganismo, evidenciando a atividade antimicrobiana apenas de (+)-catequina.

Estudos recentes relatam que catequina isolada, quando aplicada em sementes de espécies florestais nativas e em sementes de espécies cultivadas, afetou negativamente o crescimento radicular de todas as espécies testadas (Simões *et al.* 2008, Veronesi 2013, Id *et al.* 2015, Mignoni *et al.* 2017, Coelho *et al.* 2019, Id *et al.* 2020).

A molécula de catequina possui grupos hidroxilas que lhe conferem alta reatividade. A estabilidade da catequina também é dependente do pH, sendo que em solução alcalina esta substância é muito instável e decompõe-se em poucos minutos, enquanto em solução ácida ela é relativamente estável (Zhu *et al.* 1997). Os flavonóides apresentam grupos hidroxilas em sua estrutura molecular que podem ser oxidados por radicais livres, resultando em formas mais ou menos instáveis da molécula (Nijveldt *et al.* 2001). Por isso, quando presente em ambientes não controlados podem se modificar e uma das consequências pode ser a perda de seu potencial inibitório. Isso pode explicar os distintos efeitos de exsudatos de sementes de *S. virgata* relatados

em diferentes condições experimentais sobre diferentes espécies (Veronesi 2013, Coelho 2014, Mignoni *et al.* 2017, Id *et al.* 2015, Id *et al.* 2020), visto que a catequina é o principal metabólito exsudado por *Sesbania* (Simões *et al.* 2008).

1.5. *Sesbania virgata* (Cav.) Pers.

Sesbania virgata (Cav.) Pers., material biológico neste estudo, pertence à família Fabaceae e é uma espécie pioneira, nativa da América do Sul (Araújo *et al.* 2004), encontrada principalmente nas áreas de Cerrado e Mata Atlântica, porém já foi registrada com ocorrência no Paraguai, Argentina e Uruguai (Pott e Pott 1994). Apresenta aproximadamente três metros de altura, habita frequentemente beira de rios, lagoas, banhados, solos alagados, arenosos e argilosos (Souza *et al.* 2011) (Figura 3) e possui ciclo de vida curto, por volta de oito e nove anos (Branzini *et al.* 2012). Além disso suas sementes apresentam um alto e rápido índice de germinação e de desenvolvimento, o que faz com que apresente bom potencial de cobertura do solo (Coutinho *et al.* 2005).

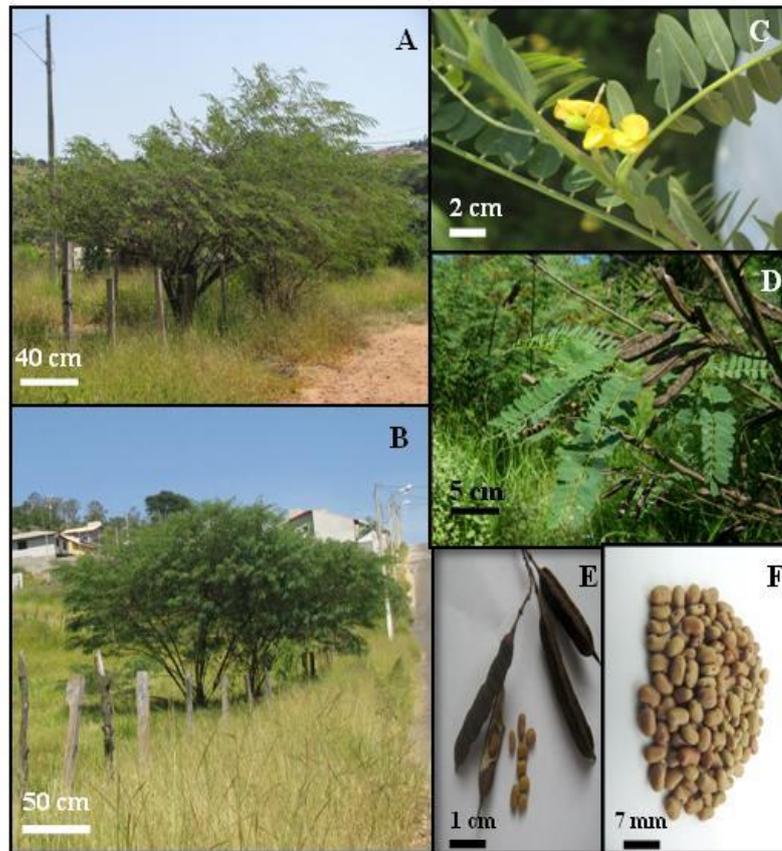


Figura 3: Aspecto da árvore (A e B), da flor (C), do fruto e da folha (D), do fruto e da semente (E) e da semente (F) de *Sesbania virgata*. Foto: Id 2014.

É uma leguminosa que é comumente recomendada e utilizada para a restauração de áreas degradadas, principalmente em regiões de atividades de mineradoras (Samôr 1999, Coutinho *et al.* 2005, Florentino *et al.* 2009; Schiavo *et al.* 2010, Souza *et al.* 2010, Alves *et al.* 2013).

A espécie possui a capacidade de se associar a bactérias fixadoras de nitrogênio, (Branzini *et al.* 2012, Coelho *et al.* 2019), o que de acordo com Santiago *et al.* (2009) e Rodrigues *et al.* (2003), quando em consórcio com plantas não leguminosas, faz com que *S. virgata* contribua tanto para sobrevivência dessas plantas, quanto para a disponibilização de parte do nitrogênio fixado biologicamente.

Os plantios consorciados dessa espécie com leguminosas ou não leguminosas podem alterar as propriedades químicas e físicas do solo, aumentando a deposição de nutrientes via serapilheira, quando comparados a seus monocultivos (Silva 2009). Silva *et al.* 2014 verificaram

que o plantio de *S. virgata* torna o solo da área de revegetação de cava de extração de argila mais propício para o povoamento de espécies seguintes, do que em áreas degradadas, recuperadas pelo processo do surgimento de vegetação espontânea. Foi constatado pelo estudo que o solo da primeira região também passa a apresentar um aumento da diversidade de espécies de fungos micorrízicos arbusculares.

Sementes de *S. virgata* apresentam dormência tegumentar (Souza *et al.* 2011, Silva *et al.* 2011, Costa *et al.* 2018, Langat e Maina 2018), o que favorece a formação de bancos de sementes no solo, já que isso as tornam impermeáveis à água. Além disso, de acordo com Duarte *et al.* (2019), as sementes da espécie apresentam altos índices de germinação em uma ampla faixa de temperatura, de 20°C a 30°C e em diversos tipos de substratos (Delarmelina *et al.* 2014). Foi verificado também, que durante a maturação, as sementes de *S. virgata* seguem o comportamento padrão ortodoxo clássico, onde a redução do teor de água é contínua, sendo mais expressiva ao final desse processo (Teixeira *et al.* 2018), o que pode explicar a alta longevidade do banco de sementes dessa espécie.

Outra característica ecofisiológica de *S. virgata*, é a espécie ser tolerante à permanência em solos inundados, por longos períodos (Zanandrea *et al.* 2010). Alves *et al.* (2013) identificaram o desenvolvimento de estruturas morfo-anatômicas como raízes adventícias, lenticelas e rachaduras no caule de plantas de *S. virgata*, submetidas às condições de alagamento em solo, mostrando que a espécie é capaz de desenvolver um conjunto de adaptações, que permitem que suas plantas consigam tolerar tal situação ambiental. Kreuzwieser *et al.* (2009) também afirmaram que o crescimento contínuo de *S. virgata* sob alagamento sugere que as plantas exibem atividade fotossintética com capacidade suficiente para acúmulo de carboidratos, permitindo o crescimento de brotações e auxiliando nos processos germinativos.

Há acúmulo de galactomanano nas células do endosperma de *S. virgata*, um polissacarídeo de reserva que é mobilizado após a germinação, e cujos produtos de degradação são utilizados

para o desenvolvimento do embrião (Buckeridge e Dietrich 1996). Parte dos açúcares gerados durante a mobilização do galactomanano é exsudada para o meio de embebição, juntamente com substâncias fitotóxicas e antifúngicas, sugerindo a existência de estratégias competitivas e de defesa que garantem o estabelecimento inicial da plântula (Simões 2008).

Todas essas adaptações mencionadas anteriormente garantem a sobrevivência da espécie, até que seus indivíduos encontrem condições favoráveis para os processos de germinação e estabelecimento das plântulas (Pott e Pott 1994, Silva *et al.* 2011). Contudo, ao mesmo tempo que essas adaptações potencializam sua facilidade de cobertura do solo, também faz com que *S. virgata* seja considerada uma planta superdominante, com comportamento de planta invasora (Matos e Pivello 2009), sendo muitas vezes capaz de inibir a competição com outras espécies vegetais, reduzindo significativamente a regeneração do sub-bosque florestal. No nordeste brasileiro, por exemplo, *S. virgata* vem ocupando áreas às margens de rios e de reservatórios, mostrando-se capaz de provocar impactos ambientais em matas ciliares, onde é capaz de suprimir a regeneração natural e de formar maciços populacionais dominantes (Andrade 2006).

Por isso, quando se utiliza uma espécie para restauração é importante entender o comportamento dessa espécie no campo, assim como outras variáveis biológicas, como mecanismos ecológicos, fisiológicos e bioquímicos, que possam favorecer a espécie em questão, causando desequilíbrio ambiental (Soares *et al.* 2002). Nos programas de restauração é comum o uso de espécies pertencentes à família Fabaceae, família botânica a qual *S. virgata* pertence. No entanto existem alguns estudos que evidenciam o potencial alelopático de algumas espécies dessa família (Soares *et al.* 2002, Mercadante-Simões *et al.* 2008, Oliveira *et al.* 2008, Centenaro *et al.* 2009, Cândido *et al.* 2010, Oliveira *et al.* 2012, Aguilera *et al.* 2015, Id *et al.* 2015).

Em áreas de regeneração natural ou de regeneração induzida, a alelopatia pode influenciar a constituição dos ecossistemas, ficando a sucessão vegetal condicionada às plantas pré-existentes (Mercadante-Simões *et al.* 2008). Em relação ao sucesso de conquista de ambientes, a

alelopatia foi reconhecida como um importante mecanismo ecológico que influencia a dominância e a sucessão de plantas, a formação de comunidades, a vegetação e o manejo (Chou, 1986, Goldfarb *et al.* 2009). Estas interações alelopáticas são responsáveis pelo estabelecimento e pela sobrevivência de certas espécies no meio ambiente e são mecanismos que podem ter sido adquiridos ao longo de um processo evolutivo (Gatti 2008, Nicolini *et al.* 2012).

Sesbania virgata é recomendada e usada para restauração de áreas degradadas, principalmente devido ao seu crescimento acelerado e à sua alta capacidade de cobertura do solo, em condições edáficas com propriedades físico-químicas consideradas inóspitas para outras espécies. Contudo, existem evidências que provam que *S. virgata* é capaz de inibir a germinação ou afetar o desenvolvimento de outras espécies vegetais (El Id *et al.* 2015, Mignoni *et al.* 2017, Araujo *et al.* 2018), o que chama atenção em relação ao seu uso para o propósito da restauração.

Em trabalhos realizados pelo grupo no qual esse estudo está inserido, foi demonstrado que os exsudatos de sementes de *S. virgata* causam atraso na germinação, no desenvolvimento e na mobilização dos carboidratos de reserva em espécies cultivadas e arbóreas. Coelho (2014) demonstrou que sementes de *S. virgata* apresentaram efeito alelopático sobre sementes de *Solanum lycopersicum* L. e *Oryza sativa* L., causando inibição e atraso da germinação respectivamente, e reduzindo o desenvolvimento inicial das plântulas.

Foi observado por Veronesi (2013) um efeito negativo mais intenso dos exsudatos de sementes de *S. virgata* sobre a radícula e o metabolismo de carboidratos de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong, (espécie secundária), em relação ao crescimento de *Peltophorium dubium* (Spreng.) Taub. (espécie pioneira). Os resultados obtidos demonstraram que espécies co-ocorrentes, inclusive de diferentes estágios sucessionais também sofrem influência dos exsudatos de *S. virgata*, entretanto, esta é menos intensa que aquela observada para espécies cultivadas.

Id *et al.* (2015) verificaram que, em ensaios de co-germinação com sementes de *S. virgata*, o número crescente de sementes de *S. virgata* (0, 5 e 10 sementes) causou diminuição do processo germinativo de espécies cultiváveis e arbóreas, sendo essa diminuição mais acentuada nas cultiváveis. Em relação ao desenvolvimento inicial, tanto as espécies arbóreas quanto as espécies agrônomicas foram afetadas negativamente quando em contato com sementes de *S. virgata*. Neste mesmo trabalho, ensaios realizados com extratos foliares de *S. virgata* nas concentrações (peso/volume) 0,1, 0,5 e 1% mostraram que a taxa germinativa e o desenvolvimento inicial das espécies arbóreas e agrônomicas não foram afetados negativamente, sugerindo que a maior fonte de aleloquímicos de *S. virgata* não esteja nas folhas e ramos, mas sim nas sementes.

Enquanto, no trabalho citado anteriormente, as espécies nativas foram menos afetadas pela presença de sementes e de extratos de *S. virgata*, Mignoni *et al.* (2017) relataram que sementes de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (leucena), uma espécie exótica, foram sensíveis às fitotoxinas de sementes de *S. virgata*. Ao analisar a co-germinação de *S. virgata* com *L. leucocephala* foi observado atraso na germinação das sementes e inibição no desenvolvimento inicial da espécie exótica. O estudo também relatou que ocorreram alterações no metabolismo dos carboidratos ao longo da germinação de leucena quando na presença das sementes e dos exsudatos de *S. virgata*. Segundo a autora, é possível que *S. virgata* seja capaz de causar inibição no crescimento de *L. leucocephala*, causando desvantagens para esta espécie em estágios iniciais de colonização no ambiente, ao ter contato com as substâncias liberadas por *S. virgata*.

Araújo *et al.* (2018) verificaram que extratos aquosos de folhas e de cascas do caule de *S. virgata* não apresentaram efeito alelopático sobre a porcentagem de germinação de *Lactuca sativa* L., entretanto, tais extratos interferiram na velocidade de germinação. Contrariamente, nesse mesmo estudo, os extratos aquosos oriundos de sementes e de cascas dos frutos de *S. virgata* apresentaram efeito inibitório na germinação de *L. sativa*, demonstrando que determinadas

substâncias alelopáticas podem estar concentradas em maior quantidade em diferentes órgãos vegetais da espécie.

No trabalho realizado por Simões (2008), foi demonstrado que o flavonóide (+)-catequina é a principal fitotoxina exsudada por sementes de *S. virgata* e que a substância foi capaz de inibir desenvolvimento de plântulas de *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. e *Oryza sativa* L., retardando também a germinação de outras espécies cultiváveis, como alface e tomate. A (+)- catequina foi encontrada no tegumento das sementes de *S. virgata*, sendo liberada em altas concentrações (235 µg /semente) após 24 horas de embebição (Simões *et al.* 2008).

Id *et al.* (2015) e Id *et al.* (2020) verificaram que a quantidade de (+)- catequina variou entre populações de *S. virgata* de um mesmo local e entre órgãos, de um mesmo indivíduo, sendo observado presença do metabólito em sementes e em folhas, porém em maiores quantidades nas sementes. Ensaio laboratoriais mostraram que a catequina tem efeitos fitotóxicos sobre uma grande variedade de plantas, porém seu nível de toxicidade varia de acordo com a espécie ensaiada e com as condições experimentais (Inderjit *et al.* 2008).

Ensaio em condições controladas relacionando os efeitos inibitórios de exsudados de sementes e de extratos vegetais das mais variadas espécies e seus efeitos no desenvolvimento de outras culturas são inúmeros (Coelho 2014), porém pouco se sabe sobre como os metabólitos responsáveis por esses efeitos agem em condições naturais, além da escassez de estudos a respeito do efeito fitotóxico da deposição de partes vegetais no ambiente, gerado pela liberação de fitoquímicos oriundos desses órgãos.

Por isso, a compreensão do papel de metabólitos secundários em processos ecológicos como invasão de plantas e interações vegetais exige que a dinâmica e atividade biológica de metabólitos secundários seja estudada em solo (Zhang *et al.* 2011), onde essas substâncias também entram em contato com outros organismos, podendo alterar as reações entre as espécies de diferentes reinos. Nas interações planta-microrganismo, as fitotoxinas oriundas do

metabolismo secundário e produzidas por sementes, exercem papel nos casos da associação simbiótica de algumas espécies da família Fabaceae com bactérias fixadoras de nitrogênio (Ndakidemi e Dakora 2003).

Sabe-se que *S. virgata* estabelece uma simbiose específica e eficiente com *Azorhizobium doebereineriae* (syn. *A. johannae*), no entanto, esta associação não inibe a ocorrência de outras bactérias fixadoras de nitrogênio nodulíferas em leguminosas, que ocorrem saprofiticamente próximo ao seu sistema radicular (Florentino e Moreira 2009; Florentino *et al.* 2009). Ao examinar os efeitos de exsudatos brutos de sementes e de raízes de *S. virgata* sobre fungos micorrízicos arbusculares, Coelho *et al.* (2019) observaram que houve estímulo sobre a flora micorrízica na presença dos exsudatos de sementes.

Esses relatos evidenciam que substâncias oriundas de sementes de *S. virgata* podem tanto ter efeito inibitório como estimulatório em relação ao desenvolvimento da microbiota existente no meio em que a espécie se desenvolve, podendo representar mecanismos que auxiliam a sobrevivência das sementes de *S. virgata*, sendo crucial para seu sucesso no estabelecimento e no desenvolvimento inicial de suas plântulas, em um novo habitat.

Em relação ao seu potencial antimicrobiano, ensaios com extratos obtidos do endosperma de sementes de *S. virgata* evidenciaram a presença de atividade indutora de fitoalexinas (Rahal *et al.* 1998), que são sintetizadas em resposta ao ataque de microrganismos (Shaw *et al.* 2006). Simões *et al.* (2008) detectaram a presença da fitotoxina quercetina em sementes de *S. virgata* (substância tóxica, mas não exsudada para o meio durante a germinação), além da presença do alcalóide sesbanimida A, uma substância com propriedades antifúngicas. Esse alcalóide, detectado nos extratos dos exsudatos das sementes da espécie, foi responsável pela atividade inibitória do crescimento do fungo *Cladosporium sphaerospermum* Penzig. Zerlin (2015) detectou atividade antifúngica de exsudatos de sementes de *S. virgata* contra *Cladosporium cladosporioides* G.A. de Vries.

Compostos químicos, como catequina, quercetina e sesbanimida A, com potencial inibitório, têm outros papéis ecológicos como defesa da planta, quelação de nutrientes e regulação da biota do solo, de modo que afetam a decomposição e a fertilidade do solo (Inderjit *et al.* 2011). A espermosfera, área análoga à rizosfera, representa uma região dinâmica com rápidas mudanças e possui muitos compostos que são liberados para o solo no início do processo de embebição das sementes. (Nelson, 2004). Em alguns solos e para algumas espécies, é a interação da catequina com as comunidades microbianas do solo que causa a inibição do crescimento das plantas (Inderjit *et al.* 2011). Bomfeti *et al.* (2013) evidenciaram que *S. virgata* apresenta uma versatilidade no modo de infecção e no tipo de nódulo como um ajuste às mudanças nas condições ambientais de crescimento.

Como visto até aqui, *S. virgata*, uma espécie pioneira, possui características ecológicas, como formação de banco de sementes, rápido crescimento e bom desenvolvimento em condições ambientais adversas, que podem justificar o sucesso de adaptação dessa espécie, fazendo inclusive com que ela seja reconhecida como uma boa espécie para restauração de áreas degradadas. Além dessas adaptações ecológicas, a espécie aqui estudada também apresenta características fisiológicas, como a presença e a liberação de substâncias alelopáticas, que podem inibir a germinação e o desenvolvimento de espécies competidoras e interferir na microbiota, presente no solo. No entanto não se sabe se o sucesso dessa espécie é devido ao seu comportamento ecológico ou se também pode ser atribuído às suas adaptações fisiológicas, que podem ser consideradas, porém ainda não comprovadas, cruciais para garantir o desenvolvimento inicial de plântulas e o estabelecimento das plantas adultas (Nelson, 2004). Conhecer os agentes externos que desencadeiam, em condições não controladas, a produção dessas substâncias e como estas agem no ambiente natural, incluindo seus efeitos sobre a microbiota, é fundamental para compreender os processos envolvidos no sucesso durante a chegada da espécie em um novo ambiente.

2. OBJETIVO GERAL

O presente estudo teve como objetivo geral verificar quais fatores podem induzir ou não a produção de fitotoxinas, oriundas de órgãos de *Sesbania virgata*, e como tais substâncias atuam no sucesso desta espécie, na conquista de novos ambientes.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abreu, R.C., Hoffmann, W.A., Vasconcelos, H.L., Pilon, N.A., Rossatto, D.R., & Durigan, G. 2017. The biodiversity cost of carbon sequestration in tropical savanna. *Science advances* 3(8): e1701284.

Aguilera, N., Guedes, L.M., Becerra, J., Baeza, C., & Hernández, V. 2015. Morphological effects at radicle level by direct contact of invasive *Acacia dealbata* Link. *Flora* 215: 54–59.

Albuquerque, M.B., Santos, R.C., Lima, L.M., Melo Filho, P.A., Nogueira, R.J.M.C., Câmara, C.A.G., & Ramos, A.R. 2010. Allelopathy, an alternative tool to improve cropping systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 31: 379-395.

Allem, L.N. 2010. Atividade alelopática de extratos triturados de folhas de *Caryocar brasiliense* Camb. (Caryocaraceae) sobre crescimento inicial de espécie alvo e identificação de frações ativas através do fracionamento em coluna cromatográfica. 84f. Dissertação de Mestrado-Universidade de Brasília, Brasília/DF.

Almeida, F.S. 1988 A alelopatia em plantas. Londrina, IAPAR, Circular, 55: 62p.

Alves, J. D., Zanandrea, I., Deuner, S., de FP Goulart, P., de Souza, K. R., & Santos, M. D. O. 2013. Antioxidative responses and morpho-anatomical adaptations to waterlogging in *Sesbania virgata*. *Trees* 27(3): 717-728.

Alves, L.W.R. 2003. Interferência alelopática da cultura do milho (*Zea mays* L.) sobre a cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) plantada em sucessão. 89f. Tese de Doutorado-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

Alves, M.D.C.S., Medeiros Filho, S., Innecco, R., & Torres, S.B. 2004. Alelopatia de extratos voláteis na germinação de sementes e no comprimento da raiz de alface. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 39(11): 1083-1086

Amato-Lourenço, L.F., Moreira, T.C.L., Arantes, B.L.D., Silva Filho, D.F. D., & Mauad, T. 2016. Metrôpoles, cobertura vegetal, áreas verdes e saúde. *Estudos Avançados* 30(86): 113-130.

Anand, M. & Desrochers, R.E. 2004. Quantification of restoration success using complex systems concepts and models. *Restoration Ecology* 12(1): 117-123.

Andrade, J.R. & Santos, S.C. 2014. Estudo sobre o desmatamento da mata atlântica na Paraíba. *REBES* 4(2): 24-33.

Antonelli, J., Lindino, C. A., & Bariccatti, R. A. 2016. Allelopathic effect of irrigation with different concentrations of leaf extracts of *Jatropha curcas* L. on growth *Brassica oleracea*. *African Journal of Agricultural Research* 11(9): 779-782.

Araújo, E., Mendonça, A.V., Barbosa, D.G., Lamonica, K.R., & Silva, R.F. 2004. Caracterização morfológica de frutos, sementes e plântulas de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. *Revista Brasileira de Botânica* 26: 105-110.

Araujo, E.C.G., Silva, T.C., & de Lima, T.V. 2018. Efeitos alelopáticos de *Sesbania virgata* (cav.) Pers na germinação de sementes de alface. *Revista Engenharia na Agricultura* 26(2): 101-109.

Aronson, J., Durigan, G., & Brancalion, P.H.S. 2011. Conceitos e definições correlatos à ciência e à prática da restauração ecológica. *Instituto Florestal Série Registros* 44: 1-38.

Arraes, R.D.A., Mariano, F.Z., & Simonassi, A.G. 2012. Causas do desmatamento no Brasil e seu ordenamento no contexto mundial. *Revista de Economia e Sociologia Rural* 50(1): 119-140.

Bais, H.P., Vepachedu, R., Gilroy, S., Callaway, R.M., & Vivanco, J.M. 2003. Allelopathy and exotic plant invasion: from molecules and genes to species interactions. *Science* 301: 1377-1380.

Barbosa, L. M., Shirasuna, R. T., Lima, F. D., Ortiz, P. R. T., Barbosa, K.C. & Barbosa, T.C. 2017. Lista de espécies indicadas para restauração ecológica para diversas regiões do Estado de São Paulo. São Paulo: Instituto de Botânica, 2017. 344p.

Barbosa, L.M., Shirasuna, R.T., Lima, F.D., & Ortiz, P.R.T. 2015. Lista de espécies indicadas para restauração ecológica para diversas regiões do estado de São Paulo. *Simpósio de Restauração Ecológica VI*: 303-436.

Bauer, J.T., Shannon, S.M., Stoops, R.E., & Reynolds, H.L. 2012. Context dependency of the allelopathic effects of *Lonicera maackii* on seed germination. *Plant Ecology* 213: 1907-1916.

Bayma, A.P., & Sano, E.E. 2015. Séries temporais de índices de vegetação (NDVI e EVI) do sensor modis para detecção de desmatamentos no bioma cerrado. *Boletim de Ciências Geodésicas* 21(4).

Bhadoria, P.B.S. 2011 Allelopathy: A Natural Way towards Weed Management. American Journal of Experimental Agriculture 1(1): 7-20.

Bomfeti C.A., Ferreira P.A.A., Carvalho T.S., De Rycke R., Moreira F.M.S, Goormachtig S., Holsters M. 2013. Nodule development on the tropical legume *Sesbania virgata* under flooded and non-flooded conditions. Plant Biology 15: 93-98.

Brancalion, P.H.S., Rodrigues, R.R., Gandolfi, S., Kageyama, P.Y., Nave, A.G., Gandara, F.B., Barbosa, L.M., & Tabarelli, M. 2010. Instrumentos legais podem contribuir para a restauração de florestas tropicais biodiversas. Revista Árvore 34(3): 455-470.

Branzini, A., González, R.S. & Zubillaga, M. 2012. Absorption and translocation of copper, zinc and chromium by *Sesbania virgata*. Journal of Environmental Management 102:50-54.

Brasil, 1981. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, p. 16509, 02 set. 1981.

Brasil, 2000. Lei n. 9.985, de 18 de julho de 2000. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, p. 1, 19 jul. 2000.

Brasil. 2015. Ministério do Meio Ambiente –MMA.2015. Mapeamento do Uso e Cobertura do Cerrado: Projeto TerraClass Cerrado 2013. Brasília: MMA, 2015. 67p. Disponível: <http://www.dpi.inpe.br/tccerrado/Metodologia_TCCerrado_2013.pdf>..

Brasil. 2018. Ministério do Meio Ambiente – MMA. 2018. Governo divulga desmatamento no Cerrado. Disponível: <<http://www.mma.gov.br/index.php/comunicacao/agenciainformma?view=blog&id=3066/>>.

Buckeridge, M.S. & Dietrich, S.M.C. 1996 Mobilisation of the raffinose family oligosaccharides and galactomannan in germinating seeds of *Sesbania marginata* Benth. (Leguminosae- Faboideae). Plant Science 117: 33-43.

Buta, J.G. & Lusby, W.R. 1986. Catechins as germination and growth inhibitors in *Lespedeza* seeds. Phytochemistry 25: 93-95.

Callaway, R.M. & Ridenour, W.M. 2004. Novel weapons: invasive success and the evolution of increased competitive ability. Front Ecology Environmental 2: 436–443.

Cândido A.C.S, Schmidt V., Laura V.A., Faccenda O., Hess S.C., Simionatto E., & Peres M.T.L.P. 2010. Potencial alelopático da parte aérea de *Senna occidentalis* (L.) Link (Fabaceae, Caesalpinioideae): bioensaios em laboratório. Acta Botanica Brasilica 24:235–242.

Carpanezzi, A.A., Costa, L.G.S., Kageyama, P.Y., & Castro, C.F.A. 1990. Espécies pioneiras para recuperação de áreas degradadas: a observação de laboratórios naturais. In: Congresso Brasileiro, 6, Campos do Jordão, Anais. São Paulo: SBS/SBEF, pp. 329-336.

Ceballos, L., Hossaert-Mckey, M., Mckey, D. & Andary, C. 1998. Rapid deployment of allelochemicals in exudates of germinating seeds of *Sesbania* (Fabaceae): roles of seed anatomy and histolocalization of polyphenolic compounds in anti-pathogen defense of seedlings. *Chemoecology*, 8: 141-1

Centenaro, C., Corrêa, L.G.P., Karas, M.J., Virtuoso, S., Dias, F.G., Miguel, O.G., & Miguel, M.D. 2009. Contribuição ao estudo alelopático de *Erythrina velutina* Willd. Fabaceae. *Revista Brasileira Farmacognosia* 19:304–308.

Chobot, V. & Huber, C. 2009. (±)- Catechin: Chemical weapon, antioxidant, or stress regulator? *Journal of Chemical Ecology* 35: 950-996.

Chou, C.H. 1986. The role of allelopathy in subtropical agroecosystems of Taiwan. pp. 57-73. In: Putnam, A.R.; Tang, C.S. *The science of allelopathy*. New York: John Wiley e Sons

CI-Brasil (Conservation International do Brasil), Fundação SOS Mata Atlântica, Fundação Biodiversitas, IPÊ, SMA-SP & SEMAD-MG. (2000). Avaliação e Ações Prioritárias para Conservação da Biodiversidade da Mata Atlântica e Campos Sulinos. MMA/SBF, Brasília

Coelho, L., Mignoni, D.S., Silva, F.S. & Braga, M.R. 2019. Seed exudates of *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. stimulate the asymbiotic phase of the arbuscular mycorrhizal fungus *Gigaspora albida* Becker & Hall. *Hoehnea* 46(1): e272018.

Coelho, L.C.S. 2014. Potencial alelopático in vitro dos exsudatos de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. sobre tomate e arroz e em fungos micorrízicos arbusculares na fase assimbiótica. 96f. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo.

Corrêa, R.S. & Melo, B. F. 1998. Ecologia da revegetação em áreas escavadas. In: Corrêa, R. S.; MELO, B. F. *Ecologia e recuperação de áreas degradadas no Cerrado*. Brasília: Paralelo 15. 65-99p.

Costa, R.N., Santos, W.J., Lima, J.L., Acchile, S., Neto, A.S., & Silva, J.V. 2018. Evaluation of different pre-germinative methods for three tree species of the Fabaceae family in different environments. *Scientific Electronic Archives* 11(1): 35-43.

Coutinho, M.P., Carneiro, J.G.A., Barroso, D.G., Rodrigues, L.A., Figueiredo, F.A.M.M.A., Mendonça, A.V.R., & Novaes, A.B. 2005. Crescimento de mudas de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. plantadas em uma área degradada por extração de argila. *Floresta* 35: 231-239.

Dantas, S.G. 2018. Potencial alelopático de folhas, caule e raiz de *Melia azedarach* em espécies de ocorrência na caatinga. 76f. Tese de Doutorado-Universidade Federal da Paraíba Areia, PB

Davide, A.C. & Botelho, S.A. 1999. Análise crítica dos programas de reposição de Matas Ciliares em Minas Gerais. In: Simpósio Mata Ciliar,1., Belo Horizonte, MG. Anais... Belo Horizonte, Ciência e Tecnologia. Belo Horizonte: UFLA, 1999. 172-188p.

Delarmelina, W.M., Caldeira, M.V.W., Faria, J.C.T., Gonçalves, E.D.O., & Rocha, R.L.F. 2014. Diferentes substratos para a produção de mudas de *Sesbania virgata*. Floresta e Ambiente 21(2): 224-233.

Duarte, M.M., de Freitas Milani, J.E., de Oliveira, T.W.G., Blum, C.T., & Nogueira, A.C. 2019. Seed morphobiometry and germination of *Sesbania punicea* (Cav.) Benth. and *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. Floresta 49(4): 661-670.

Duarte, T.E.P., Angeoletto, F.H. ., Santos, J.W.M.C., da Silva Leandro, D., Bohrer, J.F.C., Vacchiano, M.C., & Leite, L.B. 2017. O papel da cobertura vegetal nos ambientes urbanos e sua influência na qualidade de vida nas cidades. Desenvolvimento em Questão 15(40): 175-203.

Durigan, G. 2012. Cerrado: o trade-off entre a conservação e o desenvolvimento. Parcerias Estratégicas 15(31): 243-251.

Einhellig, F.A. 1996. Interactions involving allelopathy in cropping systems. Agronomy Journal 88: 886-893.

Engel, V.L. & Parrota, J.A. 2008. Definindo a restauração ecológica: Tendências e perspectivas mundiais. pp.01-26. In: Kageyama, P.Y.; Oliveira, R.E.; Moraes, L.F.D.; Engel, V.L.; Gandara, F.B. Restauração ecológica de ecossistemas naturais. 2008. 1ed. FEPAF: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais. Botucatu, SP. 340p.

Esquinca, A. R. G., & Moreno, M. C. 2017. Papel ecológico de los metabolitos secundarios. Lacandonia 2(1): 123-130.

Fantinel, R., Palmeira, A., Santos, M., & Benedetti, A. 2012. Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas ao mapeamento do uso da cobertura da terra no arroio capão, São Gabriel-RS. Revista eletrônica de gestão, educação e tecnologia ambiental, 5: 917-925.

Favaretto, A. 2018. Identificação e avaliação de compostos bioativos de capim-annoni em plantas daninhas. 112f. Tese de Doutorado- Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, MG.

Feng, G., Chen, M., Ye, H.C., Zhang, Z.K.; Li, H., Chen, L.L., Chen, X.L., Yan, C., & Zhang, J. 2019. Herbicidal activities of compounds isolated from the medicinal plant *Piper sarmentosum*. *Industrial Crops e Products* 132: 41-47.

Ferreira, A.G. & Aquila, M.E.A. 2000. Alelopatia: uma área emergente da ecofisiologia. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal* 12: 175-204.

Florentino L.A. & Moreira F.M.S. 2009. Symbiotic and phenotypic characteristics of *Azorhizobium doebereinae*, microsymbiont of *Sesbania virgata*. *Revista Árvore* 33: 215-226.

Florentino, L.A., Guimarães, A.P., Rufini, M., da Silva, K., & Moreira, F.M.S. 2009. *Sesbania virgata* stimulates the occurrence of its microsymbiont in soils but does not inhibit microsymbionts of other species. *Scientia Agricola* 66: 667-676.

França, A.C. 2007. Potencial alelopático de híbridos de milho no desenvolvimento inicial de cafeeiros (*Coffea arabica* L.). 69f. Dissertação de Mestrado Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

Fundação SOS MATA ATLÂNTICA / INPE. Atlas dos remanescentes florestais e ecossistemas associados da Mata Atlântica no período de 2000-2005. São Paulo: INPE, 2006. Disponível em: <https://www.sosma.org.br>.

Gandolfi, S., Rodrigues, R.R., Barbosa, L.M., & Viani, R. 2015. Restauração ecológica de florestas tropicais: Estágio Atual. pp.13-20. In: Barbosa, L.M. Restauração ecológica: novos rumos e perspectivas: VI Simpósio de Restauração Ecológica. 2015. São Paulo: Instituto de Botânica, 436p.

Garcia, Y.M. 2012. O código florestal brasileiro e suas alterações no Congresso Nacional. *Geografia em Atos* 1(12): 54-74.

Gatti, A.B. 2008. Atividade alelopática de espécies do cerrado. 136 f. Tese de Doutorado- Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP.

Gatti, A.B., Perez, S.C.J.G.D., & Lima, M.I.S. 2004. 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* 18(3): 459-472.

Gobbo-Neto, L. & Lopes, N.P. 2007. Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. *Química nova* 30(2): 374-381.

Goldfarb, M., Pimentel, L.W., & Pime, N.W. 2009. Alelopatia: relações no agroecossistemas. *Revista Tecnologia e Ciência Agropecuária* 3(1): 23-28.

Gomes, A.B. 2016 Potencial alelopático de extratos de folhas de *Geonoma schottiana* (Arecaceae). 86f. Dissertação de Mestrado- Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES.

Goosem, S. & Tucker, N.I.J. 1995. Repairing the rain forest. Cairns: Wet Tropics Management Authority, 72p.

Gurevitch, J., Scheiner, S.M., & Fox, G.A. Ecologia Vegetal. 2009. 2ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. pp283-305.

He, W-M., Feng, Y., Ridenour, W.M., Thelen, G.C., Pollock, J.L., Diaconu, A., & Callaway, R.M. 2009. Novel weapons and invasion: biogeographic differences in the competitive effects of *Centaurea maculosa* and its root exudates (\pm)-catechin. *Oecologia* 159: 803-815.

Herrera, R.S. 1995. Alelopatia. *Ciência e Educação* 2(1): 84-70.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. 1990. Manual de Recuperação de áreas degradadas pela mineração. Brasília: IBAMA, 1990. 96p.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. “*Monitoramento do Bioma Cerrado 2010.*” Last modified in July 10, 2013. http://siscom.ibama.gov.br/monitorabiomas/cerrado/RELATORIO%20FINAL_CERRADO_2010.pdf.

Id, V.L.E., Costa, B.V., Mignoni, D.S.B., Veronesi, M.B., Simões, K., Braga, M.R., & Santos-Junior, N.A. 2015. Phytotoxic effect of *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. on seeds of agronomic and forestry species. *Journal of Forestry Research* 26: 339-346.

Id, V.L.E., Braga, M.R., & Santos Junior, N.A.D. 2020. Germination and initial development of forest species under the action of catechin, presents in seeds of *Sesbania virgata* (Cav.) Pers.(Fabaceae). *Hoehnea* 47: e472020

Inderjit & Dakshini, K.M.M. 1995. On laboratory bioassays in allelopathy. *Botanical Review* 61(1): 28-44.

Inderjit, Pollock, J.L., Callaway, R.M., & Holben, W. 2008. Phytotoxic effects of (\pm)catechin in vitro, in soil, and in the field. *Plos One* 3: 1-11.

Inderjit, Wardle, D.A., Karban, R., & Callaway, R.M. 2011. The ecosystem and evolutionary contexts of allelopathy. *Trends in Ecology and Evolution* 26: 655-662.

International Tropical Timber Organization. Guideliness for the restoration, management and rehabilitation of degraded and secondary tropical forests. Yokohama, 2002. 84p.

Iqbal, A. & Fry, S. 2012. Potent endogenous allelopathic compounds in *Lepidium sativum* seed exudate: effects on epidermal cell growth in *Amaranthus caudatus* seedlings. *Journal of Experimental Botany* 63: 2595–2604.

Januario, I. R., Moura, M. A. L., Santos, M. F., Vasconcelos, F. L., & Barros, R. F. 2017. Análise intrasazonal da radiação solar global (RG) e albedo em um ecossistema de mata atlântica. *Revista IberoAmericana de Ciências Ambientais* 8(4): 66-73.

Kageyama, P., Gandara, F.B., & Oliveira, R.E. 2008. Biodiversidade e Restauração da Floresta Tropical. pp. 29-48. In: Kageyama, P.Y.; Oliveira, R.E.; Moraes, L.F.D.; Engel, V.L., Gandara, F.B. *Restauração ecológica de ecossistemas naturais*. 1ed. FEPAF: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais. Botucatu, SP. 340p.

Klink, C.A., & Machado, R.B. 2005. A conservação do Cerrado brasileiro. *Megadiversidade* 1(1): 147-155.

Kreuzwieser, J., Hauberg, J., Howell, K.A., Carroll, A., Rennenberg, H., Millar, A.H., & Whelan, J. 2009. Differential response of gray poplar leaves and roots underpins stress adaptation during hypoxia. *Plant Physiology* 149:461–473.

Lamb, D., Erskine, P.D., & Parrota, J.A. 2005. Restoration of degraded tropical forest landscapes. *Science* 310: 1628-1632.

Langat, K.K., & Maina, F.N. 2018. Breaking secondary dormancy in *Sesbania* (*Sesbania sesban*) seeds. *Asian Journal of Research in Agriculture and Forestry*: 1-4.

Larcher, W. 2000. *Ecofisiologia vegetal*. São Carlos: RiMa. p. 531

Lee, I.K. & Monsi, M. 1963. Ecological studies on *Pinus densiflora* forest. I- Effects of plant substances on the floristic composition of the undergrowth. *Botanical Magazine* 76: 400-413.

Lima, D. L., Alves, T. S., Oliveira, A. P. G., Catalani, T. G. T., Dalmas, F. B., & Paranhos Filho, A. C. 2020. Semiautomatic and quantification identification of deforestation by Remote Sensing. *Research, Society and Development* 9(4): 30942721.

Lôbo, L.T., Castro, K.C.F., Arruda, M.S.P., Silva, M.N., Arruda, A.C., Müller, A.H., Arruda, G.M.S.P., & Santos, A.S. 2008. Potencial alelopático de catequinas de *Tachigali myrmecophyla* (Leguminosae). *Química Nova* 31:493-497.

Longhi, S.J., Brena, D.A., Gomes, J.F., Narvaes, I.S., Berger, G., & Soligo, A.J. 2006. Classificação e caracterização de estágios sucessionais em remanescentes de floresta ombrófila mista na flora de São Francisco de Paula, RS, Brasil. *Ciência Florestal* 16(2): 113-125.

Longo, R. M., Ribeiro, A. Í., & Melo, W. J. 2011. Uso da adubação verde na recuperação de solos degradados por mineração na floresta amazônica. *Bragantia*: 139-146.

Lorenzi, H. 1992. *Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. Nova Odessa, SP: Editora Plantarum, 1992. 368 p.

Mallik, A.U. & Inderjit, 2002. Problems and prospects in the study of plant allelochemicals: a brief introduction. pp.1-5. In: Inderjit; Mallik A.U.; Birkhäuser Verlag (Eds.), Chemical ecology of plants: Allelopathy in aquatic and terrestrial ecosystems, Baser-Boston-Berlin. 260p.

Martins, S.V., Sartori, M., Raposos Filho, F.L., Simoneli, M., Dadaltoo, G., Pereira, M.L., & Silva, A.E.S. 2014. Manual de procedimentos gerais para a restauração florestal no estado do Espírito Santo. CEDAGRO-Centro de Desenvolvimento de Agronegócio. Vitória, ES. 23p.

Matos, D.M.S. & Pivello, V.R. 2009. O impacto das plantas invasoras nos recursos naturais de ambientes terrestres- Alguns casos brasileiros. *Ciência e Cultura* 61 (1): 27-30.

McAlpine, C., Catterall, C. P., Nally, R. M., Lindenmayer, D., Reid, J. L., Holl, K. D., ... & Seabrook, L. 2016. Integrating plant-and animal-based perspectives for more effective restoration of biodiversity. *Frontiers in Ecology and the Environment* 14(1): 37-45.

Mercadante-Simões, M.O., Ribeiro, L. M., Lopes, P. S. N., Gusmão, E., & Dias, B. A. S. 2008. Efeitos alelopáticos de seis espécies arbóreas da família Fabaceae. *Unimontes Científica* 7(2): 121-128.

Mignoni, D.S.B., Simões, K. & Braga, M.R. 2017. Potential allelopathic effects of the tropical legume *Sesbania virgata* on the alien *Leucaena leucocephala* related to seed carbohydrate metabolism. *Biological Invasions* 20(1): 165-180.

Mittermeier, R.A., P.R. Gil, M. Hoffmann, J. Pilgrim, J. Brooks, C.G. Mittermeier, J. Lamourux & G.A.B. Fonseca. 2004. Hotspots Revisited: Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions. Cemex. Washington, DC.

MMA, 2002. Ministério do Meio Ambiente Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa - PLANAVEG - Versão Preliminar. 79

MMA, 2016. Ministério do Meio Ambiente 2016 PLANAVEG: Plano Nacional de Recuperação da Vegetação

Myers, N., R. A. Mittermeier, C. G. Mittermeier, G. A. B. Fonseca & J. Kent. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858.

Ndakidemi, P.A. & Dakora, F.D. 2003. Legume seed flavonoids and nitrogenous metabolites as signals and protectants in early seedling development. *Functional Plant Biology* 30: 729-745.

Nelson, E.B. 2004. Microbial dynamics and interactions in the spermosphere. *Annual Review of Phytopathology* 42: 271-309

Neves, R. 2005. Potencial alelopático da cultura da canola (*Brassica napus* L. var. oleifera) na supressão de picão-preto (*Bidens* sp.) e soja.. 77f. Dissertação de Mestrado- Universidade de Passo Fundo- Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Passo Fundo, RS.

Nicolini, J.T., Bido, G.S., & Zonetti, P.C. 2012. Efeito do extrato aquoso de *Passiflora edulis* Sims sobre a germinação e crescimento inicial de alface. Revista em Agronegócios e Meio Ambiente 5(1): 191-203.

Nijveldt, R.J., van Nood, E., van Hoorn, D.E.C., Boelens, P.G., van Norren, K., & van Leeuwen, P.A.M. 2001. Flavonoids: a review of probable mechanisms of action and potential applications. The American Journal of Clinical Nutrition 74: 418–425.

Nogueira, N.O., Oliveira, O. M., Martins, C. D. S., & Bernardes, C. D. O. 2012. Utilização de leguminosas para recuperação de áreas degradadas. Enciclopédia Biosfera 8(14): 2012-2031.

Nogueira, W.L.P., Ferreira, M. J., & Martins, N. O. A. 2015. Estabelecimento inicial de espécies florestais em plantio para a recuperação de área alterada no Amazonas. Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences, Manaus 58(4): 365-371.

Odum, E.P. 1988. Fundamentos da ecologia. 4.ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 927p.

Oliveira, A.K., Coelho, M.F.B., Maia, S.S.S., Diogenes, F.E.P., & Medeiros Filho, S. 2012. Alelopatia de extratos de diferentes órgãos de mulungu na germinação de alface. Horticultura Brasileira 30:480–483

Oliveira, D.C., Soares, G.L.G., & Isaias, R.M.S. 2008. Phytotoxicity of the extracts of *Lonchocarpus muehlbergianus* Hassl. (Fabaceae) leaflets and galls on seed germination and early development of lettuce. Acta Botanica Brasilica 22:1095–1100

Oliveira, F.X. 2006. Impactos da invasão da Algaroba - *Prosopis juliflora* (sw.) DC. sobre o componente arbustivo-arbóreo da caatinga nas microrregiões do Curimataú e do Seridó nos estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte.138f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba, Areia.

Oliveira, R. E. D. 2011. O estado da arte da ecologia da restauração e sua relação com a restauração de ecossistemas florestais no bioma Mata Atlântica.

Organização das Nações Unidas, 2020. Acesso em: <<https://nacoesunidas.org/acao/meio-ambiente/>>

Pereira, I.M., Botelho, S.A., & Davide, A.C. 2015. Restauração de ecossistemas: bases ecológicas e silviculturais. pp. 369-432. In: Fundamentos e métodos de restauração de ecossistemas florestais: 25 anos de experiência em matas ciliares. (Ed.): A.C. Davide, S.A. Botelho- Lavras: UFLA. 636 p.

Pereira, R. J., & Cardoso, M.G. 2012. Metabólitos secundários vegetais e benefícios antioxidantes. *Journal of biotechnology and biodiversity* 3(4): 146-152.

Pereira, Z. V., Fernandes, S. S. L., Sangalli, A., & Mussury, R. M. 2012. Usos múltiplos de espécies nativas do bioma Cerrado no Assentamento Lagoa Grande, Dourados, Mato Grosso do Sul. *Revista Brasileira de Agroecologia* 7(2): 126-136.

Perry, L.G., Johnson, C., Alford, E.R., Vivanco, J.M., & Paschke, M.W. 2005. Screening of grassland plants for restoration after spotted knapweed invasion. *Restoration Ecology* 13: 725-735.

Perry, L.G., Thelen, G.C., Ridenour, W.M., Callaway, R.M., Paschke, M.W., & Vivanco, J.M. 2007. Concentrations of the allelochemical (\pm)-catechin in *Centaurea maculosa* soils. *Journal Chemical Ecology* 33: 337-344.

Pickett, S.T.A., Cadenasso, M.L., & Meiners, S.J. 2009. Ever since Clements: From Succession to Vegetation Dynamics and Understanding to Intervention. *Applied Vegetation Science* 12(1): 9-21.

Piña-Rodrigues, F.C.M., Reis, L.L., & Marques, S.S. 1997. Sistemas de plantio adensado para a revegetação de áreas degradadas da Mata Atlântica: bases ecológicas e comparações de custo-benefício com o sistema tradicional. *Floresta e Ambiente* 4: 30-41.

Piña-Rodrigues, F.C.M & Lopes, B.M. 2001. Potencial alelopático de *Mimosa caesalpinaefolia* Benth sobre sementes de *Tabebuia alba* (Cham.) Sandw. *Floresta e Ambiente* 8(1): 130 - 136.

PNUMA- Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. 2016. Acesso em: <<https://nacoesunidas.org/brasil-reduziu-desmatamento-mas-ainda-enfrenta-diversas-ameacas-a-biodiversidade-alerta-pnuma/>>

Poloni, R. J. S. 2008. A Etnoarqueologia no Brasil: ciência e sociedade no contexto da redemocratização. 2008. 155f. Tese de Doutorado- Universidade do Algarve, Faculdade de Ciências Humanas e Sociais, Faro, Portugal.

Pott, A. & Pott, V.J. 1994. Plantas do Pantanal. EMPRAPA/CPAP/SPI, Corumbá, 320p.

Prince, E.K. & Pohnert, G. 2010. Searching for signal in the noise: metabolomics in chemical ecology. *Anal Bioanal Chem* 396: 193–197.

Qin, F., Liu, S., & Yu, S. 2018. Effects of allelopathy and competition for water and nutrients on survival and growth of tree species in *Eucalyptus urophylla* plantations. *Forest Ecology and Management* 424: 387-395.

Radosevich, S.R. & Holt, J.S. 1984. *Weed ecology: implications for vegetation management.* John Wiley e Sons Inc. 265p.

Rahal, R.L., Braga, M.R., & Buckeridge, M.S. 1998. Phytoalexin-inducing activity generated during galactomannan degradation in seeds of *Sesbania virgata*. Programa e resumos da XXVII Reunião Anual da SBBq. E-14.

Reigosa, M., Gomes, A.S., Ferreira, A.G., & Borghetti, F. 2013. Allelopathic research in Brazil. *Acta Botanica Brasilica* 27(4): 629-646.

Reis, A. & Kageyama, P.Y. 2008. Restauração em áreas degradadas utilizando interações interespecíficas. pp.91-110. In: Kageyama, P.Y.; Oliveira, R.E.; Moraes, L.F.D.; Engel, V.L.; Gandara, F.B. *Restauração ecológica de ecossistemas naturais.* 2008. 1ed. FEPAF: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais. Botucatu, SP. 340p.

Rezende, C.M., Corrêa, V.F., Costa, A.V., Castro, B., & Alves, R.J. 2004. Constituintes químicos voláteis das flores e folhas do pau-brasil (*Caesalpinia echinata*, Lam.). *Química Nova* 27(3): 414-416.

Rice, E. L. 1984 *Allelopathy.* Orlando: Academic Press. 422p.

Rice, E.L. 1977. Some roles of allelopathic compounds in plant communities. *Biochemical Systematics and Ecology* 5(3): 201-206.

Rizvi, S.J.H., Haque, H., Singh, & V.K., Rizvi, V. 1992. A discipline called allelopathy. In: Rizvi, S.J.H., Rizvi, V. (Eds.), *Allelopathy: Basic and Applied Aspects.* Chapman e Hall, London, UK, pp.1–10.

Rocha, G.P., Fernandes, L.A., Cabacinha, C.D., Lopes, I.D.P., Ribeiro, J.M., Frazão, L.A., & Sampaio, R.A. 2014. Caracterização e estoques de carbono de sistemas agroflorestais no Cerrado de Minas Gerais. *Ciência Rural* 44(7): 1197-1203.

Rocha, Y.T. 2010. Distribuição geográfica e época de florescimento do Pau-Brasil (*Caesalpinia echinata* LAM.–Leguminosae). *Revista do Departamento de Geografia* 20: 23-36.

Rodrigues, A.B.M., Giuliatti, N.M., & Júnior, A.P. 2020. Application of methodologies for degraded areas recovering in the Brazilian Biomes. *Brazilian Applied Science Review* 4(1): 333-369.

Rodrigues, F.C.M.P. & Lopes, B.M. 2001. Potencial alelopático de *Mimosa caesalpinaefolia* Benth sobre sementes de *Tabebuia alba* (Cham.) Sandw. Floresta e Ambiente 8(1): 130-136.

Rodrigues, L.A.; Martins, M.A. & Salomão, M.S.M.B. 2003. Uso de micorrizas e rizóbio em cultivo consorciado de eucalipto e sebania. I - Crescimento, absorção e transferência de nitrogênio entre plantas. Revista Brasileira de Ciência do Solo 27:583-591.

Rodrigues, R.P. & Gandolfi, S. 1996. Recomposição de florestas nativas: princípios gerais e subsídios para uma definição metodológica. Revista Brasileira de Horticultura Ornamental 2(1): 4-15.

Rodrigues, R.P. & Gandolfi, S. 2001. Conceitos, tendências e ações para a recuperação de florestas ciliares. p.235-248. In: Rodrigues, R.P.; Leilão Filho, H.de F. (eds). Matas Ciliares: conservação e recuperação. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo/Fapesp.

Rodrigues, W.N., Martins, L.D., Pereira, D.P., & Tomaz, M.A. 2015. Recuperação de áreas degradadas. Martins, L.D., Hannas, T.R., Ventura, R.C.M.O, Alvim-Hannas, A.K.F: 21-35.

Rosa, D.M., Fortes, A.M.T., Mauli, M.M., Marques, D.S., & Palma, D. 2011. Potencial Alelopático de *Panicum maximum* JACQ sobre a Germinação de Sementes de Espécies Nativas. Floresta e Ambiente 18(2): 198-203.

Rosa, J.M., Della Mea, L.G.W., Agostinetto, L., & Boff, M.I.C. 2013. Efeito alelopático de *Salix* spp. sobre a germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de *Raphanus sativus* L. Revista de Ciências Agroveterinárias 12(3): 255-263.

Saldanha, L.L. 2013. Prospecção química e avaliação das atividades antioxidante e alelopática de *Myrcia bella* Cambess 161f. Dissertação de Mestrado- Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho". Botucatu, SP.

Salomão, R.P., Brienza Júnior, S., & Santana, A.C. 2012. Análise da florística e estrutura de floresta primária visando a seleção de espécies-chave, através de análise multivariada, para a restauração de áreas mineradas em unidades de conservação. Revista Árvore 36(6): 989-1008.

Salomão, R.P., Santana, A.C., & Brienza Júnior, S. 2013. Seleção de espécies da floresta ombrófila densa e indicação da densidade de plantio na restauração florestal de áreas degradadas na Amazônia. Ciência Florestal 23(1): 139-151.

Samôr, O.J.M., Carneiro, J.D.A., Barroso, D.G., & Leles, P.D.S. 2002. Qualidade de mudas de angico e sesbânia, produzidas em diferentes recipientes e substratos. *Revista Árvore* 26(2): 209-215.

Sangeetha, C., & Baskar, P. 2015. Allelopathy in weed management: A critical review. *African journal of agricultural research* 10(9): 1004-1015.,

Santiago, A.R., Barroso, D.G., Mendonça, A.V.R., Freitas, T.A.S., Lamônica, K.R. & Carneiro, J.G.A. 2009. Influência do sistema de plantio sobre atributos químicos de substrato de cava de extração de argila. *Floresta* 39:597-604.

São Paulo. 2014. Resolução SMA Nº 32, de 03 de abril de 2014. Orientações, diretrizes e critérios sobre restauração ecológica no Estado de São Paulo. 1–10

Sarma, D., Basumatary, P., & Datta, B. K. 2019. Allelopathic impact of *Melastoma malabathricum* L. on the seed germination and seedling growth of three agricultural crops. *The Journal of Indian Botanical Society* 98(3/4): 183-193.

Sartor, L. R., Lopes, L., Martin, T. N., & Ortiz, S. 2015. Alelopatia de acículas de pínus na germinação e desenvolvimento de plântulas de milho, picão preto e alface. *Bioscience Journal* 31(2): 470-480.

Schiavo, J.A.; Martins, M.A. & Rodrigues, L.A. 2010. Crescimento de mudas de *Acacia mangium*, *Sesbania virgata* e *Eucalyptus camaldulensis*, inoculadas com fungos micorrízicos, em casa-de-vegetação e em cava-deextração de argila. *Acta Sci. Agron* 32:171-178.

Scognamiglio, V. 2013. Nanotechnology in glucose monitoring: advances and challenges in the last 10 years. *Biosensors and Bioelectronics* 47: 12-25.

Scrivanti, L.R., Zunino, M.P., & Zygadlo, J.A. 2003. *Tagetes minuta* and *Schinus areira* essential oils as allelopathic agents. *Biochemical systematics and ecology* 31(6): 563-57.

Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente, 2015. Acesso em: <<https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/2015/03/secretaria-do-meio-ambiente-completa-29-anos/>>

Ser 2004: Society for ecological restoration. Science & Policy Working Group. The SER international primer on ecological restoration.

Shaw, L.J., Morris, P., & Hooker, J.E. 2006. Perception and modification of plant flavonoid signals by rhizosphere microorganisms. *Environmental Microbiology* 8: 1867-1880.

Silva, C.F. 2009. Atributos químicos e biológicos em cavas de extração de argila revegetadas com eucalipto e leguminosas. 172f. Tese de Doutorado- Campos dos Goytacazes, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro.

Silva, C.F., Araújo, J.L.S., da Silva, E.M.R., Pereira, M.G., Schiavo, J.A., de Freitas, M.S.M., ... & Martins, M.A. 2014. Comunidade de fungos micorrízicos arbusculares: Diversidade, composição e glomalina em área revegetada com Sesbânia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 38(2): 423-431.

Silva, E.S., Santos, C.A., Dias, K.S., Souza, M.A., dos Santos, A.F., & Júnior, J. M.S. 2018. Cenário das pesquisas sobre alelopatia no Brasil e seu potencial como estratégia na diminuição da utilização de pesticidas que provocam poluição ambiental: uma revisão integrativa. *Diversitas Journal* 3(2): 442-454.

Silva, J.P., Duccini, C.S., Souza, E.C., Neves, V.C., Pasin, L.A.P. 2007 Efeito alelopático *in vitro* de *Malva sylvestris* e *Artemisia camphorata* na germinação e desenvolvimento de sementes de petúnia (*Petunia integrifolia*). 2007. In: VIII Congresso de Ecologia do Brasil., 2007, Caxambu. Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil, MG.

Silva, P.D. 2012. Determinação de compostos fenólicos por HPLC. 2012. 136p. Dissertação de Mestrado - Universidade da Beira Interior. Covilha, Portugal.

Silva, P.E.M., Santiago, E.F., Daloso, D.M., Silva, E.M., Silva, J.O. 2011. Quebra de dormência em sementes de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. *Idesia* 29:39-45.

Silveira, J.G.D. 2017. Ciência, política e natureza na construção do parlamento ambiental brasileiro: o Conama e a institucionalização do meio ambiente no Brasil (1981-1992). 214f. Dissertação de Mestrado- Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.

Simões, K. 2008 Substâncias fitotóxicas e antifúngicas em sementes de leguminosas que acumulam galactomanano e xiloglucano como carboidratos de reserva de parede celular. 220f. Tese de Doutorado-Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

Simões, K., Du, J., Kretzschmar, F.S., Broeckling, C.D., Stermitz, F.R., Vivanco, J.M., Braga, M.R. 2008. Phytotoxic catechin leached by seeds of the tropical weed *Sesbania virgata*. *Journal of Chemical Ecology* 34: 681-687.

Singh H.P., Batish D.R., Kohli R.K. 2001. Allelopathy in agroecosystems: na overview. In: R.K. Kohli; H.P. Singh; D.R. (eds.). *Batish Allelopathy in Agroecosystems*, The Haworth Press, New York. pp. 1-41.

Soares, G.L.G., Scalon, V.R., Pereira, T.D.O., & Vieira, D.D.A. 2012. Potencial alelopático do extrato aquoso de folhas de algumas leguminosas arbóreas brasileiras. *Floresta e Ambiente* 9(único): 119-126.

Souza, M. C. S. & Piña-Rodriguez, F.C.M. 2013. Desenvolvimento de espécies arbóreas em sistemas agroflorestais para recuperação de áreas degradadas na Floresta Ombrófila Densa, Paraty, RJ. *Revista Árvore* 37(1): 89-98.

Souza, V.C., Agra, P.F.M., Andrade, L.A., Oliveira, I.G.; Oliveira, L.S. 2010. Germinação de sementes da invasora *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. sob efeito de luz, temperatura e superação de dormência. *Ciências Agrárias* 4: 889-889.

Souza, V.C., Andrade, L.A., Bezerra, F.T.C., Fabricante, J.R., Feitosa, R.C. 2011. Avaliação populacional de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. (Fabaceae Lindl.), nas margens do rio Paraíba. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* 6(2): 314-320.

Spiassi, A., Nóbrega, L.H.P., Rosa, D.M., Pacheco, F.P., Senem, J., De Lima, G.P. 2015. Allelopathic effects of pathogenic fungi on weed plants of soybean and corn crops. *Bioscience Journal* 31(4): 1037-1048.

Stangarlin, J.R., Kuhn, O.J., Toledo, M. V., Portz, R.L., & Pascholati, S.F. 2011. A defesa vegetal contra fitopatógenos. *Scientia Agraria Paranaensis* 10(1): 18-46.

Taiz L. & Zeiger E. 2009 *Fisiologia vegetal*. 3ed. Porto Alegre: Editora Artmed; 819p.

Tavares, S.R.L. 2008. Áreas degradadas: conceitos e caracterização do problema. In: Tavares, S. R. L. *Curso de recuperação de áreas degradadas: a visão da ciência do solo no contexto do diagnóstico, manejo, indicadores de monitoramento e estratégias de recuperação*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2008. 228p.

Teasdale, J.R., Rice, C.P., Cai, G., & Mangum, R.W. 2012. Expression of allelopathy in the soil environment: soil concentration and activity of benzoxazinoid compounds released by rye cover crop residue. *Plant Ecology*, 213: 1893-1905.

Teixeira, F. P., Faria, J. M. R., Pereira, W. V. S., & José, A. C. 2018. Maturation and Desiccation Tolerance in Seeds of *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. *Floresta e Ambiente* 25(4):e 20160419.

Terra, A.B.C., Florentino, L. A., Rezende, A.V.D., & Silva, N. C. 2019. Leguminosas forrageiras na recuperação de pastagens no Brasil. *Revista de Ciências Agrárias* 42(2): 11-20.

Thorpe, A.S., Thelen, G.C., Diaconu, A., & Callaway, R.M. 2009. Root exudate is allelopathic in invaded community but not in native community: field evidence for the novel weapons hypothesis. *Journal of Ecology* 97: 641-645.

Tomar, N.S., Sharma, M., & Agarwal, R.M. 2015. Phytochemical analysis of *Jatropha curcas* L. during different seasons and developmental stages and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L) as affected by extracts/leachates of *Jatropha curcas* L. *Physiology and Molecular Biology of Plants* 21(1): 83-92.

Uhl, C., Nepstad, D., Buschbacher, R., Clark, K., Kauffman, & B., Subler, S. 1990. Studies of ecosystem response to natural and anthropogenic disturbances provide guidelines for designing sustainable land-use systems in Amazonia. pp. 24-42. In.: Anderson, A.B (ed.). *Alternatives to deforestation: steps towards sustainable use of the Amazon rain forest*. Columbia University Press. New York, 281p. *Vegetação Nativa*. Brasília.

Veronesi MB. 2013 Avaliação da tolerância de duas espécies nativas às fitotoxinas exsudadas por *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. 81f. Dissertação de Mestrado, Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, São Paulo, SP.

Vidal, C. Y., & Rodrigues, R. R. 2019. Restauração da diversidade: os viveiros do estado de São Paulo. USP/ESALQ, Piracicaba, 2019.

Vieira, L., & Cader, R. 2007. A política ambiental do Brasil ontem e hoje. *Revista Eco* 21: p.129.

Weidenhamer, J.D. 1996. Distinguishing resource competition and chemical interference: Overcoming the methodological impasse. *Agronomy Journal* 88: 866–875.

Weidenhamer, J.D. 2005. Biomimetic measurement of allelochemical dynamics in the rhizosphere. *Journal of Chemical Ecology* 31: 221-236.

Weir, T.L., Park, S-W., & Vivanco, J.M. 2004. Biochemical and physiological mechanisms mediated by allelochemicals. *Current Opinion in Plant Biology* 7: 472- 479.

Weston, L.A. 1996. Utilization of Allelopathy for Weed Management in Agroecosystems. *Agronomy Journal* 88(6): 860-866.

Weston, L.A. 2005. History and current trends in the use of allelopathy for weed management. *HortTechnology* 15: 529–534.

White, R.H., Worsham, A.D., & Blum, U. 1989. Allelopathic potential of legume debris and aqueous extracts. *Weed Science* 37: 674-679.

Whittaker, R.H. & Feeny, P.P. 1971. Allelochemics: chemical interaction between species. *Science* 171 (3973): 757-770.

Williams, M. 2003. *Deforesting the earth: from prehistory to global crisis*. University of Chicago Press.

Williamson, M.H. & Fitter, A. 1996. The characters of successful invaders. *Biological Conservation* 78: 163-170.

Zanandrea, I., Alves, J. D., Deuner, S., de FP Goulart, P., Henrique, P.D.C., & Silveira, N.M. 2010. Tolerance of *Sesbania virgata* plants to flooding. *Australian Journal of Botany* 57(8): 661-669.

Zerlin, J.K. 2015 Mecanismos de proteção de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. contra espécies reativas de nitrogênio e oxigênio. 109f. Tese de Doutorado. Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, São Paulo, São Paulo.

Zhang, S., Liu, J., Bao, X., & Niu, K. 2011. Seed-to-seed potential allelopathic effects between *Ligularia virgaurea* and native grass species of *Tibetan alpine* grasslands. *Ecological Research* 26: 47-52.

Zhang, X., Cui, Q. X., Zhao, Y., & Li, H. Y. 2018. Allelopathic Potential of *Koeleria bipinnata* var. *integrifoliola* on Germination of Three Turf Grasses. *Russian Journal of Plant Physiology* 65(6): 833-841.

Zhu, Q.Y., Zhang, A., Tsang, D., Huang, Y., & Chen, Z.Y. 1997. Stability of green tea catechins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 45: 4624-462.

CAPÍTULO 1: Presença de aleloquímicos no solo, oriundos de *Sesbania virgata* e sua influência no desenvolvimento de espécies florestais nativas

INTRODUÇÃO

Ao longo da história, a atividade humana alterou significativamente os ecossistemas no mundo todo, gerando alterações estruturais em comunidades e paisagens (Solar *et al.* 2015, Steffen *et al.* 2015). O uso constante do solo e a degradação de habitats levaram à diminuição da biodiversidade, ameaçando espécies e ecossistemas em taxas cada vez maiores (Newbold *et al.* 2015, Tilman *et al.* 2015).

No Brasil estima-se a ocorrência de mais de 200 milhões de hectares de áreas degradadas, geradas principalmente por ações antrópicas (Rocha *et al.* 2014), como agricultura migratória, pastagens não-sustentáveis, ocupação imprópria de regiões urbanas, assoreamentos dos rios e de áreas destinadas à mineração (Coutinho *et al.* 2005). A mineração, em particular, é uma das atividades humanas que mais contribuem para a alteração da superfície terrestre, provocando impactos sobre a água, o ar, o solo e a paisagem (Polster 2016, Silva *et al.* 2016).

As causas que dificultam o estabelecimento de plantas sobre substratos minerados podem ser atribuídas à alta compactação da superfície, à baixa capacidade de armazenamento de água, falta de matéria orgânica, baixa capacidade de troca catiônica e redução da fertilidade (Goedert *et al.* 2002, Longo *et al.* 2005). Essas restrições podem ainda, reduzir a biomassa microbiana de solo, limitar a condutância estomática, a eficiência na fixação de carbono e, assim, o desenvolvimento de plantas capazes de se estabelecerem nesses locais (Silva & Corrêa 2008, Silveira *et al.* 2006).

Neste ambiente extremo, poucas são as espécies vegetais que toleram tal condição e conseguem se desenvolver, o que pode dificultar o sucesso de projetos de recuperação. Esses projetos visam recuperar as características da diversidade biológica do ecossistema natural que

referencialmente havia antes da degradação, através da ação antrópica, facilitando os processos de sucessão ecológica (Brançalion *et al.* 2015).

Nesse sentido, a escolha de espécies corretas se torna uma importante ferramenta, existindo no cenário brasileiro a exigência do uso de espécies nativas nos projetos de restauração (Vidal e Rodrigues 2019). No entanto, espécies nativas do Brasil que são generalistas e oportunistas, podem se comportar como espécies invasoras, ou seja, por algum desequilíbrio ambiental, em geral causado pelo ser humano, passam a crescer e a se multiplicar demasiadamente (Pivello *et al.* 2018).

Essas plantas são denominadas como superdominantes (Callaghan *et al.* 2005, Matos e Pivello 2009) e esse fenômeno é conhecido por superabundância (Garrot *et al.* 1993), que se refere à dominância de espécies nativas, que se desenvolvem intensamente. Isso pode afetar negativamente outras espécies nativas mais sensíveis, sendo capazes de alterar processos naturais do ecossistema em questão ou até causar a extinção de determinadas espécies (Lima *et al.* 2012, Pivello *et al.* 2018).

Uma dessas espécies que historicamente foi bastante recomendada e utilizada para a restauração de áreas degradadas pela mineração foi *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. (Samôr *et al.* 2002, Coutinho *et al.* 2005, Florentino *et al.* 2009, Souza *et al.* 2011a). A espécie possui características como altas taxas de germinação e de crescimento (Coutinho *et al.* 2005, Souza *et al.* 2010, Delarmelina *et al.* 2013), é heliófita, possui ciclo reprodutivo rápido (Branzini *et al.* 2012), intensa produção de sementes, formando banco com alta longevidade (Vieira *et al.* 2007), alta eficiência no uso de nutrientes (Nobrega *et al.* 2008, Delarmelina *et al.* 2013, Souza *et al.* 2015), tolerância ao desfolhamento e alta capacidade de rebrota (Carpanezzi e Fowler 1997).

Tais características a tornam uma ótima colonizadora, com vantagens durante a competição e proporcionam sucesso no estabelecimento em áreas mineradas com condições abióticas extremas como as do solo de mineração, porém, pelas mesmas razões, atrelado ao seu potencial

alelopático, a espécie também pode ser considerada uma espécie superdominante. Na região Nordeste, por exemplo, *S. virgata* se apresenta como invasora na Caatinga e em ecossistemas associados, particularmente em matas ciliares, onde é capaz de suprimir a regeneração natural das espécies vegetais nativas e formar maciços populacionais (Andrade 2006). Souza *et al.* (2011a, 2011b) observaram grande abundância de indivíduos de *S. virgata* na Caatinga do município de Natuba, na Paraíba, suprimindo as espécies nativas locais em processos de regeneração natural.

Sesbania virgata pertence à família Fabaceae, é pioneira, nativa da América do Sul (Araújo *et al.* 2004) e é encontrada nas regiões Sul, Sudeste, Nordeste e Centro-Oeste do Brasil, nos biomas do Cerrado e da Mata Atlântica, além de já ter sido documentada no Paraguai, Argentina e Uruguai (Pott e Pott 1994). A espécie também é capaz de produzir aleloquímicos, os quais já foram constatados como inibidores da germinação e do desenvolvimento de outras espécies vegetais, cultivadas e/ou arbóreas (Id *et al.* 2015, Mignoni *et al.* 2017, Araújo *et al.* 2018).

Tal inibição pode ser atribuída a algumas substâncias produzidas por *S. virgata*, como o flavonóide (+)- catequina, que possui efeito fitotóxico (Inderjit *et al.* 2008, Favaretto 2018) e está presente em diversas partes da planta, como nas folhas (Id *et al.* 2015) e, inclusive no tegumento das sementes, sendo liberado em grandes quantidades, nas primeiras 24 horas após o processo de embebição (Simões *et al.* 2008).

Sabe-se que tal metabólito pode variar em quantidade em *S. virgata*, de acordo com os órgãos vegetais e dentro de distintas populações da própria espécie (Simões *et al.* 2008, Id *et al.* 2015, Id *et al.* 2020). Além disso, devido à conformação da molécula, a mesma pode apresentar diferentes efeitos, dependendo da condição experimental e da sensibilidade das espécies alvo (Nijveldt *et al.* 2001). Por isso, a compreensão do papel desses metabólitos secundários em processos ecológicos como invasão de plantas e interações vegetais, exige que sua dinâmica e

sua atividade biológica sejam estudadas em solo (Zhang *et al.* 2011), onde essas substâncias também entram em contato com outros organismos, podendo alterar as reações entre as espécies.

A comprovação do efeito dos metabólitos secundários existentes em material vegetal de *S. virgata*, em ambientes experimentais não controlados, pode ajudar a compreender melhor como tal espécie se adapta tão bem aos mais diversos tipos de ambiente. Tal produção pode alterar a composição da comunidade na qual se encontra, visto que, além das características ecofisiológicas, alguns autores consideram a produção de aleloquímicos, uma vantagem na competição com outras espécies (Martins *et al.* 2006, Barbosa *et al.* 2008).

OBJETIVO

O objetivo desse capítulo foi verificar se metabólitos, oriundos da serapilheira de *S. virgata*, perduram no solo em condições não controladas e podem afetar o desenvolvimento de outras espécies vegetais com as quais co-ocorre.

MATERIAL E MÉTODOS

Obtenção do material biológico

Foram coletados frutos maduros de três populações de *S. virgata*, nas quais foi detectada a presença do aleloquímico (+)- catequina no material vegetal e coletados frutos maduros de outras três populações, nas quais não foi detectada a presença do aleloquímico, nas partes vegetais da planta em questão. Todas as populações estão localizadas no município de Lavras (MG) e a caracterização dessas foi baseada em estudos preliminares (Id *et al.* 2015), dos quais esta tese faz parte. Essa caracterização prévia foi realizada a partir de material foliar dessas populações.

As três populações de *S. virgata* produtoras de catequina estão localizadas nas seguintes coordenadas geográficas: S 21° 13' 35" W 45° 00' 24" (local 1), S21° 13' 27" W45° 00' 23" (local 2), S21° 13' 16" W45° 00' 33" (local 3), enquanto que as populações de *S. virgata* não produtoras de catequina estão localizadas nas coordenadas geográficas: S21° 12' 33" W45° 02' 07" (local

4), S21° 15' 17" W45° 00' 46" (local 5), S21° 15' 25" W45° 00' 40" (local 6), como visto na figura 4.



Figura 4: Pontos georreferenciados dos locais onde foram coletados frutos de *Sesbania virgata*, em Lavras, no Estado de Minas Gerais (Fonte: Google Earth).

Após coletados, os frutos foram levados para o Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras (UFLA), onde foram beneficiados com auxílio de martelo de borracha e de sacos de ráfia. As sementes foram então separadas dos frutos quebrados com auxílio de peneiras e utilizadas para a formação de dois lotes, de acordo com sua procedência: o lote de sementes oriundas de populações produtoras de catequina (PC) e o lote de sementes oriundas de populações não produtoras de catequina (NC). O material foi armazenado em câmara a 5°C, até o início das análises.

Germinação e desenvolvimento de *Sesbania virgata*

Os lotes de sementes de *S. virgata* citados no item acima foram escarificados manualmente com auxílio de lixa (folha P60) e em seguida foram semeados em vasos com 25 L, preenchidos pela metade, contendo substrato comercial (Flores e Folhas-ABC Garden®). Esses vasos foram

depositados em dois canteiros, situados na área da Unidade de Pesquisa e Tecnologia em Sementes, um sombreado com sombrite a 50% e outro a pleno sol. Cada tratamento de pleno sol e de sombreamento contou com 40 vasos cada, sendo 20 provenientes do primeiro lote (PC) e outros 20 do segundo lote (NC) (Figura 5).



Figura 5: Mudanças de *Sesbania virgata*, de ambas as procedências, semeadas em canteiros a pleno sol (esquerda) e semeadas em canteiros sombreados com sombrites (direita).

Foi constituído um fatorial 2x2 (população x ambiente). Foram, então, definidas 5 repetições para cada tratamento, tendo 4 unidades (vasos) em cada repetição. O delineamento adotado foi o inteiramente casualizado (DIC), como esquematizado na figura 6.

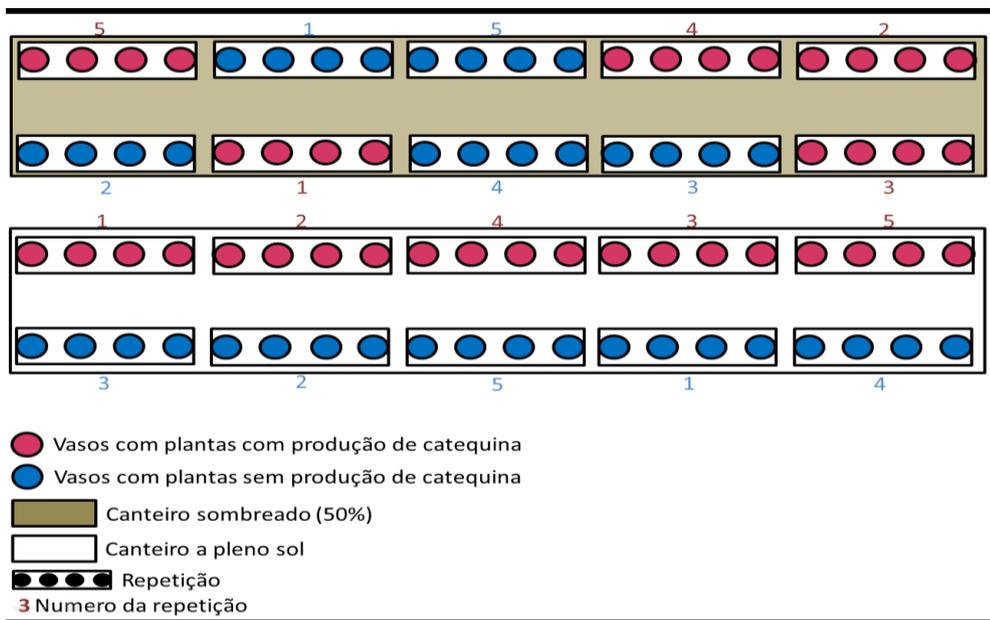


Figura 6: Esquema, mostrando o ensaio realizado em dois canteiros, representados pelos retângulos externos, sendo branco, o canteiro a pleno sol e o cinza, o canteiro sombreado. Os retângulos menores representam as repetições sorteadas e as cores dos vasos representam os lotes PC (vermelho) e NC (azul). A numeração indica a repetição.

No primeiro mês após a semeadura (setembro de 2018), o processo germinativo das plantas de *S. virgata* foi avaliado diariamente, até que a germinação cessasse, propiciando no final, a obtenção dos valores de porcentagem de germinação (%G) e do índice de velocidade de emergência (IVE) (Maguire 1962), considerando a emergência da parte aérea das plântulas como a constatação da germinação. Dados de altura e de diâmetro do colo foram obtidos para a avaliação do desenvolvimento das plantas de *S. virgata*, a partir do segundo mês após a semeadura e durante um período de 16 meses (outubro de 2018 a janeiro de 2020).

Quantificação de catequina em amostras de solo

Após os 16 meses de experimento, foram coletadas amostras de solo, dos vasos utilizados no ensaio descrito acima. Essa coleta foi realizada com 10 cm de profundidade, mensurado com régua milimétrica, sendo retirada uma amostra por vaso. As amostras foram sorteadas aleatoriamente e coletadas de dois indivíduos, de cada uma das cinco repetições, para cada tratamento. Amostras de 1 g de solo foram armazenados em tubos Eppendorf estéreis, aos quais foi adicionado 1 mL de metanol 100%. Esse material foi brevemente agitado em vortex com velocidade máxima, sedimentado por centrifugação durante 10 minutos a 13000 rpm e, após esse procedimento, o sobrenadante foi coletado e armazenado para análise em cromatografia líquida de alto desempenho (HPLC) (Inderjit *et al.* 2008).

Para tal esses materiais coletados foram filtrados em filtros Millipore de 0,45 μm e aplicadas alíquotas de 20 μL em coluna C18 em sistema de HPLC Varian®, sendo a separação feita com água e MeOH acidificados com 0,1% de ácido acético (20% a 100% de MeOH, vazão de 0,8 mL min⁻¹). A detecção foi realizada no comprimento de onda de 280 nm. Utilizou-se (+)-Catequina (Sigma) para construção da curva padrão em concentrações distintas para detecção e

quantificação das amostras (Simões *et al.* 2008, Inderjit *et al.* 2008). Obteve-se a seguinte equação para a quantificação: $Y=6E+06X-8E+06$; $R^2= 0,96$.

Desenvolvimento inicial de espécies arbóreas co-ocorrentes com *S. virgata*

Foram selecionadas espécies arbóreas nativas co-ocorrentes com *S. virgata*, com base em levantamento florístico realizado por Id *et al.* 2020, no qual foi definido um raio de 10 metros a partir das populações conhecidas de *S. virgata*. A partir desta relação, foram selecionadas duas espécies que dispunham de sementes recém-colhidas e com reconhecida qualidade, disponíveis no banco de germoplasma do Núcleo de Pesquisa em Sementes, do Instituto de Botânica. Foram adotadas: *Mimosa bimucronata* (DC.) Kuntze e *Peltophorum dubium* (Spreng.), que são classificadas, respectivamente, como pioneira e secundária, dentro da sucessão ecológica (Ferreira *et al.* 2007).

As sementes das espécies arbóreas co-ocorrentes com *S. virgata*, foram semeadas nos mesmos vasos que continham as plantas de *S. virgata*, isto é, os tratamentos e as repetições, em fatorial, foram os mesmos utilizados para o plantio das sementes de *S. virgata*. Também foram utilizados outros 20 vasos, para semear as sementes dessas espécies, nas duas condições ambientais de pleno sol e de sombreamento, porém sem a presença de mudas de *S. virgata*, representando o tratamento controle dessas espécies (Figura 7). Para cada tratamento (controle e vasos com mudas de *S. virgata*), foram depositadas uma semente de cada espécie teste.



Figura 7: Plântulas de *P. dubium* (seta vermelha) e de *M. bimucronata* (seta azul) em vasos do tratamento controle (A) e em vasos contendo plantas de *S. virgata* (B e C).

Foram coletados dados do índice de velocidade de emergência (IVE) (Maguire 1962) e dados da porcentagem de germinação (%G), para se avaliar o processo germinativo dessas espécies, durante o primeiro mês após a sementeira (abril/2019). Para observar o efeito do contato dessas espécies com material foliar senescente de *S. virgata* (Figura 8), foi avaliado a partir do oitavo mês após a sementeira de *S. virgata* (maio/2019), o desenvolvimento inicial das plantas dessas duas espécies, através da coleta de dados referentes à altura e ao diâmetro do colo das mesmas. Os dados foram coletados mensalmente, durante nove meses, ou seja, de maio de 2019 a janeiro de 2020.

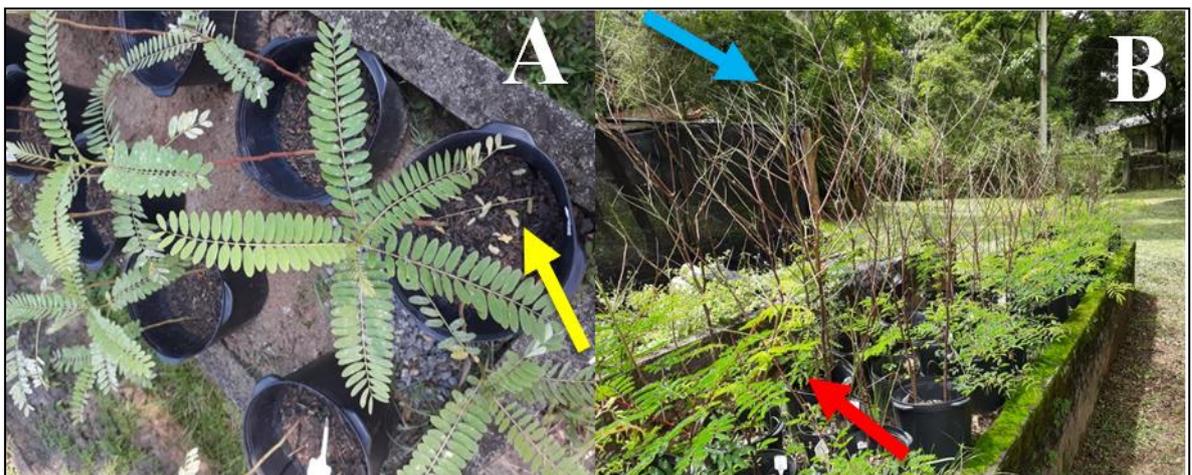


Figura 8: Plantas de *S. virgata* no início da queda foliar (A, seta amarela) e plantas de *S. virgata*, totalmente desfolhadas (B, seta azul), com as espécies testes nos vasos (seta vermelha).

Os dados coletados, tanto das espécies alvo como das sementes e mudas de *S. virgata* foram analisados, utilizando o programa de estatística SISVAR 5.1 (Ferreira 2010). Os dados foram analisados por meio de análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Para a expressão do desenvolvimento ao longo do tempo, foram ajustadas equações de regressão, expressas sobre as linhas, com os respectivos valores de R^2 .

RESULTADOS

Processo germinativo das sementes de *S. virgata* e das espécies arbóreas

Sesbania virgata

Ao analisarmos os resultados referentes à porcentagem de germinação (%G) das sementes de *S. virgata* dos lotes PC e NC, nas duas condições ambientais, foi possível verificar que as sementes germinaram integralmente e não diferiram estatisticamente (Tabela 1).

Ainda na tabela 1, pode-se observar que o índice de velocidade de emergência (IVE) dos indivíduos de *S. virgata*, pertencentes aos lotes PC e NC, apresentou resultado similar ao da porcentagem de germinação, no qual não houve interferência dos tratamentos de pleno sol e de sombreamento e nem diferença entre os próprios lotes dentro da mesma condição ambiental.

Tabela 1: Valores médios referentes à porcentagem de germinação (%G) e ao índice de velocidade de emergência (IVE), de sementes de *S. virgata* oriundas das populações produtoras de catequina (PC) e das populações não produtoras de catequina (NC), semeadas em condições de pleno sol (PS) e de sombreamento (SB).

<i>Ambiente</i>			
<i>Procedência</i>	PS	SB	
%G			
POPULAÇÕES	PC	100aA	100aA
	NC	100aA	100aA
IVE			
POPULAÇÕES	PC	0,08125aA	0,0803aA
	NC	0,09095aA	0,08595aA

Obs: Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade. Letras minúsculas, na linha, comparam os ambiente dentro de uma determinada procedência, e letras maiúsculas, na coluna, comparam as procedências dentro de um dado ambiente.

Peltophorum dubium

Foi observado que as sementes de *P. dubium* apresentaram germinação eficiente, com valores médios entre 75 e 100% (Tabela 2). A porcentagem de germinação de *P. dubium* foi analisada de acordo com a interferência do ambiente nos tratamentos contidos nos vasos e da interferência desses tratamentos dentro de uma mesma condição ambiental. Em ambos os casos não houve diferença significativa na porcentagem de germinação para essa espécie.

Em relação aos dados referentes ao IVE de *P. dubium* (Tabela 2), verificou-se que para os tratamentos das procedências dos vasos alocados a pleno sol, não houve diferença significativa. Porém, comparando-se as procedências dentro da condição de sombreamento, foi possível observar diferença estatística no IVE das sementes de *P. dubium* dos vasos controle, dos vasos dos lotes NC e dos vasos do lotes PC, nos quais foram constatados que as plântulas dos vasos de

não produtoras de catequina germinaram mais rápido que as plântulas do controle e que as plântulas dos vasos de produtoras de catequina.

Já quando comparadas dentro das duas condições ambientais, observou-se que as sementes de *P. dubium*, germinadas nos vasos contendo mudas do lote NC, tiveram um aumento significativo no IVE, de 0,109 nas sementes germinadas a pleno sol, para 0,163 para as sementes de *P. dubium* germinadas na condição de sombreamento. Para as outras duas procedências não foram detectadas mudanças significativas entre as duas condições ambientais.

Mimosa bimucronata

Sobre o processo germinativo de *M. bimucronata* (Tabela 2), notou-se que tanto a porcentagem de germinação quanto o índice de velocidade de emergência, das sementes germinadas sob a condição de pleno sol, foram afetados negativamente, quando colocadas em vasos contendo mudas de *S. virgata*, em relação ao grupo controle. Foram registrados valores de 55 e 65%, nas sementes germinadas nos vasos dos lotes PC e NC, enquanto a germinação do vaso controle foi de 95%.

O ambiente de semeadura também mostrou interferência significativa na porcentagem de germinação das sementes de *M. bimucronata*, germinadas nos vasos contendo mudas do lote PC, no qual se registou os valores de 55% a pleno sol e de 95% no sombreamento. O mesmo ocorreu para as sementes de *M. bimucronata*, nos vasos contendo o tratamento do lote NC, com o registro dos valores de 65% a pleno sol e de 95% no sombreamento. Para o tratamento controle, essa variável não sofreu interferência da condição ambiental.

Quanto ao IVE, notou-se que, dentro da mesma condição ambiental, a procedência dos lotes interferiu nesse parâmetro, ou seja, foram registrados diferentes valores significativos para as sementes germinadas tanto nos vasos dos lotes PC e NC. Ao ser analisada a influência da condição de pleno sol e de sombreamento, também foram observadas diferenças estatísticas dentro dos lotes PC e NC e do tratamento controle.

Tabela 2: Valores médios referentes à porcentagem de germinação (%G) e ao índice de velocidade de emergência (IVE), das duas espécies arbóreas testadas (*Peltophorum dubium* e *Mimosa bimucronata*), semeadas em vasos contendo plantas de *S. virgata*, oriundas das populações produtoras de catequina (PC), plantas de *S. virgata* oriunda das populações não produtoras de catequina (NC) e em vasos sem plantas de *S. virgata* (Controle), em condições de pleno sol (PS) e de sombreamento (SB).

<i>P. dubium</i>		Ambiente	
Procedência		PS	SB
%G			
Procedência	PC	80aA	75aA
	NC	80aA	100aA
	Controle	85aA	80aA
IVE			
Procedência	PC	0,128aA	0,098aA
	NC	0,109aA	0,163bB
	Controle	0,103aA	0,101aA
<i>M. bimucrotata</i>		PS	SB
%G			
Procedência	PC	55aA	95bA
	NC	65aA	95bA
	Controle	95aB	95aA
IVE			
Procedência	PC	0,093aA	0,174bA
	NC	0,125aA	0,186bA
	Controle	0,187aB	0,241bB

Obs: Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade. Para cada espécie, letras minúsculas, na linha, comparam os ambientes dentro de uma dada procedência, e letras maiúsculas, na coluna, comparam as procedências dentro de um dado ambiente.

Quantificação de (+)- catequina no solo

Com os dados obtidos a partir dos cromatogramas gerados pelo HPLC Varian®, foi possível perceber que no solo onde estavam alocadas as plantas de *S. virgata* pertencentes às populações produtoras de catequina (lote PC), a quantidade do metabólito encontrado diferiu entre as condições ambientais utilizadas. Na condição de pleno sol, o solo coletado dos vasos contendo mudas do lote PC, apresentou uma maior quantidade de (+)-catequina do que a quantidade observada para esse mesmo lote, porém na condição de sombreamento. Para solo oriundo dos vasos com mudas do lote NC, a quantidade do metabólito também diferiu entre as condições ambientais, sendo uma maior quantidade também encontrada na condição de pleno sol. Nota-se que apesar da diferença entre as condições ambientais, a diminuição de (+)-catequina no solo coletado do lote NC na condição de pleno sol em relação à condição de sombreamento, não foi tão expressiva quanto as diferenças encontradas no solo do lote PC.

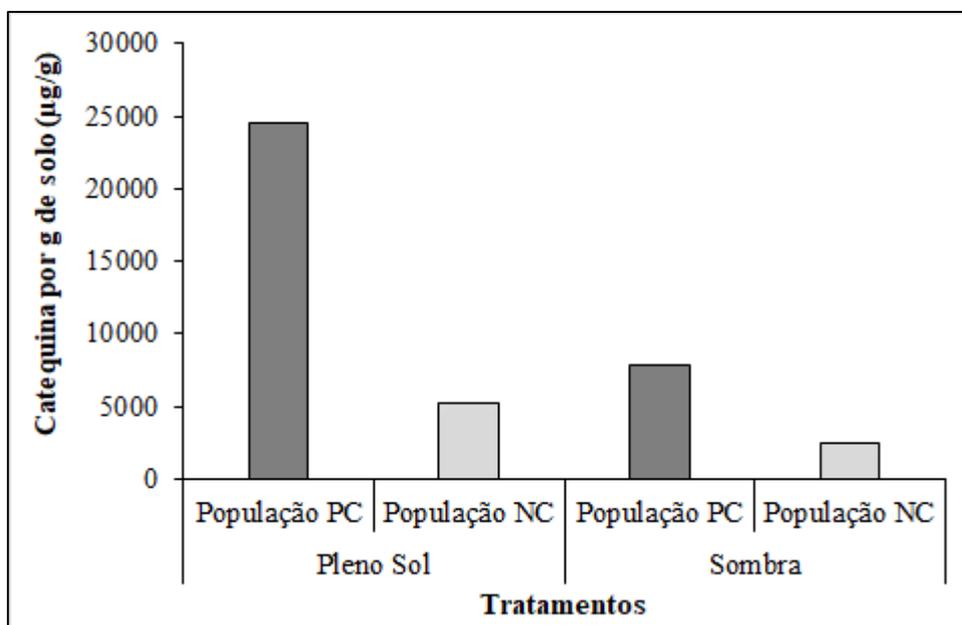


Figura 9: Quantificação de catequina por HPLC ($\lambda=280$ nm) em alíquotas de metanol, obtidas da extração de solo, que continham as plantas de *Sesbania virgata*, oriundas dos dois lotes obtidos no município de Lavras, MG.

Desenvolvimento de *S. virgata* e das espécies arbóreas

Sesbania virgata

De acordo com a figura 10, foi possível observar que as mudas de *S. virgata* oriundas do lote PC e NC, tiveram um crescimento gradual no tratamento de pleno sol, ao longo dos 16 meses de avaliação (Figura 10A e 10B, respectivamente). Quando observados os dados referentes ao diâmetro do colo das mudas, de ambos os lotes e também expostas ao tratamento de pleno sol, notou-se que os valores médios de diâmetro do colo das plantas do lote PC (Figura 10C) sofreram uma queda abrupta entre os dois últimos meses, enquanto, para esse mesmo período, o valor médio do diâmetro dos indivíduos do lote NC (Figura 10D) foi aumentado.

Quando observado o desenvolvimento das mudas de *S. virgata*, de ambos os lotes, na condição de sombreamento, notou-se que inicialmente, o crescimento em altura (Figura 10A e 10B) foi similar aos registros encontrados para a mesma variável, na condição de pleno sol. Esse crescimento se manteve estável até o décimo mês, a partir do qual os valores médios de altura das mudas dos lotes PC e NC, tiveram um decréscimo gradativo até o final de avaliação do experimento.

Tal comportamento de desenvolvimento também foi verificado através dos dados coletados referentes ao diâmetro dessas mudas (Figura 10C e 10D), no qual observou-se que após o período de estagnação e por volta do 11º primeiro mês, os valores médios de diâmetro decaíram.

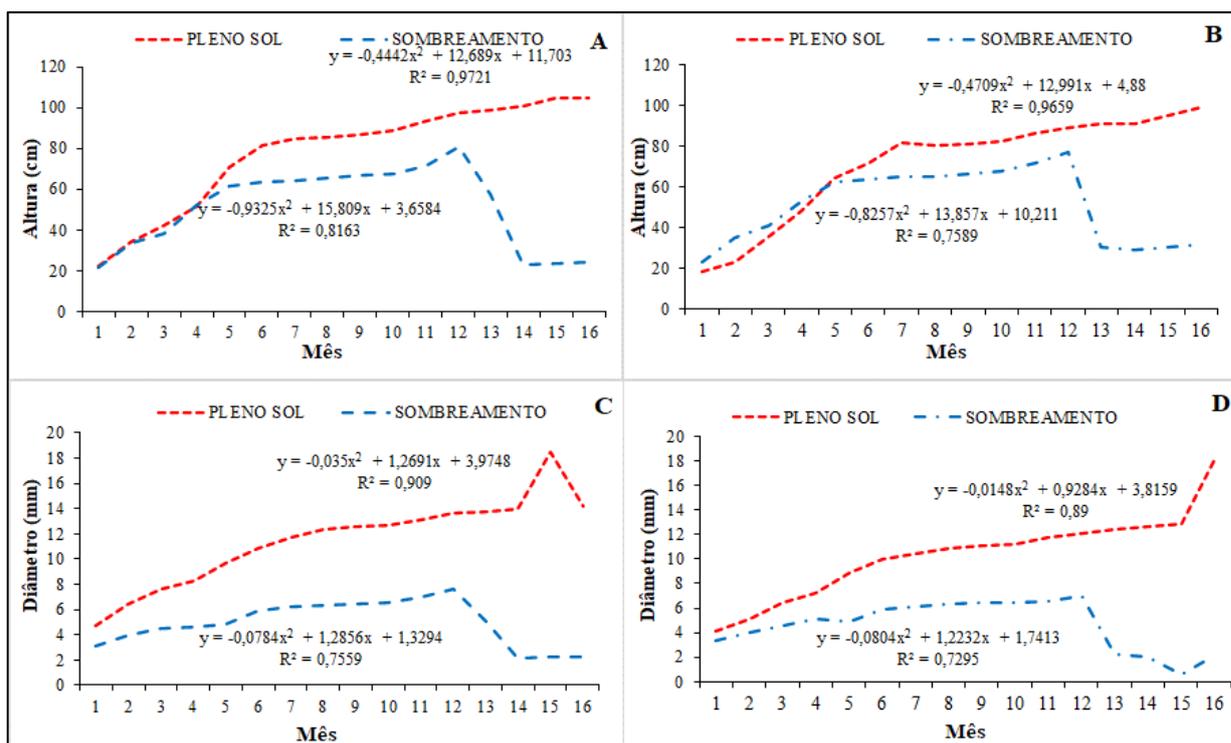


Figura 10: Valores médios de altura (cm) e de diâmetro (mm), das mudas de *S. virgata*, provenientes das sementes dos lotes PC (A e C) e dos lotes NC (B e D), em condições ambientais de pleno sol (linha vermelha) e de sombreamento (linha azul). Os dados foram coletados mensalmente, durante 16 meses, de outubro de 2018 a janeiro de 2020.

A respeito das quedas dos valores de altura e diâmetro das plantas de *S. virgata*, nos últimos meses de experimento, pode-se dizer que esse comportamento é explicado pela mortalidade das plantas nos respectivos tratamentos. As plantas pertencentes aos lotes PC e NC na condição de sombreamento foram as que obtiveram maiores taxas de mortalidade, acima de 70% nos últimos meses. Já as plantas dos mesmos lotes, porém na condição de pleno sol, não apresentaram altas taxas, sendo que as plantas oriundas do lote NC não apresentaram mortalidade e as plantas oriundas do lote PC não ultrapassaram 30% dessa variável (Figura 11).

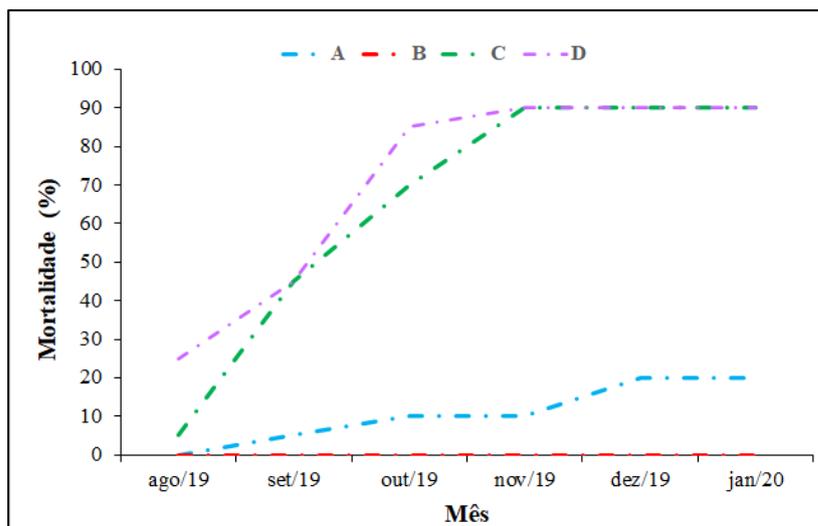


Figura 11: Valores médios de mortalidade (%) das mudas de *S. virgata*, na condição de pleno sol (A e B) e na condição de sombreamento (C e D), provenientes dos lotes PC e dos lotes NC, respectivamente. Os dados foram coletados mensalmente, de agosto de 2019 a janeiro de 2020.

Na média geral, conforme apresentado na Tabela 3, considerando as duas procedências, o ambiente a pleno sol propiciou maior desenvolvimento para as mudas quando comparado ao sombreamento. No que diz respeito às médias gerais de altura entre as procedências, verificou-se que ambas as procedências apresentaram valores similares (64,62 e 65,35 cm para PC e NC, respectivamente).

Analisando mais detalhadamente os dados finais (janeiro/2020), sobre o desenvolvimento das mudas de *S. virgata*, foi possível observar que o fator da condição ambiental causou diminuição significativa do valor médio de altura, para as plantas do lote PC, cultivadas a pleno sol (105,04 cm) em relação às plantas pertencentes ao mesmo lote, cultivadas na condição de sombreamento (24,2 cm) (Tabela 3).

O mesmo padrão de redução significativa foi observado para as mudas de *S. virgata* pertencentes ao lote NC, sendo a média de altura das plantas a pleno sol de 98,90 cm, enquanto a médias para altura das plantas no sombreamento foi de 31,8 cm. Foi observado também que a procedência dos lotes das sementes de *S. virgata*, dentro da mesma condição ambiental, não

causou efeitos significativos no desenvolvimento das plantas, como ocorreu com a condição ambiental.

Para a variável diâmetro do colo (Tabela 3), observou-se que o valor médio desse parâmetro, para as mudas pertencentes ao lote PC, foi de 10,8 mm, enquanto para as mudas do lote NC foi de 8,18 mm, não ocorrendo diferença estatística entre os lotes. Enquanto, quando comparados entre as condições ambientais, foi visto que a condição de pleno sol proporcionou maiores valores de diâmetro do que a condição de sombreamento, sendo as plantas a pleno sol com diâmetro 8 vezes maior do que as plantas no sombreamento.

Quando analisada a condição ambiental, foi observado que as mudas dos lotes PC apresentaram valores médios de diâmetro do colo significativamente diferentes, sendo registrado um valor 7 vezes maior a pleno sol em relação ao valor obtido na condição de sombreamento. Para as de mudas oriundas do lote NC, a diferença estatística foi encontrada para os valores médios de diâmetro, o qual foi registrado em 18,05 mm para as mudas alocadas na condição de pleno sol e 2,158 mm para as mudas situadas na condição de sombreamento.

Tabela 3: Valores médios de altura (cm) e de diâmetro (mm), das plantas de *S. virgata*, oriundas dos lotes PC e NC, obtidos da interação com os tratamentos, em condições ambientais, de pleno sol e de sombreamento. Dados referentes ao último mês de ensaio (Janeiro de 2020).

	Procedência	Pleno Sol	Sombreamento	Média da Procedência
<i>Altura (cm)</i>				
Lotes	PC	105,04aA	24,2bA	64,62a
	NC	98,90aA	31,8bA	65,35a
Média Cond. Amb.		101,97a	28b	64,98
<i>Diâmetro (mm)</i>				
Lotes	PC	14,125aA	2,237bA	10,11a
	NC	18,055aA	2,158bA	8,18a
Média Cond. Amb.		16,09a	2,20b	9,14

Obs: Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade. Letras minúsculas analisam o fator ambiente dentro do fator procedência (linha) e letras maiúsculas analisam o fator procedência dentro do fator ambiente (coluna).

Peltophorum dubium

Na figura 12, a qual ilustra o desenvolvimento de *P. dubium*, foi possível notar diferenças no crescimento das plantas da espécie, conforme a condição ambiental. Em relação à altura das plantas de *P. dubium*, alocadas na condição de pleno sol (Figura 12A), notou-se que as mudas encontradas em vasos contendo plantas de *S. virgata* do lote PC, tiveram valores mais elevados no mesmo espaçamento de tempo, em relação as mudas de *P. dubium* existentes no vasos controle e nos vasos com plantas dos lote NC.

Notou-se também que o diâmetro das mudas de *P. dubium* acompanhou o padrão de crescimento em altura dessas mudas, no qual os maiores valores de diâmetro encontrados foram os das mudas de *P. dubium* presentes nos vasos do lote PC, seguido pelos vasos controle e pelos vasos com mudas de *S. virgata*, oriundas do lote NC (Figura 12C).

Já na condição de sombreamento (Figura 12B), esse comportamento foi ao contrário, no qual, as mudas de *P. dubium*, que tiveram valores médio de altura mais acentuados, no mesmo período, foram as que estavam nos vasos contendo plantas de *S. virgata* do lote NC, seguidas pelas plantas dos vasos controle e pelas plantas que estavam nos vasos do lote PC.

Quando analisadas na condição de sombreamento (Figura 12D), observou-se que os valores médios de diâmetro das mudas de *P. dubium*, registrados dentro do período de nove meses, foram mais acentuados para as mudas que estavam presentes nos vasos com plantas de *S. virgata*, pertencentes ao lote NC, seguidas pelas mudas existentes nos vasos do tratamento controle e nos vasos do lote PC, assim como foi observado no crescimento em altura dessas mudas.

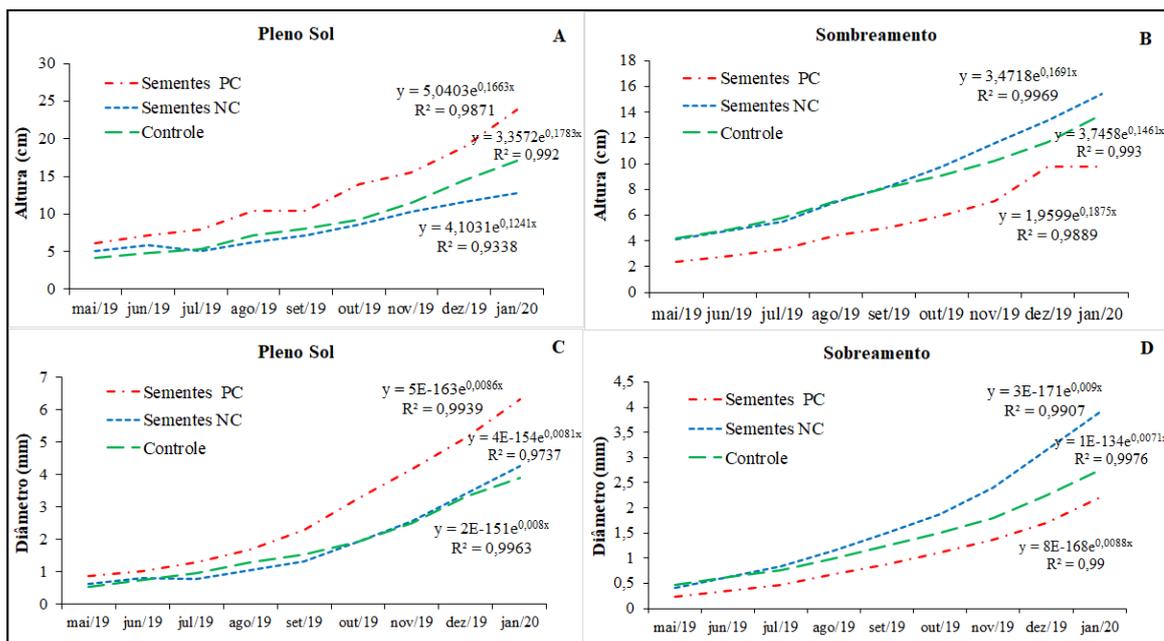


Figura 12: Valores médios de altura (cm) e de diâmetro (mm), de *Peltophorum dubium*, quando germinadas em condições de pleno sol (A e C) e em condições de sombreamento (B e D), em vasos contendo mudas de *S. virgata*, provenientes dos lotes PC (linha vermelha), dos lotes NC (linha azul) e em vasos sem mudas de *S. virgata* (linha verde), durante o período de maio de 2019 a janeiro de 2020.

Observando-se o início e o final desse ensaio, foi possível constatar que houve um padrão de crescimento entre os parâmetros de altura e de diâmetro para essa espécie. Para as duas variáveis analisadas, altura e diâmetro (Figura 13), não houve diferença estatística no início e no final do experimento, quando os tratamentos representados pelos vasos PC, NC e controle, foram analisados em conjunto, de acordo com a condição ambiental de pleno sol, o mesmo sendo observado para esses tratamentos na condição de sombreamento.

Porém, de acordo com essa mesma figura, foi possível perceber que o fator ambiental de sombreamento causou redução significativa tanto da altura como do diâmetro das mudas de *P. dubium*, alocadas nos vasos contendo mudas de *S. virgata*, pertencentes ao lote PC. No primeiro mês avaliado, a condição ambiental diminuiu a altura de *P. dubium* dos vasos PC, de 6,15 cm, do pleno sol para 2,35 cm, do sombreamento e no último mês, de 23,85 cm para 9,75 cm, respectivamente. Em relação ao diâmetro, também foi encontrada essa redução significativa no

primeiro mês, registrada em 0,87 mm para a condição de pleno sol, e 0,63 mm para o sombreamento e no último mês, de 6,32 mm para 4,26 mm, respectivamente.

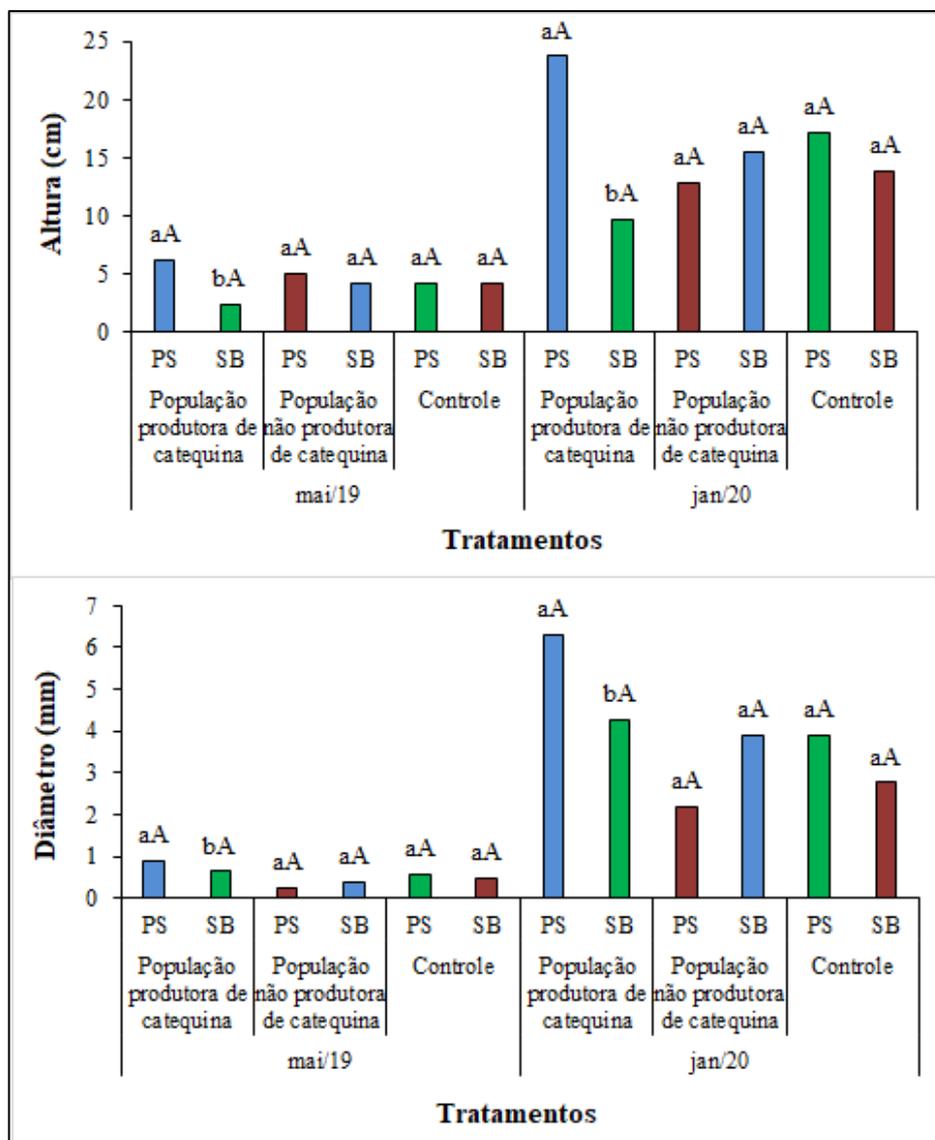


Figura 13: Valores médios dos dados biométricos de altura (cm) e diâmetro (mm), de *Peltophorum dubium*, quando germinadas em condições de pleno sol (PS) e em condições de sombreamento (SB), em vasos contendo mudas de *S. virgata*, provenientes dos lotes PC (PC), dos lotes NC (NC) e em vasos sem mudas de *S. virgata* (C). Os valores são referentes ao início (Maio/2019) e ao final (Janeiro/2020) do ensaio. Letras minúsculas comparam a interferência do ambiente dentro do fator procedência (PC, NC e C), por mês e letras maiúsculas comparam a interferência do fator procedência dentro do fator ambiente (PS e SB), por mês.

Mimosa bimucronata

Analisando o desenvolvimento das mudas de *M. bimucronata* (Figura 14), presentes nos vasos contendo mudas de ambas as procedências, foi possível observar que, em relação à mudas do tratamento controle, os valores médios de altura de *M. bimucronata* apresentaram crescimento elevado e gradual, sendo esse crescimento mais acentuado para as mudas nos vasos do lote NC e em condição de pleno sol (Figura 14A), em relação aos valores encontrados para os mesmos tratamentos e no mesmo período, na condição de sombreamento (Figura 14B).

O mesmo foi observado para os valores médios de diâmetro dessa espécie quando comparados entre os tratamentos e entre as condições ambientais (Figura 14). Na condição de pleno sol, observou-se um aumento gradativo do diâmetro, no período avaliado, sendo maior para as mudas nos vasos do lote NC (Figura 14C). Na condição de sombreamento, esse comportamento de crescimento também foi observado (Figura 14D), porém de forma menos acentuada, quando comparada com as mudas cultivadas a pleno sol. Observando-se os eixos dos gráficos da figura 14, notou-se que os valores médios de altura e de diâmetro de *M. bimucronata*, para os três tratamentos, foram mais elevados na condição de pleno sol.

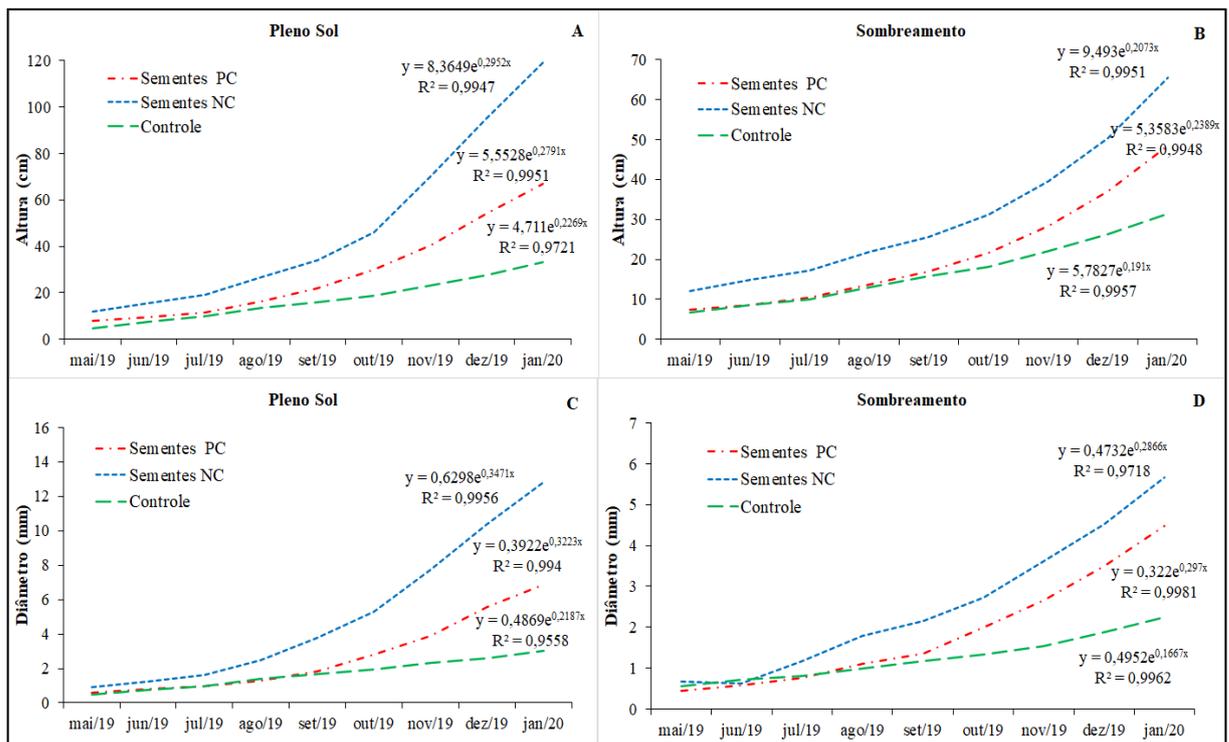


Figura 14: Valores médios dos dados biométricos de altura (cm) e diâmetro (mm), de *Mimosa bimucronata*, quando germinadas em condições de pleno sol (A e C) e em condições de sombreamento (B e D), em vasos contendo mudas de *S. virgata*, provenientes dos lotes PC (linha vermelha), dos lotes NC (linha azul) e em vasos sem mudas de *S. virgata* (linha verde), durante o período de maio de 2019 a janeiro de 2020.

Tanto para altura como para diâmetro (Figura 15), não houve diferença estatística no mês inicial e no mês final do ensaio, quando os tratamentos dos vasos PC, NC e controle foram analisados individualmente dentro dos fatores de condição ambiental.

Já em relação a à altura e ao diâmetro, do mês inicial, os tratamentos representados pelos vasos dos lotes PC e NC e pelos vasos do controle, tiveram efeitos significativos quando comparados em conjunto, dentro da mesma condição ambiental (Figura 15). No caso, para a condição de pleno sol, no mês de Maio de 2019, os valores de altura registrados foram 8,02 cm, 12,1 cm e 4,8 cm, para as mudas de *M. bimucronata* dos vasos do lote PC, do lote NC e controle, respectivamente.

Para o diâmetro, nesse mesmo período e nessa mesma condição ambiental, foram registrados os valores de 0,58 mm, 0,90 mm e 0,49 mm, para as mudas dos vasos do lote PC, do lote NC e controle, respectivamente.

O mesmo efeito significativo foi observado para o último mês do ensaio (Janeiro de 2020), no qual o fator da procedência dos lotes interferiu nos valores encontrados dentro da mesma condição ambiental. Para a altura das mudas de *M. bimucronata*, foram encontrados os valores médios de 66,85cm, 118,85cm e 33,15 cm para os indivíduos dos vasos do lote PC, NC e controle, respectivamente, quando alocados em condição de pleno sol.

Da mesma forma, para o diâmetro das mudas dessa espécie arbórea, foram registrados os valores médios de 6,86 mm, 12,84 mm e 3,0 mm para as plantas dos tratamentos do lote PC, NC e controle, respectivamente, na condição ambiental de pleno sol. Os tratamentos dos lotes PC,

NC e controle não demonstraram respostas significativas para altura e diâmetro, quando analisados na condição de sombreamento, tanto no mês inicial quanto no mês final do ensaio.

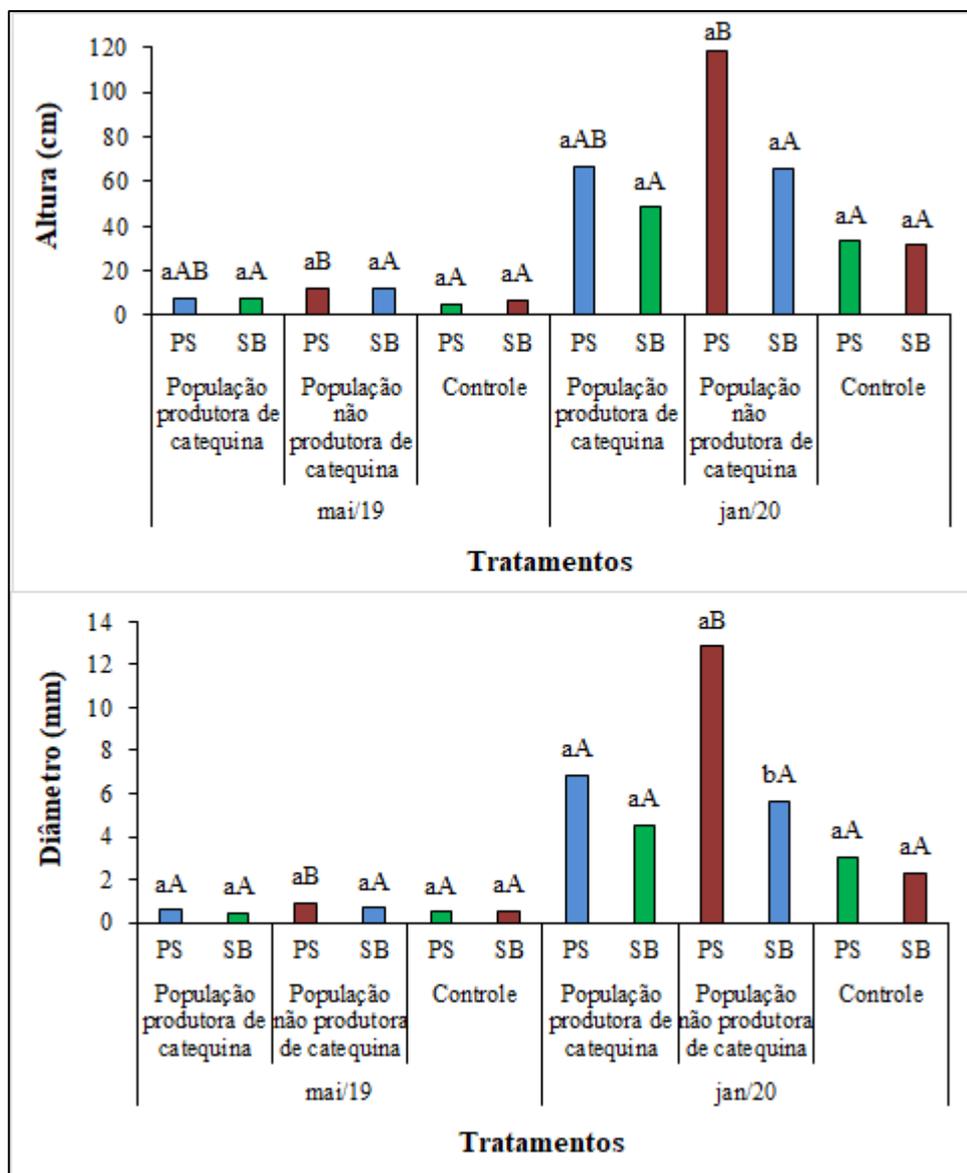


Figura 15: Valores médios dos dados biométricos de altura (cm) e diâmetro (mm), de *Mimosa bimucronata*, quando germinadas em condições de pleno sol (PS) e em condições de sombreamento (SB), em vasos contendo mudas de *S. virgata*, provenientes dos lotes PC (PC), dos lotes NC (NC) e em vasos sem mudas de *S. virgata* (C). Os valores são referentes ao início (Maio/2019) e ao final (Janeiro/2020) do ensaio. Letras minúsculas comparam a interferência do ambiente dentro do fator procedência (PC, NC e C), por mês e letras maiúsculas comparam a interferência do fator procedência dentro do fator ambiente (PS e SB).

DISCUSSÃO

A germinação é um fenômeno fisiológico que se inicia com a entrada de água na semente e culmina na protrusão da radícula, sendo a fase mais vulnerável e crucial na história de vida das plantas (Sousa-Silva *et al.* 2001, Ferreira e Borghetti 2004, Nonogaki *et al.* 2010). Essa processo pode ser influenciado pelas condições de umidade, temperatura, substrato, luz e patógenos (Schmidt 2000). Esses fatores, em geral, são pouco controlados em experimentos realizados em campo, como foi o caso desse estudo. Porém, assim como foi observado através dos dados coletados sobre o processo germinativo de *S. virgata*, *P. dubium* e *M. bimucronata*, tais variáveis não interferiram nesse processo e nem na avaliação dos resultados obtidos, perante os tratamentos aqui utilizados.

Características da própria semente também podem influenciar na germinação, como a presença de dormência (Rosseto *et al.* 2009). As sementes de espécies do gênero *Sesbania* apresentam diferentes níveis de dormência (Camargos *et al.* 2008). Há relatos na literatura de que sementes da espécie *S. virgata* apresentam dormência tegumentar (Silva *et al.* 2011, Costa *et al.* 2018, Langat e Maina 2018), o que foi observado no momento da coleta das sementes de *S. virgata* utilizadas nesse estudo.

Dessa forma, a germinação de *S. virgata* pode ser comprometida sem a ruptura do tegumento, visto que é assim que ocorre a entrada de água e/ou gases para o embrião (Carvalho e Nakagawa 2000, Baskin e Baskin 2004). O rompimento manual do tegumento das sementes de *S. virgata*, realizado no presente trabalho com o auxílio de lixa, durante os procedimentos metodológicos, favoreceu os processos que garantiram sua germinação absoluta, observada nos dados obtidos para a espécie, independente da condição experimental utilizada.

Essa constatação também foi verificada no trabalho realizado por Silva *et al.* (2011) com sementes de *S. virgata*, no qual o processo de quebra de dormência garantiu germinação de 100% e um alto índice de velocidade de germinação das sementes de *S. virgata*. Sobre os bons índices

de velocidade de germinação encontrados para *S. virgata*, tanto na condição de pleno sol, como na condição de sombreamento, Marcos Filho (2005) menciona que a rapidez da germinação é determinada principalmente pela velocidade de embebição, a qual é aumentada quando se rompe o tegumento da semente, o que também garantiu a uniformidade nesse processo.

A espécie *S. virgata* é classificada como pioneira, isto é, grupo ecológico para o qual a qualidade da luz e da temperatura do solo são fundamentais para a germinação e o desenvolvimento em ecossistemas florestais (Orozco-Segovia *et al.* 1987). De acordo com os altos índices de desenvolvimento das plantas de *S. virgata* a pleno sol, encontrados nesse trabalho, sabe-se que a incidência solar no solo, dependente da estrutura do dossel, pode influenciar diretamente na regulação de mecanismos de germinação, no estabelecimento de plântulas e desenvolvimento de plantas (Maciel *et al.* 2002, Decker *et al.* 2011). Ou seja, as condições ambientais aplicadas e o grupo ecológico ao qual pertence *S. virgata*, podem explicar o notório desenvolvimento observado nas mudas de *S. virgata* a pleno sol, em comparação com as mudas da espécie alocadas em condição de sombreamento, ao longo do tempo e independente da procedência.

Em relação aos maiores valores finais de desenvolvimento a pleno sol de *S. virgata*, assim como o maior desenvolvimento ao longo do tempo nesta condição, quando comparadas com as mudas alocadas na condição de sombreamento, Chaves *et al.* (2003) mencionam que este comportamento aliado à sua facilidade de propagação, no que se refere às altas taxas germinativas (como também observado neste estudo) e de crescimento, conferem à espécie diversas vantagens, o que justifica seu potencial para utilização em programas de recuperação de áreas degradadas.

Apesar de também ser uma planta pioneira, *M. bimucronata* (Ferreira *et al.* 2007) apresentou melhores índices dos parâmetros utilizados para avaliar o processo germinativo na condição de sombreamento e nos vasos utilizados para tratamento controle, isto é, nos vasos sem mudas de *S. virgata*. Pode-se supor que, quando em contato com as mudas mais vigorosas de *S.*

virgata, as sementes de *M. bimucronata* tiveram seu processo germinativo reduzido, provavelmente pelo fato dessas mudas mais desenvolvidas de *S. virgata* terem maior capacidade de produzir metabólitos secundários, capazes de afetar a germinação de *M. bimucronata*. Os dados referentes à quantificação de catequina, nos quais foram detectadas maiores quantidades desse metabólito na condição de pleno sol, corroboram os dados encontrados a respeito do desenvolvimento de *S. virgata*.

Visto os dados apresentados para o alto desenvolvimento de mudas de *S. virgata*, pode-se dizer que o desenvolvimento das espécies em diferentes condições luminosas é relacionado à sua capacidade em modificar os seus padrões de desenvolvimento em resposta às condições de luz (Oliveira e Gualtiere 2011). E para isso, Zanella *et al.* (2006) afirmam que a adaptação das plantas ao ambiente de luz depende de seu sistema fotossintético, de modo que a luminosidade ambiental seja empregada de maneira mais eficiente possível, sendo as respostas dessa adaptação refletidas no desenvolvimento total da planta. Por consequência, como visto por Castro *et al.* (2003), a luz age no desenvolvimento das plantas, interferindo no processo fotossintético e assim, no metabolismo secundário.

De acordo com essas informações, pode-se supor que as diferentes intensidades luminosas, causadas pelas condições experimentais de pleno sol e de sombreamento, alteraram as taxas de crescimento de *S. virgata*, podendo ter ocorrido interferência no metabolismo fotossintético e consequentemente, na produção dos metabólitos secundários, como visto na quantificação de (+)- catequina.

Sobre essa possível interferência, existe uma correlação positiva já estabelecida na literatura em relação a condição luminosa e a produção de compostos fenólicos, principalmente os flavonoides (Tattini *et al.* 2004, Morais 2009, Agati *et al.* 2011), classe de compostos químicos a qual pertence o metabólito catequina, encontrado em órgãos vegetais de *S. virgata*, como folhas e sementes e que apresenta potencial alelopático (Simões *et al.* 2008, Id *et al.* 2015), o que

evidencia a presença de metabólitos secundários, oriundos do material vegetal de *S. virgata*, nos vasos onde foram alocadas as sementes de *M. bimucronata* e *P. dubium*.

O efeito da redução no processo germinativo de *M. bimucronata*, quando em contato com mudas de *S. virgata* bem desenvolvidas, pode estar relacionado ao contato com as substâncias provenientes do material foliar de *S. virgata*, caracterizando um efeito alelopático. De acordo com Felix *et al.* (2007), uma das principais formas pelas quais substâncias vegetais com propriedades alelopáticas afetam outras plantas pode ser a inibição da germinação.

Quando passam por processos de reidratação, as sementes dão início à etapa germinativa, sofrendo rápidas mudanças fisiológicas e se tornando altamente sensíveis ao estresse ambiental. Assim, juntamente com a água, podem penetrar essas substâncias alelopáticas capazes de inibir ou retardar a multiplicação ou o crescimento das células, retardando a germinação (Wandscheer e Pastorini, 2008), que é o que pode ter ocorrido com as sementes de *M. bimucronata*, nas etapas iniciais do processo germinativo da espécie, quando em contato com substâncias oriundas das plantas de *S. virgata*.

Outros trabalhos realizados pelo grupo no qual esse estudo está inserido também evidenciam a ação alelopática de metabólitos de *S. virgata* sobre o processo germinativo de outras espécies vegetais. Coelho (2014) demonstrou que sementes de tomate co-germinadas com *S. virgata* tiveram a germinação negativamente afetada, havendo redução da velocidade do processo. Ainda sobre o efeito negativo de substâncias exsudadas por sementes de *S. virgata*, Mignoni *et al.* (2017) verificou que, em experimentos de co-germinação com sementes de sesbania e leucena, as substâncias exsudadas pelas sementes de *S. virgata* afetaram negativamente a germinação e o índice de velocidade de germinação (IVG) de leucena. Esses estudos reafirmam o efeito fitotóxico de substâncias oriundas de *S. virgata*, o que pode ter gerado os efeitos inibitórios nas espécies arbóreas utilizadas nesse trabalho.

Em ensaios realizados por Id *et al.* (2020), foi verificada a interferência negativa no processo germinativo de sementes de *M. bimucronata*, quando em contato com extratos aquosos de sementes de *S. virgata* e com aplicação de extratos produzidos com catequina comercial, demonstrando a sensibilidade da espécie testada a esses metabólitos, o que, juntamente os trabalhos citados acima, explicam os valores alterados para a germinação de *M. bimucronata* no presente estudo.

Sobre os maiores índices de desenvolvimento de *M. bimucronata*, obtidos na condição de pleno sol, as diferentes condições de luminosidade ocasionam, em geral, variações morfológicas e fisiológicas na planta, com o grau de adaptação ditado por características genéticas em interação com seu ambiente, sendo as consequências das diferenças de intensidade de luz significativas no crescimento da planta (Scalon *et al.* 2003). Esse bom desempenho no desenvolvimento de *M. bimucronata* na condição de pleno sol condiz com seu comportamento como espécie pioneira (Ferreira *et al.* 2007), se adaptando melhor a essas condições experimentais.

Já seu melhor desenvolvimento nos vasos do lote NC em comparação com os vasos do lote PC, pode ser explicado pelos fatores já mencionados a respeito do maior desenvolvimento das mudas de *S. virgata* pertencentes ao lote PC a pleno sol, no qual constatou-se que essas mudas produziram maiores quantidades de material foliar, alterando o desenvolvimento de *M. bimucronata*, já que sabe-se que tal material foliar contém aleloquímicos como a catequina. A catequina, também encontrada no tegumento de sementes de *S. virgata*, é liberada em grandes quantidades nas primeiras 24 horas de embebição (Simões *et al.* 2008) e exerce toxicidade em várias plantas, entretanto, a intensidade desse efeito varia de espécie para espécie e também com as condições experimentais (Buta e Lusby, 1986, Weir *et al.* 2006), podendo a catequina oriunda das sementes também permanecer no solo e causar tal efeito observado.

Os níveis de (+) e (-)-catequina encontrados na rizosfera de *S. virgata*, assim como a atividade fitotóxica dessa substância no solo são pontos discutidos na literatura (Blair *et al.* 2006,

Perry *et al.* 2007). De acordo com Soltys *et al* (2013), a catequina, substância tóxica para algumas espécies de plantas, age no meristema radicular induzindo o aumento da produção de espécies reativas de oxigênio (EROS) desencadeando diversas sinalizações incluindo mudanças na expressão gênica e, por vezes, levando a morte celular do tecido e do órgão. No solo, fitoquímicos podem se combinar de várias maneiras e, embora não se conheça todas as suas funções e substâncias, as que se conhecem podem interferir fortemente no metabolismo das plantas-alvo (Medeiros e Lucchesi 1993).

No estudo realizado por Mignoni *et al.* (2017), plântulas de *Leucena*, quando co-germinadas com sementes de *S. virgata*, apresentaram redução no crescimento do hipocótilo, diferenças morfológicas nas raízes primárias e coloração escura, o que não ocorreu com as plântulas do controle. Tais dados indicaram o efeito das substâncias de *S. virgata* sobre o crescimento dos diferentes órgãos, o que também pôde ser verificado nas alterações encontradas nos dados biométricos utilizados no atual estudo, para se analisar o desenvolvimento inicial das espécies arbóreas selecionadas.

Id *et al.* (2020) também demonstraram que sementes de *S. virgata* liberaram altos picos de (+)-catequina em até 24 horas após o início do processo de embebição. Nesse mesmo estudo também foi verificado em laboratório, que o processo de protusão da radícula de *M. bimucronata* se encerra quase que completamente em até 24 horas após o início do processo de embebição. No presente estudo, tal velocidade de germinação pode ter exposto as sementes e por consequência, as plantas de *M. bimucronata* às substâncias presentes no solo, oriundas do material vegetal de *S. virgata*.

No mesmo estudo realizado por Id *et al.* (2020), foi verificado que o processo germinativo de *P. dubium*, não sofreu alterações significativas frente às substâncias produzidas por material vegetal de *S. virgata*. A respeito do IVE de *P. dubium* ter sido o parâmetro alterado durante o processo germinativo, para as sementes alocadas nos vasos contendo mudas de *S. virgata* do lote

NC e no sombreamento, sabe-se que a espécie *P. dubium* é classificada com uma espécie secundária, que tolera melhor as condições de sombreamento (Portela *et al.* 2001), o que pode justificar sua melhor velocidade de germinação na condição de sombreamento.

Outros trabalhos realizados pelo nosso grupo de pesquisa, também evidenciaram os efeitos de exsudados de sementes de *S. virgata*, sob o processo germinativo de *P. dubium*. Veronesi (2013) verificou que, em ensaio de co-germinação com sementes de *S. virgata* e sementes de duas espécies florestais, *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong e *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub., houve alterações no processo germinativo dessas, porém a exsudação de substâncias por sementes de *S. virgata* durante a sua embebição afetou positivamente a germinação de ambas as espécies. Esse trabalho também mostrou a tendência de aumento no índice de velocidade de germinação das espécies florestais testadas.

Tais informações podem justificar as melhores taxas do processo germinativo de *P. dubium*, registradas para as sementes alocadas nos vasos contendo mudas de *S. virgata*, do lote NC, em comparação com o lote PC e o tratamento controle. Em relação à baixa influência dos tratamentos apresentada na germinação dessa espécie, sugere-se que, apesar de muito utilizados, parâmetros como porcentagem e índice de velocidade de germinação, são menos sensíveis do que os parâmetros que avaliam o desenvolvimento das plântulas, como variação na massa ou no comprimento de raiz e de parte aérea (Ferreira e Áquila 2000). Além disso, o sombreamento também pode induzir as espécies vegetais a desenvolver táticas de ganho de área foliar para maior absorção dos raios luminosos, ou aumento de altura e de diâmetro. (Uchida e Campos 2000, Alvarenga *et al.* 2003, Almeida *et al.* 2005).

Esse padrão foi observado no desenvolvimento das mudas de *P. dubium*, alocadas na condição de sombreamento, que tiveram maior desenvolvimento nos vasos do lote NC, no quais também se supõe que os metabólitos oriundos do material foliar de *S. virgata* não possuem potencial inibitório de desenvolvimento. Já na condição de pleno sol, o maior desenvolvimento

das mudas de *P. dubium* foi registrado para as que estavam presentes nos vasos do lote PC, nos quais os metabólitos produzidos pelas plantas desse lote deveriam causar algum efeito alelopático, como ocorreu com *M. bimucronata*. Quanto a isso, a resistência ou tolerância aos metabólitos secundários é uma característica ligada à espécie, existindo aquelas mais sensíveis e por isso, consideradas como bons parâmetros para se constatar atividades alelopáticas (Grisi *et al.*, 2011).

No trabalho de Id *et al.* (2020), também foi verificado que os dados biométricos utilizados para mensurar o desenvolvimento inicial de *P. dubium* não sofreram alterações quando suas plantas estiveram em contato com substâncias exsudadas por sementes de *S. virgata*, mostrando que a espécie foi menos sensível a esses metabólitos. Assim como foi observado nos dados de altura e diâmetro do atual estudo

O baixo efeito dessas substâncias nas sementes de *P. dubium* pode estar relacionado à presença de galactomanano em suas sementes, que além de funcionar como reserva para o crescimento do embrião, tem um papel fundamental no controle da entrada de água na semente, funcionando como uma substância tamponante, protegendo o embrião da falta ou do excesso de água (Veronesi 2013). Buckeridge (2010) relata que a viscosidade do galactomanano, quando hidratado, pode, por exemplo, representar uma barreira física de proteção contra patógenos nos estágios iniciais do desenvolvimento da plântula. Sendo assim, o fato de funcionar como um tampão de água e de ser altamente viscoso, o galactomanano no endosperma de sementes de *P. dubium* poderia também regular a entrada dos aleloquímicos oriundos de material foliar de *S. virgata*, durante o desenvolvimento inicial de *P. dubium*, o que também pode ter impedido o contato com tais substâncias nas primeiras 24 horas de embebição, isto é, no início da germinação.

A respeito dos metabólitos presentes no material foliar de *S. virgata*, Lôbo *et al.* (2008) verificaram o efeito inibitório de catequina, presente em extratos foliares de *Tachigali*

myrmecophyla, na germinação de sementes bem como no desenvolvimento da radícula e do hipocótilo das plantas daninhas malícia (*Mimosa pudica*) e mata pasto (*Senna obtusifolia*). Os resultados mostraram que a catequina afetou negativamente a germinação das sementes das espécies de plantas invasoras de pastagens analisadas, porém seu efeito foi mais expressivo no desenvolvimento. Tais constatações demonstram o potencial inibitório de catequina também presente nas folhas de *S. virgata* e dessa forma, devido a ausência de respostas significativas para as mudas de *P. dubium*, a possível tolerância dessa espécie para esse metabólito.

Os baixos ou ausentes resultados obtidos para as espécies arbóreas em contato com as plantas de *S. virgata* podem ter outras possíveis explicações, relacionadas à própria molécula da catequina. A estabilidade da catequina é dependente do pH, sendo que em solução alcalina esta substância é muito instável e decompõe-se em poucos minutos, enquanto em solução ácida, como são a maioria dos solos brasileiros, ela é relativamente estável (Zhu *et al.* 1997). Os flavonóides podem atuar de modo direto no seqüestro de radicais livres, devido à reatividade do grupo hidroxila que pode ser oxidado por radicais, resultando em uma forma mais estável (Nijveldt *et al.* 2001). Isto é, quando presente em ambientes não controlados podem se modificar e perder seu potencial inibitório, o que pode explicar tais respostas encontradas nas condições de campo desse estudo.

Outra possível explicação para o bom desenvolvimento das mudas *P. dubium* em vasos contendo mudas de *S. virgata* do lote PC, além das condições ambientais adequadas a espécie as quais foram expostas, está no trabalho de Id *et al.* (2015), que demonstraram que a aplicação de extratos foliares aquosos de *S. virgata* causou aumento de variáveis biométricas em espécies arbóreas nativas. Provavelmente, este aumento decorra de o fato do material vegetal utilizado não ser composto exclusivamente por metabólitos prejudiciais como catequina, e sim que estejam presentes demais metabólitos secundários e alguns deles possam auxiliar na nutrição das mudas,

sabendo-se que vegetais podem liberar no ambiente metabólitos primários e secundários que influenciam no desenvolvimento da vegetação adjacente (Maraschin-Silva & Áquila, 2006).

CONCLUSÕES

Foi possível verificar que as condições de luminosidade interferiram no crescimento de mudas de *S. virgata* de ambas as procedências, nas quais foram obtidos os melhores índices de desenvolvimento para as mudas alocadas na condição de pleno sol. Tal comportamento pode ser atribuído à sua classificação ecológica (pioneira). Além disso, o fato de ambas as populações apresentarem altas e rápidas taxas de germinação reafirma seu comportamento de espécie nativa superdominante.

As interferências no desenvolvimento dessa espécie pode ter afetado sua produção de metabólitos secundários. A indicação dessa interferência foi demonstrada pelos dados obtidos no processo germinativo e no desenvolvimento das espécies *M. bimucronata* e *P. dubium*. Tais espécies utilizadas como plantas-alvo apresentaram alterações nos parâmetros aqui analisados, não só devido às suas características ecofisiológicas, como preferência por ambientes a pleno sol ou de tolerância ao sombreamento, como também responderam de maneiras distintas quando em contato com mudas de *S. virgata*, de lotes e em condições específicas.

Essas alterações demonstraram que os metabólitos secundários oriundos de material vegetal de *S. virgata*, apresentaram ação inibitória em condições não controladas e que sua produção pode estar relacionada às condições nas quais as plantas da espécie se encontram, afetando o desenvolvimento de outras espécies florestais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agati, G., Cerovic, Z.G., Pinelli, P., & Tattini, M. 2011. Light-induced accumulation of ortho-dihydroxylated flavonoids as non-destructively monitored by chlorophyll fluorescence excitation techniques. *Environmental and Experimental Botany* 73: 3-9.

Almeida, L.S., Maia, N., Ortega, A.R. & Ângelo, A.C. 2005. Crescimento de mudas de *Jacaranda puberula* cham. em viveiro submetidas a diferentes níveis de luminosidade. *Ciência Florestal* 15: 323-329.

Alvarenga, A.A.D., Castro, E.M.D., Lima Junior, É.D.C., & Magalhães, M.M. 2003. Effects of different light levels on the initial growth and photosynthesis of *Croton urucurana* Baill. in southeastern Brazil. *Revista Árvore* 27(1), 53-57.

Andrade, L.A. Espécies exóticas invasoras no nordeste do Brasil: impactos nos ecossistemas locais. In: Mariath, J.E.A.; Santos, R.P. (Orgs). Os avanços da botânica no início do século XXI: Morfologia, Fisiologia, Taxonomia, Ecologia e Genética. Porto Alegre: Sociedade Botânica do Brasil, 2006. p.524-528

Araújo, E., Mendonça, A.V., Barbosa, D.G., Lamonica, K.R., Silva, R.F. 2004. Caracterização morfológica de frutos, sementes e plântulas de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. *Revista Brasileira de Botânica* 26: 105-110.

Araujo, E.C.G., Silva, T.C., & de Lima, T.V. 2018. Efeitos alelopáticos de *Sesbania virgata* (cav.) Pers na germinação de sementes de alface. *Revista Engenharia na Agricultura* 26(2): 101-109.

Barbosa, E.G., Pivello, V.R. & Meirelles, S.T. 2008. Allelopathic Evidence in *Brachiaria decumbens* and its potential to invade the Brazilian Cerrados. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 51(4): 825-831.

Baskin, J.M. & Baskin, C.C. 2004. A classification system for seed dormancy. *Seed Science Research*. 14:1-16.

Blair, A.C., Nissen, S.J., Brunk, G.R., Hufbauer, R.A. 2006. A lack of evidence for an ecological role of the putative allelochemical (\pm)-catechin in spotted knapweed invasion success. *Journal of Chemical Ecology* 32:2327-2331.

Borghetti, F., & Ferreira, A.G. 2004. Interpretação de resultados de germinação. *Germinação: do básico ao aplicado*. Porto Alegre: Artmed, pp. 209-222.

Brançalion, P.H.S., Gandolfi, S., & Rodrigues, R. 2015. Bases conceituais para a restauração florestal: sucessão ecológica e um modelo de fases. In: *Restauração Florestal*. São Paulo: Oficina de Textos, pp. 135-160.

Branzini, A., González, R.S. & Zubillaga, M. 2012. Absorption and translocation of copper, zinc and chromium by *Sesbania virgata*. *Journal of Environmental Management* 102:50-54.

Buckeridge, M.S. 2010. Seed cell wall storage polysaccharides: models to understand cell wall biosynthesis and degradation. *Plant Physiology* 154: 1017–1023.

Buta, J.G. & Lusby, W.R. 1986. Catechins as germination and growth inhibitors in *Lespedeza* seeds. *Phytochemistry* 25: 93-95.

Callaghan, T.V., Björn, L.O., Chapin III, F.S., Chernov, Y., Christensen, T.R., Huntley, B., Ims, R.A., Jolly, D., Jonasson, S., Matveyeva, N., Panikov, N., Oechel, W. & Shaver, G., 2005. Arctic tundra and polar desert ecosystems. In: ACIA (Ed.), Arctic Climate Impact Assessment, UK. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 243–352.

Camargos, V. N., Carvalho, M. L. M., Araujo, D. 2008. Superação da dormência e avaliação da qualidade fisiológica de sementes de *Sesbania virgata*. *Ciência e agrotecnologia* 32(6): 1858-1865.

Carpanezzi, A.A. & Fowler, J.P.A. Quebra da dormência tegumentar de sementes de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. Colombo: Embrapa, 1997. p.1-2. (Comunicado Técnico, 14)

Carvalho, N.M & Nakagawa, J. 2000. Sementes: ciência tecnologia e produção. 4.ed. Jaboticabal: FUNEP, 588p.

Castro, E D., Pinto, J.E.B.P., Alvarenga, A.A., Lima Junior, E.C., Bertolucci, S.K.V., Silva Filho, J.L., & Vieira, C.V. 2003. Crescimento e anatomia foliar de plantas jovens de *Mikania glomerata* Sprengel (guaco) submetidas a diferentes fotoperíodos. *Ciência e Agrotecnologia* 27(6): 1293-1300.

Chaves, L.L.B., Carneiro, J.G.A., Barroso, D.G., & Leles, P.S.S. 2003. Efeitos da inoculação com rizóbio e da adubação nitrogenada na produção de mudas de *Sesbania* em substrato constituído de resíduos agroindustriais. *Revista Árvore* 27(4): 443-449.

Coelho, L.C.S. 2014. Potencial alelopático in vitro dos exsudatos de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. sobre tomate e arroz e em fungos micorrízicos arbusculares na fase assimbiótica. 96f. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo.

Costa, R.N., Santos, W.J., Lima, J.L., Acchile, S., Neto, A.S., & Silva, J.V. 2018. Evaluation of different pre-germinative methods for three tree species of the Fabaceae family in different environments. *Scientific Electronic Archives* 11(1): 35-43.

Coutinho, M.P., Carneiro, J.G.A., Barroso, D.G., Rodrigues, L.A., Figueiredo, F.A.M.M.A., Mendonça, A.V.R., Novaes, A.B. 2005. Crescimento de mudas de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. plantadas em uma área degradada por extração de argila. *Floresta* 35: 231-239.

Decker, V., Klosowski, É.S., Malavasi, U.C., & Nunes, A. 2011. Avaliação da intensidade luminosa no desenvolvimento inicial de Leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.). *Ciência Florestal* 21(4): 609-618.

Delarmelina, W.M., Caldeira, M.V.W., Faria, J.C.T., & Oliveira Gonçalves, E. 2013. Uso de lodo de esgoto e resíduos orgânicos no crescimento de mudas de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. *Revista Agroambiente on-line* 7(2): 184-192.

Delarmelina, W.M., Caldeira, M.V.W., Faria, J.C.T., Gonçalves, E.D.O., & Rocha, R.L.F. 2014. Different substrates for the production of *Sesbania virgata* Seedlings. *Floresta e Ambiente* 21(2): 224-233.

Favaretto, A. 2018. Identificação e avaliação de compostos bioativos de capim-annoni em plantas daninhas. 112f. Tese de Doutorado- Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, MG.

Felix, R.A.Z., Ono, E.O., da Silva, C.P., Rodrigues, J.D., & de Pieri, C. 2007. 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* 5(S2): 138-140.

Ferreira, A.G. & Aquila, M.E.A. 2000. Alelopatia: uma área emergente da ecofisiologia. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal* 12: 175-204.

Ferreira, D.F. 2010. SISVAR-Sistema de análise de variância. *Universidade Federal de Lavras*, Lavras, 1 CD.

Ferreira, W.C, Soraya Alvarenga Botelho, S.A., Davide, A.C., & Faria, J.M.R. 2007. Avaliação do crescimento do estrato arbóreo de área degradada revegetada à margem do Rio Grande, na Usina Hidrelétrica de Camargos, MG. *Revista Árvore* 31(1): 177-185.

Florentino, L.A., Guimarães, A.P., Rufini, M., da Silva, K., & Moreira, F.M.S. 2009. *Sesbania virgata* stimulates the occurrence of its microsymbiont in soils but does not inhibit microsymbionts of other species. *Scientia Agricola* 66: 667-676.

Garrott, R.A., Eberhardt, L.L., & Burn, D.M. 1993. Mortality of sea otters in Prince William Sound following the Exxon Valdez oil spill. *Marine Mammal Science* 9(4): 343-359.

Goedert, W.J., Schermack, M.J., & Freitas, F.C. 2002. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 37(2): 233-227.

Grisi, P.U., Gualtieri, S.C.J., Ranal, M.A., & Santana, D.G. 2011. Efeito alelopático do fruto de *Sapindus saponaria* na germinação e na morfologia de plântulas daninhas e de hortaliças. *Planta Daninha* 29 (2): 311-322.

Id, V.L.E., Costa, B.V., Mignoni, D.S.B., Veronesi, M.B., Simões, K., Braga, M.R., Santos-Junior, N.A. 2015. Phytotoxic effect of *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. on seeds of agronomic and forestry species. *Journal of Forestry Research* 26: 339-346.

Id, V.L.E., Braga, M.R., & Santos Junior, N.A.D. 2020. Germination and initial development of forest species under the action of catechin, presents in seeds of *Sesbania virgata* (Cav.) Pers.(Fabaceae). *Hoehnea* 47: e472020.

Inderjit, Pollock, J.L., Callaway, R.M., Holben, W. 2008. Phytotoxic effects of (±)catechin in vitro, in soil, and in the field. *Plos One* 3: 1-11.

Langat, K.K., & Maina, F.N. 2018. Breaking Secondary Dormancy in *Sesbania* (*Sesbania sesban*) Seeds. *Asian Journal of Research in Agriculture and Forestry*: 1-4.

Lima, R.A., Rother, D.C., Muler, A.E., Lepsch, I.F., & Rodrigues, R.R. 2012. Bamboo overabundance alters forest structure and dynamics in the Atlantic Forest hotspot. *Biological Conservation* 147(1): 32-39.

Lôbo, L.T., Castro, K.C.F., Arruda, M.S.P., Silva, M.N., Arruda, A.C., Müller, A.H., Arruda, G.M.S.P., Santos, A.S. 2008. Potencial alelopático de catequinas de *Tachigali myrmecophyla* (Leguminosae). *Química Nova* 31: 493-497.

Longo R.M., Ribeiro A.I., Melo W.J. 2005. Caracterização física e química de áreas mineradas pela extração de cassiterita. *Bragantia* 64 (1): 101-107.

Maciel, M.D.N.M., Watzlawick, L.F., Schoeninger, E.R., & Yamaji, F.M. 2002. Efeito da radiação solar na dinâmica de uma floresta. *Revista Ciências Exatas e Naturais* 4(1): 101-114.

Maguire, J.D. 1962. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science* 2: 176-177.

Maraschin-Silva, F. & Áquila, M.E.A. 2006. Potencial alelopático de espécies nativas na germinação e crescimento inicial de *Lactuca sativa* L. (Asteraceae). *Acta Botanica Brasilica* 20:61-69.

Marcos Filho, J. 2005. Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. Piracicaba: FEALQ, 2005. 495p.

Martins, D., Martins, C.C. & Costa, N.V. 2006. Potencial alelopático de soluções de solo cultivado com *Brachiaria brizantha*: efeitos sobre a germinação de gramíneas forrageiras e plantas daninhas de pastagens. *Planta Daninha* 24 (1): 61-70.

Matos, D.M.S. & Pivello, V.R. 2009. O impacto das plantas invasoras nos recursos naturais de ambientes terrestres- Alguns casos brasileiros. *Ciência e Cultura* 61 (1): 27-30.

Medeiros, A.R.M. & Lucchesi, A.A. 1993. Efeitos alelopáticos da ervilhaca (*Vicia sativa* L.) sobre a alface em testes de laboratório. Pesquisa Agropecuária Brasileira 28(1): 9-14.

Mignoni, D.S.B., Simões, K. & Braga, M.R. 2017. Potential allelopathic effects of the tropical legume *Sesbania virgata* on the alien *Leucaena leucocephala* related to seed carbohydrate metabolism. Biological invasions 20(1): 165-180.

Morais, L.A.S. 2009. Influência dos fatores abióticos na composição química dos óleos essenciais. Horticultura Brasileira 27: S4050- S4063.

Newbold, T., Hudson, L.N., Hill, S.L.L., Contu, S., Lysenko, I., Senior, R.A., Börger, L., Bennett, D.J., Choimes, A., Collen, B., Day, J., Palma, A., Díaz, S., Echeverria-Londoño, S., Edgar, M.J., Feldman, A., Garon, M., Harrison, M.L.K., Alhousseini, T., Ingram, D.J., Itescu, Y... & Purvis, A. 2015. Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. Nature 520(7545): 45-50.

Nijveldt, R.J., van Nood, E., van Hoorn, D.E.C., Boelens, P.G., van Norren, K., van Leeuwen, P.A.M. 2001. Flavonoids: a review of probable mechanisms of action and potential applications. The American Journal of Clinical Nutrition 74: 418–425.

Nóbrega, R.S.A., Paula, A.M., Boas, R.C.V., Nóbrega, J.C.A., & Souza Moreira, F.M. 2008. Parâmetros morfológicos de mudas de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers e de *Anadenanthera peregrina* (L.) cultivadas em substrato fertilizado com composto de lixo urbano. Revista Árvore 32(3): 597-607.

Nonogaki, H., Bassel, G.W., & Bewley, J.D. 2010. Germination – Still a mystery. Plant Science. 179: 574–581

Oliveira, A.K.M., & Gualtieri, S.C.J. 2011. Crescimento inicial de *Tabebuia aurea* sob três intensidades luminosas. Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana 6(2): 90-103.

Orozco-Segovia, A., Vázquez-Yanes, C., Coates-Estrada, R., & Pérez-Nasser, N. 1987. Ecophysiological characteristics of the seed of the tropical forest pioneer *Urera caracasana* (Urticaceae). Tree Physiology 3(4): 375-386.

Perry, L.G., Thelen, G.C., Ridenour, W.M., Callaway, R.M., Paschke, M.W., Vivanco, J.M. 2007. Concentrations of the allelochemical (±)-catechin in *Centaurea maculosa* soils. Journal Chemical Ecology 33: 337-344.

Pivello, V.R., Vieira, M.V., Grombone-Guaratini, M.T. & Matos, D.M.S. 2018. Thinking about super-dominant populations of native species: Examples from Brazil. Perspectives in ecology and conservation 16(2): 74-82.

Polster, D. 2016. Natural processes for the restoration of drastically disturbed sites. *Journal of American Society of Mining and Reclamation* 5:77-90.

Portela, R.C., Silva, I.L., & Pinã-Rodrigues, F.C. 2001. Crescimento inicial de mudas de *Clitoria fairchidiana* Howard e *Peltophorum dubium* (Spreng) Taub em diferentes condições de sombreamento. *Ciência Florestal* 11(2), 163-170.

Pott, A. & Pott, V.J. 1994. Plantas do Pantanal. EMPRAPA/CPAP/SPI, Corumbá, 320p.

Rocha, G.P., Fernandes, L.A., Cabacinha, C.D., Lopes, I.D.P., Ribeiro, J.M., Frazão, L.A., Sampaio, R.A. 2014. Caracterização e estoques de carbono de sistemas agroflorestais no Cerrado de Minas Gerais. *Ciência Rural, Santa Maria* 44(7): 1197-1203.

Rosseto, J., Albuquerque, M.C.D.F., Rondon Neto, R.M., & Silva, I.C.D.O. 2009. Germination of *Parkia pendula* (Willd.) Benth. ex Walp. (Fabaceae) seeds in different temperatures. *Revista Árvore* 33(1): 47-55.

Samôr, O.J.M., Carneiro, J.D.A., Barroso, D.G., & Leles, P.D.S. 2002. Qualidade de mudas de angico e sesbânia, produzidas em diferentes recipientes e substratos. *Revista Árvore* 26(2): 209-215.

Scalon, S.P.Q., Mussury, R.M., Rigoni, M.R., Scalon Filho, H. 2003. Crescimento inicial de mudas de *Bombacopsis glabra* (Pasq.) A. Robyns sob condições de sombreamento. *Revista Árvore* 27 (06): 753-758.

Schmidt, L. 2000. Guide to handling of tropical and subtropical forest seed. Humlebaek: Danida Forest Seed Centre, pp. 1-11.

Silva, L.C.R., & Corrêa R.S. 2008. Sobrevivência e crescimento de seis espécies arbóreas submetidas a quatro tratamentos em área minerada no Cerrado. *Revista Árvore* 32(4): 731-740.

Silva, P.E.M., Santiago, E.F., Daloso, D.M., Silva, E.M., Silva, J.O. 2011. Quebra de dormência em sementes de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. *Idesia* 29: 39-45.

Silva, K.D.A., Martins, S.V., Miranda Neto, A., Demolinari, R.D.A., & Lopes, A.T. 2016. Restauração florestal de uma mina de bauxita: avaliação do desenvolvimento das espécies arbóreas plantadas. *Floresta e Ambiente* 23(3): 309-319.

Silveira R.B., Melloni, R., & Melloni, E.G.P. 2006. Atributos microbiológicos e bioquímicos como indicadores da recuperação de áreas degradadas em Itajuba/MG. *Cerne* 12(1): 48-55.

Simões, K., Du, J., Kretschmar, F.S., Broeckling, C.D., Stermitz, F.R., Vivanco, J.M., Braga, M.R. 2008. Phytotoxic catechin leached by seeds of the tropical weed *Sesbania virgata*. *Journal of Chemical Ecology* 34: 681-687.

Solar, R.R.D.C., Barlow, J., Ferreira, J., Berenguer, E., Lees, A.C., Thomson, J.R., Louzada, J., Maués, M., Mura, N.G., Oliveira, V.H.F., Chaul, J.C.M., Schoereder, J.H., Vieira, I.C.G., Mac Nally, R., Gardner, T.A. 2015. How pervasive is biotic homogenization in human-modified tropical forest landscapes? *Ecology Letters* 18(10): 1108-1118.

Soltys, D., Gniazdowska, A., Bogatek, R. 2013. Inhibition of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) root growth by cyanamide is not always accompanied with enhancement of ROS production. *Plant Signaling e Behavior* 8(5): e23994-1- e23994-3.

Sousa, L.B., Nóbrega, R.S.A., Lustosa Filho, J. F., Nascimento Amorim, S. P., Ferreira, L.D.V.M., & Nóbrega, J.C.A. 2015. Cultivo de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. em diferentes substratos. *Revista de Ciências Agrárias- Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences* 58(3): 240-247.

(a) Souza, V.C., Andrade, L.A., Bezerra, F.T., Fabricante, J.R., & Feitosa, R.C. 2011. Avaliação populacional de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. (Fabaceae Lindl.), nas margens do rio Paraíba. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* 6(2): 314-320.

(b) Souza, V.C., Andrade, L.A., & Fabricante, J.R. 2011. Regeneração natural de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. em área invadida nas margens do Rio Paraíba. *Educação ambiental: Responsabilidade para conservação da sociobiodiversidade*: 92-96.

Sousa-Silva, J.C., Ribeiro, J.F., Fonseca, C.D., & Antunes, N.B. 2001. Germinação de sementes e emergência de plântulas de espécies arbóreas e arbustivas que ocorrem em Matas de Galeria. *Cerrado: caracterização e recuperação de Matas de Galeria*. Embrapa Cerrados, Brasília: 379-422.

Souza, V.C., Agra, P.F.M., Andrade, L.A., Oliveira, I.G., & Oliveira, L.S. 2010. Germinação de sementes da invasora *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. sob efeito de luz, temperatura e superação de dormência. *Semina: Ciências Agrárias* 31(4): 889-893.

Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., Biggs, R., Carpenter, S.R., Vries, W., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G.M., Persson, L.M., Ramanathan, V., Reyers, B., & Sörlin, S. 2015. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science* 347(6223): 1108-1118.

Tattini, M., Galardi, C., Pinelli, P., Massai, R., Remorini, D., & Agati, G. 2004. Differential accumulation of flavonoids and hydroxycinnamates in leaves of *Ligustrum vulgare* under excess light and drought stress. *New Phytologist* 163(3): 547-561.

Tilman, D., Clark, M., Williams, D.R., Kimmel, K., Polasky, S., & Packer, C. 2017. Future threats to biodiversity and pathways to their prevention. *Nature* 546(7656): 73-81.

Uchida, T. & Campos, M.A.A. 2000. Influência do sombreamento no crescimento de mudas de cumaru (*Dipteryx odorata* (AUBL.) WILLD. -Fabaceae), cultivadas em viveiro. *Acta Amazônica* 30(1): 107-114.

Veronesi MB. 2013. Avaliação da tolerância de duas espécies nativas às fitotoxinas exsudadas por *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. 81f. Dissertação de Mestrado, Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, São Paulo, SP

Vidal, C. Y. & Rodrigues, R. R. 2019. Restauração da diversidade: os viveiros do estado de São Paulo. USP/ESALQ, Piracicaba, 2019.

Vieira, B. de C., Oliveira, S.M.S, & Silveira, F.A.O. 2007. Efeito da luz e escarificação na germinação de *Sesbania virgata* (Fabaceae) sob condições artificiais de armazenamento. In: Congresso de Ecologia do Brasil, 8., 2007, CaxambuMG. Anais. Caxambu-MG: SBE, 2007. p.1-2.

Wandscheer, A. C. D., & Pastorini, L. H. 2008. Allelopathic interference of *Raphanus raphanistrum* L. on the germination of *Lactuca sativa* L. and *Solanum lycopersicon* L. *Ciência Rural* 38(4): 949-953.

Weir, T.L., Bais, H.P., Stull, V.J., Callaway, R.M., Thelen, G.C., Ridenour; W.M., Bhamidi, S., Stermitz, F.R., Vivanco, J.M. 2006. Oxalate contributes to the resistance of *Gaillardia grandiflora* and *Lupinus sericeus* to a phytotoxin produced by *Centaurea maculosa*. *Planta* 223: 785-795.

Zanella, F., Soncela, R., & Lima, A.L.D.S. 2006. Formação de mudas de maracujazeiro" amarelo" sob níveis de sombreamento em Ji-Paraná/RO. *Ciência e Agrotecnologia* 30(5): 880-884.

Zhang, S., Liu, J., Bao, X., Niu, K. 2011. Seed-to-seed potential allelopathic effects between *Ligularia virgaurea* and native grass species of *Tibetan alpine* grasslands. *Ecological Research* 26: 47-52.

Zhu, Q.Y., Zhang, A., Tsang, D., Huang, Y., Chen, Z.Y. 1997. Stability of green tea catechins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 45: 4624-462.

CAPÍTULO 2: Condições edafo-climáticas no desenvolvimento de mudas de *S. virgata*

INTRODUÇÃO

As plantas são expostas a diversos estresses abióticos, em ambientes que estão em constante mudança e que podem se tornar desfavoráveis para o seu crescimento e desenvolvimento (Zhu 2016). Os tipos de estresses abióticos incluem água (seca e inundação), metais pesados, salinidade, excesso ou deficiência de nutrientes no solo, altas e baixas temperaturas (resfriamento e congelamento), níveis extremos de luz (alta e baixa), radiação (UV-B e UV-A; ultravioleta, UV), ozônio, dióxido de enxofre, fatores mecânicos e outros de ocorrências menos frequente (Pereira 2016).

A indução de estresses abióticos moderados tem-se mostrado como uma estratégia para aumentar o conteúdo de compostos funcionais nas plantas. Isto ocorre porque ao perceber este estresse as plantas induzem a produção de compostos relacionados ao metabolismo de defesa, os quais incluem compostos do seu metabolismo secundário (Jacinto 2018).

O volume de água (classificado de acordo com a capacidade de campo) ao qual a planta está submetida é um dos fatores que influenciam na síntese de metabólitos secundários (Albergaria *et al.* 2020). Em uma ampla variedade de espécies de plantas, o déficit hídrico é capaz de provocar aumento na síntese de vários fitoquímicos vegetais, como os ácidos fenólicos, flavonóides e taninos, como uma resposta às condições bióticas ou abióticas estressantes (Gholamreza *et al.* 2019). Essas respostas agem como forma de proteção aos efeitos do estresse ambiental (Schwachtje *et al.* 2019).

Outro fator ambiental que pode influenciar no desenvolvimento de plantas e, por consequência, a produção de metabólitos secundários, é o solo. A composição dos substratos é um fator de suma importância vegetal, pois a germinação de sementes, a iniciação radicular e o enraizamento estão diretamente ligados às características químicas, físicas e biológicas do substrato (Caldeira *et al.* 1998). Assim, o substrato deve reunir características físicas e químicas

que promovam, respectivamente, a retenção de umidade e disponibilidade de nutrientes, de modo que atendam às necessidades da planta (Cunha *et al.* 2006).

Porém em áreas perturbadas, com condições extremas de degradação, tais características tidas como ótimas de substrato e suficiência hídrica não são encontradas, dificultando o estabelecimento inicial de espécies vegetais. Em áreas de mineração, por exemplo, durante ou após o abandono das atividades de mineração, instalam-se processos que potencializam o desequilíbrio ambiental, como alagamentos, queda de encostas, erosão, escoamento desordenado das águas superficiais, perda da camada de solo superficial, degradação da paisagem, dentre outros (Ferreira *et al.* 2008).

As causas que dificultam o estabelecimento de plantas sobre substratos minerados podem ser atribuídas, então, à alta compactação da superfície, à baixa capacidade de armazenamento de água, à falta de matéria orgânica, à baixa capacidade de troca catiônica e à redução da fertilidade (Goedert *et al.* 2002, Longo *et al.* 2005), o que torna o ambiente hostil para a maioria das espécies vegetais.

Uma das espécies que foi recomendada por muitos anos para a restauração de áreas degradadas por mineração, por conseguir se adaptar nesse tipo de ambiente, foi *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. (Samôr 1999, Coutinho *et al.* 2005, Florentino *et al.* 2009). A espécie *S. virgata* (Fabaceae) é pioneira, nativa da América do Sul, encontrada nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, principalmente nas áreas de Cerrado e Mata Atlântica (Araújo *et al.* 2004).

Em geral, suas características como alto e rápido índice de germinação e de desenvolvimento, formação de bancos transitórios de sementes no solo, bom potencial de cobertura do solo nos mais variados tipos de substrato, sendo tolerante inclusive à permanência em solos inundados devido a algumas adaptações morfo-anatômicas (Coutinho *et al.* 2005, Souza *et al.* 2010, Zanandrea *et al.* 2010, Alves *et al.* 2013, Delarmelina *et al.* 2014, Duarte *et al.* 2019), são adaptações que garantem a sobrevivência da espécie em diversos *habitats* (Silva *et al.* 2011).

Essas características também a tornam uma espécie superdominante (Matos e Pivello 2009) e com muitas vantagens adaptativas em relação a outras competidoras vegetais.

Além dessas características ecológicas, *S. virgata* é capaz de produzir metabólitos secundário, com potencial atividade alelopática, afetando a germinação e o desenvolvimento de diversas espécies, inclusive espécies exóticas reconhecidamente invasoras e agressivas como *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Mignoni *et al.* 2017). Simões *et al.* (2008) detectaram a presença do flavonóide (+)- catequina em sementes de *S. virgata* e também em suas folhas (Id *et al.* 2015). Tal flavonóide é capaz de gerar atrasos ou inibição na germinação de espécies cultivadas como *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh., *Solanum lycopersicum* L e *Oryza sativa* L. (Simões *et al.* 2008, Coelho 2014), além de causar efeitos negativos no desenvolvimento de espécies florestais nativas do Brasil como *Mimosa bimucronata* (DC) Kuntze, *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. e *Copaifera langsdorffii* Desf. (Id *et al.* 2015).

A quantidade e a presença desse metabólito podem variar entre os órgãos da planta e até mesmo entre plantas da mesma espécie de diferentes populações (Gobbo-Neto e Lopes 2007).

Araújo *et al.* (2018) verificaram que os extratos aquosos oriundos de sementes e de cascas dos frutos de *S. virgata* apresentaram efeito inibitório na germinação de *L. sativa*, demonstrando que determinadas substâncias alelopáticas podem estar concentradas em maior quantidade em determinados órgãos vegetais da espécie. Id *et al.* (2015) e Id *et al.* (2020) verificaram que a quantidade de (+)-catequina variou entre populações de *S. virgata* de um mesmo local e entre órgãos de um mesmo indivíduo, sendo observado presença do metabólito em sementes e em folhas.

Também já foi documentada a presença de outros flavonóides em sementes de *S. virgata* (Simões *et al.* 2008), como quercetina, que é uma substância tóxica, mas não exsudada para o meio durante a germinação, além do alcaloide sesbanimida A, que é uma substância com propriedades antifúngicas. Compostos químicos, como catequina, quercetina e sesbanimida A,

com potencial inibitório, têm outros papéis ecológicos como defesa da planta, quelação de nutrientes e regulação da biota do solo, de modo que afetam a decomposição e a fertilidade do solo (Inderjit *et al.* 2011). Ou seja, a produção de tais substâncias pode representar vantagens adaptativas para a espécie, na competição com outras espécies vegetais ou até mesmo, durante situações de estresses ambientais, como os relacionados às condições hídricas e edáficas.

Com relação aos efeitos de estresse sobre a produção de substâncias alelopáticas, as informações disponíveis mostram que várias destas substâncias produzidos pelas plantas são reguladas por fatores ambientais como temperatura, umidade do solo, intensidade, qualidade e duração de luz, disponibilidade de nutrientes, além de outros fatores, como a aplicação de herbicidas (Ferreira e Áquila 2000), o que mostra a importância de estudos que tentam compreender quais variáveis podem afetar essa produção e se essa produção pode trazer proteção para as espécies submetidas a tais estresses.

OBJETIVO

O objetivo do presente capítulo foi verificar se fatores de estresse ambiental, como condições distintas de solo e de irrigação, poderiam interferir no desenvolvimento inicial de *S. virgata*.

MATERIAL E MÉTODOS

Sementes de *S. virgata* foram escarificadas manualmente com lixa (folha P60) e semeadas em vasos (415 mL), alocados em Casa de Vegetação, no Campo Experimental do Núcleo de Pesquisa em Plantas Ornamentais (Figura 16) a fim de se verificar se fatores ambientais podem influenciar a produção de (+)-catequina. As sementes de *S. virgata* foram obtidas das mesmas seis populações previamente conhecidas, localizadas no município de Lavras, Minas Gerais e descritas no Capítulo 1. Foram então constituídos dois lotes com essas sementes, de acordo com

sua procedência, sendo PC para o lote referente às sementes oriundas de populações produtoras de (+)-catequina e NC para o lote de sementes das populações não produtoras (Id *et al.* 2015).



Figura 16: Ensaio conduzido em casa de vegetação, com sementes de *S. virgata*, de ambas as procedências, semeadas em três tipos de solo. Plântulas de *S. virgata* após 15 dias da semeadura (esquerda) e plântulas de *S. virgata* após 120 dias da semeadura (direita).

As sementes do lote PC foram semeadas em vasos contendo três tipos de solo: um solo obtido comercialmente (Flores e Folhas-ABC Garden®) (SCOM), um solo obtido dos mesmos locais onde foram coletadas as sementes pertencentes ao lote das populações produtoras de (+)-catequina (SPC) e um solo oriundo dos locais nos quais estão identificadas as populações não produtoras de (+)-catequina (SNC). Da mesma forma, as sementes do lote NC também foram semeadas nessas mesmas três condições de solo. Além disso, foram estabelecidos os tratamentos de irrigação com água, variando de 100, 75, 50 e 25% de irrigação, de acordo com a capacidade de campo dos solos utilizados, sendo 100% correspondente a 100 mL de água. Para se padronizar os tratamentos, os solos comerciais também foram irrigados com o padrão de 100 mL para os tratamentos a 100% de irrigação.

Os tratamentos foram aplicados nos dois lotes de sementes, contidas nos três tipos de solo, constituindo um experimento em fatorial 2x3x4 (população-solo-irrigação) (Figura 17), com 5

repetições de 4 vasos, para cada tratamento. Esses tratamentos de irrigação foram aplicados após completados três meses de desenvolvimento das plântulas de *S. virgata* (julho, agosto e setembro/2019) e cinco vezes por semana, durante o período de seis meses.

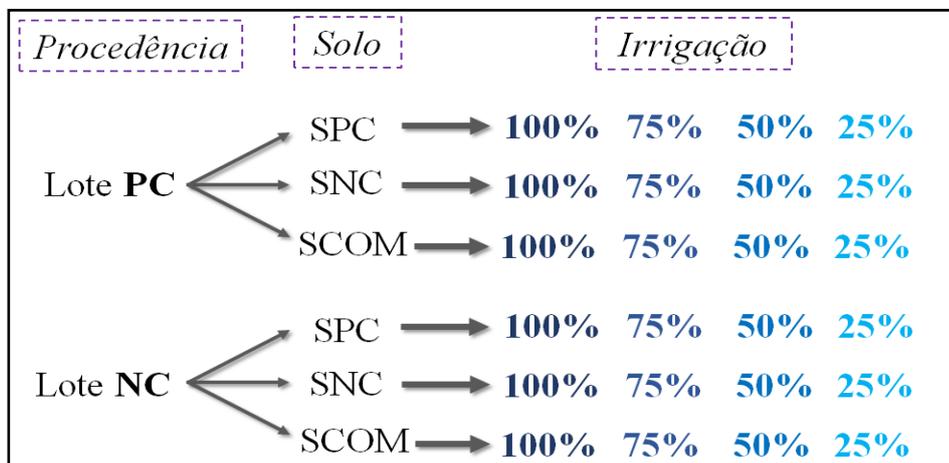


Figura 17: Representação do fatorial (2x3x4), realizado para esse ensaio, no qual cada lote de sementes de *S. virgata*, constituído de acordo com sua procedência, foi semeado em três tipos de solo e em cada tipo de solo, foi aplicado o tratamento com quatro tipos de irrigação.

Após a semeadura, a germinação passou a ser avaliada, diariamente e até que se cessasse o processo germinativo, através da coleta de dados referentes à porcentagem de germinação (%G) e ao índice de velocidade de emergência (IVE) (Maguire 1962), considerando-se a emissão da parte aérea de ambos os grupos de sementes, germinadas nas diferentes condições de solo.

Com a estagnação do processo germinativo, o desenvolvimento das plantas foi monitorado mensalmente, a partir do quarto mês (outubro/2019) após a semeadura e até o nono mês (março/2020), por meio da coleta de dados biométricos de altura e de diâmetro. Os dados foram analisados por meio de análise de variância (ANOVA) e diferenças significativas entre as médias dos tratamentos serão identificadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Os dados coletados, referentes aos resultados biométricos, foram analisados utilizando o programa de estatística SISVAR 5.1 (Ferreira 2010). Para a expressão do desenvolvimento ao longo do tempo com os tratamentos de irrigação, foram ajustadas equações de regressão, expressas na legenda dos gráficos, com os respectivos valores de R^2 .

RESULTADOS

De acordo com os dados a respeito do processo germinativo das sementes de *S. virgata* (Tabela 4), foi possível observar que a porcentagem de germinação das sementes pertencentes a ambas as procedências, não sofreu interferência significativa dos tratamentos relacionados aos tipos de solos utilizados, atingindo o valor de 100%. Quando analisada a %G dessas sementes, comparando os tipos de solo para uma mesma procedência, foi possível observar a mesma resposta, na qual as sementes de ambos os lotes também obtiveram germinação absoluta.

Ao analisar os dados obtidos para o IVE das sementes de *S. virgata*, de acordo com a mesma tabela, notou-se que, quando os valores do mesmo lote foram comparados nas três condições de solo em que foram germinados, não houve interferência significativa, sendo registrados os valores de 0,132, 0,143 e 0,187, para os solos SCOM, SPC e SNC, respectivamente, para as sementes do lote PC, e 0,196, 0,193 e 0,143, para as sementes do lote NC germinadas no solo SCOM, SPC e SNC. O mesmo ocorreu quando os lotes PC e NC foram comparados entre si, dentro do mesmo tipo de solo, onde não houve respostas significativas para tais tratamentos.

Tabela 4: Valores médios referentes à porcentagem de germinação (%G) e ao índice de velocidade de emergência (IVE), de sementes de *S. virgata* oriundas das populações produtoras de catequina (LOTE PC) e das populações não produtoras de catequina (LOTE NC), semeadas em três condições de solo: solo comercial (SCOM), solo obtido na mesma área que foi coletado o lote PC (SPC) e solo obtido na mesma área que foi coletado o lote NC (SNC).

Procedência	Solo		
	SCOM	SPC	SNC
	%G		
LOTE PC	100aA	100aA	100aA
LOTE NC	100aA	100aA	100aA
	IVE		
LOTE PC	0,132aA	0,143aA	0,187aA

LOTE NC	0,196aA	0,193aA	0,143aA
---------	---------	---------	---------

Obs: Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade. Tanto para os dados de %G quanto para IVE, letras minúsculas analisam o fator solo dentro do fator procedência (linha) e letras maiúsculas analisam o fator procedência dentro do fator solo (coluna).

De acordo com os dados referentes ao desenvolvimento inicial das espécies (Tabela 5), numa análise panorâmica, foi possível observar que os fatores procedência, irrigação e condição de solo apresentaram interação entre si, mostrando resultados significativos para os dados biométricos coletados.

Ao analisar a influência da procedência, foi percebido que não houve diferença para os valores de altura (20,94 e 20,69 cm) e de diâmetro (1,45 e 1,46 mm), entre as procedências quando comparadas as irrigações, com exceção da irrigação a 100%.

Nos dados referentes à altura das plantas de *S. virgata*, notou-se que o tratamento de irrigação à 100% causou diminuição significativa desse parâmetro entres os lotes PC e NC, registrando-se o valor de 30,74 cm para as mudas pertencentes ao lote PC e 26,78 cm para as mudas do lote NC, sendo que os outros tratamentos de irrigação não causaram diferenças entre as mudas de ambos os lotes. Em relação ao diâmetro, quando analisados os mesmos tratamentos de irrigação, comparado entre os lotes PC e NC, não houve alterações significativas entre os dados coletados referentes a tais lotes.

Analisando-se esses dois parâmetros em relação à influência da irrigação comparada dentro do mesmo lote, foi observado que, quanto menor a irrigação aplicada, menor o desenvolvimento das plantas em ambos os lotes. Os maiores valores encontrados para a altura das plantas pertencentes ao lote PC foram de 30,74 e 23,28cm enquanto para o lote NC foi de 26,78 e 24,97cm, ambos irrigados à 100 e 75% respectivamente. Já os menores valores de altura para o lote PC foram registrados em 16,83 e 12,9 cm, para as plantas irrigadas à 50 e 25%,

respectivamente, enquanto que para as mudas do lote NC, irrigadas com os mesmos tratamentos, os valores significativos de altura obtidos foram 17,78 e 13,24 cm, mostrando como os mesmos tratamentos de irrigação causaram efeitos similares para ambas as procedências.

Esse padrão de comportamento, de redução gradual de desenvolvimento obtido após aplicação dos menores tratamentos de irrigação, também foi observado para o diâmetro dessas mudas, sendo os menores valores médios de diâmetros para as mudas do lote PC, 1,096 e 1,345 mm obtidos após as irrigações a 25 e 50%, respectivamente, e para as mudas do lote NC, os valores de 1,048 e 1,23mm, para as mesmas irrigações. Já os maiores valores médios de diâmetro obtidos do lote PC foram de 1,625 e 1,762 mm com a aplicação das irrigações à 50 e 100% e 1,658 e 1,908 mm para as mudas do lote NC, onde novamente se notou a similaridade de efeito dessas irrigações para as mudas dos dois lotes.

As médias de altura das plantas entre os lotes PC e NC foram alteradas significativamente, quando comparadas dentro do mesmo tipo de solo, sendo essa alteração detectada nas mudas dos lotes PC e NC presentes nos vasos contendo o solo SPC e o solo SCOM. Em relação à análise do diâmetro, seguindo essa mesma comparação, foi possível verificar uma resposta contrária em relação ao solo, no qual a alteração significativa entre as mudas dos lotes PC e NC ocorreu nos vasos contendo solo SNC.

A análise da influência do fator solo, dentro de uma mesma procedência mostrou que as altura das plantas do lote PC não foi modificada conforme os solos utilizados, tanto nos valores gerais, quanto nos desdobramentos deste dentro de cada irrigação. Já no lote NC, no qual o maior valor médio de altura foi registrado para as mudas crescidas nos vasos contendo solo SCOM, no valor de 23,01 cm, houve tanto diferença na média geral quanto nos desdobramentos deste dentro das irrigações. Para o diâmetro registrou-se diferenças estatísticas para as mudas do lote PC, quando comparadas entre os três tipos de solos, sendo os maiores valores obtidos nos solos SPC e SCOM.

Em relação à interação entre os fatores solo e irrigação, para cada lote, foi possível observar que o mesmo tratamento de irrigação não causou alterações nos dados de altura das plantas do lote PC e de diâmetro pertencentes ao lote NC, quando comparado entre os vasos contendo os três tipos de solo, para nenhum dos tratamentos de irrigação. No entanto o mesmo não foi observado para a altura das mudas do lote NC, na qual a mesma irrigação gerou diferenças significativas, quando comparada entre os solos SPC, SNC e SCOM, sendo que para esse lote notou-se que os maiores valores de altura foram obtidos nos vasos contendo o solo comercial (SCOM), sendo registrado 30,3, 26,42 e 20,05 cm para as mudas irrigadas à 100, 75 e 25%, respectivamente.

Já para o diâmetro, foi observado aumento dessa variável, quando analisada na irrigação a 100% do lote PC, nos solos SPC, SNC e SCOM, sendo obtidos os valores 1,87, 1,45 e 1,97 mm, nessa ordem, mostrando que os maiores valores foram obtidos nos solos SPC e SCOM.

Comparando-se as irrigações aplicadas, dentro de um mesmo tipo de solo e para uma dada procedência, notou-se que para os lotes PC e NC, o fator irrigação teve interferências na altura e no diâmetro das plantas, contidas nos vasos dos solos SPC, SNC e SCOM, sendo observado um padrão de maiores valores médios obtidos com as irrigações a 100% seguidos pela irrigação a 75%, na maioria dos casos, em ambos os lotes.

Tabela 5: Valores médios referentes à altura (cm) e ao diâmetro (mm) de plantas de *S. virgata*, oriundas das populações produtoras de catequina (LOTE PC) e das populações não produtoras de catequina (LOTE NC), semeadas em três condições de solo: solo comercial (SCOM), solo obtido na mesma área que foi coletado o lote PC (SPC) e solo obtido na mesma área que foi coletado o lote NC (SNC) e irrigadas com 100%, 75%, 50% e 25%, de acordo com a capacidade de campo dos solos. Valores referentes ao último mês de experimento (Março/2020).

Lotes	Irrigação	Solo-PC	Solo-NC	Solo-COM	Média da Irrigação
<i>Altura (cm)</i>					
PC	100%	32,05 <i>aA</i>	27,625 <i>aA</i>	32,55 <i>aA</i>	30,74 <i>aA</i>
	75%	24,25 <i>bA</i>	24,13 <i>aA</i>	21,45 <i>bA</i>	23,28 <i>aB</i>
	50%	15,78 <i>cA</i>	16,7 <i>bA</i>	18,03 <i>bcA</i>	16,83 <i>aC</i>
	25%	13,75 <i>cA</i>	11,75 <i>bA</i>	13,2 <i>cA</i>	12,9 <i>aD</i>
	Média	21,46<i>aA</i>	20,05<i>aA</i>	21,31<i>bA</i>	20,94<i>a</i>
NC	100%	26,2 <i>aAB</i>	23,85 <i>abB</i>	30,30 <i>aA</i>	26,783 <i>aB</i>
	75%	20,95 <i>aB</i>	27,55 <i>aA</i>	26,42 <i>aA</i>	24,975 <i>aA</i>
	50%	14,75 <i>bB</i>	18,55 <i>bAB</i>	20,05 <i>bA</i>	17,783 <i>aB</i>
	25%	12,63 <i>bA</i>	11,87 <i>cA</i>	15,25 <i>bA</i>	13,246 <i>aC</i>
	Média	18,631<i>bB</i>	20,454<i>aA</i>	23,01<i>aA</i>	20,69<i>a</i>
Média Geral					20,81
<i>Diâmetro (mm)</i>					
PC	100%	1,87 <i>aA</i>	1,45 <i>aB</i>	1,97 <i>aA</i>	1,76 <i>aA</i>
	75%	1,79 <i>abA</i>	1,40 <i>abA</i>	1,69 <i>abA</i>	1,63 <i>aA</i>
	50%	1,43 <i>bcA</i>	1,31 <i>abA</i>	1,29 <i>bcA</i>	1,35 <i>aB</i>
	25%	1,07 <i>cA</i>	0,99 <i>bA</i>	1,23 <i>cA</i>	1,10 <i>aC</i>
	Média	1,54<i>aA</i>	1,29<i>bB</i>	1,54<i>aA</i>	1,45<i>a</i>
NC	100%	1,82 <i>aA</i>	1,89 <i>aA</i>	2,02 <i>aA</i>	1,91 <i>aA</i>
	75%	1,68 <i>aA</i>	1,73 <i>aA</i>	1,57 <i>bA</i>	1,66 <i>aB</i>
	50%	1,15 <i>bA</i>	1,28 <i>bA</i>	1,25 <i>bcA</i>	1,23 <i>aC</i>
	25%	0,98 <i>bA</i>	1,11 <i>bA</i>	1,05 <i>cA</i>	1,05 <i>aC</i>
	Média	1,41<i>aA</i>	1,50<i>aA</i>	1,48<i>aA</i>	1,46<i>a</i>
Média Geral					1,455

Obs: Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade. Letras minúsculas analisam o fator procedência dentro do fator irrigação e letras maiúsculas analisam o fator irrigação dentro de procedência. Letras minúsculas em **negrito** comparam o fator procedência dentro de solo (coluna) e letras maiúsculas em **negrito** comparam o fator solo dentro do fator procedência (linha). Letras minúsculas em *itálico* comparam o fator irrigação dentro dos fatores procedência e solo (coluna) e letras maiúsculas em *itálico* comparam o fator solo dentro dos fatores procedência e irrigação (linha).

De acordo com os dados (Figura 18A), foi possível perceber que a altura das plantas de *S. virgata* dos lotes PC e NC, analisadas no mês inicial, apresentaram diferenças significativas entre si, quando analisada no solo SCOM, sendo registrado o valor médio de altura de 10,57 cm para as plantas do lote PC e 12,3 cm para as plantas oriundas do lote NC.

No primeiro mês do ensaio, quando as plantas pertencentes ao mesmo lote foram comparadas entre os três tipos de solo, foi possível perceber que houve diferença significativa na altura das plantas de ambas as procedências. Para o lote PC foram registrados os valores médios de 8,95, 9,62 e 10,57 cm para as plantas nos vasos contendo os solos SPC, SNC e SCOM, respectivamente. Para o lote NC, onde também houve diferença significativa nos tipos de solos utilizados, registraram-se os valores médios de altura em 9,29, 9,5 e 12,3 cm para as plantas contidas nos vasos SPC, SNC e SCOM. Em ambos os lotes os maiores valores foram registrados para as mudas no solo SCOM.

Observando o último mês do ensaio, quando foi comparada a influência da procedência dos lotes no mesmo tipo de solo, houve diferença significativa entre os valores médios de altura entre ambas as procedências, nos solos SPC e SCOM. Foram obtidos os valores de 21,45 e 18,63 cm para os lotes PC e NC no solo SPC e 21,3 e 23,0 cm, para os lotes PC e NC no solo SCOM. Aqui nota-se valores muito próximos para as mudas do lote PC, independentemente do solo. Já quando os valores de altura foram comparados de acordo com a influência do tipo de solo em cada lote, foi possível verificar que não houve diferenças significativas para o lote PC, porém essa alteração foi constatada para as plantas de *S. virgata* do lote NC, nas quais foram obtidos os valores 18,63, 20,45 e 23,0 cm para a altura dos indivíduos nos solos SPC, SNC e SCOM, respectivamente, mostrando o bom desenvolvimento das mudas no solo comercial.

Os valores de diâmetro (Figura 18B), obtidos no mês inicial do ensaio e pela comparação entre os dois lotes de *S. virgata*, nos solos utilizados, mostraram que nos solos SPC e SCOM, houve diferença entre os dois lotes, sendo obtidos os valores 0,85 e 0,93 mm para as plantas dos

lotes PC e NC, nos vasos contendo solo SPC e 1,01 e 1,07 mm para as plantas dos mesmos lotes, contidas no solo SCOM. Quando o mesmo lote foi analisado dentro dos três tipos de solo, notou-se que os valores de diâmetro diferiram entre os solos SPC, SNC e SCOM, para os lotes PC assim como para os indivíduos do lote NC, sendo os maiores valores médios de altura registrados para as plantas nos vasos com o solo SCOM.

Em relação ao último mês do ensaio, foi possível observar que, quando comparados os dois lotes de *S. virgata*, em uma mesma condição de solo, os valores médios de diâmetro das plantas, foram modificados significativamente para as plantas dos lotes PC (1,28 mm) e NC (1,50 mm), presentes nos vasos com solo SNC (Figura 18B). Porém, quando foi analisada a influência de cada solo, para o mesmo tipo de lote, foi possível perceber que os valores de diâmetro das plantas, oriundas de ambos os lotes, não sofreram alterações significativas ao final do experimento.

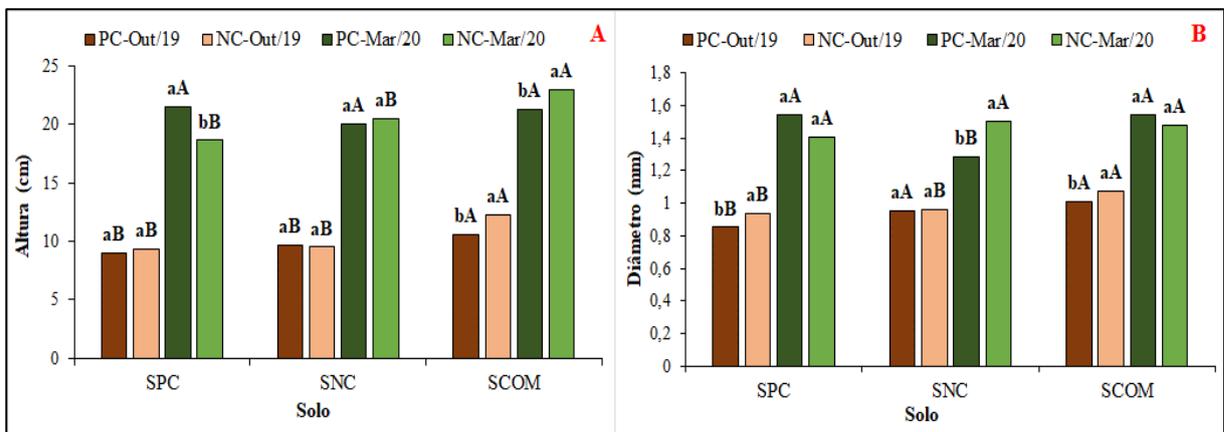


Figura 18: Valores médios dos dados biométricos de altura (cm) (A) e diâmetro (mm) (B), de mudas de *S. virgata*, provenientes das sementes dos lotes PC e dos lotes NC, cultivadas em três tipos de solo: solo obtido na mesma área em que foi coletado o lote PC (SPC), solo obtido na mesma área em que foi coletado o lote NC (SNC) e solo comercial (SCOM), no mês inicial (Outubro/2019) e no mês final do ensaio (Março/2020). Dentro de uma dada data, as letras minúsculas comparam as duas procedências dentro do fator solo e as letras maiúsculas comparam os tipos de solo dentro da mesma procedência.

Analisando-se a influência dos tratamentos de irrigação no desenvolvimento das plantas de *S. virgata* ao longo do tempo, foi possível observar que os tratamentos de irrigação a 100 e a 75% proporcionaram melhores valores de altura e de diâmetro para as plantas de ambos os lotes (Figura 19), chegando nos valores finais mencionados na tabela 5. Para os dois lotes notou-se que, as irrigações a 25 e a 50% provocaram menores valores dos dados referentes à altura e ao diâmetro das plantas, sendo os efeitos mais expressivos para a irrigação a 25%.

Além dos valores iniciais e finais, que serão apresentados posteriormente com os respectivos dados estatísticos, foi possível perceber que ao longo do tempo, o desenvolvimento das plantas de *S. virgata* oriundas do lote PC, mensurado em altura (Figura 19A) e em diâmetro (Figura 19C), foi similar nos primeiros dois meses de experimento, independente do tratamento de irrigação. Porém, a partir do mês de dezembro/2019, o crescimento foi sendo modificado, conforme o tratamento de irrigação utilizado, mostrando uma separação acentuada entre as linhas utilizadas para representar o crescimento das plantas.

Nos últimos três meses de ensaios, os indivíduos do lote PC irrigados com os tratamentos de 25 e 50% apresentaram menores taxas de altura e de diâmetro e uma tendência de desenvolvimento similar entre si, mostrando um crescimento mais demorado e uma possível estagnação ao decorrer do tempo. Já os indivíduos submetidos aos tratamentos de 75% e 100% mostraram maiores taxas de desenvolvimento, apresentando a tendência de continuidade no crescimento em altura e em diâmetro ao longo do tempo, como mostra as equações de reta.

Para as plantas oriundas do lote NC, os quatro tratamentos de irrigação utilizados promoveram valores de altura (Figura 19B) e de diâmetro (Figura 19D) muito próximos entre os indivíduos, nos dois meses iniciais do ensaio. Além disso, o crescimento desse lote foi ligeiramente maior do que o crescimento das plantas do lote NC. A partir do mês de dezembro/2019, também foi verificado o início do distanciamento mais acentuado das curvas de crescimento do lote NC.

Em relação às irrigações a 50 e 25%, a partir de janeiro/2020, foi possível notar que houve diminuição do crescimento das mudas desse lote, sendo essa diminuição mais incisiva para os tratamentos a 25%. Para os tratamentos a 75 e 100% observou-se uma nítida e acentuada separação das linhas de crescimento em relação aos outros dois tratamentos, mostrando um maior desenvolvimento das mudas. Enquanto as mudas dos tratamentos a 25 e 50% tendem ao decaimento do crescimento, as mudas irrigadas a 75 e 100% tendem à ascendência do desenvolvimento ao longo do tempo.

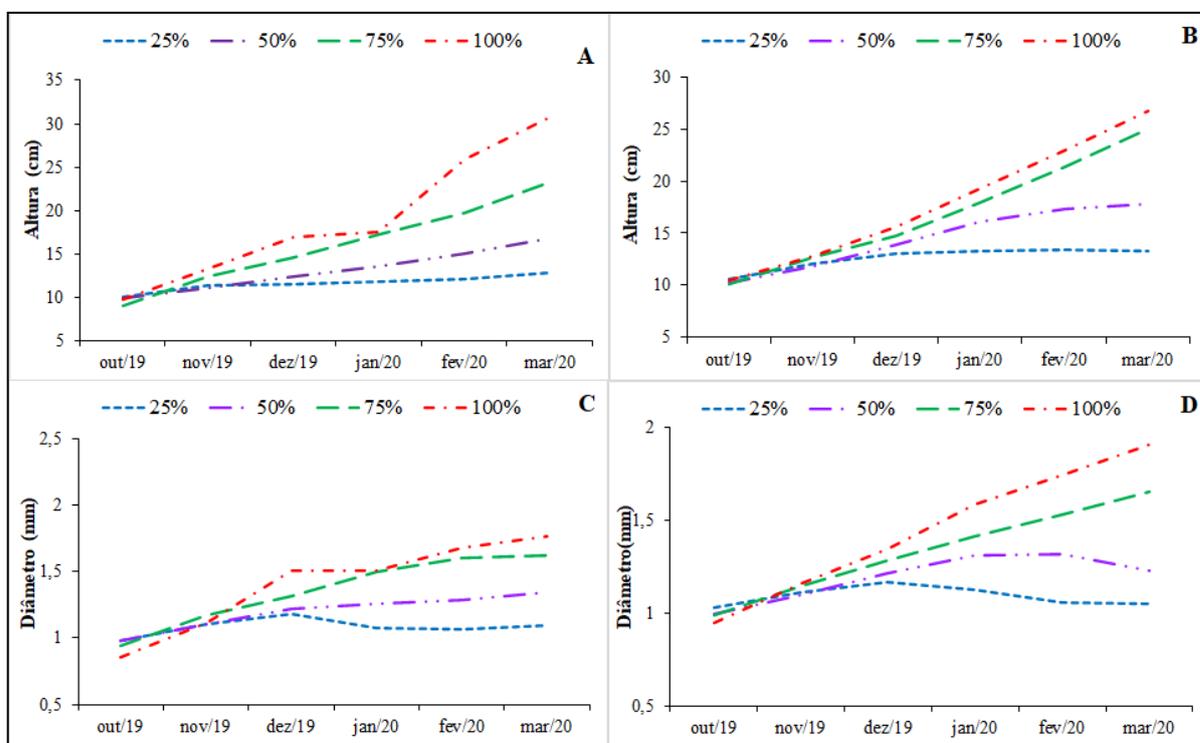


Figura 19: Valores médios dos dados biométricos de altura (cm) e diâmetro (mm), de mudas de *S. virgata*, provenientes das sementes dos lotes PC (A e C) e dos lotes NC (B e D), irrigadas com irrigadas com 100%, 75%, 50% e 25%, de acordo com a capacidade de campo dos solos, em que foram semeadas. Os dados foram coletados mensalmente, durante 6 meses, de outubro de 2019 a março de 2020. Foram ajustadas as seguintes equações de reta para as irrigações 100%, 75%, 50% e 25%, nos gráficos **A**: $y = 4,0808x + 4,744$, $R^2 = 0,9459$ (100%); $y = 2,7345x + 6,4917$, $R^2 = 0,9961$ (75%); $y = 1,3583x + 8,4172$, $R^2 = 0,9949$ (50%); $y = 0,4721x + 9,9822$, $R^2 = 0,8889$ (25%); **B**: $y = 3,2929x + 6,4528$, $R^2 = 0,9918$ (100%); $y = 2,9576x + 6,6261$, $R^2 = 0,9902$ (75%); $y = 1,6233x + 8,8322$, $R^2 = 0,9673$ (50%); $y = 0,5013x + 10,861$, $R^2 = 0,7251$ (25%); **C**: $y =$

$0,0058x - 253,93$, $R^2 = 0,9078$ (100%); $y = 0,0046x - 199,24$, $R^2 = 0,9545$ (75%); $y = 0,0023x - 97,662$, $R^2 = 0,9195$ (50%); $y = 0,0003x - 12,497$, $R^2 = 0,0715$ (25%); **D:** $y = 0,0064x - 277,63$, $R^2 = 0,9969$ (100%); $y = 0,0043x - 188,77$, $R^2 = 0,9984$ (75%); $y = 0,0018x - 78,222$, $R^2 = 0,6737$ (50%); $y = -9E-05x + 5,2391$, $R^2 = 0,0102$ (25%).

Analisando-se mais pontualmente a interferência dos tratamentos de irrigação nos dados de altura e de diâmetro, foi possível perceber que, no primeiro mês de experimento, as irrigações aplicadas não interferiram nos dados de altura de ambos os lotes, assim como também não houve interferência quando o mesmo tratamento de irrigação foi comparado simultaneamente entre os dois lotes (Tabela 6). A exceção foi encontrada apenas para o diâmetro, na irrigação a 100%, registrando-se os valores de 0,86 mm, para o lote PC e 0,95 mm, para o lote NC.

Além disso, ainda no primeiro mês, foi possível observar que os tratamentos de irrigação causaram influência nos dados de diâmetro das mudas oriundas do lote PC, sendo os maiores valores desse parâmetro, registrado em 0,98 mm para as mudas irrigadas com os tratamentos a 25 e 50%.

No último mês do ensaio, as irrigações também não causaram diferença nos dados de altura e de diâmetro, quando comparados os mesmos tratamentos entre os dois lotes de plantas de *S. virgata*. Quando os tratamentos de irrigação foram comparados dentro de cada lote, houve alterações significativas para os valores de altura e de diâmetro, sendo que houve redução gradual dos valores de altura das plantas de ambos os lotes, conforme se diminuiu o tratamento de irrigação aplicado. Isto é, quanto menor a irrigação utilizada menor foram os valores médios de altura.

Para o diâmetro, quando esses tratamentos foram analisados dentro do mesmo lote, também foi possível perceber que, conforme se diminuiu a irrigação aplicada nos vasos, menores foram os valores de diâmetro obtidos para ambos os lotes. Os maiores, obtidos com irrigação a 100% foram 1,76 mm, para as mudas do lote PC e 1,91 mm, para as plantas oriundas do lote NC.

Tabela 6: Valores médios referentes à altura (cm) e ao diâmetro (mm), de mudas de *S. virgata*, oriundas das populações produtoras de catequina (PC) e das populações não produtoras de catequina (NC), e irrigadas com 100%, 75%, 50% e 25%, de acordo com a capacidade de campo dos solos. Valores referentes ao mês inicial (Out/19) e ao mês final (Mar/20) do experimento.

		<i>Altura (cm)</i>		<i>Diâmetro (mm)</i>		Obs:
Lote	Irrigação	Out/19	Mar/20	Out/19	Mar/20	
PC	100%	9,8aA	30,74aA	0,86bB	1,76aA	
	75%	9,10aA	23,28aB	0,95aA	1,63aA	
	50%	9,91aA	16,83aC	0,98aA	1,35aB	
	25%	10,1aA	12,9aD	0,98aA	1,10aC	
NC	100%	10,49aA	26,78aA	0,95aA	1,91aA	
	75%	10,16aA	24,98 aA	0,99aA	1,66aB	
	50%	10,21aA	17,78 aB	0,99aA	1,23aC	
	25%	10,6aA	13,25aC	1,03aA	1,05aC	

Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade. Dentro do mesmo mês, letras minúsculas analisam o fator procedência dentro do fator irrigação e letras maiúsculas analisam a fator irrigação dentro do fator procedência.

No primeiro mês de ensaio, foi possível perceber que, os tratamentos de irrigação, quando analisados dentro do mesmo tipo de solo, não geraram efeitos na altura das plantas de *S. virgata* (Tabela 7). Porém, ainda no primeiro mês, foi possível perceber que a mesma irrigação causou diferenças significativas nos dados de altura, quando comparados entre os três tipos de solo. De acordo com essa comparação, os maiores valores foram registrados no solo SCOM.

No último mês do ensaio, com exceção da irrigação a 25%, todos os tratamentos de irrigação causaram alterações significativas nos valores médios de altura, das mudas de *S. virgata*, presentes nos três tipos de solo, quando o mesmo tratamento foi analisado entre os solos SPC, SNC e SCOM. Já quando as irrigações foram comparadas dentro de cada solo, foi possível perceber que os maiores valores de altura foram obtidos para as irrigações a 100 e a 75%, independente do solo analisado.

Em relação aos dados coletos no primeiro mês de ensaio, referentes ao diâmetro das plantas de *S. virgata*, observou-se que o mesmo tratamento causou diferenças significativas quando comparado entre os solos SPC, SNC e SCOM, sendo que, para todas as irrigações, os maiores valores foram obtidos para as mudas presentes nos vasos com o solo SCOM. De acordo a mesma tabela, as irrigações quando comparadas entre si dentro de cada solo, notou-se que apenas as mudas dos solos SCOM não tiveram seus valores médios de diâmetro alterados com tais tratamentos de irrigação. Em contrapartida, essa alteração foi registrada, tanto para as mudas de *S. virgata* presentes nos solos SPC e SNC, nos quais os menores tratamentos de irrigação foram os que geraram aumento gradual nos valores médios de diâmetro.

No último mês, quando o diâmetro das mudas irrigadas com o mesmo tratamento, comparado entre os três tipos de solo, observou-se que a irrigação a 100% causou diferenças significativas para esse parâmetro, sendo registrados os valores 1,847, 1,666 e 1,992 mm, para os solos SPC, SNC e SCOM. Já quando os valores médios de diâmetro foram analisados, comparando-se os tratamentos de irrigação dentro do mesmo tipo de solo, notou-se que todos os tratamentos de irrigação causaram efeitos significativos, sendo os maiores valores registrados para as plantas irrigadas com os tratamentos a 100%, precedidos pelos tratamentos a 75, 50 e 25%, para os três tipos de solo.

Tabela 7: Valores médios referentes à altura (cm) e ao diâmetro (mm), de mudas de *S. virgata*, semeadas em solo comercial (SCOM), solo obtido na mesma área que foi coletado o lote PC (SPC) e solo obtido na mesma área que foi coletado o lote NC (SNC) e irrigadas com 100%, 75%, 50% e 25%, de acordo com a capacidade de campo dos solos. Valores referentes ao mês inicial (Out/19) e ao mês final (Mar/20) do experimento.

SOLOS	Irrigação	Altura (cm)		Diâmetro (mm)	
		Out/19	Mar/20	Out/19	Mar/20
Solo-PC	100%	9,26bA	29,135aA	0,816bB	1,847abA
	75%	8,64bA	22,6bA	0,902bAB	1,734aA

	50%	8,83bA	15,26bB	0,911bAB	1,294aB
	25%	9,76bA	13,1875aC	0,956bA	1,026aB
Solo-NC	100%	9,53bA	25,74bA	0,874bB	1,666bA
	75%	9,34bA	25,84aA	0,957abAB	1,562aAB
	50%	9,72bA	17,63aB	1,006abA	1,296aBC
	25%	9,68bA	11,81aC	0,996abA	1,054aC
Solo-COM	100%	11,65aA	31,43aA	1,016aA	1,992aA
	75%	10,91aA	23,94abB	1,048aA	1,63aB
	50%	11,64aA	19,04aC	1,041aA	1,274aC
	25%	11,55aA	14,23aD	1,063aA	1,136aC

Obs: Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade. Dentro do mesmo mês, letras minúsculas analisam o fator solo dentro do fator irrigação e letras maiúsculas analisam o fator irrigação dentro do fator solo.

DISCUSSÃO

Os dados referentes ao processo germinativo das sementes de *S. virgata*, nos quais obteve-se porcentagem de germinação absoluta e a ausência de interferência do tipo de solo nesse processo, mostram que a mesma pode atingir níveis satisfatórios de germinação, facilitando seu estabelecimento inicial no meio, já que a germinação é uma etapa crítica para o estabelecimento da planta, no qual ocorre a reativação da atividade metabólica e a mobilização de reservas de células de endosperma (Penfield 2017). Quanto a isso, sabe-se que a sequência de eventos fisiológicos e bioquímicos durante a germinação das sementes é influenciada por diversos fatores abióticos, como luz, temperatura e saturação hídrica dos solos, que podem restringir ou inibir a germinação (Oliveira *et al.* 2015, Oliveira e Gualtieri 2016), o que não foi observado no presente estudo. Isto é, esses fatores não foram capazes de gerar tal efeito negativo no processo germinativo de *S. virgata*.

Além disso, tendo em vista que as sementes do gênero *Sesbania* apresentam diferentes níveis de dormência do tegumento (Ferreira *et al.* 2005, Camargos *et al.* 2008), se a dormência tegumentar de *S. virgata* for rompida, como demonstrado no trabalho de Silva *et al.* (2011), sua germinação também pode atingir valores absolutos, o que também foi constatado no presente trabalho, adotando-se a escarificação mecânica das sementes utilizadas.

A respeito do desenvolvimento inicial das mudas de *S. virgata* de ambos os lotes, principalmente nos solos de origem comercial, sabe-se que uma das limitações dos solos brasileiros é sua baixa fertilidade pobres em nutrientes, não atendendo às exigências nutricionais das espécies (Marques *et al.* 2009, Cruz *et al.* 2012). Os solos utilizados no atual experimento foram extraídos das mesmas áreas onde estavam localizadas as plantas matrizes de *S. virgata*, sendo essas regiões fortemente antropizadas, o que de acordo com a afirmação anterior, pode justificar o baixo desenvolvimento inicial das mudas de *S. virgata* desse ensaio nesses solos, independentemente da procedência das mesmas.

Ainda sobre as respostas observadas nesse estudo em relação à condição edáfica utilizada, alguns estudos mostraram o aumento no desenvolvimento de mudas de *S. virgata*, quando ensaiadas em solos naturais que foram melhorados, através do incremento de fontes de nitrogênio (Chaves *et al.* 2003, Schiavo *et al.* 2010). No trabalho realizado por Nóbrega e colaboradores (2008), para avaliação de mudas de *S. virgata*, utilizando-se substrato de subsolo de Latossolo Vermelho-Amarelo fertilizado ou não, foi visto que as mudas da espécie crescidas no subsolo não fertilizado tiveram redução em altura da parte aérea e de diâmetro do colo, em comparação com as mudas no substrato fertilizado. Os autores afirmam que provavelmente esse baixo desenvolvimento nessas condições se deve às propriedades físicas do subsolo utilizado, sendo este mais compacto e menos poroso. Tais características podem dificultar a absorção de nutrientes pelas plantas (Brandão *et al.* 2003).

Coutinho *et al.* (2005), ao avaliarem o crescimento inicial de mudas de *S. virgata* plantadas em uma área degradada pela extração de argila, comprovaram o efeito benéfico da adição de lodo de esgoto e conteúdo de matéria orgânica, nas covas de plantio. Apesar do bom desempenho de *S. virgata* em solos mais rústicos, tais estudos demonstraram que os solos dos ambientais naturais podem, em determinadas condições, gerar baixos índices de desenvolvimento para as plantas de *S. virgata*, explicando assim os dados obtidos nos três tipos de solos utilizados nesse ensaio, independente da procedência das sementes de *S. virgata*.

De acordo com os dados biométricos obtidos frente às condições edáficas utilizadas, Kampf (2005) afirma que as características físicas dos solos são importantes de serem observadas uma vez que podem influenciar no crescimento das mudas; por exemplo, quanto mais alta for a densidade do substrato, mais difícil se torna o cultivo no recipiente, podendo limitar o crescimento das mudas. A qualidade física do substrato é importante, por ser utilizado num estágio de desenvolvimento em que a planta é muito suscetível ao ataque por microrganismos e pouco tolerante ao déficit hídrico (Caldeira *et al.* 2008). No presente trabalho os solos coletados em Lavras se apresentaram mais compactados, menos porosos e de coloração vermelha-alaranjada intensa enquanto que o solo comercial era menos denso, mais poroso, de coloração preta e composto por cascas de pinus, turfa tratada e esterelizada, pó de carvão e adubo mineral NPK (de acordo com as informações fornecidas pelo fabricante), o que o torna um substrato de melhor qualidade em relação aos solos coletados em Minas Gerais.

No desenvolvimento inicial de espécies arbóreas é comum o uso desses tipos de matéria orgânica misturada ao solo devido sua ação favorável sobre as propriedades físico-químicas do mesmo (Araujo e Sobrinho 2011, Caldeira *et al.* 2012). Assim, a fonte orgânica é responsável pela retenção de umidade e fornecimento de parte dos nutrientes, também influenciando na densidade do substrato, na porosidade total e no espaço poroso do solo (Cunha *et al.* 2006, Araujo e Sobrinho 2011).

Isso também pode explicar o melhor desenvolvimento das mudas de *S. virgata*, independente de sua procedência, no solo comercial em relação aos solos das áreas antropizadas, quando aplicados os tratamentos de irrigação. Inclusive o uso do solo comercial pode explicar também as diferenças encontradas nos dados de diâmetro do colo, referentes ao primeiro mês de ensaio, quando se iniciou a aplicação dos tratamentos de irrigação.

Dentre os fatores que podem influenciar a qualidade e o crescimento de plantas, está também a disponibilidade hídrica no substrato (Silva *et al.* 2017). Em relação a este fator, a primeira consequência fisiológica para as plantas submetidas a estresse hídrico é a redução ou a interrupção dos ritmos de crescimento, devido à redução na diferenciação celular, influenciada pela restrição hídrica imposta pelo tratamento adotado (Silva e Nogueira, 2003).

De acordo com os dados biométricos, por meio dos quais foi verificado que os menores tratamentos de irrigação utilizados causaram diminuição no desenvolvimento das mudas de *S. virgata*, tanto na comparação entre as procedências das sementes como entre os solos utilizados. Resultados semelhantes foram encontrados por Silva *et al.* (2002) trabalhando com plantas jovens de *Melaleuca alternifolia* Cheel, e Figueirôa *et al.* (2004), com plantas jovens de *Myracrodruon urundeuva* Allemão, submetidas a diferentes tratamentos hídricos, os quais verificaram reduções na altura, número de folhas e diâmetro do caule das plantas sob estresse.

Nascimento e colaboradores (2011) também verificaram que a aplicação de tratamentos de irrigação de 100, 75, 50 e 25% da capacidade de campo em mudas de *Hymenaea courbaril* L. (Fabaceae), afetou o desenvolvimento de mudas da espécie, nas quais observou-se que os dados biométricos coletados foram reduzidos com os tratamentos a 50 e a 25%. As curvas de crescimento desse trabalho se assemelham às curvas encontradas para as mudas de *S. virgata*, de acordo com os quatro tratamentos de irrigação empregados em ambos os estudos.

Os dados aqui apresentados mostraram comportamento semelhante aos dados mencionados no trabalho de Nascimento *et al.* (2011), em relação aos tratamentos utilizados, onde foi visto

que as mudas de *S. virgata* também não interromperam seu desenvolvimento em condições de baixa disponibilidade hídrica, apesar da severidade observada nos dados de altura e de diâmetro encontrados nessa situação. Sobre isso, Rocha *et al.* (2016) afirmam que a adaptação morfológica das plantas à seca garante a máxima absorção de água em condições de estresse hídrico e permite o crescimento ou sobrevivência da espécie.

Nogueira *et al.* (2005) afirmam que a deficiência hídrica afeta todos os aspectos do crescimento e desenvolvimento das plantas, podendo influenciar no alongamento e na diferenciação celular em função da redução na turgescência da célula, resultando na diminuição do desenvolvimento da área foliar, afetando a produção e translocação de fotoassimilados para as novas áreas de crescimento. Porém, não só o déficit hídrico, mas também o excesso de água no substrato é prejudicial na fase de muda, de acordo com sua intensidade e duração (Silva *et al.* 2017). O déficit reduz a absorção de nutrientes, enquanto o excesso lixivia nutrientes e propicia condições favoráveis aos patógenos (Lopes *et al.* 2005). A saturação hídrica do solo restringe a quantidade de oxigênio e, em pouco tempo, pode gerar um ambiente hipóxico ou mesmo anóxico (Barreto *et al.* 2018).

Visto que as mudas de *S. virgata* alcançaram um desenvolvimento maior com as maiores irrigações, chegando a duplicar seus índices biométricos em relação às mudas submetidas aos menores tratamentos de irrigação, pode-se dizer que tal espécie apresenta boa adaptação a esse tipo de estresse hídrico. A respeito desse comportamento, existem trabalhos que mostram sua capacidade de ser tolerante à permanência em solos inundados, por longos períodos (Zanandrea *et al.* 2010), desenvolvendo estruturas morfo-anatômicas (Alves *et al.* 2013) ou até mesmo, mantendo suas taxas de crescimento mais elevadas do que em plantas em condições de solos drenados (Davanso-Fabro *et al.* 1998, Kreuzwieser *et al.* 2009).

A respeito da constituição bioquímica durante o desenvolvimento vegetal, nota-se uma relação inversamente proporcional entre uma alta atividade metabólica e a produção de

metabólitos secundários (em geral derivados fenólicos), isto é, uma queda na produção de aleloquímicos em condições de rápido crescimento tecidual (Gobbo-Neto e Lopes 2007), o que sugere que o metabolismo secundário de *S. virgata* pode sofrer interferência em sua produção durante o período de crescimento em condição de escassez ou abundância hídrica.

De acordo com essa suposição, Tatagiba (2007) afirma que o estresse ocasionado por déficit hídrico pode atuar como mediador na sobrevivência de diferentes procedências dentro de uma mesma espécie. Ou seja, a capacidade de produção ou não dos metabólitos secundários por *S. virgata* pode estar mais relacionado à sua condição de estresse ambiental do que a sua origem de coleta.

Em relação aos tratamentos de irrigação e à possível produção de metabólitos secundários, em resposta aos tratamentos utilizados nesse estudo, sabe-se que as plantas sintetizam compostos fenólicos para sobreviver em condições de estresse (radiação UV, seca, sal, metal e estresse de baixa temperatura) (Naikoo *et al.* 2019). Uma planta, se cultivada sob diferentes condições hídricas, pode apresentar alterações qualitativas e quantitativas no metabolismo secundário (Bortolo *et al.* 2009), como mecanismos de defesa a essas variações ambientais (Castro *et al.* 2005).

Akula e Ravishankar (2011) relataram que o mecanismo de defesa contra o estresse hídrico é desencadeado pela bioatividade das moléculas fenólicas da folha, sendo o acúmulo dos ácidos fenólicos e dos flavonóides uma das respostas das plantas ao estresse hídrico (Kirakosyan *et al.* 2004, Abreu & Mazzafera 2005, Nichols *et al.* 2015). Kirakosyan *et al.* (2003) relataram que em condições de seca, os flavonóis foram aumentados em espécies como *Crataegus laevigata* e *Crataegus monogyna*. Quanto ao acúmulo dessas substâncias, sabe-se que *S. virgata* produz alguns flavonoides, como catequina, sesbanimida A e quercetina, em suas folhas e sementes (Simões *et al.* 2008, Id *et al.* 2015) e que estes poderiam sofrer alguma alteração em sua produção e/ou acúmulo, frente aos tratamentos de irrigação aplicados nesse estudo.

Ainda sobre os flavonóides produzidos em condições de estresse hídrico, Ballizany *et al.* (2012) demonstraram que o conteúdo de quercetina aumentou significativamente sob condições de seca em *Trifolium repens* L, e que esse aumento foi maior nas plantas geneticamente mais resistentes à seca. Em outro estudo, com cultivares, uma variedade de tomate resistente à seca apresentou aumento de quercetina, enquanto na variedade de tomate sensível à seca, a quantidade desse flavonoide foi reduzida (Sanchez-Rodríguez *et al.* 2011). Isto é, em *S. virgata*, que é uma espécie conhecida por colonizar ambientes tidos como inóspitos para outras espécies vegetais (Coutinho *et al.* 2005), é capaz de produzir certos metabólitos secundários pertencentes à classe bioquímica dos flavonóides, capazes de proteger a espécie da situação de estresse hídrico no ambiente.

Além disso, existem evidências de que plantas submetidas a estresses abióticos moderados apresentam maior tolerância a estresses subsequentes (Paim *et al.* 2019). Este efeito se daria pelo fato de as células vegetais já apresentarem o metabolismo direcionado à produção de metabólitos de defesa, em virtude do primeiro estresse infligido (Zlotek *et al.* 2013), sendo o acúmulo de compostos fenólicos nos tecidos vegetais considerados uma resposta adaptativa das plantas a essas condições ambientais adversas (Lattanzio 2019, Pereira 2016, Schwachtje *et al.* 2019). Ou seja, tal mecanismo de produção de metabólitos secundários pelas plantas de *S. virgata*, que comprovadamente são alelopáticos e antifúngicos (Simões *et al.* 2008, El Id *et al.* 2015, Mignoni *et al.* 2017), pode ser considerado mais uma provável vantagem adaptativas da espécie, para condições ambientais extremas, facilitando sua conquista e sua colonização em novos ambientes.

CONCLUSÕES

Neste trabalho, em relação ao processo germinativo de *S. virgata*, foi visto que a espécie germinou bem e rapidamente em todos os solos utilizados, sendo dois deles considerados mais deficientes (SPC e SNC) e um deles mais propícios ao desenvolvimento da espécie (SCOM).

Além disso, *S. virgata* apresentou bom e contínuo desenvolvimento nas condições dos regimes hídricos utilizados, sendo desde condições de maiores irrigações quanto em condições de baixa disponibilidade hídrica. Tais resultados reforçam a plasticidade da espécie em se adaptar aos mais distintos e severos tipos de ambientes.

No geral, o desenvolvimento de *S. virgata* foi influenciado tanto pela condição do solo, como pelo tratamento de irrigação utilizado, ambos simulando situações de estresse ambientais, ao quais as plantas de *S. virgata* podem ser submetidas em condições naturais de sobrevivência. E, de acordo com a literatura, esses ambientes estressantes podem afetar a produção e o acúmulo de determinados metabólitos que *S. virgata* é capaz de produzir, isto é, essa produção poderia ser considerada mais uma vantagem adaptativa da espécie, por afetar quimicamente o desenvolvimento de outras espécies vegetais, como também por lhe conferir vantagens competitivas em ambientes extremos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abreu, I.N., & Mazzafera, P. 2005. Effect of water and temperature stress on the content of active constituents of *Hypericum brasiliense* Choisy. *Plant Physiology and Biochemistry* 43(3): 241-248.

Akula, R., & Ravishankar, G.A. 2011. Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. *Plant signaling & behavior* 6(11): 1720-1731.

Albergaria, E.T., Oliveira, A.F.M., & Albuquerque, U.P. 2020. The effect of water deficit stress on the composition of phenolic compounds in medicinal plants. *South African Journal of Botany* 131: 12-17.

Alves, J. D., Zanandrea, I., Deuner, S., de FP Goulart, P., de Souza, K. R., & Santos, M. D. O. 2013. Antioxidative responses and morpho-anatomical adaptations to waterlogging in *Sesbania virgata*. *Trees* 27(3): 717-728.

Araújo, A.P.D., & Paiva Sobrinho, S.D. 2011. Germinação e produção de mudas de tamboril (*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong) em diferentes substratos. *Revista Árvore* 35(3): 581-588.

Araújo, E., Mendonça, A.V., Barbosa, D.G., Lamonica, K.R., Silva, R.F. 2004. Caracterização morfológica de frutos, sementes e plântulas de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. Revista Brasileira de Botânica 26: 105-110.

Araujo, E.C.G., Silva, T.C., & de Lima, T.V. 2018. Efeitos alelopáticos de *Sesbania virgata* (cav.) Pers na germinação de sementes de alface. Revista Engenharia na Agricultura 26(2): 101-109.

Ballizany, W.L., Hofmann, R.W., Jahufer, M.Z., & Barrett, B.A. 2012. Multivariate associations of flavonoid and biomass accumulation in white clover (*Trifolium repens*) under drought. Functional Plant Biology, 39(2): 167-177.

Barreto, B.D.B., Hefler, S.M., Martinazzo, E.G., & Colares, I.G. 2018. Germination and initial growth of *Sesbania punicea* (Cav.) Benth.: influence of salinity, flooding and light. Revista Árvore 42(4): e420408.

Bortolo, D.P.G., Marques, P.A.A., & Pacheco, A.C. 2009. Teor e rendimento de flavonóides em calêndula (*Calendula officinalis* L.) cultivada com diferentes lâminas de irrigação. Revista Brasileira de Plantas Mediciniais 11(4): 435-441.

Brandão, V.S.; Pruski, F.F. & Silva, D.D. 2003. Infiltração da água no solo. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 98p.

Caldeira, M. V. W., FENILLI, T. A. B., & HARBS, R. M. P. 2008. Composto orgânico na produção de mudas de aroeira-vermelha. Scientia Agraria 9(1): 027-033.

Caldeira, M. V. W., Peroni, L., Gomes, D. R., Delarmelina, W. M., & Trazzi, P. A. 2012. Diferentes proporções de biossólido na composição de substratos para a produção de mudas de timbó (*Ateleia glazioveana* Baill). Scientia Forestalis 40(93): 15-22.

Caldeira, M.V.W., Schumacher, M.V., Barichello, L.R., Vogel, H.L.M., & Oliveira, L.D.S. 1998. Crescimento de mudas de *Eucalyptus saligna* Smith em função de diferentes doses de vermicomposto. Floresta 28(1/2): 19-30.

Camargos, V. N., Carvalho, M. L. M., Araujo, D. 2008. Superação da dormência e avaliação da qualidade fisiológica de sementes de *Sesbania virgata*. Ciência e agrotecnologia 32(6): 1858-1865.

Castro, P.R., Kluge, R.A., & Peres, L.E. 2005. Manual de fisiologia vegetal. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 651p.

Chaves, L.L.B., Carneiro, J.G.A., Barroso, D.G., & Leles, P.S.S. 2003. Efeitos da inoculação com rizóbio e da adubação nitrogenada na produção de mudas de *Sesbania* em substrato constituído de resíduos agroindustriais. Revista Árvore 27(4): 443-449.

Coelho, L.C.S. 2014. Potencial alelopático in vitro dos exsudatos de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. sobre tomate e arroz e em fungos micorrízicos arbusculares na fase assimbiótica. 96f. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo.

Coutinho, M.P., Carneiro, J.G.A., Barroso, D.G., Rodrigues, L.A., Figueiredo, F.A.M.M.A., Mendonça, A.V.R., Novaes, A.B. 2005. Crescimento de mudas de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. plantadas em uma área degradada por extração de argila. *Floresta* 35: 231-239.

Cruz, C.A.F., Paiva, H.N., & Neves, J.C.L. 2012. Production of canafístula seedlings cultivated in red-yellow alic latosol in response to macronutrients. *Cerne* 18(1): 87-98.

Cunha, A.D.M., Mello, A.D., Sarmiento, R.D.A., Cunha, G.D.M., & Amaral, J.F. T.D. 2006. Efeito de diferentes substratos sobre o desenvolvimento de mudas de *Acacia* sp. *Revista Árvore* 30(2): 207-214.

Davanso-Fabro, V.M., Medri, M.E., Bianchini, E., & Pimenta, J.A. 1998. Tolerância à inundação: aspectos da anatomia ecológica e do desenvolvimento de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. (Fabaceae). *Brazilian Archives of Biology and Technology* 41(4): 475-482.

Delarmelina, W.M., Caldeira, M.V.W., Faria, J.C.T., Gonçalves, E.D.O., & Rocha, R.L.F. 2014. Different substrates for the production of *Sesbania virgata* Seedlings. *Floresta e Ambiente* 21(2): 224-233.

Duarte, M.M., de Freitas Milani, J.E., de Oliveira, T.W.G., Blum, C.T., & Nogueira, A.C. 2019. Seed morphobiometry and germination of *Sesbania punicea* (Cav.) Benth. and *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. *Floresta* 49(4): 661-670.

Ferreira, A.G., & Aquila, M.E.A. 2000. Alelopatia: uma área emergente da ecofisiologia. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal* 12(1): 175-204.

Ferreira, C., Piedade, M.T.F., Parolin, P., & Barbosa, K.M. 2005. Tolerância de *Himatanthus sucuuba* Wood.(Apocynaceae) ao alagamento na Amazônia Central. *Acta Botanica Brasilica* 19(3): 425-429.

Ferreira, C.J., Brollo, M.J., Ummus, M.E., & Nery, T.D. 2008. Indicadores e quantificação da degradação ambiental em áreas mineradas, Ubatuba (SP). *Revista Brasileira de Geociências* 38(1): 141-152.

Ferreira, D.F. 2010. SISVAR-Sistema de análise de variância. *Universidade Federal de Lavras*, Lavras, 1 CD.

Figueirôa, J.M.D., Barbosa, D.C.D.A., & Simabukuro, E.A. 2004. Crescimento de plantas jovens de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae) sob diferentes regimes hídricos. *Acta Botanica Brasilica* 18(3): 573-580.

Florentino, L.A., Guimarães, A.P., Rufini, M., da Silva, K., & Moreira, F.M.S. 2009. *Sesbania virgata* stimulates the occurrence of its microsymbiont in soils but does not inhibit microsymbionts of other species. *Scientia Agricola* 66: 667-676

Gholamreza, A.B.D.I., Shokrpour, M., Karami, L., & Salami, S.A. 2019. Prolonged water deficit stress and methyl jasmonate-mediated changes in metabolite profile, flavonoid concentrations and antioxidant activity in peppermint (*Mentha × piperita* L.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 47(1): 70-80.

Gobbo-Neto, L. & Lopes, N.P. 2007. Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. *Química nova* 30(2): 374-381.

Goedert, W.J., Schermack, M.J., & Freitas, F.C. 2002. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 37(2): 233-227.

Id, V.L.E., Costa, B.V., Mignoni, D.S.B., Veronesi, M.B., Simões, K., Braga, M.R., Santos-Junior, N.A. 2015. Phytotoxic effect of *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. on seeds of agronomic and forestry species. *Journal of Forestry Research* 26: 339-346.

Id, V.L.E., Braga, M.R., & Santos Junior, N.A.D. 2020. Germination and initial development of forest species under the action of catechin, presents in seeds of *Sesbania virgata* (Cav.) Pers.(Fabaceae). *Hoehnea* 47: e472020

Inderjit, Wardle, D.A., Karban, R., Callaway, R.M. 2011. The ecosystem and evolutionary contexts of allelopathy. *Trends in Ecology and Evolution* 26: 655-662.

Jacinto, A.C.P. 2018. Resistência vertical e horizontal de progênies F5:6 de alface biofortificada a raças de *Bremia lactucae*. 31f. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, MG.

Kämpf, A. N. 2005. Produção comercial de plantas ornamentais. *Guaíba: Agrolivros*, 2. Guaíba: Agropecuária, 254p.

Kirakosyan, A., Kaufman, P., Warber, S., Zick, S., Aaronson, K., Bolling, S., & Chul Chang, S. 2004. Applied environmental stresses to enhance the levels of polyphenolics in leaves of hawthorn plants. *Physiologia plantarum* 121(2): 182-186.

Kirakosyan, A., Seymour, E., Kaufman, P.B., Warber, S., Bolling, S., & Chang, S.C. 2003. Antioxidant capacity of polyphenolic extracts from leaves of *Crataegus laevigata* and

Crataegus monogyna (Hawthorn) subjected to drought and cold stress. Journal of agricultural and food chemistry 51(14): 3973-3976.

Kreuzwieser, J., Hauberg, J., Howell, K.A., Carroll, A., Rennenberg, H., Millar, A.H., & Whelan, J. 2009. Differential response of gray poplar leaves and roots underpins stress adaptation during hypoxia. Plant physiology 149(1): 461-473.

Lattanzio, V. 2019. Relationship of Phenolic Metabolism to Growth in Plant and Cell Cultures Under Stress.

Longo R.M., Ribeiro A.I., Melo W.J. 2005. Caracterização física e química de áreas mineradas pela extração de cassiterita. Bragantia 64 (1): 101-107.

Lopes, J.L.W., Amaral Guerrini, I., Saad, J.C.C., & Silva, M.R.D. 2005. Efeitos da irrigação na sobrevivência, transpiração e no teor relativo de água na folha em mudas de *Eucalyptus grandis* em diferentes substratos. Scientia Forestalis/Forest Sciences: 97-106.

Maguire, J.D. 1962. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. Crop Science 2: 176-177.

Marques, L.S., de Paiva, H.N., Neves, J.C.L., Gomes, J.M., & de Souza, P.H. 2009. Crescimento de mudas de jacaré (*Piptadenia gonoacantha* JF Macbr.) em diferentes tipos de solos e fontes e doses de nitrogênio. Revista Árvore 33(1): 81-92.

Matos, D.M.S. & Pivello, V.R. 2009. O impacto das plantas invasoras nos recursos naturais de ambientes terrestres- Alguns casos brasileiros. Ciência e Cultura 61 (1): 27-30.

Mignoni, D.S.B., Simões, K. & Braga, M.R. 2017. Potential allelopathic effects of the tropical legume *Sesbania virgata* on the alien *Leucaena leucocephala* related to seed carbohydrate metabolism. Biological invasions 20(1): 165-180.

Naikoo, M.I., Dar, M.I., Raghieb, F., Jaleel, H., Ahmad, B., Raina, A., Khan, A. & Naushin, F. 2019. Role and regulation of plants phenolics in abiotic stress tolerance: an overview. Plant signaling molecules:157-168.

Nascimento, H.H.C.D., Nogueira, R.J.M.C., Silva, E.C.D., & Silva, M.A.D. 2011. Análise do crescimento de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) em diferentes níveis de água no solo. Revista Árvore 35(3): 617-626.

Nichols, S.N., Hofmann, R.W., & Williams, W.M. 2015. Physiological drought resistance and accumulation of leaf phenolics in white clover interspecific hybrids. Environmental and Experimental Botany 119: 40-47.

Nóbrega, R.S.A., de Paula, A.M., Boas, R.C.V., Nóbrega, J.C.A., & de Souza Moreira, F.M. 2008. Parâmetros morfológicos de mudas de *Sesbania virgata* (Caz.) Pers e de

Anadenanthera peregrina (L.) cultivadas em substrato fertilizado com composto de lixo urbano. Revista *Árvore* 32(3): 597-607.

Nogueira, R.J.M.C., Albuquerque, M.D., & Silva, E.D. 2005. Aspectos ecofisiológicos da tolerância à seca em plantas da caatinga. In: Nogueira, R.J.M.C. et al. Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas. Universidade Federal de Pernambuco, p.22-31.

Oliveira, A.K.M., & Gualtieri, S.C.J. 2016. Gas exchange in young plants of *Tabebuia aurea* (Bignoniaceae Juss.) subjected to flooding stress1. Revista *Árvore* 40(1): 39-49.

Oliveira, A.K.M., Souza, S.A., Souza, J.S., & Carvalho, J.M.B. 2015. Temperature and substrate influences on seed germination and seedling formation in *Callisthene fasciculata* Mart.(Vochysiaceae) in the laboratory. Revista *Árvore* 39(3): 487-495.

Paim, B.T., Siebeneichler, T.J., Crizel, R.L., Camozatto, G.H., Rodrigues, V.R., & Galli, V. 2019. Efeito de estresse hídrico moderado no conteúdo de compostos fenólicos e na atividade antioxidante de alface (*Lactuca sativa* L.). ENPOS XXI Encontro de Pós-Graduação. Universidade Federal de Pelotas.

Penfield, S. 2017. Seed dormancy and germination. *Current Biology* 27(17): R874-R878.

Pereira, A. 2016. Plant abiotic stress challenges from the changing environment. *Frontiers in plant science* 7: 1123.

Rocha, M.D.A.M., Lacerda, C.F.D., Bezerra, M.A., Barbosa, F.E. L., Feitosa, H.D.O., & Sousa, C.H.C.D. 2016. Physiological responses of three woody species seedlings under water stress, in soil with and without organic matter. Revista *Árvore* 40(3): 455-464.

Samôr, O.J.M., Carneiro, J.D.A., Barroso, D.G., & Leles, P.D.S. 2002. Qualidade de mudas de angico e sesbânia, produzidas em diferentes recipientes e substratos. Revista *Árvore* 26(2): 209-215.

Sánchez-Rodríguez, E., Moreno, D.A., Ferreres, F., del Mar Rubio-Wilhelmi, M., & Ruiz, J.M. 2011. Differential responses of five cherry tomato varieties to water stress: changes on phenolic metabolites and related enzymes. *Phytochemistry* 72(8): 723-729.

Schiavo, J.A., Martins, M.A., & Rodrigues, L.A. 2010. Crescimento de mudas de *Acacia mangium*, *Sesbania virgata* e *Eucalyptus camaldulensis*, inoculadas com fungos micorrízicos, em casa-de-vegetação e em cava-de-extração de argila. *Acta Scientiarum. Agronomy* 32(1): 171-178.

Schwachtje, J., Whitcomb, S.J., Firmino, A.A.P., Zuther, E., Hinch, D.K., & Kopka, J. 2019. Induced, imprinted, and primed responses to changing environments: does metabolism store and process information?. *Frontiers in plant science* 10(106): 1-13.

Silva, C.A.D., Dourado Neto, D., & Silva, C.J.D. 2017. Crop coefficient, dry matter partition and seedlings quality of *Hymenaea courbaril* L. in containers sizes under water deficit irrigation. *Revista Árvore* 41(2): e410213

Silva, E.C., & Nogueira, R.J.M.C. 2003. Crescimento de quatro espécies lenhosas cultivadas sob estresse hídrico em casa-de-vegetação. *Revista Ceres* 50: 203-218.

Silva, P.E.M., Santiago, E.F., Daloso, D.M., Silva, E.M., Silva, J.O. 2011. Quebra de dormência em sementes de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. *Idesia* 29:39-45.

Silva, P.E.M., Santiago, E.F., Daloso, D.M., Silva, E.M., Silva, J.O. 2011. Quebra de dormência em sementes de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. *Idesia* 29: 39-45.

Silva, S.R., Demuner, A.J., Almeida Barbosa, L. C., Casali, V.W.D., Nascimento, E.A., & Pinheiro, A.L. 2002. Efeito do estresse hídrico sobre características de crescimento e a produção de óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* Cheel. *Acta Scientiarum. Agronomy* 24: 1363-1368.

Simões, K., Du, J., Kretschmar, F.S., Broeckling, C.D., Stermitz, F.R., Vivanco, J.M., Braga, M.R. 2008. Phytotoxic catechin leached by seeds of the tropical weed *Sesbania virgata*. *Journal of Chemical Ecology* 34: 681-687.

Souza, V.C., Agra, P.F.M., Andrade, L.A., Oliveira, I.G., & Oliveira, L.S. 2010. Germinação de sementes da invasora *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. sob efeito de luz, temperatura e superação de dormência. *Semina: Ciências Agrárias* 31(4): 889-893.

Tatagiba, S.D., Pezzopane, J.E.M., & dos Reis, E.F. 2007. Avaliação do crescimento e produção de clones de *Eucalyptus* submetidos a diferentes manejos de irrigação. *Cerne* 13(1): 1-9.

Zanandrea, I., Alves, J. D., Deuner, S., de FP Goulart, P., Henrique, P.D.C., & Silveira, N.M. 2010. Tolerance of *Sesbania virgata* plants to flooding. *Australian Journal of Botany* 57(8): 661-669.

Zanandrea, I., Alves, J. D., Deuner, S., de FP Goulart, P., Henrique, P.D.C., & Silveira, N.M. 2010. Tolerance of *Sesbania virgata* plants to flooding. *Australian Journal of Botany* 57(8): 661-669.

Zhu, J.K. 2016. Abiotic stress signaling and responses in plants. *Cell* 167(2): 313-324.

Złotek, U., Świeca, M., & Jakubczyk, A. 2014. Effect of abiotic elicitation on main health-promoting compounds, antioxidant activity and commercial quality of butter lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Food chemistry* 148: 253-260.

CAPÍTULO 3: Efeito de fitoquímicos presentes em sementes de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers., na micota identificada em seu tegumento

INTRODUÇÃO

A alelopatia, fenômeno natural que ocorre no ambiente envolvendo diversos grupos de seres vivos (De Conti e Franco 2011, Pinto *et al.* 2016), está diretamente relacionada à manutenção do equilíbrio do ecossistema. Por meio dela, algumas espécies desenvolvem mecanismos de defesa que garantem vantagem adaptativa e que se baseiam na síntese de determinados metabólitos (Lara-Nuñez *et al.* 2006, Gonçalves 2015).

A ação alelopática ocorre por meio da interação entre as condições ambientais e a síntese e o efeito dos metabólitos secundários (Iganci *et al.* 2006), compostos que podem afetar o crescimento, prejudicar o desenvolvimento e até mesmo inibir a germinação de outras espécies vegetais, além de desempenhar atividade inibitória em relação aos microorganismos (Arruda *et al.* 2006, Ferreira *et al.* 2008, Souza Filho *et al.* 2009, De Conti & Franco 2011, Gomes *et al.* 2013), como fungos patogênicos (Hasse *et al.* 2007).

Foi demonstrado no estudo desenvolvido por Orrock e Damshen (2005), que espécies vegetais com sementes produtoras de substâncias com propriedades antifúngicas, apresentam vantagens adaptativas, garantindo uma menor mortalidade frente ao ataque de fungos, em relação às plantas competidoras, que não possuem tal propriedade.

Ceballos *et al.* (1998) verificaram a exsudação de metabólitos secundários como catequinas, proantocianidinas e luteolina por duas espécies de sesbania. Em *Sesbania drummondii* (Rydb) Cory (espécie perene), o flavonóide (+)-catequina foi encontrado em quantidade superior à de (-)-catequina e em *Sesbania vesicaria* (Jacq.) Ell. (espécie anual) houve o predomínio de (-)-catequina, estando este comportamento ligado à defesa contra fungos. Os autores relataram que *S. vesicaria* é mais suscetível ao ataque do fungo *Alternaria* sp. e que os

exsudatos de suas sementes não causam inibição do crescimento deste microrganismo, evidenciando a atividade antimicrobiana apenas de (+)- catequina, encontrada em *S. drummondii*.

Ainda nesta linha, ensaios com extratos obtidos do endosperma de sementes de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. evidenciaram a presença de atividade indutora de fitoalexinas (Rahal *et al.* 1998), sintetizadas em resposta à presença em abundância de microrganismos (Shaw *et al.* 2006). Simões *et al.* (2008) detectaram a presença da fitotoxina quercetina em sementes de *S. virgata* (substância tóxica, mas não exsudada para o meio durante a germinação), além da presença do alcalóide sesbanimida A, uma substância com propriedades antifúngicas.

Esse alcalóide, detectado nos extratos dos exsudados das sementes da espécie, foi responsável pela atividade inibitória do crescimento do fungo *Cladosporium sphaerospermum* Pemzig. Praxedes *et al.* (2011) identificaram proteínas oriundas de sementes de *S. virgata*, que apresentaram atividade inibitória do crescimento dos fungos filamentosos *Aspergillus niger*, *Cladosporium cladosporioides*, *Colletotrichum gloeosporioides* e *Fusarium solani*.

Sabe-se que *S. virgata* estabelece uma simbiose específica e eficiente com *Azorhizobium doebereineriae* (syn. *A. johannae*), no entanto, esta associação não inibe a ocorrência de outras bactérias fixadoras de nitrogênio nodulíferas em leguminosas, que ocorrem saprofiticamente próximo ao seu sistema radicular (Florentino & Moreira 2009, Florentino *et al.* 2009).

Ao examinar os efeitos de exsudatos brutos de sementes e de raízes de *S. virgata* sobre fungos micorrízicos arbusculares, Coelho *et al.* (2019) observaram que houve estímulo sobre a flora micorrízica na presença dos exsudatos de sementes. Esses relatos evidenciam que substâncias oriundas de sementes de *S. virgata* podem tanto ter efeito inibitório como estimulatório, em relação ao desenvolvimento da microbiota existente no meio em que a espécie se desenvolve.

Sesbania virgata (Cav.) Pers. pertence à família Fabaceae, é nativa da América do Sul (Araújo *et al.* 2004) e encontrada no Brasil, principalmente nas áreas de Cerrado e de Mata

Atlântica (Pott & Pott 1994). É comumente recomendada e utilizada para a restauração de áreas degradadas pela mineração (Coutinho *et al.* 2005, Florentino *et al.* 2009, Souza *et al.* 2010), por ser uma espécie pioneira, com capacidade de formar banco de sementes, que apresentam alta longevidade, e com alto e rápido índice de germinação e de desenvolvimento, o que também a torna eficiente na cobertura do solo (Coutinho *et al.* 2005).

Bomfeti *et al.* (2013) evidenciaram que *S. virgata* apresenta versatilidade no modo de infecção e no tipo de nódulo como um ajuste às mudanças nas condições ambientais de crescimento. É uma espécie que se adapta às mais diversas condições ambientais, sendo considerada uma planta superdominante (Matos & Pivello 2009), que além dessas características, também possui propriedades alelopáticas, tanto contra espécies vegetais nativas do Brasil quanto espécies exóticas (Id *et al.* 2015, Mignoni *et al.* 2017).

Sua ação alelopática se deve principalmente à presença do flavonóide (+)- catequina, com potencial fitotóxico, liberado em grandes quantidades por suas sementes (Simões *et al.* 2008). Em alguns solos e para algumas espécies, é a interação da catequina com as comunidades microbianas do solo que pode causar a inibição do crescimento das plantas (Inderjit *et al.* 2011).

Características ecológicas, como a capacidade de formação de banco de sementes e o rápido crescimento, além da produção de substâncias alelopáticas e potencialmente antifúngicas, como a catequina, podem justificar a agressividade dessa espécie no meio. Essas propriedades, são geralmente encontradas em espécies que toleram ataques fúngicos considerados letais para algumas espécies vegetais (Dalling *et al.* 2011), podem representar mecanismos que auxiliam a sobrevivência das sementes de *S. virgata*, sendo crucial para seu sucesso no estabelecimento e no desenvolvimento inicial de suas plântulas, em um novo habitat. Para compreender a relação desses mecanismos, é necessário ter o conhecimento da micota presente nas sementes de *S. virgata*, saber como as sementes reagem a esses microorganismos e como esses microorganismos se comportam quando em contato com as substâncias presentes no tegumento da espécie.

OBJETIVO

O objetivo desse estudo foi observar o efeito das substâncias exsudadas pelas sementes de *S. virgata* sobre a micota presente em seu tegumento.

MATERIAL E MÉTODOS

Nos ensaios conduzidos em laboratório, foram identificados fungos presentes no tegumento de sementes de *S. virgata* e quantificados quanto a sua incidência e severidade nas sementes. Conforme as respostas encontradas nesses ensaios, três fungos foram selecionados para a condução de ensaios baseados na aplicação de extratos, produzidos com tegumento de *S. virgata*, em colônias formadas a partir dos esporos desses três fungos e na infestação de sementes de *S. virgata*, com micélio desses fungos (Figura 20).

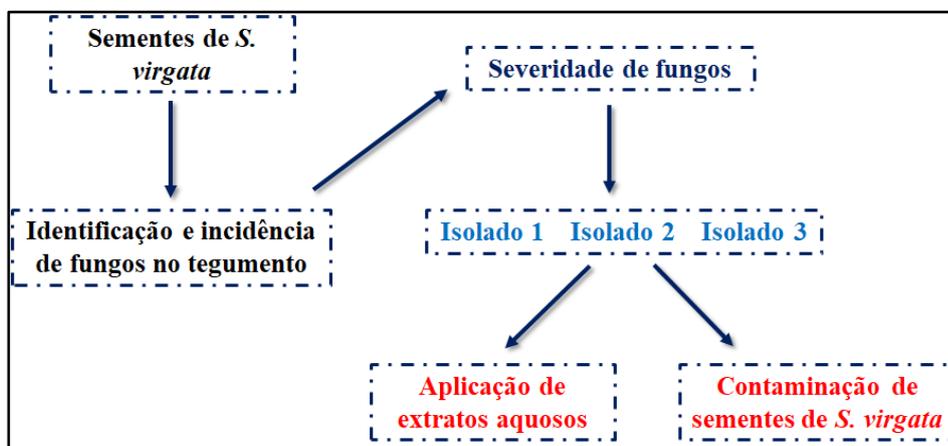


Figura 20: Ilustração esquemática, representando a ordem das metodologias utilizadas, a partir das sementes de *S. virgata* e dos fungos encontrados nas mesmas.

As sementes de ambas as procedências de *S. virgata*, utilizadas nos ensaios que compõem esse capítulo foram obtidas dos mesmos locais mencionados no capítulo 1, em Lavras, Minas Gerais, porém foram organizadas em apenas um lote homogêneo, já que o propósito foi identificar o comportamento da micota quando em contato com substâncias oriundas de sementes de *S. virgata*, de uma maneira generalizada.

Produção dos extratos com tegumentos de *Sesbania virgata*

Para a produção dos extratos, 800 sementes oriundas de populações de *S. virgata* foram escarificadas manualmente, com auxílio de lixa (folha P60) e colocadas separadamente para embeber em caixas plásticas pretas do tipo gerbox (11x11x3,5cm) desinfestadas com álcool 70%, com 300 mL de água autoclavada, durante sete horas, em câmara climatizada a 25°C, para amolecimento do tegumento. Após esse período, os tegumentos foram extraídos das sementes com lâmina de bisturi estéril, armazenados em envelopes de papel alumínio e congelados. O material congelado foi liofilizado por 48 horas e macerado em moinho de bolas.

Após pesado, o material foi então dissolvido em água autoclavada, filtrado e diluído nas seguintes concentrações (peso/volume): 0,1, 0,5 e 1,0%. Essas concentrações foram obtidas de experimentos anteriores, sendo os extratos produzidos a partir de sementes oriundas de populações conhecidas por serem produtoras de catequina (Simões *et al.* 2008, Id *et al.* 2015). Também foram produzidos extratos aquosos com padrão de (+)- catequina (Sigma-Aldrich), na concentração de 1mg mL⁻¹, como controle positivo.

Identificação e severidade de fungos

Para a identificação dos fungos presentes em sementes de *S. virgata*, foi realizado o método de incubação em papel de filtro (Brasil 2009), por meio do qual as sementes de *S. virgata* foram depositadas em placas de Petri estéreis (90x15mm), contendo duas folhas de papel de filtro esterilizadas em estufa e umedecidas com água autoclavada. Para esse ensaio, foram selecionadas 200 sementes provenientes das populações produtoras de catequina e 200 sementes, das populações não produtoras.

O método de incubação em papel filtro foi realizado com quatro tratamentos para cada grupo de sementes, de acordo com sua origem: sementes não esterilizadas e não escarificadas (NE), sementes não esterilizadas e escarificadas (E), sementes esterilizadas e não escarificadas (S) e sementes esterilizadas e escarificadas (SE). A esterilização foi realizada através da imersão

das sementes em álcool 70% (1 min), em hipoclorito de sódio 2% (1 min) e em água destilada e esterilizada (1 min) e a escarificação foi realizada manualmente, com lâmina de bisturi esterilizada e flambada. A incubação das sementes, submetidas aos tratamentos mencionados, foi conduzida em câmara do tipo BOD (Figura 21), por oito dias a $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ e com fotoperíodo de 12 horas, utilizando-se 10 repetições para cada tratamento, com cinco sementes por repetição.

A identificação e a avaliação da incidência e da severidade dos fungos foram realizadas, examinando-se as colônias fúngicas desenvolvidas no tegumento das sementes, com microscópio estereoscópico e através da visualização de características morfológicas dos fungos, como conídios, em microscópio óptico (Barnett e Hunter 1999). Para a análise do grau de severidade dos fungos foi utilizada a escala proposta no estudo de Françoso e Barbedo (2016), na qual “zero” corresponde às sementes não infectadas com o fungo avaliado, “traço” corresponde às pequenas colônias e em número muito baixo, “fraco” corresponde às colônias de crescimento fraco e escasso, ocupando até 40% da semente, “moderado” corresponde ao crescimento moderado do fungo, ocupando de 41 a 100% da semente, com colônias de crescimento lento e superficial e “intenso”, que corresponde às colônias densas e distribuídas uniformemente, com crescimento intenso, ocupando de 41 a 100%.

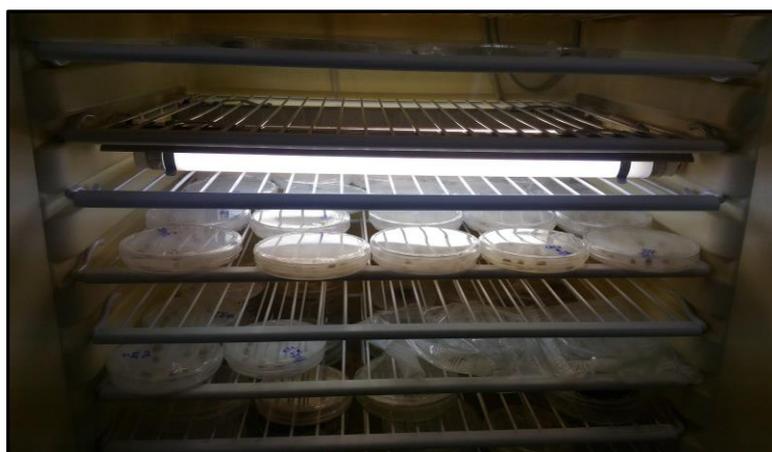


Figura 21: Placas de Petri com sementes de *Sesbania virgata*, para o teste de câmara úmida, armazenadas em câmaras de germinação do tipo BOD.

Após as avaliações de identificação e de incidência, foram identificados seis gêneros principais de fungos, presentes do tegumento (Figura 22): *Phoma* sp., *Pestalotiopsis* sp., *Cladosporium* sp., *Fusarium* sp., *Rhizopus* sp. e *Alternaria* sp. De acordo com os gráficos, foi observado que os fungos mais incidentes no tegumento das sementes de *S. virgata* foram os dos gêneros *Phoma* sp., *Pestalotiopsis* sp., *Cladosporium* sp. e *Fusarium* sp. Em contrapartida, os fungos menos presentes foram os dos gêneros *Rhizopus* sp. e *Alternaria* sp. Também foi observada a forte influência dos tratamentos e da origem das sementes, tanto na incidência como a ausência destes fungos. Por isso, esses tratamentos também foram utilizados nos ensaios de severidade.

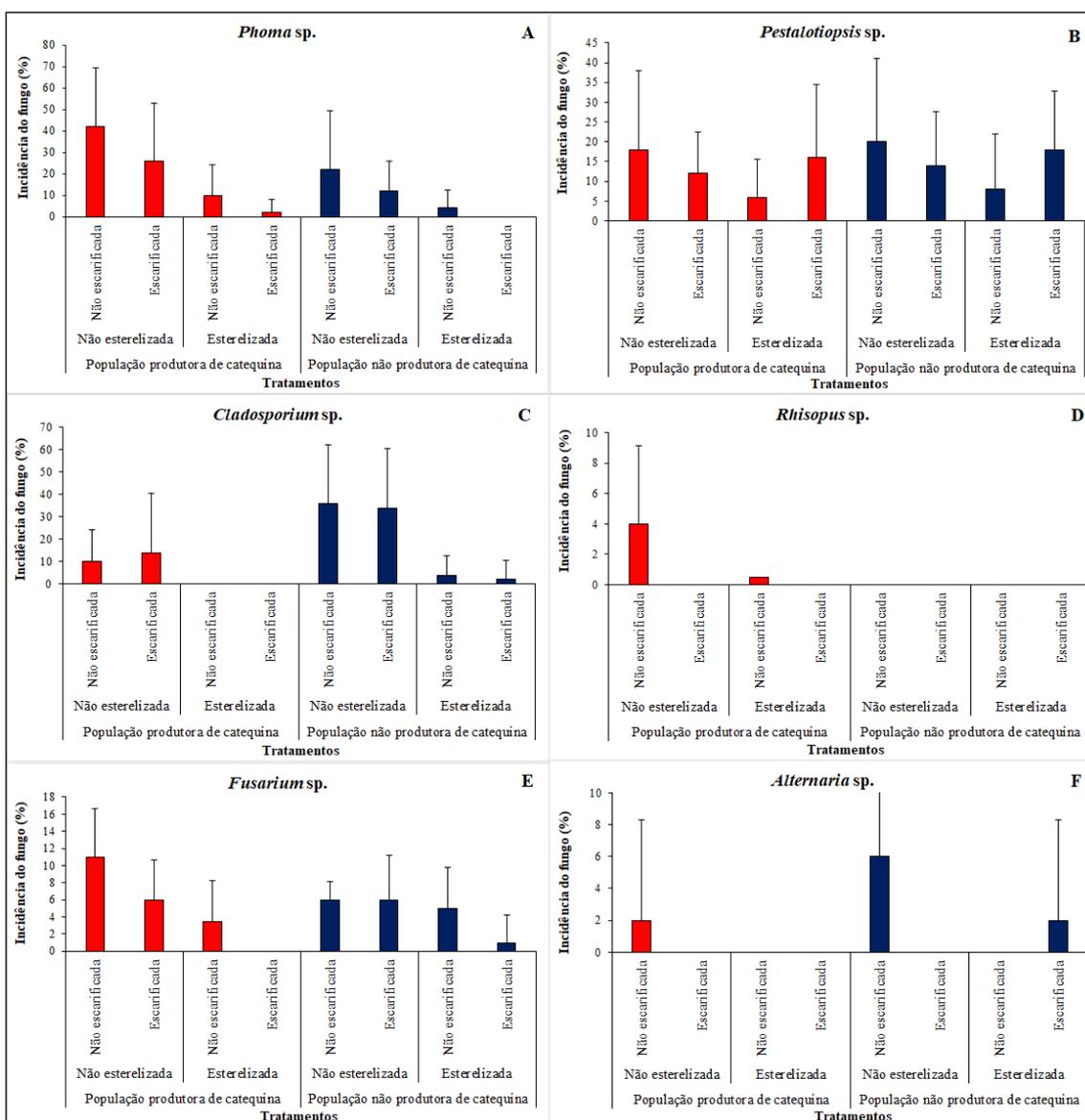


Figura 22: Valores médios da incidência (%) dos fungos *Phoma* (A), *Pestalotiopsis* (B), *Cladosporium* (C), *Rhizopus* (D), *Fusarium* (E) e *Alternaria* (F), encontrados em sementes *S. virgata*, oriundas de populações produtoras de catequina (barras vermelhas) e de populações não produtoras (barras azuis) em função dos tratamentos aplicados: não esterilizadas e não escarificadas, não esterilizadas e escarificadas, esterilizadas e não escarificadas e esterilizadas e escarificadas.

O grau de severidade desses fungos nas sementes de *S. virgata* foi avaliado e conforme os resultados obtidos, foram isolados três fungos. Devido à alta incidência em sementes das populações produtoras de catequina e da alta incidência em sementes oriundas de populações não produtoras, *Phoma* sp. e *Cladosporium* sp. (Figura 23 A e B e Figura 23 C e D, respectivamente), respectivamente, foram selecionados para os ensaios com aplicação de extratos. Já o gênero *Alternaria* sp. (Figura 23 E e F) foi selecionado devido a sua baixa incidência, porém pelo registro de intensa severidade nas sementes provenientes de ambas as populações.

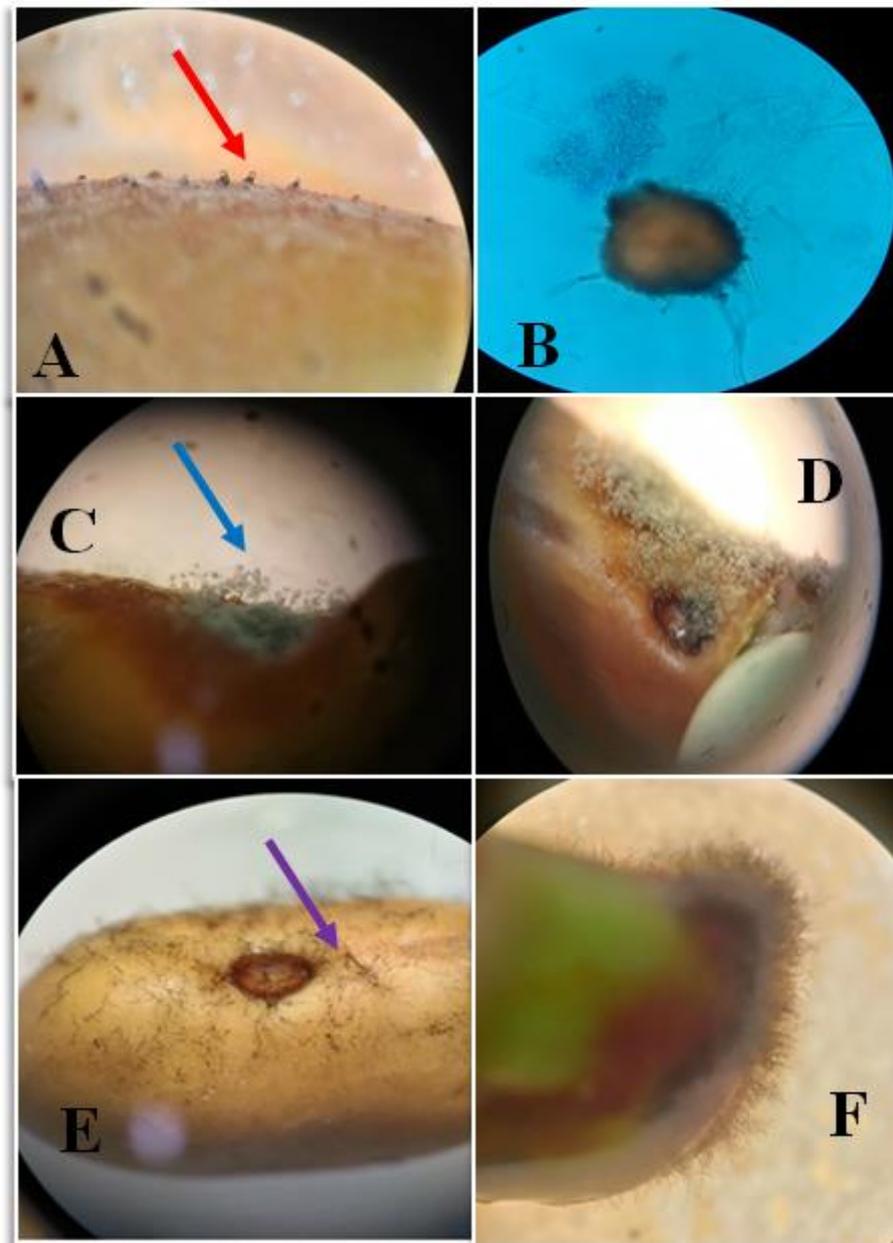


Figura 23: Imagens dos fungos selecionados para os ensaios: *Phoma* sp. visto por microscópio estereoscópio (A e seta vermelha) e conídio de *Phoma* sp. visto por microscópio óptico, no aumento de 40x (B). *Cladosporium* sp. visto por microscópio estereoscópio (C e D), ressaltando a estrutura do corpo de frutificação, com região do conídio verde em formato de vassoura e haste preta (seta azul). *Alternaria* sp. visto por microscópio estereoscópio (E e F), ressaltando a estrutura do corpo de frutificação, em formato de colar de contas, de coloração preta.

Foram então formadas colônias, através da inoculação dos mesmos no ponto central de placas de Petri, contendo meio de cultura batata-dextrose-ágar (BDA) e incubadas em câmara

climatizadas do tipo BOD, a $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ e com fotoperíodo de 12 horas. Tais fungos foram utilizados para os testes com aplicação dos extratos produzidos a partir dos tegumentos de sementes de *S. virgata*.

Aplicação dos extratos em colônias fúngicas

Para quantificar o efeito das substâncias presentes no tegumento de *S. virgata* no crescimento da micota, também presente em seu tegumento, fragmentos dos três isolados de fungos, previamente selecionados e crescidos em meio de cultura contendo BDA, foram inoculados com auxílio de estilete flambado, no centro placas de Petri esterilizadas (90x15mm), contendo meio de cultura agar-agar. Após a inoculação dos fragmentos micelares das colônias de cada fungo, os tratamentos de irrigação foram aplicados nas suas respectivas placas, sendo estes os extratos aquosos produzidos com tegumentos de *S. virgata*, nas concentrações já mencionadas, a água destilada e autoclavada (controle) e o extrato aquoso com catequina comercial (controle positivo). As placas foram irrigadas com 5 mL de cada tratamento, cobrindo toda a extensão da placa, vedadas com material plástico e incubadas durante 15 dias, em câmara climatizada do tipo BOD, à $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ e com fotoperíodo de 12 horas.

Para verificar a reação dos fungos frente às aplicações dos extratos, após o período de 15 dias, o crescimento radial médio das colônias foi quantificado, com régua milimétrica, através da medida de dois diâmetros, previamente marcados na parte externa do fundo da placa de Petri. Para os três fungos selecionados, foram utilizadas 5 repetições para cada tratamento, com 4 placas por repetição.

Germinação das sementes de *Sesbania virgata* infectadas

Para verificar o efeito dos fungos selecionados no processo germinativo de *S. virgata*, sementes oriundas das populações produtoras de catequina e sementes oriundas das populações não produtoras foram desinfestadas previamente com hipoclorito de sódio 2% (1 min), álcool

70% (1 min) e água destilada e esterilizada (1 min). Após a desinfestação, as sementes foram escarificadas manualmente com lâmina de bisturi esterilizada e flambada.

As sementes foram depositadas em placas de Petri esterilizadas, contendo duas folhas de papel filtro esterilizadas e umedecidas com 5 mL de água destilada e autoclavada. Com o auxílio de estilete flambado, fragmentos micelares de 1mm² de cada fungo foram inoculados no tegumento das sementes de *S. virgata*. Esse procedimento foi realizado para os três gêneros de fungo, representando assim, três tratamentos aplicados nas sementes de *S. virgata*. Para cada fungo, ou seja, para cada tratamento, foram utilizadas 5 repetições com 4 placas por repetição (com 5 sementes por placa). O bioensaio foi acondicionado em câmara climatizada do tipo BOD, à 22 °C ± 2 °C e com fotoperíodo de 12 horas.

Os tratamentos foram avaliados durante 10 dias, através da coleta de dados referentes à porcentagem de germinação, ao índice de velocidade de germinação (Maguire 1962) e à mortalidade das sementes, ao final desse período.

Para cada ensaio experimental mencionados acima, referente aos experimentos com fungos, foi realizado com delineamento inteiramente casualizado (DIC) e os dados coletados foram analisados, utilizando o programa de estatística SISVAR 5.1 (Ferreira 2010). Os dados foram analisados por meio de análise de variância (ANOVA) e diferenças significativas entre as médias dos tratamentos foram identificadas pelo teste de Tukey (p <0,05).

RESULTADOS

Severidade de fungos

De acordo com os dados obtidos e apresentados na figura 24, foi possível perceber que alguns fungos como *Phoma* sp., *Pestalotiopsis* sp., *Cladosporium* sp. e *Fusarium* sp. foram mais incidentes e apresentaram altas taxas de severidade, porém de maneira distinta dependendo da procedência da semente. Isso também foi observado para *Rhizopus* sp. e *Alternaria* sp., que foram

os fungos com menor incidência e severidade, porém o grau de severidade encontrado foi diferente de acordo com a procedências das sementes.

Analisando-se individualmente cada fungo, notou-se que o isolado de *Phoma* sp. (Figura 24A) registrou severidade ‘intensa’ nas sementes de ambas as procedências, porém mais presente nas sementes originadas das populações produtoras de catequina, independente dos tratamentos de esterilização e de escarificação. Foram registrados ‘traços’ de severidade, assim como grau ‘fraco’ e ‘moderado’, deste fungo nas sementes de ambas populações, principalmente nos tratamentos onde não houve esterilização. A severidade do fungo foi registrada como ‘zero’ em ambas as populações, quando tais tratamento foram aplicados.

Para o fungo *Pestalotiopsis*, (Figura 24B), a severidade foi ‘intensa’, independente da procedência e dos tratamentos de escarificação e de esterilização. Porém, para as sementes oriundas de populações produtoras, notou-se severidade ‘moderada’ apenas nas sementes esterilizadas, enquanto nas sementes oriundas de populações não produtoras, tal nível de severidade foi mais expressivo em sementes escarificadas e não esterilizadas. ‘Traços’ desse fungo foram encontrados apenas em sementes dessas populações, em sementes submetidas a ambos os tratamentos.

Cladosporium sp. demonstrou severidade ‘intensa’ nos tratamentos sem esterilização, nas sementes de ambas as procedências, independente da escarificação, inclusive para as sementes das populações produtoras, essa intensidade foi igual, tanto nas sementes escarificadas como nas sementes não escarificadas (Figura 24C). Nas sementes oriundas das populações produtoras de catequina, quando esterilizadas, o fungo demonstrou grau ‘zero’ de severidade, enquanto nas sementes oriundas das populações não produtoras, a severidade foi registrada como ‘intensa’ para os mesmos tratamentos.

Rhizopus sp., apesar de ter sido pouco incidente, como visto na figura 22 apresentou severidade ‘intensa’ nas sementes provenientes das populações produtoras de catequina (Figura

24D), além de ter apresentado os graus ‘moderado’ e ‘fraco’ nas sementes dessa mesma procedência.

O registro de severidade ‘intensa’ de *Fusarium* sp. (Figura 24E) foi encontrado nas sementes procedentes de populações produtoras e não produtoras de catequinas, sendo esse grau mais expressivo nas sementes oriundas das populações não produtoras de catequina. Também foi observado o grau ‘zero’ de severidade nas sementes oriundas de populações produtoras, esterilizadas e escarificadas e os graus ‘traços’ ou ‘fraco’ de severidade, e nas sementes de populações não produtoras, submetidas aos mesmos tratamentos.

Alternaria sp. apresentou intensa severidade, sem a aplicação dos tratamentos de esterilização e de escarificação, tanto nas sementes oriundas das populações produtoras como nas sementes das populações não produtoras (Figura 24F), nas quais também foi detectado o grau ‘moderado’. ‘Traços’ de severidade foram detectados em sementes das populações não produtoras de catequina, mesmo após a aplicação de ambos os tratamentos.

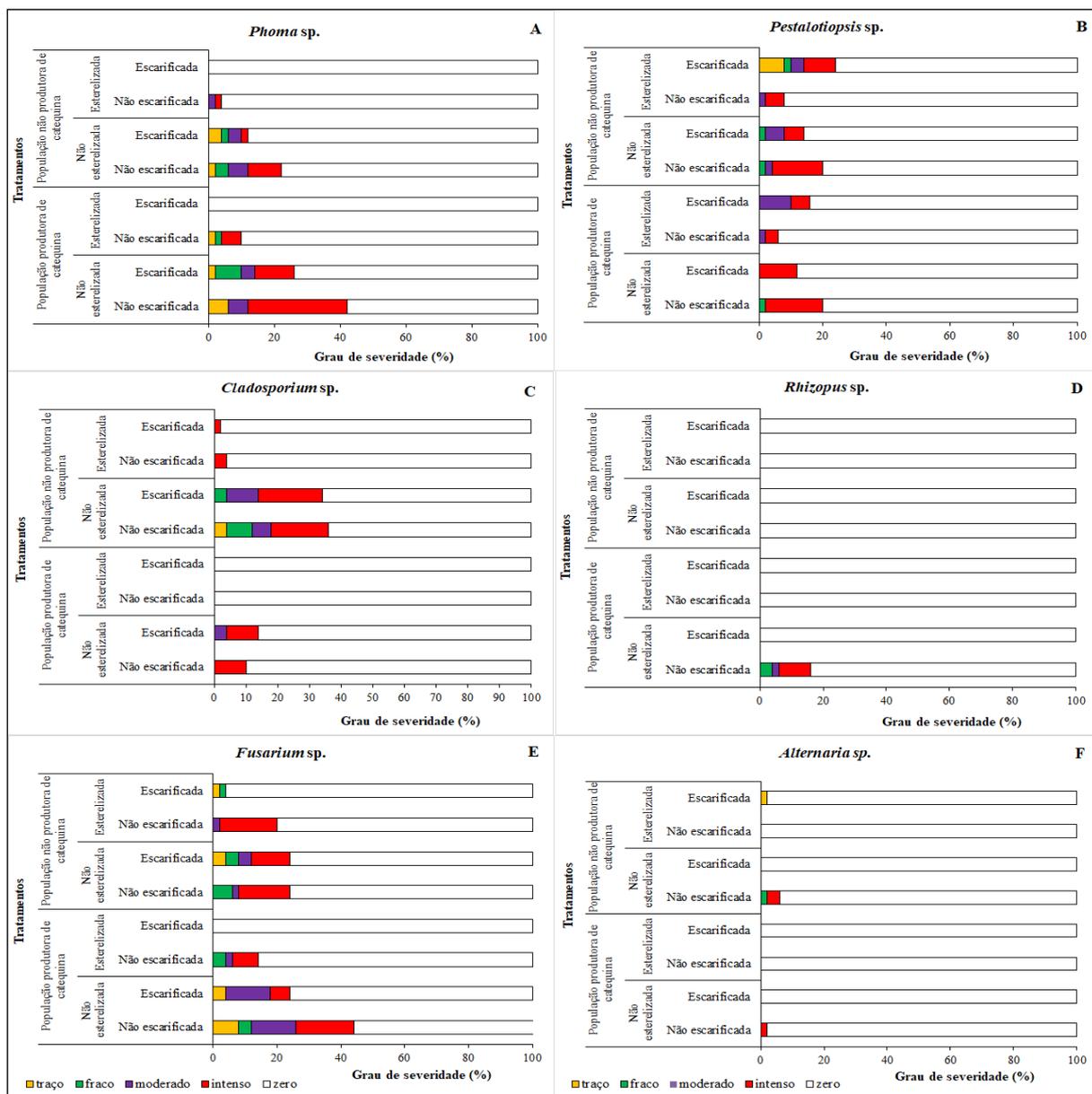


Figura 24: Valores médios do grau de severidade (%) dos fungos *Phoma* (A), *Pestalotiopsis* (B), *Cladosporium* (C), *Rhizopus* (D), *Fusarium* (E) e *Alternaria* (F), encontrados em sementes *S. virgata*, oriundas de duas populações (produtoras e não produtoras de catequina), esterilizadas ou não e escarificadas ou não. Grau de severidade “zero” (barra branca), grau de severidade “traço” (barra amarela), grau de severidade “fraco” (barra verde), grau de severidade “moderado” (barra roxa) e grau de severidade “intenso” (barra vermelha).

Aplicação de extratos em colônias fúngicas

As colônias de *Cladosporium* sp., submetidas aos tratamentos de irrigação não apresentaram respostas significativas no crescimento radial do micélio (Figura 25). No entanto,

as colônias de *Alternaria* sp. apresentaram redução gradativa e significativa, no crescimento radial do micélio (Figura 25), através do qual foram registrados os valores de crescimento radial em 3,52cm e 3,86cm, nas placas irrigadas com os extratos a 0,1 e 0,5%, respectivamente.

Em contrapartida, *Phoma* sp. apresentou aumento gradual e significativo no crescimento do micélio, quando irrigado com os extratos (Figura 25), sendo que os maiores valores registrados foram 3,01cm e 3,36cm, para as colônias submetidas à irrigação com os extratos aquosos a 0,5 e 1,0%, respectivamente. Ainda para esse fungo, o extrato produzido com catequina comercial também provocou aumento significativo do micélio em relação ao grupo controle, onde foi registrado o valor de 3,46cm, enquanto para o grupo controle houve registro de 1,55cm.

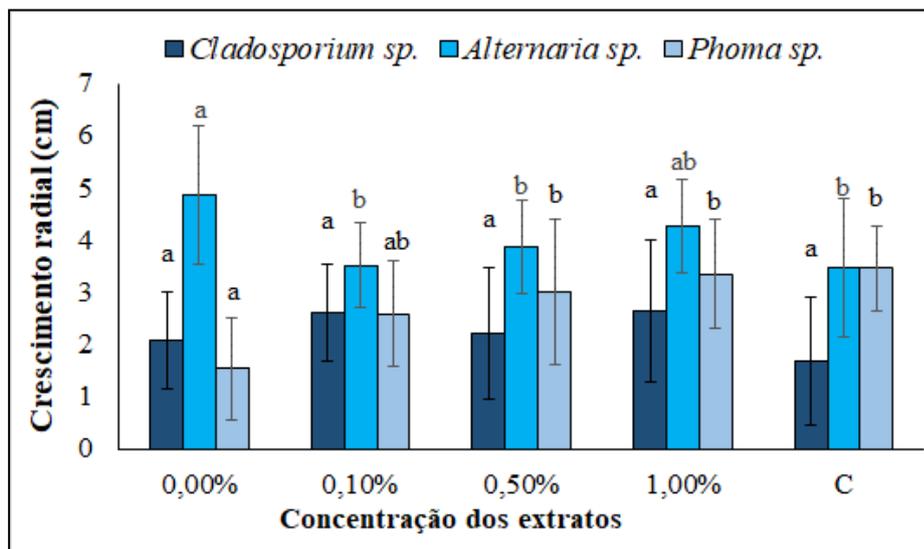


Figura 24: Valores médios do crescimento radial de *Cladosporium* sp., *Alternaria* sp., e *Phoma* sp. após os tratamentos de irrigação com extratos aquosos de *S. virgata* (0,1, 0,5 e 1%), com água destilada e autoclavada (0%) e com catequina comercial na concentração de 1mg mL⁻¹ (C). Médias seguidas pela mesma letra, entre tratamentos (0, 0,1, 0,5 e 1,0% e C) e dentro de uma dada espécie, não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade.

Germinação das sementes de *Sesbania virgata* infectadas

A infestação do tegumento das sementes com pedaços de colônia dos três isolados estudados, não geraram diferença significativa nos valores referentes à taxa de germinação e ao índice de velocidade de germinação (Tabela 8). Porém, *Phoma* sp. foi responsável pela maior

mortalidade das sementes, na qual o contato com o isolado deste fungo quadruplicou o número de sementes mortas pós-germinação, em relação aos outros dois isolados colocados, em contato com as sementes de *S. virgata*.

Tabela 8: Taxa de Germinação (G%), Índice de Velocidade de Germinação (IVG) e Taxa de Mortalidade, das sementes pós-germinadas (M%) das sementes de *Sesbania virgata*, submetidas às infestações com os isolados dos gêneros *Alternaria* sp., *Cladosporium* sp. e *Phoma* sp.

Fungos	Parâmetro		
	G%	IVG	M%
<i>Alternaria</i> sp.	99 a	3,66 a	4 a
<i>Cladosporium</i> sp.	98 a	3,86 a	4 a
<i>Phoma</i> sp.	94 a	3,99 a	16 b

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem significativamente pelo Teste de Tukey com 5% de probabilidade.

DISCUSSÃO

Ao longo dos resultados foi possível verificar que a procedência da semente de *S. virgata*, isto é, o fato da matriz ser ou não produtora de catequina, foi um fator determinante para a ocorrência dos fungos identificados no tegumento. É possível que essa variação na ocorrência esteja relacionada à presença de algum mecanismo de tolerância dos gêneros fúngicos, como a capacidade de degradar substâncias alelopáticas (Zhu *et al.* 2011).

As estratégias dos fungos, em contrapartida, podem incluir a produção de enzimas degradativas, resistência própria ou mecanismos de efluxo (Morrisey e Osbourn 1999), que impedem que compostos antifúngicos intracelulares se acumulem em níveis tóxicos. Em um estudo desenvolvido por Costa *et al.* (2017), extratos alcoólicos produzidos com bulbos de alho, nos quais foi identificada a presença de flavonóides, classe química a qual pertence o metabólito catequina, inibiram o crescimento micelar de fungos do gênero *Fusarium* sp..

Em outro estudo, abordando perfis metabólicos (Gregolin *et al.* 2019), foi verificado que extratos etanólicos de própolis, que continham flavonóides como quercetina e campferol,

apresentaram ação antifúngica contra *Fusarium* sp., sendo quercetina também encontrada no tegumento de *S. virgata* (Simões *et al.* 2008). Essa relação de *Fusarium* sp. com metabólitos secundários, pertencentes ao grupo dos flavonóides, pode ter influenciado na severidade de *Fusarium* sp. em sementes de *S. virgata*, que apesar de ter aparecido em ambas as procedências de sementes, o grau ‘intenso’ foi mais expressivo no grupo das sementes de populações não produtoras de catequina.

Como um fungo de campo, *Rhizopus* sp. se estabelece na semente durante o período de crescimento e maturação, ou seja, antes da colheita (Vechiato 2010), sendo os frutos maduros e danificados mais suscetíveis à infecção (Velázquez-del Valle *et al.* 2008). Esse gênero é amplamente distribuído na natureza, sobrevivendo saprofiticamente no solo e em resíduos orgânicos com potencial para invadir tecidos vegetais (Velázquez-del Valle *et al.* 2008).

Sabendo-se que a infecção de sementes de espécies florestais por patógenos pode ocorrer tanto naturalmente, nos estágios de floração e formação das sementes, como também nos processos de colheita e beneficiamento das mesmas (Jaccoud-Filho e Dabul 2011), a baixa incidência de *Rhizopus* sp. aqui encontrada nos ensaios conduzidos pode ser justificado pela possível ausência da contaminação nos eventos pré-colheita e na própria formação das sementes e dos frutos de *S. virgata* e seu grau de severidade ‘intenso’, quando em contato com as sementes da espécie, pode ser explicado pela a sua natureza saprofítica.

De acordo com a observação de que os tratamentos de esterilização e de escarificação alteraram o grau de severidade em todos os gêneros ocorrentes, pode-se sugerir que assim que há a ocorrência da quebra do tegumento, por consequência, ocorre o início da embebição pelas sementes de *S. virgata*, e assim fazendo com que algumas substâncias sejam liberadas em grandes quantidades, como a catequina, que possui potencial fitotóxico e é liberadas em altas quantidades após 24 h de embebição (Simões *et al.* 2008, Id *et al.* 2015).

Os fitopatógenos podem ser encontrados associados às sementes na sua superfície, no seu interior ou em ambos os *loci* das sementes (Santos *et al.* 2000). Logo, se alguns dos fungos listados estavam presentes no interior das sementes de *S. virgata*, eles foram expostos com a quebra do tegumento, o que pode justificar a variabilidade do grau de severidade de alguns dos gêneros, após a esterilização e a quebra de dormência, como ocorreu com *Pestalotiopsis* sp. Este fungo é considerado potencialmente patogênico, em função dos danos relatados, quando associado a sementes ou mudas (Maciel *et al.* 2012), sendo responsável apodrecimento de sementes (Santos *et al.* 2001), o que vem de encontro aos resultados obtidos no ensaio de severidade, sendo constatados os graus ‘moderado’ e ‘intenso’ para todos os tratamentos aplicados, nas duas procedências de sementes de *S. virgata*.

Em geral *Pestalotiopsis* sp. é um fungo que apresenta grande incidência em sementes florestais, assim como *Cladosporium* sp. (Maciel *et al.* 2012). Shreelalitha e Sridhar (2015) verificaram a presença de alguns fungos endofíticos, em sementes de *Sesbania bispinosa*, dentre eles *Pestalotiopsis* sp. e *Cladosporium* sp., o que indica que o tratamento de escarificação da atual pesquisa pode ter sido responsável pelo maior ou menor aparecimento dos alguns dos fungos identificados. Além disso os autores também afirmaram que as sementes de *S. bispinosa* produziram mais isolados de fungos, em relação a outras partes da planta, mas a riqueza e diversidade de espécies foram baixas.

Essa observação também foi constatada pelo estudo desenvolvido por Cherobini e colaboradores (2007), que encontraram os seguintes fungos associados às sementes de *S. virgata*: *Alternaria* sp., *Penicillium* sp., *Nigrospora* sp. e *Cladosporium* sp.. Nesse trabalho foi detectada diferença de fungos encontrados em determinadas regiões de coleta, assim como suas incidências e diferentes danos causados a diferentes partes da planta de *S. virgata*, como por exemplo para *Alternaria* sp.

Alternaria sp. foi intensamente encontrado nas sementes de *S. virgata* de um determinado local de coleta, porém encontrado em menor quantidade em outra região, onde as sementes de *S. virgata* foram coletadas. Além disso os autores também afirmaram que a presença de *Alternaria* sp. em sementes e posteriormente nas mudas de *Sesbania*, mostrou que esse fungo pode ser transmitido para a planta no campo, causando alto índice de doenças, redução da massa verde e altura de plantas. Nota-se no estudo de Cherobini e colaboradores (2007), que a procedência das sementes de *S. virgata* influenciou nos gêneros de fungos ocorrentes em suas sementes, o que já foi mencionado anteriormente a respeito dos dados encontrados no presente estudo.

Sabe-se que a quantidade de metabólitos das plantas pode sofrer influência de fatores ambientais, físicos e químicos, podendo variar até mesmo entre populações (Gobbo-Neto e Lopes 2007, Bhadoria 2011). Esse fato foi constatado por Id *et al.* (2015) e Id (2016), que verificaram que a quantidade encontrada do flavonóide catequina, foi diferente entre dez populações de *S. virgata* e que esse metabólito é encontrado em maior quantidade em suas sementes do que em suas folhas.

No presente estudo, o gênero *Alternaria* sp. não apresentou alta incidência nas sementes de *S. virgata*, como no trabalho de Cherobini *et al.* (2007) e mesmo desempenhando grau de severidade ‘intenso’, os isolados em questão sofreram diminuições significativas do seu crescimento micelar, quando aplicados os tratamentos de extratos aquosos dos tegumentos de *S. virgata*. Isso evidencia que a procedências das sementes de *S. virgata*, oriunda de populações produtoras de catequina (Id *et al.* 2015), causou diminuição no crescimento micelar do fungo em questão, justamente por ter a presença de substâncias fitotóxicas, incluindo catequina.

O flavonóide catequina, mesmo encontrado em outras espécies vegetais, apresenta atividade antifúngica, como demonstrado por Borges *et al.* (2017). Essa sensibilidade de *Alternaria* sp. quando em contato com os extratos aquosos produzidos por tegumento de *S. virgata* e a baixa frequência no tegumento das sementes da espécie, corroboram os dados

encontrados no ensaio de germinação de sementes de *S. virgata* infectadas com isolados, no qual os fungos não causaram efeitos significativos no processo germinativo e não geraram danos letais para as sementes.

Cladosporium sp. pode apresentar comportamento saprofítico, quando detectado em alta incidência, podendo reduzir o poder germinativo das sementes (Vechiato & Parisi *et al.* 2013), porém também pode se apresentar como um fungo patogênico facultativo, não gerando grandes danos à semente colonizada (Maciel *et al.* 2012, Shreelalitha e Sridhar 2015). Ao ser transmitido das sementes para as plântulas, pode causar danos mais significativos à espécie infectada (Lisboa-Padulla *et al.* 2009), como foi visto em mudas de *S. virgata* (Cherobini *et al.* 2007).

Além disso, sabe-se que fungos desse gênero são encontrados em algumas sementes, formando uma barreira contra a entrada de outros fungos, que causam danos à semente, através da liberação de micotoxinas (Rezende *et al.* 2013). Dessa forma, também podem atuar benéficamente na germinação, através do rompimento do tegumento, facilitando a germinação de sementes com dormência física (Delgado-Sanchez *et al.* 2011). Ou seja, o gênero pode trazer benefícios à semente hospedeira, protegendo contra os ataques de outros patógenos e auxiliando no processo germinativo.

Em relação a sua severidade, foi verificado, no atual trabalho, que *Cladosporium* sp. demonstrou grau ‘intenso’ e mesmo sendo um patogênico facultativo, mostrou maior frequência de severidade, nas sementes das populações não produtoras de catequina. Já sobre o desenvolvimento micelar dos isolados de *Cladosporium* sp., notou-se que não houve nem prejuízo e nem benefícios com a presença dos extratos aquosos de tegumento de *S. virgata*. Além dos isolados não causarem danos para o processo germinativo das sementes de *S. virgata*, não causou danos letais as mesmas, como visto nos ensaios de contaminação das sementes de *S. virgata*. Sobre isso, sabe-se, em geral, as sementes com tegumento mais duro sofrem menos os

efeitos da contaminação de determinados gêneros de fungos, do que as sementes de tegumento menos duro (Salustiano *et al.* 2005).

Ou seja, o gênero em questão pode ser do tipo que possui mecanismos para tolerar a exsudação dos aleloquímicos de *S. virgata*, chegando até a favorecer as sementes do banco se sementes da espécie, por auxiliar no rompimento de seu tegumento, dando início ao seu processo germinativo (Berendsen *et al.* 2012).

Já *Phoma* sp. se mostrou muito incidente e severo, sendo sua severidade mais representada nas sementes de *S. virgata*, oriundas das populações produtoras de catequina. Além disso, também foi verificado um aumento significativo do crescimento micelar desses isolados, após a aplicação dos extratos vegetais. Os fungos presentes no solo podem ser atraídos para as sementes em resposta aos exsudatos, em geral com conteúdo nutritivo, que são liberados pelas sementes durante a embebição, no processo germinativo (Nelson 2004). A modificação na disponibilidade de compostos nutricionais, ocasionada pelas características edáficas (Long *et al.* 2009), é um fator determinante para o crescimento microbiano, que entrará em contato com a semente e por consequência, alterará sua persistência no solo (Wagner e Mitschunas 2008, Pakeman *et al.* 2012).

Por outro lado, como demonstrado por Coelho *et al.* (2019), o crescimento micelar de espécies de fungos micorrízicos foi estimulado, quando em contato com substâncias exsudadas por sementes de *S. virgata*. O que sugere que algumas substâncias podem ser tóxicas para determinadas espécies ou benéficas para outras, dependendo do papel que desempenham.

Outro ponto verificado nos ensaios desse estudo, foi que, quando os isolados de *Phoma* sp. foram aplicados isoladamente em sementes de *S. virgata*, foi verificado que houve aumento da mortalidade de sementes pós-germinadas da espécie. O processo germinativo das sementes é um dos estágios mais sensíveis das espécies vegetais, estando sujeito às variações de fatores como substrato, temperatura, gases, umidade e luminosidade (Cosmo *et al.* 2017). As condições

favoráveis de temperatura e umidade do ambiente a que, muitas vezes, as sementes de espécies florestais são submetidas, favorecem a incidência de fungos, tanto no campo como no armazenamento (Cherobini *et al* 2007).

Como consequência, sementes infectadas por fitopatógenos podem ter redução da germinação, possibilitando a disseminação de doenças transmitidas por sementes para áreas de viveiros de mudas (Carneiro 1987, Santos *et al.* 2011). A associação de fungos em sementes de espécies nativas pode reduzir a germinação e emergência de plântulas em sementeiras, disseminar os patógenos e, conseqüentemente, reduzir o estabelecimento das plantas no campo, pois ao se multiplicar semente infectada, simultaneamente, multiplica-se o fungo (Fagan *et al.* 2004).

Phoma sp. é encontrado em sementes florestais (Carmo *et al.* 2017), sendo muitas vezes responsável pela podridão de sementes (Santos *et al.* 2000). Existem inclusive estudos, que mostram seu papel no controle de determinadas espécies vegetais, das famílias Brassicaceae, Fabaceae e Rosaceae (Bailey *et al.* 2011), sendo capaz de produzir toxinas detectadas no seu micélio e em seu substrato de crescimento (Graupner *et al.* 2003). Certamente, quando em contato com sementes de *S. virgata* no campo, a ação danosa e tóxica de *Phoma* sp. seja inibida através da presença de outros fungos, que podem liberar substâncias micotóxicas, como os fungos do gênero *Cladosporium* sp. (Rezende *et al.* 2013).

Alguns fungos mostraram uma maior intensidade de severidade, em relação a outros, independente da sua maior ou menor incidência em sementes de *S. virgata*, de mesma origem. Isso pode estar relacionado à algum tipo de competição que ocorra entre as espécies, favorecendo uma maior atividade de alguns fungos, atrelado ao fato da presença ou ausência dos aleloquímicos presentes no tegumento das sementes de *S. virgata*, que favorece o desenvolvimento de algumas espécies em relação a outras.

A constatação da presença de microrganismos, na semente, não é suficiente para garantir que irão infectar a planta proveniente dessa semente, já que fatores como como quantidade de inóculo, microflora do solo, bem como da própria semente, condições climáticas e o tempo de sobrevivência do patógeno na semente, podem que influenciam na transmissão (Cherobini *et al.* 2007). Assim, a associação do patógeno-semente indica um potencial de transmissão e possível estabelecimento da doença em campo.

No geral, sementes podem se proteger de infecções letais através de mecanismos como barreiras físicas, tornando suas sementes impermeáveis aos patógenos, através de defesas químicas endógenas, pela germinação rápida de sementes e pela produção de químicos que favoreçam associações benéficas com outros microrganismos, eliminando agentes com potencial saprofítico (Dalling *et al.* 2011). Esse último mecanismo pode explicar as relações ecológicas entre alguns fungos encontrados no tegumento de *S. virgata*.

CONCLUSÕES

Dos seis gêneros de fungos encontrados nas sementes de *S. virgata*, *Phoma* sp., *Pestalotiopsis* sp., *Cladosporium* sp. e *Fusarium* sp. foram mais incidentes e apresentaram altas taxas de severidade. Já *Rhizopus* sp. e *Alternaria* sp. foram os menos incidentes, mas apresentaram grau de severidade ‘intenso’ nas sementes que foram encontrados.

A procedência teve relação direta com o comportamento dos fungos. *Rhizopus* sp. só foi encontrado em sementes das população produtora de catequina, enquanto os outros cinco gêneros foram encontrados em ambas as procedências, mesmo os menos incidentes como *Alternaria* sp. Este gênero, apesar de pouco incidente, apresentou intensa severidade nas sementes provenientes de ambas as populações. *Phoma* sp. apresentou alta incidência nas sementes das populações produtoras de catequina, *Fusarium* sp. e *Pestalotiopsis* sp. foram altamente incidentes e severos nas sementes de ambas as procedências e *Cladosporium* sp. foi mais incidente e severo nas sementes oriundas de populações não produtoras.

Os metabólitos presentes podem ser significativos para o crescimento de alguns fungos, onde foi possível notar que existe relação entre esse crescimento micelar, entre a frequência do fungo em questão e entre os danos ocasionadas nas sementes, como *Alternaria* sp., que foi pouco presente, teve seu crescimento micelar reduzido quando em contato com substâncias oriundas do tegumento de *S. virgata* e não causou danos letais à germinação da espécie.

Já *Phoma* sp., que foi um dos fungos mais frequentes, com alta severidade e teve um aumento no seu crescimento micelar, quando a colônia foi tratada com os extratos, quando analisado isoladamente, foi capaz de gerar danos letais às sementes de *S. virgata*. O fungo *Cladosporium* sp. também foi altamente frequente, porém não se mostrou potencialmente letal para as sementes de *S. virgata*, podendo agir como um fungo protetor para tais sementes.

Isso mostra que *S. virgata* não só possui vantagens adaptativas no meio, por produzir substâncias antifúngicas, como também possui fungos essenciais para sua sobrevivência, já que podem controlar o crescimento de outros fungos potencialmente letais para a existência do seu banco de sementes no solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Araújo, E., Mendonça, A.V., Barbosa, D.G., Lamonica, K.R., Silva, R.F. 2004. Caracterização morfológica de frutos, sementes e plântulas de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. Revista Brasileira de Botânica 26: 105-110.

Arruda, T., Antunes, R. M., Catão, R. M., Lima, E. O., Sousa, D. P., Nunes, X. P., ... & da Cunha, E. V. 2006. Preliminary study of the antimicrobial activity of *Mentha villosa* Hudson essential oil, rotundifolone and its analogues. Revista Brasileira de Farmacognosia 16(3): 307-311.

Bailey, K.L., Pitt, W.M., Falk, S., & Derby, J. 2011. The effects of *Phoma macrostoma* on nontarget plant and target weed species. Biological Control 58(3): 379-386.

Barnett, H.L. & Hunter, B.B. 1999. Illustrated genera of imperfect fungi. 3ed. Minnesota, Burgess Publishing Company, 241p.

Berendsen, R.L., Pieterse, C.M. & Bakker, P.A. 2012. The rhizosphere microbiome and plant health. *Trends in plant science* 17(8): 478-486.

Bhadoria, P.B.S. 2011 Allelopathy: A Natural Way towards Weed Management. *American Journal of Experimental Agriculture* 1(1): 7-20.

Bomfeti C.A., Ferreira P.A.A., Carvalho T.S., De Rycke R., Moreira F.M.S, Goormachtig S., Holsters M. 2013. Nodule development on the tropical legume *Sesbania virgata* under flooded and non-flooded conditions. *Plant Biology* 15: 93-98.

Borges, I.V., Cavalcanti, L.S., Neto, A.F., da Silva Almeida, J.R.G., Rolim, L.A. e Da Cruz Araújo, E.C. 2017. Identificação da fração antimicrobiana do extrato da *Mimosa tenuiflora*. *Comunicata Scientiae* 8(1): 155-164.

Brasil 2009. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Brasília: MAPA/ACS. 399p.

Carmo, A.L.M.D., Mazaratto, E.J., Eckstein, B., & Santos, Á.F.D. 2017. Associação de fungos com sementes de espécies florestais nativas. *Summa Phytopathologica* 43(3): 246-247.

Carneiro, J. S. 1987. Testes de sanidade de sementes de essências florestais. In: Soave, J.; Wetzel, M. M.V.S. *Patologia de Sementes*. Campinas: Fundação Cargill: 386-393.

Ceballos, L., Hossaert-Mckey, M., Mckey, D. e Andary, C. 1998. Rapid deployment of allelochemicals in exudates of germinating seeds of *Sesbania* (Fabaceae): roles of seed anatomy and histolocalization of polyphenolic compounds in anti-pathogen defense of seedlings. *Chemoecology*, 8: 141-151.

Cherobini, E.A.I., Muniz, M.F.B., & Blume, E. 2007. Avaliação da qualidade de sementes e mudas de *Sesbania virgata* Poir. FABACEAE. *Cerne* 13: 136-144.

Coelho, L., Mignoni, D.S., Silva, F.S. & Braga, M.R. 2019. Seed exudates of *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. stimulate the asymbiotic phase of the arbuscular mycorrhizal fungus *Gigaspora albida* Becker & Hall. *Hoehnea* 46(1): e272018.

Cosmo, N.L., Gogosz, A.M., Rego, S.S., Nogueira, A.C. e Kuniyoshi, Y.S. 2017. Morfologia de fruto, semente e plântula, e germinação de sementes de *Myrceugenia euosma* (O. BERG) D. LEGRAND (MYRTACEAE). *Floresta* 47(4): 479-488.

Costa, N.C., Junior, A.F.C., Ramos, A.C.C., Soares, L.P., & Scheidt, G.N. 2017. Atividade antimicrobiana e análise fitoquímica preliminar do extrato vegetal de alho no controle de fungos fitopatogênicos. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável* 12(1): 161-166.

Coutinho, M.P., Carneiro, J.G.A., Barroso, D.G., Rodrigues, L.A., Figueiredo, F.A.M.M.A., Mendonça, A.V.R., Novaes, A.B. 2005. Crescimento de mudas de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. plantadas em uma área degradada por extração de argila. *Floresta* 35: 231-239.

Dalling, J.W., Davis, A.S., Schutte, B.J. e Arnold, A.E. 2011. Seed survival in soil: interacting effects of predation, dormancy and the soil microbial community. *Journal of Ecology* 99: 89–95.

De Conti, D. & Franco, E.T.H. 2011. Efeito alelopático de extratos aquosos de *Casearia sylvestris* Sw. na germinação e no crescimento de *Lactuca sativa* L. *Revista Brasileira Agrocência* 17(2-4): 193-203.

Delgado-Sanchez, P., Ortega-Amaro, M.A., Jimenez-Bremont, J.F. e Flores, J. 2011. Are fungi important for breaking seed dormancy in desert species? Experimental evidence in *Opuntia streptacantha* (Cactaceae). *Plant Biology* 13: 154–159.

Fagan, C., Ramirez, C. A., & Schwan-Estrada. 2004. Efeito do extrato bruto de *laurus nobilis* e *zingiber officinale* no crescimento micelial de fungos fitopatogênicos. *Fitopatologia Brasileira* 29(2):128-134.

Ferreira, D.F. 2010. SISVAR-Sistema de análise de variância. *Universidade Federal de Lavras*, Lavras, 1 CD.

Ferreira, N.R., Medeiros, R.B. & Soares, G.L.G. 2008. Potencial alelopático do capim-annoni-2 (*Eragrostis plana* Nees) na germinação de sementes de gramíneas perenes estivais. *Revista Brasileira de Sementes* 30(2): 43-59.

Florentino L.A. & Moreira F.M.S. 2009. Symbiotic and phenotypic characteristics of *Azorhizobium doebereineriae*, microsymbiont of *Sesbania virgata*. *Revista Árvore* 33: 215-226.

Florentino, L.A., Guimarães, A.P., Rufini, M., da Silva, K., Moreira, F.M.S. 2009. *Sesbania virgata* stimulates the occurrence of its microsymbiont in soils but does not inhibit microsymbionts of other species. *Scientia Agricola* 66: 667-676.

Françoso, C.F. & Barbedo, C.J. 2016 Osmotic and heat treatments on control of fungi associated with seeds of *Eugenia brasiliensis* and *E. pyriformis* (Myrtaceae). *Journal of Seed Science* 38(3), 195-203

Gobbo-Neto, L. & Lopes, N.P. 2007. Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. *Química nova* 30(2): 374-381.

Gomes, F.M., Fortes, A.M.T., Silva, J., Bonamigo, T. & Pinto, T.T. 2013. Efeito alelopático da fitomassa de *Lupinus angustifolius* (L.) sobre a germinação e desenvolvimento inicial de *Zea mays* (L.) e *Bidens pilosa* (L.). *Revista Brasileira de Agroecologia* 8(1): 48-56.

Gonçalves, T.S. 2015. Ecological and evolutive interactions between: plants, herbivory and natural enemies. *Agropecuária Científica no Semiárido* 3(3): 1–9.

Graupner, P.R., Carr, A., Clancy, E., Gilbert, J., Bailey, K.L., Derby, J.A., e Gerwick, B. C. 2003. The Macrocidins: Novel Cyclic Tetramic Acids with Herbicidal Activity Produced by *Phoma macrostoma*. *Journal of natural products* 66(12): 1558-1561.

Gregolin, F.S., Bonaldo, S M., Sinhoro, A.P., Banderó, J.L., & Wobeto, C. 2019. The in vitro control of *Fusarium proliferatum* by propolis ethanolic extracts. *Revista de Ciências Agrárias* 42(2): 456-463.

Hasse, I., May-de-Mio, L.L., Lima Neto, V.C. 2007. Efeito do pré-plantio com plantas medicinais e aromáticas no controle de *Plasmodiophora brassicae*. *Summa Phytopathologica* 33(1): 74-79.

Id, V.L.E. 2016. Análise do efeito inibitório de fitotoxinas liberadas por sementes de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. em espécies de diferentes estágios sucessionais. 94f. Dissertação de Mestrado, Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, São Paulo, SP.

Id, V.L.E., Costa, B.V., Mignoni, D.S.B., Veronesi, M.B., Simões, K., Braga, M.R., Santos-Junior, N.A. 2015. Phytotoxic effect of *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. on seeds of agronomic and forestry species. *Journal of Forestry Research* 26: 339-346.

Iganci, J.R.V., Bobrowski, V.L., Heiden, G., Stein, V.C., & Rocha, B.H.G. 2006. Efeito do extrato aquoso de diferentes espécies de boldo sobre a germinação e índice mitótico de *Allium cepa* L. *Arquivos do Instituto Biológico* 73(1): 79-82.

Inderjit, Wardle, D.A., Karban, R., Callaway, R.M. 2011. The ecosystem and evolutionary contexts of allelopathy. *Trends in Ecology and Evolution* 26: 655-662

Jaccoud Filho, D.S. & Dabul, A.N.G. 2011. Novos métodos de detecção de fungos em sementes florestais. In: SANTOS, A. F. et al. *Patologia de sementes florestais*, Embrapa Florestas: 69-86.

Lara-Nuñez, A.U.R.O.R.A., Romero-Romero, T.E.R.E.S.A., Ventura, J. L., Blancas, V., Anaya, A. L., & Cruz-Ortega, R.O.C.I.O. 2006. Allelochemical stress causes inhibition of growth and oxidative damage in *Lycopersicon esculentum* Mill. *Plant, Cell & Environment* 29(11): 2009-2016.

- Lisboa-Padulla, T., Moraes, M.H.D., Menten, J.O.M., & Barbedo, C.** 2009. Tratamento de sementes de pau-brasil com fungicidas: efeito na incidência de fungos, germinação e transmissão de fungos pelas sementes. *Summa phytopathologica* 35(2): 148-150.
- Long, R.L., Steadman, K.J., Panetta, F.D. & Adkins, S.W.** 2009. Soil type does not affect seed ageing when soil water potential and temperature are controlled. *Plant and Soil* 320: 131-140.
- Maciel, C.G., Ferrera, T.S., Bovolini, M.P., Gonzatto, R., Muniz, M.F B., & Buriol, G.A.** 2012. Seed transmission and pathogenicity of *Pestalotiopsis* sp. in seedlings of *Schinus terebinthifolius* Raddi. *Semina: Ciências Agrárias* 33(6Supl1)1: 2767-2774.
- Maguire, J.D.** 1962. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science* 2: 176-177.
- Matos, D.M.S. & Pivello, V.R.** 2009. O impacto das plantas invasoras nos recursos naturais de ambientes terrestres- Alguns casos brasileiros. *Ciência e Cultura* 61 (1): 27-30.
- Mignoni, D.S.B., Simões, K. & Braga, M.R.** 2017. Potential allelopathic effects of the tropical legume *Sesbania virgata* on the alien *Leucaena leucocephala* related to seed carbohydrate metabolism. *Biological invasions* 20(1): 165-180.
- Morrissey, J.P. & Osbourn, A.E.** 1999. Fungal resistance to plant antibiotics as a mechanism of pathogenesis. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 63(3): 708-724.
- Nelson, E.B.** 2004. Microbial dynamics and interactions in the spermosphere. *Annual Review of Phytopathology* 42: 271-309
- Orrock, JL & Damschen, EI.** 2005. Fungi-mediated mortality of seeds of two old-field plant species1. *The Journal of the Torrey Botanical Society* 132(4): 613-618.
- Pakeman, R.J., Small, J.L. & Torvell, L.** 2012. Edaphic factors influence the longevity of seeds in the soil. *Plant Ecology* 213: 57-65
- Pinto, E.N.F., Souto, J.S., Leonardo, F.A.P., Borges, C.H.A., Barroso, R.F., & Medeiros, A.C.** 2016. Crescimento de plântulas de alface (*Lactuca sativa* L.) em solo oriundo de um povoamento de *Luetzelburgia auriculata* (Allemão) Ducke. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável* 11(2): 33-38.
- Pott, A. & Pott, V.J.** 1994. Plantas do Pantanal. EMPRAPA/CPAP/SPI, Corumbá, 320p.
- Praxedes, P.G., Zerlin, J.K., Dias, L.O., & Pessoni, R.A.B.** 2011. A novel antifungal protein from seeds of *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. (Leguminosae-Faboideae). *Brazilian Journal of Biology* 71(3): 687-692.

Rahal, R.L., Braga, M.R. & Buckeridge, M.S. 1998. Phytoalexin-inducing activity generated during galactomannan degradation in seeds of *Sesbania virgata*. Programa e resumos da XXVIIa Reunião Anual da SBBq. E-14.

Rezende, E.D.F., Couto, F.A., Borges, J.G., Silva, D.M.D. & Batista, L.R. 2013. Potencial enzimático e toxigênico de fungos isolados de grãos de café. *Coffe Science* 8(1): 69-77.

Salustiano, M.E., Machado, J. da C., & Pittis, J.E. 2005. Patogenicidade de *Alternaria helianthi* (HANSF.) e *Alternariazinniae* (PAPE) ao girassol a partir de sementes. *Revista Brasileira de Sementes* 27(1): 138-143.

Santos, A.D., Parisi, J.J.D., & Menten, J.O.M. 2011. Patologia de sementes florestais. Colombo: Embrapa Florestas. 236 p

Santos, Á.F., JÚNIOR, A.G. & AUER, C.G. 2000. Transmissão de fungos por sementes de espécies florestais. *Floresta* 30(1/2): 119-128.

Santos, A.F., Medeiros, A.C.S., & Santana, D.L.Q. 2001. Fungos em sementes de espécies arbóreas da mata Atlântica. *Boletim de Pesquisa Florestal* 42: 51-60.

Shaw, L.J., Morris, P., & Hooker, J.E. 2006. Perception and modification of plant flavonoid signals by rhizosphere microorganisms. *Environmental Microbiology* 8: 1867-1880.

Shreelalitha, S.J. & Sridhar, K.R. 2015. Endophytic fungi of wild legume *Sesbania bispinosa* in coastal sand dunes and mangroves of the Southwest coast of India. *Journal of Forestry Research* 26(4): 1003-1011.

Simões, K., Du, J., Kretzschmar, F.S., Broeckling, C.D., Stermitz, F.R., Vivanco, J.M., & Braga, M.R. 2008. Phytotoxic catechin leached by seeds of the tropical weed *Sesbania virgata*. *Journal of Chemical Ecology* 34: 681-687.

Souza Filho, A.P.D.S., Vasconcelos, M.A.M.D., Zoghbi, M.D.G.B., & Cunha, R.L. 2009. Efeitos potencialmente alelopáticos dos óleos essenciais de *Piper hispidinervium* C. DC. e *Pogostemon heyneanus* Benth sobre plantas daninhas. *Acta Amazonica* 39(2): 389-96.

Souza, V.C., Agra, P.F.M., Andrade, L.A., Oliveira, I.G., & Oliveira, L.S. 2010. Germinação de sementes da invasora *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. sob efeito de luz, temperatura e superação de dormência. *Ciências Agrárias* 4: 889-889.

Vechiato, M. H. 2010. Importância da qualidade sanitária de sementes florestais na produção de mudas Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2010_3/SementesFlorestais/index.html>

Vechiato, M. H., & Parisi, J. J. D. 2013. Importância da qualidade sanitária de sementes de florestais na produção de mudas. *Biológico, São Paulo* 75(1): 27-32.

Velázquez-del Valle, M.G., Bautista-Baños, S., Hernández-Lauzardo, A.N., Guerra-Sánchez, M.G., & Amora-Lazcano, E. 2008. Estrategias de control de *Rhizopus stolonifer* Ehrenb. (Ex Fr.) Lind, agente causal de pudriciones postcosecha en productos agrícolas. Revista mexicana de fitopatología 26(1): 49-55.

Wagner, M. & Mitschunas, N. 2008. Fungal effects on seed bank persistence and potential applications in weed biocontrol: a review. Basic and applied ecology 9(3): 191-203.

Zhu, X., Zhang, J. & Ma, K. 2011. Soil biota reduce allelopathic effects of the invasive *Eupatorium adenophorum*. PLoS One 6(9): p.e25393.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente estudo foi possível constatar que *Sesbania virgata* apresenta características ecológicas importantes para uma espécie superdominante, como rápidas e altas taxas de germinação e eficiente desenvolvimento em condições naturais. Além disso, também apresentou boa germinação em solos antropizados e bom e contínuo desenvolvimento, mesmo quando as irrigações limitantes foram aplicadas. Essas respostas mostram que a espécie é capaz de se adaptar e se desenvolver mesmo em condições consideradas não adequadas para espécies vegetais em geral.

Devido a essa plasticidade e as suas características ecológicas, a espécie pode ser uma boa opção para programas de restauração em condições de impacto mais drástico.

Os dados mostraram que os metabólitos, provenientes do material foliar de *S. virgata*, podem perdurar no solo durante certo tempo, visto os resultados obtidos a respeito do desenvolvimento de *Mimosa bimucronata*, uma das espécies utilizadas para se testar a fitotoxicidade dos metabólitos de *S. virgata* em condições não controladas.

De acordo com os dados obtidos em laboratório, a procedência das sementes influenciou na presença de determinados gêneros de fungos, encontrados nos tegumento de *S. virgata*. Isso foi comprovado, analisando o efeito desses metabólitos, incluindo catequina, no crescimento micelar dos três gêneros estudados, onde foi possível notar que existe relação entre esse crescimento micelar, entre a frequência do fungo em questão e entre os danos ocasionadas nas sementes.

Isso mostra que *S. virgata* não só possui vantagens adaptativas no meio, por produzir substâncias antifúngicas, como também possui fungos essenciais para sua sobrevivência, que não lhe causam malefícios e aparentemente podem auxiliar a espécie em processos como a germinação, através da quebra de dormência. Suas substâncias podem controlar o controlar o

crescimento de outros fungos potencialmente letais para a existência do seu banco de sementes no solo.

A agressividade da espécie pode, portanto, ser justificada por suas características ecológicas e por sua plasticidade em relação às condições ambientais de desenvolvimento, porém também pode ser atribuída a sua capacidade de produzir substâncias, que podem lhe conferir vantagens adaptativas no meio natural. Essas substâncias, que possuem efeito em condições não controladas, podem beneficiá-la durante o processo competitivo com outras espécies vegetais e podem auxiliá-la no controle da microbiota, capaz de causar danos em seu processo germinativo e por consequência, ao seu desenvolvimento. Esse conjunto de atributos podem justificar seu comportamento de espécie superdominante, comportamento esse que pôde ser observado no campo, onde foram coletados os materiais vegetais de *S. virgata* para a condução desse estudo e de trabalhos anteriores.

Portanto, apesar do seu potencial de uso, esse tipo de comportamento requer alguns cuidados e trabalhos de bases como esse se tornam de grande utilidade, já que não só as características ecológicas da espécie devem ser observadas, como também sua capacidade de controlar outras espécies vegetais ao seu redor, através de mecanismos ecofisiológicos como a alelopatia. Estudos que compreendam melhor esse tipo de relação entre espécies e quais mecanismos estão envolvidos podem fomentar mais adequadamente as pesquisas voltadas para a elaboração das práticas envolvidas na restauração de uma área degradada.